



Information technique

Fraisage rapide et précis du contour avec une qualité élevée de la surface

Les processus de fabrication dans les secteurs de l'outillage et de la construction de moules ainsi que dans l'industrie aéronautique et spatiale peuvent être considérablement optimisés grâce aux technologies modernes, par exemple avec l'usinage à grande vitesse (HSC = High Speed Cutting). Mais des avantages sur le plan économique ne peuvent être obtenus que si les machines-outils et la commande numérique utilisées sont capables de maîtriser des avances de contournage supérieures à celles qui sont pratiquées pour l'usinage conventionnel.

Les déplacements sur la machine qui sont à la fois rapides et fidèles au contour exigent un contrôle très précis des processus d'accélération et de freinage tout au long de la trajectoire programmée. Dans le conflit d'intérêts entre la durée d'usinage, la qualité de surface et la précision géométrique, les commandes numériques modernes doivent être capables d'optimiser la mise en équation de la fraiseuse et du processus de fabrication. Les utilisateurs doivent aussi pouvoir agir sur le résultat du fraisage en procédant à des modifications simples de paramètres.

Le contrôle du déplacement par la CN a une influence déterminante sur l'optimisation des durées d'usinage dans les conditions posées au niveau de la précision et de la qualité de surface.

UGV pour la construction de moules: Exigences posées aux commandes numériques des machines-outils

La technologie UGV offre de nombreuses nouvelles possibilités pour l'usinage des aciers trempés ou alliés utilisés pour les outils. En marge de l'érosion classique, le fraisage UGV direct des moules en matériaux durcis revêt une importance économique croissante. En comparaison du fraisage traditionnel, l'avantage essentiel de l'usinage UGV réside dans la diffusion et l'évacuation de la chaleur engendrée par le processus d'enlèvement de matière. Les vitesses de déplacement et les avances élevées conjuguées aux faibles profondeurs d'usinage permettent aux copeaux d'évacuer hors de la pièce la plus grande partie de la chaleur.

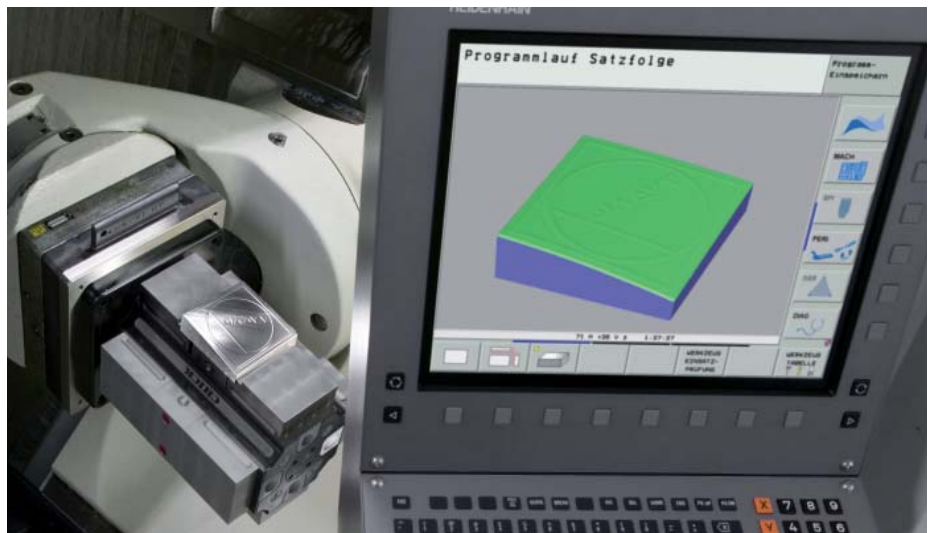


Figure 1: Usinage de forme libre (surface à double courbure)

Usinage UGV

– Conditions requises et influences

Les vitesses d'avance élevées de l'usinage UGV impliquent des accélérations de contourage plus importantes au niveau des incurvations de la pièce. Les caractéristiques mécatroniques de la machine-outil sont par conséquent à observer très attentivement. Lorsque les accélérations des entraînements d'avance augmentent, elles engendrent aussi de plus grandes forces d'accélération dans la structure de la machine-outil. Ceci accroît alors le risque d'exciter sur la machine des vibrations parasites qui peuvent ensuite pénaliser la qualité de la surface. La commande doit donc disposer d'une stratégie de contrôle du déplacement capable à la fois de limiter la durée de l'usinage et d'obtenir une excellente qualité de surface tout en respectant les caractéristiques de précision requises. De plus, la commande doit offrir aussi bien au constructeur de la machine qu'à son utilisateur les moyens d'optimiser le contrôle du déplacement.

