

⑫

**DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 Date de dépôt : 17 octobre 1985.

③0 Priorité : US, 24 octobre 1984, n° 664.188.

④3 Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPi « Brevets » n° 17 du 25 avril 1986.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : GENERAL ELECTRIC COMPANY. — US.

⑦2 Inventeur(s) : Charles Edmund Thomas, Minyoung Lee, James Frederick Bedard et Steven Robert Hayashi.

⑦3 Titulaire(s) :

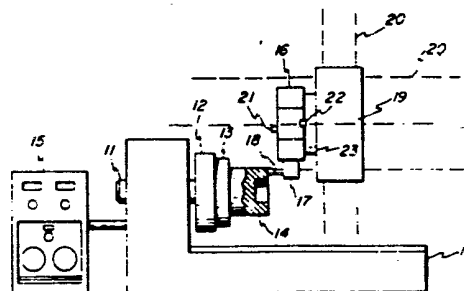
⑦4 Mandataire(s) : M. Dugas, GETSCO.

⑤4 Procédé et appareil de contrôle acoustique des ruptures d'outils.

⑤7 Appareil de contrôle de rupture d'outil basé sur la détection de modification du bruit de coupe.

Il comprend : un détecteur de vibration 21, 23, à bande large, un préprocesseur analogique comportant des moyens de discrimination par rapport au bruit basse fréquence de la machine et de détection de l'énergie du signal dans une bande de fréquence acoustique inférieure à 100 kHz, des moyens d'échantillonnage et de conversion du signal, un circuit numérique d'analyse du signal par une logique d'identification de formes, pour détecter une diminution ou une augmentation brutale du niveau du signal par rapport à un niveau moyen déterminé et, la persistance du décalage du niveau pendant une période de confirmation ayant une durée supérieure à la période de révolution de la pièce déclenchant un signal d'alarme.

Application aux machines-outils.



1

L'invention concerne un détecteur de rupture d'outil et un procédé de contrôle des vibrations produites par des opérations d'usinage pour déceler les modifications des conditions de coupe résultant d'un outil brisé.

- 5           La rupture des plaquettes rapportées d'outil de coupe et les dommages qui en résultent pour la pièce et/ou la machine-outil est l'un des problèmes majeurs que l'on doit résoudre pour que l'automatisation de l'usinage puisse être un succès. Les ruptures d'outils qui entraînent des
- 10 dégâts pour la pièce et la machine-outil doivent être soit prévenues par l'utilisation de vitesse de coupe de métal à faible productivité et indésirablement prudente, soit automatiquement détectées si une surveillance humaine attentive du processus d'usinage ne peut être réalisée à tout moment.
- 15 Le système de détection automatique de rupture d'outil doit détecter de manière fiable pratiquement toutes les ruptures d'outil qui peuvent endommager la pièce ou la machine-outil, mais ne doit pas donner l'alarme dans le cas de nombreuses autres ruptures d'outil qui n'affectent pas de manière si-
- 20 gnificative le processus d'usinage, ou lors de l'action d'une quelconque fausse source d'alarme potentielle. La détection de rupture d'outil a besoin d'être rapide de sorte que l'avance de l'outil puisse être réglée pour empêcher et limiter les dégâts.

Une classe de détecteur de rupture d'outil est basée sur la détection des modifications qui résultent dans la puissance et les forces d'usinage. Un autre type est basé sur la détection des émissions acoustiques engendrées par la rupture de la plaquette rapportée d'outil. L'invention utilise un détecteur acoustique différentiel, tel qu'un accéléromètre et fonctionne dans une gamme de 30 à 100 kHz, en dessous de la bande de fréquence ordinaire d'émission acoustique.

On connaît un système de contrôle de machine-outil qui utilise les mêmes détecteurs et un traitement de signal analogique que cette invention et qui évite les fausses alarmes lors de ruptures d'outil non significatives qui n'affectent pas les conditions de coupe. Cependant, cette approche suppose que la rupture de la pièce rapportée d'outil sera suivie immédiatement par une modification détectable dans le bruit de coupe ou que la rupture n'affectera pas la pièce. Par conséquent cela suppose généralement que l'on détecte le signal de fracture d'outil avant de vérifier une modification du signal de bruit de coupe. Le circuit numérique d'identification des formes effectue une vérification en trois étapes du signal de vibration traité avant d'engendrer un signal d'alarme de rupture d'outil importante. Une augmentation transitoire du niveau de signal qui peut avoir sa source dans une rupture déclenche un détecteur de décalage moyen pour vérifier les changements du bruit de coupe ; si le décalage moyen persiste pendant une période donnée, l'alarme est déclenchée. Cette approche prend en compte le cas d'un bruit de coupe élevé masquant le signal de rupture en réglant le détecteur de signal transitoire ou détecteur de rupture d'outil de manière à ce qu'il soit suffisamment sensible pour déclencher fréquemment le détecteur de modification de bruit de coupe ou détecteur de décalage moyen lors des pointes élevés de bruit de coupe. Le détecteur de modification de bruit de coupe est déclenché seulement lors de signaux transitoires dans le sens positif.

Le dispositif de contrôle de machine-outil et le procédé de l'invention reposent principalement sur la détection de l'effet d'une rupture d'outil sur le bruit de coupe plutôt que sur l'émission acoustique provoquée par une fissuration soudaine du matériau de l'outil. Un essai prolongé du décalage de niveau de bruit de coupe est enclenché par une augmentation ou une diminution notable brutale du niveau du signal de vibration traité. Bien que ce déclenchement puisse être réalisé par la détection de l'impulsion de signal de rupture d'outil dans le sens positif, elle peut être aussi réalisée par des variations notables brutales dans les niveaux de bruit de coupe, soit vers le haut soit vers le bas, lorsque l'impulsion de rupture d'outil soit n'a pas été détectée, soit a été détectée et écartée parce qu'elle n'était pas immédiatement suivie par un décalage du niveau du bruit de coupe.

Les composants du système comprend un détecteur de vibration à bande large, tel qu'un accéléromètre qui est le plus sensible aux fréquences entourant une fréquence de résonance, placé sur la machine-outil dans le but de capter les vibrations à l'interface outil-pièce pendant le processus d'usinage. Un préprocesseur analogique pour traiter le signal du détecteur comprend des moyens de discrimination vis-à-vis du bruit de fréquence plus basse de la machine, un redresseur et un filtre passe-bas pour détecter l'énergie du signal dans une bande de fréquence acoustique comprise entre 30 kHz et 100 kHz. La fréquence de coupure de 500 Hz ou moins du filtre passe-bas empêche la formation d'ambiguïté par l'opération ultérieure d'échantillonnage. Le signal unipolaire de sortie du préprocesseur analogique est échantillonné, et les échantillons sont transformés sous forme numérique et analysés par un circuit numérique d'identification des formes qui peut être un ordinateur universel programmable.

L'analyse des échantillons de signaux numériques comporte deux phases principales. Le circuit numérique cal-

cule le niveau du signal moyen de fonctionnement d'un nombre déterminé d'échantillons. Dans la première phase chaque nouvel échantillon est comparé avec le signal moyen de fonctionnement pour rechercher une augmentation ou une diminution transitoire brutale du signal de vibration. Chaque détection enclenche la deuxième phase. Lorsque le décalage du niveau du signal et la variation brutale des conditions de coupe persistent pendant une période minimum de confirmation, un signal d'alarme de rupture d'outil est engendré. Un signal transitoire court non relié à une rupture d'outil significative est rejeté, et le signal de commande est renvoyé au détecteur de transitoire pour rechercher des modifications brutales du niveau du signal. Pour empêcher des fausses alarmes pendant la coupe d'ébauche (une passe dans le métal et une passe à l'air), la période de confirmation a une durée supérieure à la période de révolution de la pièce. On a aussi retenu la possibilité d'émettre un signal d'alarme de ruptures d'outil valides pendant des discontinuités.