Les constructeurs de machines doivent pouvoir adapter la commande de manière optimale aux propriétés de la machine. Pour cela, la commande doit disposer d'un concept de paramétrage clairement structuré pour le contrôle du déplacement et pour les boucles d'asservissement des moteurs d'avance. Les machines-outils sont bien souvent évaluées en fonction de la gamme des pièces qu'elles peuvent fabriquer. Chaque opération d'usinage doit être réalisée de manière à ce que la qualité de la surface de la pièce ne soit pas dégradée par des vibrations parasites de la machine, y compris lors d'opérations de contourage à haute dynamique. L'intégration de la commande dans la machine doit donc présenter une grande stabilité en présence de n'importe quelle opération d'usinage.

Les utilisateurs de machines-outils exigent de la commande qu'elle puisse prendre en compte les conditions en matière de durée d'usinage et de précision de la pièce à réaliser. Les exigences posées doivent être réalisées dès la première pièce sans être obligé de procéder à de fastidieux essais préliminaires. Les spécifications doivent être définies dans le programme CN de manière à servir de référence pour les ordres de fabrication. En outre, pour contenir les durées de fabrication des moules dans des limites acceptables, les surfaces de forme libre sont fréquemment fraisées avec inversion du sens d'usinage entre les passes. La commande doit alors générer des trajectoires d'outils reproductibles lors de l'approche des éléments de contour dans des directions opposées. Dans le cas contraire, la qualité de la surface risque d'en pâtir.

Influence du traitement des données sur la précision de la pièce

La fabrication d'un élément par enlèvement de copeaux comporte de nombreuses phases intermédiaires au cours desquelles les données de géométrie du modèle CAO sont converties en trajectoires d'outil:

- **CAO** (Computer Aided Design): Le contour de la pièce est généralement reproduit avec NURBS (non-uniform rational B-splines). Les NURBS permettent de décrire mathématiquement les surfaces de forme libre.
- **FAO** (Computer Aided Manufacturing): Les trajectoires d'outils sont calculées point par point en tenant compte de la stratégie de fraisage et des valeurs de correction d'outil définies par la géométrie CAO. L'erreur de corde prédéfinie (précision du modèle) détermine la distance entre les points.
- **CNC** (Computerized Numerical Control): Le programme CN est converti point par point en déplacements d'axes et profils de vitesse. Les tolérances de trajectoire définies sont prises en compte. Pour atteindre une excellente qualité de surface, les variations entre deux trajectoires de fraisage adjacentes doivent rester bien inférieures aux tolérances de trajectoires définies.
- **Mécatronique**: Les déplacements des axes sont disponibles à intervalles de durée fixes sous forme de déplacements nominaux et effectifs. Ils sont convertis par la géométrie de la machine en déplacements d'outils et déplacements de la pièce. L'erreur de poursuite des axes d'avance, les écarts par rapport à la géométrie nominale de la machine, les influences thermiques et vibrations dans le bâti de la machine et les moteurs peuvent diminuer la précision de la pièce.

| | |
|---------------------|----------------------------|
| CAO | Design |
| FAO | Création de trajectoire |
| | Correction d'outil |
| CN | Interprète programme CN |
| | Contrôle du déplacement |
| | Contrôle de tolérance |
| | Profils de vitesse |
| Mécatronique | Asservissement de l'avance |
| | Machine et entraînements |

Pour optimiser les durées d'usinage, la qualité de surface et la précision de la pièce, la CN doit répondre aux exigences fondamentales suivantes:

- Contrôle efficace des tolérances de contour
- Reproduction exacte de trajectoires adjacentes après une inversion de direction
- Prévention efficace contre les vibrations lors de déplacements à haute dynamique

Pour les déplacements d'outils 2D, on peut examiner les influences de la chaîne de traitement des données sur la précision de la pièce en utilisant un système de mesure en 2D KGM 182 de HEIDENHAIN. Les caractéristiques du contrôle du déplacement par une commande iTNC 530 HEIDENHAIN peuvent être mises en évidence par une unité de démonstration sur une machine Gantry. Le KGM sert à évaluer la précision de contour escomptée.