La présente invention a pour objets :

20 - un système de détection de rupture d'outil qui a une réponse plus rapide et une meilleure sensibilité que les dispositifs de contrôle de puissance et de forces, qui est moins coûteux et moins long à régler et à faire fonctionner, puisque ces systèmes doivent être soigneusement réglés pour chaque coupe dans le programme de pièces ;

25 - un détecteur de rupture d'outil qui est moins soumis à de fausses alarmes que les systèmes de détection d'émission acoustique existants et qui évite d'émettre un signal d'alarme de rupture d'outil lorsque la rupture n'affecte pas notablement les conditions de coupe ;

30 - la possibilité de pouvoir régler la sensibilité du système de détection de rupture d'outil pour s'adapter aux besoins variables des différentes opérations d'usinage ;

35 - un système de détection de rupture d'outil ayant une performance utilisable pour un plus grand nombre d'applications d'usinage que les systèmes connus de contrôle de

puissance, de forces ou d'émission acoustique ;

- un système de détection acoustique de rupture d'outil plus sensible qui n'émet pas de fausse alarme lors d'une coupe d'ébauche ;

- 5           - un détecteur de rupture d'outil qui peut s'intégrer facilement avec un détecteur acoustique de contact d'outil dans un système combiné.

La description qui va suivre se réfère aux figures annexées qui représentent respectivement :

- 10           figure 1, une vue partielle en élévation d'un tour à tourelle horizontale représentant des variantes de position de l'accéléromètre;

- figure 2, une vue simplifiée en élévation d'un tour à tourelle verticale et des variantes de position du  
15   détecteur ;

- figure 3, un schéma synoptique du système de détection de rupture d'outil et un signal de vibration unipolaire filtré qui initialement écarte un déclenchement et ultérieurement a pour résultat un signal d'alarme de rupture  
20   d'outil ;

            figure 4, le signal échantillonné et la fenêtre de "fonctionnement moyen";

- figures 5 et 6, des signaux de vibration analogiques traités qui contiennent des signatures de ruptures  
25   d'outil significatives et engendrent une alarme ;

            figures 7 et 8, des signaux de vibration variant cycloiquement produits par des discontinuités de la profondeur de coupe qui sont rejetés comme fausses alarmes.

- On connaît un détecteur de rupture d'outil dans un  
30   système de contrôle de machine-outil qui analyse des signaux de vibration et sépare les signatures provoquées par une rupture d'outil significative de celles provoquées soit par des sources de bruit parasites, soit par des ruptures d'outil insignifiantes et effectue cette réparation de ma-  
35   nière satisfaisante pour une gamme limitée de conditions d'usinage. La présente invention agrandit la gamme des con-

ditions d'usinage pour lesquelles une détection de rupture d'outil satisfaisante est obtenue. Certaines des conditions d'usinage qui affectent la nature de la signature de la vibration de rupture d'outil et les caractéristiques de bruits parasites sont les suivantes : le type et la composition précises du matériau de la plaquette rapportée ; la forme de la plaquette rapportée et d'autres facteurs géométriques ; les méthodes de montage de la plaquette rapportée dans le porte-outil y compris le matériau et la géométrie du siège de l'outil et l'utilisation d'un brise-copeaux ; les vibrations ; la profondeur de coupe, la vitesse d'avance, et la vitesse de la broche ; la rugosité de la surface de la pièce y compris l'écaillage de la surface et les trous usinés antérieurement ; le matériau de la pièce ; et les discontinuités de coupe au niveau des coins intérieurs et extérieurs.

En général une rupture d'outil produit une signature de vibration en deux parties, une émission acoustique sous forme d'une ou plusieurs pointes de courtes durée provoquées par la fissuration soudaine du matériau de la plaquette rapportée, et une variation du signal de bruit de coupe due à un changement des conditions de coupe provoqué par la coupe différente de la plaquette rapportée brisée par rapport à la plaquette rapportée non brisée.

En ce qui concerne le premier point, l'émission acoustique provoquée par la fissuration de la plaquette rapportée, la variation d'état de la plaquette rapportée peut ou ne peut pas modifier les conditions à l'endroit de l'arête de coupe. Les conditions de coupe peuvent demeurer inchangées si :

- a) La fissuration est limitée à une croissance de fissure interne, sans effet sur la surface extérieure de la plaquette rapportée ;
- b) la fissuration s'étend dans les surfaces extérieures de la plaquette rapportée mais les morceaux séparés de la plaquette rapportée fissurée ne peuvent tomber du fait des

forces de compression des agencements de montage de plaquette rapportée et du processus de coupe ;

- 5 c) la fissuration provoque la chute d'une partie de la plaquette rapportée mais cette partie ne comporte pas de bord de coupe et ne se coince pas contre la pièce de travail.