Rapidité, précision, fidélité de contour

– Fraisage à grande vitesse avec l'iTNC 530

Contrôle efficace des tolérances du contour

Les programmes CN pour surfaces de forme libre sont généralement élaborés sur un système FAO et ils sont constitués de séquences linéaires simples. Les commandes HEIDENHAIN lissent automatiquement les transitions entre les séquences ce qui permet à l'outil de se déplacer en continu sur la surface de la pièce. Ce lissage automatique est commandé par une fonction interne qui contrôle les écarts par rapport au contour programmé. Cette fonction (cycle 32) permet à l'utilisateur de définir librement l'écart de contour autorisé. La valeur par défaut est définie par le constructeur de la machine dans un paramètre-machine de la commande (0,01 à 0,02 mm typ.). La tolérance agit également pour les déplacements sur les arcs de cercle programmés.

Sur les surfaces de forme libre, l'écart par rapport à la géométrie du modèle CAO peut correspondre dans le cas le plus défavorable à la somme de la tolérance définie pour le contour et de l'erreur de corde définie dans le système FAO. Le résultat sur la pièce dépend en finale des propriétés globales de la machine et des valeurs définies pour l'à coup et l'accélération des axes d'avance.

Sur la figure, l'angle de la pièce implique une trajectoire circulaire pour le centre d'une fraise boule (TCP = Tool Center Point, cf. figure 2). Sans un lissage des données de la trajectoire nominale, l'axe Y de la machine serait contraint d'accélérer brutalement au point de transition. L'à-coup ainsi provoqué engendre d'importantes oscillations sur la machine. En outre, les limites physiques d'entraînements usuels empêchent ceux-ci de générer un tel à-coup virtuellement infini. Si l'on ne prend pas d'autres mesures pour le contrôle du déplacement, on a pour résultat inévitable des écarts de contour qui peuvent prendre d'importantes proportions en fonction du changement d'incurvation et de la vitesse de contourage.

Le contrôle du déplacement de l'iTNC 530 lisse l'à-coup tout en respectant la tolérance définie pour le contour et ce, même en cas de fortes variations de la vitesse de contourage (figure 3). Si l'on est en mesure de définir une tolérance assez large, les durées de production s'en trouvent alors réduites de manière significative. Dans cet exemple, la durée de l'usinage est réduite d'environ 12 % en faisant passer la tolérance de contour de 0,01 mm à 0,02 mm.