En ce qui concerne le second point, une modification du signal de bruit de coupe due à une modification des  
10 conditions de coupe, ces variations des conditions de coupe peuvent être :

- a) une diminution de l'épaisseur de coupe due à la perte d'une partie de la plaquette rapportée ;  
15 b) une augmentation de la profondeur de coupe due à un morceau brisé provenant de la plaquette rapportée et se coinçant contre la pièce de travail ;  
c) une rugosité accrue de la surface de la pièce de travail due à un bord ébréché sur la plaquette rapportée brisée.  
20

Les définitions d'une rupture d'outil notable ou significative peuvent varier avec les objectifs poursuivis par l'opérateur et la nature des pièces qu'il fabrique y  
25 compris des facteurs tels que l'ébauche, une coupe intermédiaire ou de finition, le degré de surveillance humaine disponible, la valeur de la pièce usinée, etc. Cependant, on considère comme significative le cas où une rupture menace de provoquer des dégâts immédiats à la pièce ou au  
30 porte-outil ou obligera à effectuer une nouvelle coupe. Le détecteur de rupture d'outil doit ignorer toute autre rupture d'outil pour éviter des interruptions non nécessaires du processus de coupe et par conséquent diminuer la productivité.

35 La position de montage du capteur de vibration pour détecter une rupture d'outil fait l'objet d'une déter-

mination propre à chaque machine-outil devant être contrôlée. Les considérations sont les mêmes que celles qui ont été prises en compte pour un détecteur de contact d'outil et sont expliquées plus en détail dans la demande de brevet français n° 85 12627. Le capteur est monté en bon contact acoustique avec une partie de la machine-outil couplée mécaniquement suffisamment à proximité du porte-outil de sorte que les vibrations engendrées à l'interface outil-pièce pendant l'opération d'usinage puissent être facilement détectées. Le détecteur de rupture d'outil de la commande de machine-outil utilise un unique capteur qui est petit et solide et peut être monté à une distance raisonnable de l'interface outil-pièce. A l'opposé, beaucoup de systèmes de détection de rupture d'outil antérieurs nécessitent de multiples capteurs et des capteurs montés à proximité de la plaquette de coupe, là où l'environnement est sévère, où une seule position d'une machine à positions multiples peut être détectée par un seul capteur et où l'installation du capteur peut ne pas être un processus simple.

Les figures 1 et 2 sont des vues simplifiées de tours à tourelles verticale et horizontale ; le système de contrôle peut avoir quelques applications pour d'autres types de machine-outil tels que des fraiseuses, des centres d'usinage et des perceuses. La partie du tour à tourelle horizontale représentée a un bâti de machine 10, une broche 11, un mandrin 12, un dispositif de serrage 13 pour maintenir la pièce 14, et un poste de commande numérique 15. Une tourelle rotative 16 pour outil comporte plusieurs dispositifs porte-outil 17 pour supporter l'ensemble 18 formé par le porte-outil et la plaquette rapportée. La tourelle 16 est montée sur un support 19, lequel peut à son tour se déplacer le long de deux coulissex transversaux 20. Un détecteur de vibrations 21 tel qu'un accéléromètre à large bande est monté sur la tourelle 16 ; ainsi, un seul détecteur dans une position unique de montage peut contrôler n'importe quelle position du porte-outil choisi par l'opérateur pour effec-

tuer l'opération de coupe. Cet emplacement de montage fournira généralement un rapport signal-bruit parasite satisfaisant. Comme la tourelle peut être animée d'un mouvement de rotation, et dans de nombreuses machines dans une direction  
5 seulement, on ne peut connecter électriquement le capteur à un système électronique fixe de traitement de signal par de simples câbles. Un coupleur électrique tournant 22 est la seule façon de transférer le signal électrique sortant du transducteur. En option, on peut monter le détecteur de  
10 vibration 23 sur le coulisseau, là où le coupleur rotatif n'est pas nécessaire et des tests ont montré qu'on pouvait obtenir ainsi un bon fonctionnement sur certains tours. Que le détecteur soit monté ou non sur la tourelle est une question qu'on doit résoudre expérimentalement pour chaque ma-  
15 chine devant être contrôlée.