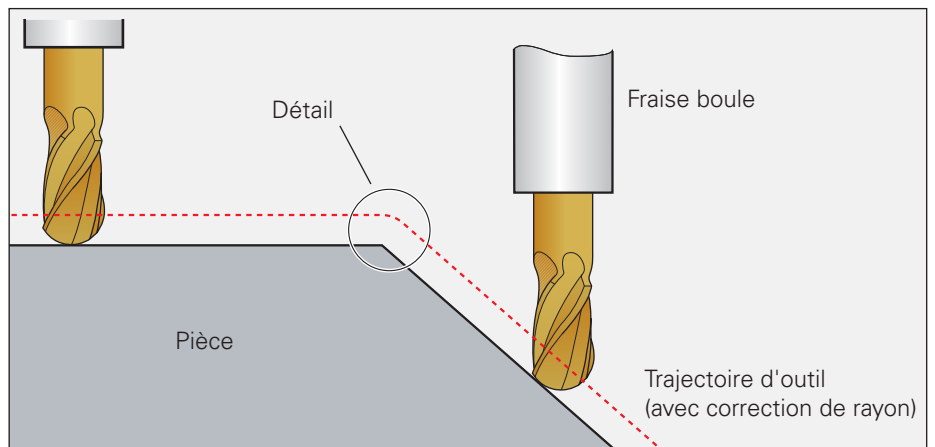


Figure 2: Trajectoire d'outil TCP pour une fraise boule

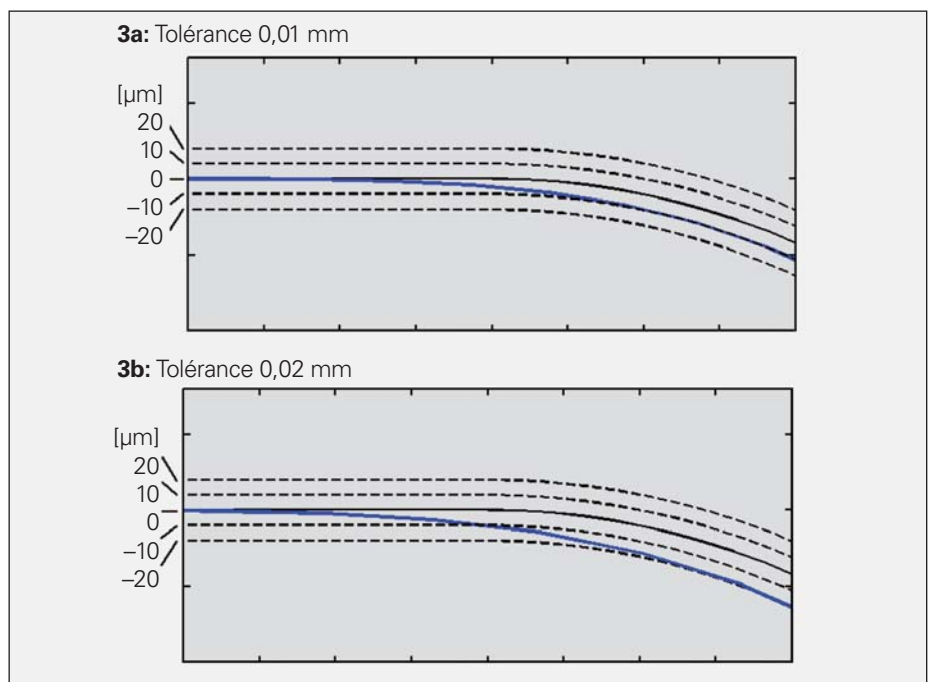


Figure 3: Détail grossi de la trajectoire nominale contrôlée par TCP

Grande reproductibilité sur trajectoires adjacentes avec inversion de direction

La figure 4 illustre le détail d'une pièce et les séquences linéaires correspondantes de la trajectoire TCP. Des trajectoires adjacentes ont été fraisées efficacement par déplacements en avalant et en opposition (usinage ligne à ligne avec inversion de direction). Les différentes passes sont constituées de quelques séquences linéaires de longueur variable. L'erreur de corde définie dans le système FAO est de $3\ \mu\text{m}$.

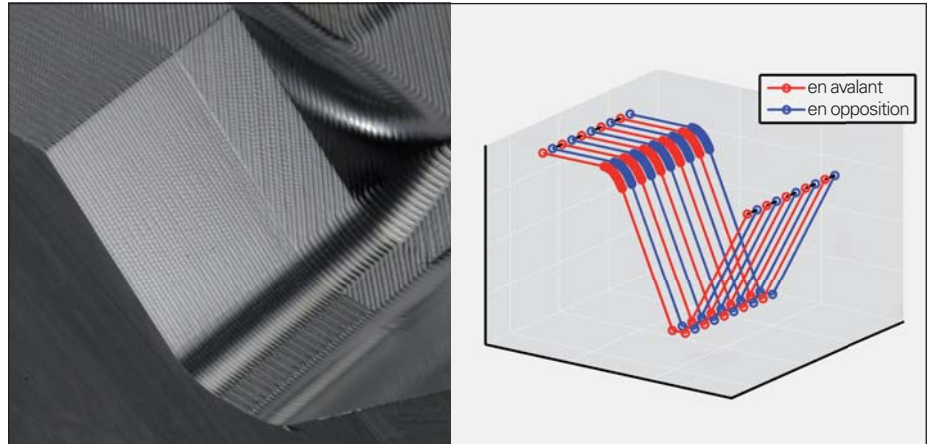


Figure 4: Contour de la pièce et séquences linéaires correspondantes avec déplacement en avalant et en opposition. Les points représentent les points d'appui dans le programme.

La figure 5 donne une représentation agrandie de la déviation du déplacement d'outil par rapport au contour programmé. Les écarts portent sur la transition idéale droite/cercle tandis que le programme CN (fig. 4) est constitué de séquences linéaires avec une erreur de corde de $3\ \mu\text{m}$ par rapport au modèle. L'erreur de corde n'affecte que les zones incurvées et se superpose à la tolérance de contour définie dans la CN. Les commandes HEIDENHAIN attestent d'une grande reproductibilité dans les déplacements ligne à ligne avec inversion du sens d'usinage (fig. 5). Les écarts de contour entre les trajectoires usinées en avalant ou en opposition restent négligeables et on obtient ainsi une très grande qualité de surface.

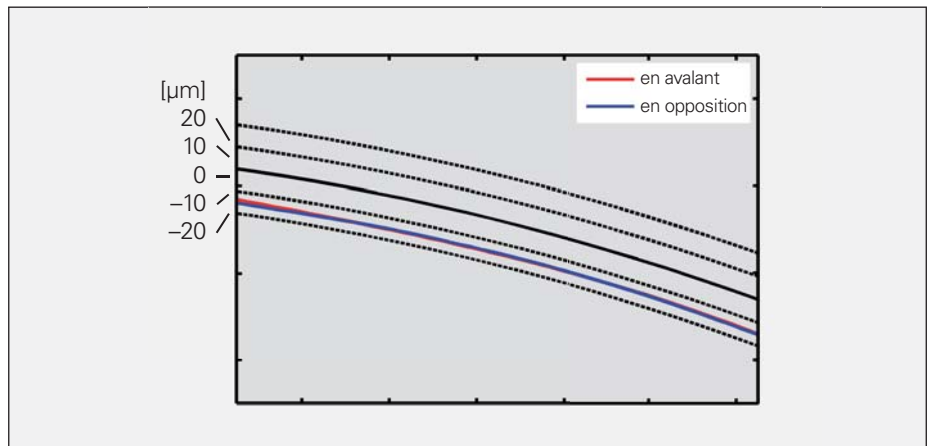


Figure 5: Déviation de la trajectoire de l'outil dans la zone d'incurvation du contour de la pièce (avance = $10\ \text{m/min.}$, tolérance = $0,01\ \text{mm}$).

Les photos de la pièce (figure 6) illustrent le progrès obtenu en optimisant le contrôle du déplacement. Les surfaces de forme libre représentées ont été usinées ligne à ligne avec inversion du sens d'usinage (avance programmée $10\ \text{m/min.}$, surépaisseur de finition $0,1\ \text{mm}$). La qualité de surface de la pièce de la figure 6a est inacceptable. En revanche, le résultat de l'usinage réalisé avec une iTNC 530 (figure 6b) témoigne de la grande reproductibilité des trajectoires adjacentes.

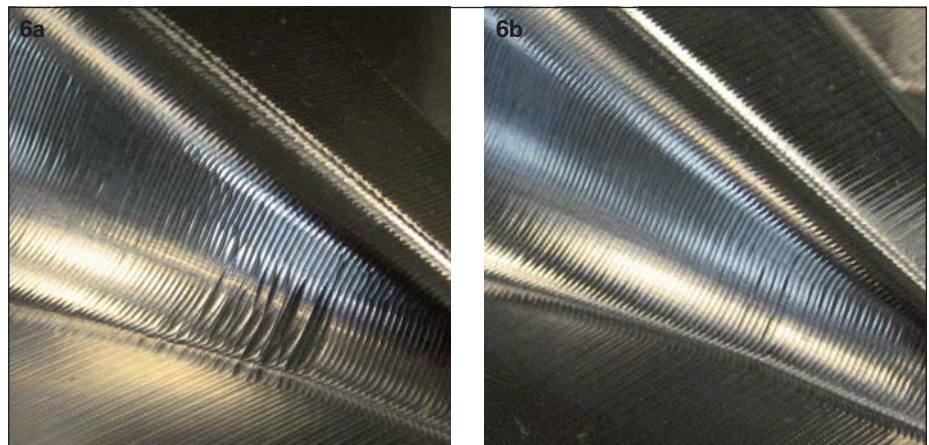


Figure 6: Usinage ligne à ligne avec inversion de direction: Reproductibilité de trajectoires de fraisage adjacentes
6a: Les déviations entre trajectoires adjacentes sont à l'origine d'une surface médiocre
6b: Résultat du fraisage réalisé avec une iTNC 530: Surface régulière avec déplacements en avalant/en opposition

Prévention efficace contre les vibrations lors de déplacements à haute dynamique

Les vitesses d'avance pratiquées par la technologie de fraisage UGV confrontent les machines-outils à un énorme challenge. On ne peut avoir de courtes durées d'usinage que si l'avance de contournage moyenne est élevée. Et pourtant, il faut réduire drastiquement la vitesse aux endroits à faibles rayons sur la trajectoire de manière à contenir les écarts de trajectoire dans la bande de tolérance autorisée. Les déplacements d'accélération et de freinage peuvent en outre engendrer dans le bâti de la machine des vibrations susceptibles de se répercuter négativement sur la surface de la pièce.

Les à-coups et accélérations sont lissés grâce au remarquable contrôle du déplacement des commandes HEIDENHAIN. Il permet limiter très efficacement les vibrations de la machine. Si nécessaire, la commande diminue automatiquement l'avance programmée de manière à réduire au minimum l'excitation des vibrations. La prévention efficace contre les vibrations de la machine permet d'exécuter le programme CN à très grande vitesse et donc de réduire considérablement les durées d'usinage.

La figure 7 illustre la trajectoire effective de l'outil sur une machine-outil avec contour 2D programmé. Sans lissage de l'à-coup, on constate des vibrations dans les phases d'accélération de la machine (figure 7a). Le contrôle du déplacement de l'iTNC 530 de HEIDENHAIN permet de réduire efficacement les vibrations (figure 7b). Là encore, la surface de la pièce illustrée sur la figure 8 témoigne des atouts offerts par le contrôle du déplacement des commandes HEIDENHAIN. Le déplacement le long de l'arc de cercle représenté exige au niveau de chaque point un changement d'accélération de l'axe qui engendre généralement des vibrations sur la machine (figure 8a). En lissant l'à-coup, l'iTNC 530 permet d'obtenir une qualité de surface élevée sans être confronté aux effets perturbateurs des vibrations (figure 8b).

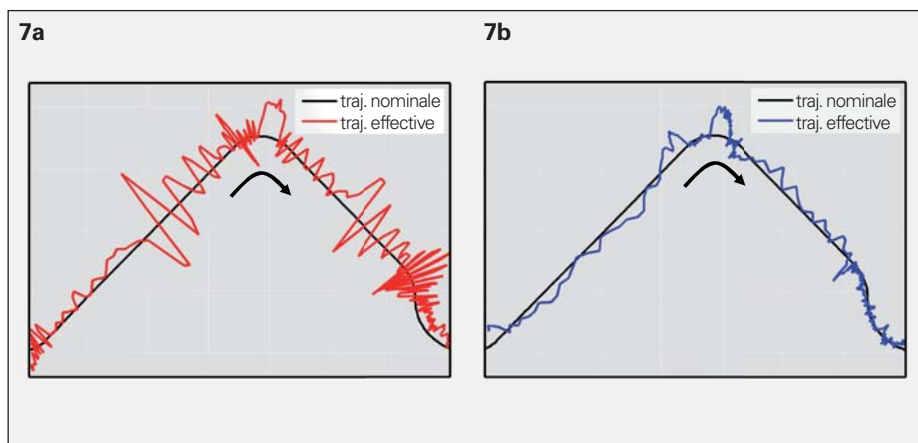


Figure 7: Positions effectives enregistrées avec un système de mesure 2D sur un arrondi d'angle sans (7a) et avec (7b) filtre de valeur nominale de position pour les données CN

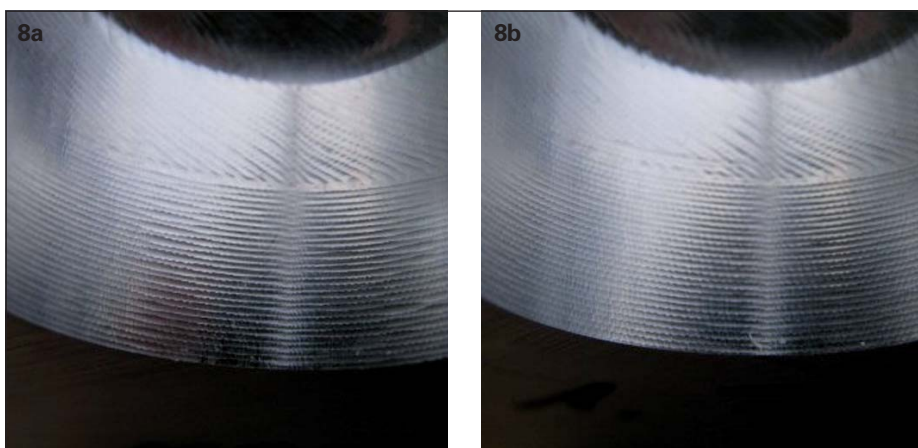


Figure 8: Effets des vibrations de la machine sur la pièce:
8a: Sans lissage de l'à-coup, une vibration sur l'axe Z engendre une encoche sur la surface
8b: Le contrôle du déplacement de l'iTNC 530 élimine efficacement les problèmes de surfaces dues aux vibrations

En résumé

La technologie de fraisage UGV joue un rôle décisif dans les processus de fabrication utilisés pour la construction de moules et dans l'industrie aéronautique et spatiale. Les vitesses d'avance pratiquées confrontent les machines-outils à un énorme challenge. Dans le conflit d'intérêts entre les durée d'usinage, la précision du contour et la qualité de surface, la commande numérique iTNC 530 de HEIDENHAIN veille à ce que l'usinage corresponde bien au cahier des charges. Par conséquent, les trajectoires d'outils sont gérées de manière à

- éviter les vibrations de la machine,
- respecter les exigences en matière de précision et
- réduire les durées d'usinage.

En outre, l'iTNC 530 garantit une grande reproductibilité des trajectoires de fraisage adjacentes ce qui permet de satisfaire les exigences les plus pointues en matière de qualité de surface et de réduire la durée d'usinage lors d'opérations de fraisage ligne à ligne avec inversion du sens d'usinage.

De nouveaux jalons ont ainsi été posés par l'iTNC 530 pour harmoniser la commande numérique, les entraînements et le bâti de la machine. On peut désormais produire une large gamme de pièces dans la qualité requise et ce, dès la première pièce.

Compatibilité persistante efficace

– une assurance sur l'avenir avec les commandes de contournage HEIDENHAIN

Depuis plus de 25 ans, HEIDENHAIN livre des commandes destinées aux opérations de fraisage et de perçage. Depuis lors, les commandes ont continuellement évolué, de nombreuses fonctions ont été rajoutées – y compris pour des machines plus complexes équipées de nombreux axes. Mais le concept d'utilisation créé à l'origine n'a pas varié. L'opérateur qui travaille déjà sur une machine-outil équipée d'une TNC, n'a pas à tout réapprendre. Toute son expérience TNC, il la réutilise immédiatement sur l'iTNC 530 pour programmer et travailler comme il en a l'habitude.



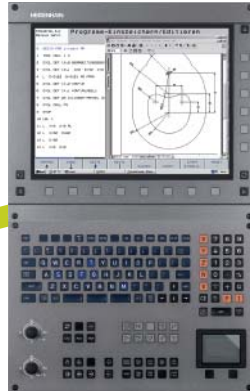
1993: TNC 426C/P



1997: TNC 426M
TNC 430



2001: iTNC 530



2003: iTNC 530 avec
Windows 2000



2004: iTNC 530
avec smarTNC



1988: TNC 407
TNC 415



1987: TNC 355



1984: TNC 155



1983: TNC 150



1981: TNC 145, la
première commande
de contournage de
HEIDENHAIN



Sur l'iTNC 530, vous trouverez ces touches de fonctions déjà disponibles sur la TNC 145

HEIDENHAIN

HEIDENHAIN FRANCE sarl
2 avenue de la Cristallerie
92310 Sèvres, France
☎ 0141 143000
FAX 0141 143030
E-Mail: info@heidenhain.fr

www.heidenhain.fr

Autres informations:

- Catalogue *Commande de contournage iTNC 530*