En figure 2, on a représenté un tour à tourelle verticale et deux emplacements appropriés pour le montage du détecteur de vibration. Les pièces représentées sont les suivantes : le bâti de machine 24, le mandrin 25, le dispositif  
20 tif 26 de serrage de la pièce, la pièce 27, le coulisseau transversal 28, le coulisseau vertical 29, la tourelle rotative 30, le dispositif porte-outil 31, et l'ensemble 32 formé par le porte-outil et la plaquette rapportée (la commande numérique n'étant pas représentée). Le signal de vibration  
25 produit par le détecteur 33 monté sur la tourelle est transmis par le coupleur électrique tournant 34 au circuit de détection de rupture d'outil. Un autre emplacement de montage se trouve sur l'un des coulisseaux de la machine ; le détecteur 35 présente un bon contact acoustique avec le  
30 coulisseau vertical 29.

En figure 3 on a indiqué les caractéristiques principales du système de détection de rupture d'outil qui utilise des vibrations acoustiques dans la gamme de 30 à 100 kHz et utilise des techniques d'identification de formes  
35 pour distinguer les effets des ruptures d'outil du bruit de fond. Le détecteur est un accéléromètre à bande large 36

ayant une réponse plate entre des fréquences très basses et une valeur située juste en-dessous de sa fréquence de résonance dans le voisinage des 30 kHz et au-dessus. Cette résonance est légèrement amortie, de sorte que le détecteur est  
5 le plus sensible pour les fréquences situées à quelques kilohertz de sa résonance et que sa sensibilité tombe rapidement pour détecter des fréquences très supérieures à la fréquence de résonance. Un détecteur de vibration haute fréquence de ce type est l'accéléromètre Vibrametrics VM1018  
10 (fabriqué par la société Vibra-Metrics, inc., Hamden, CT). Le signal de vibration est appliqué à un filtre passe-haut 37 ayant une fréquence de coupure légèrement inférieure à la fréquence de résonance du détecteur de manière à effectuer une discrimination et à atténuer le bruit d'amplitude élevée  
15 de la machine qui tend à se concentrer à des fréquences plus basses. La combinaison de l'accéléromètre résonant et du filtre passe-haut produit un filtrage passe-bande des signaux de vibration qui favorise les fréquences dans la bande d'environ 20 kHz au voisinage de la fréquence de résonance  
20 de l'accéléromètre.

La combinaison d'un redresseur double alternance et d'un filtre passe-bas (le filtrage est trop important pour une détection réelle de l'enveloppe), agit en détecteur d'énergie double alternance 38, transformant le signal bipolaire des détecteurs en un signal "enveloppe" unipolaire. La  
25 fréquence de coupure du filtre passe-bas est typiquement 500 Hz ou moins, de manière à éviter la formation d'ambiguïtés lors de l'opération ultérieure d'échantillonnage tant que la fréquence d'échantillonnage est bien au-dessus de la fréquence de Nyquist de 1 kHz. Ainsi, la période d'échantillonnage peut durer suffisamment longtemps pour effectuer l'analyse numérique nécessaire du signal entre des échantillons analogiques de signal. La fréquence de coupure du filtre passe-bas, peut être en fait aussi faible que 100 Hz. Les  
30 échantillons de signal à la sortie du traitement analogique de signal, extraits par un dispositif d'échantillonnage 39

sont ensuite mis sous forme numérique par un convertisseur analogique numérique 40 et son à nouveau traités et analysés par un circuit numérique 41, qui peut avoir la forme d'un ordinateur universel programmable.

5           Le signal unipolaire filtré représenté à la sortie du préprocesseur analogique contient une signature de vibration de rupture d'outil significative. Le niveau de bruit de fond de coupe antérieur à tout signe de rupture d'outil est  
10       indiqué en 42. Un transitoire dans le sens positif 43 peut être produit par la rupture de la plaquette de coupe rapportée, mais le niveau de bruit de coupe demeure inchangé et il n'y a pas d'alarme de rupture d'outil du fait des forces de compression qui agissent sur la plaquette rapportée fissurée pour maintenir les conditions de coupe inchangées pour une  
15       durée supérieure à la période de confirmation de suspicion de rupture. Ceci est suivi par une diminution prolongée brutale du niveau de signal moyen. Cette diminution du niveau de signal de bruit de coupe 44 est due à une diminution de la profondeur de coupe après qu'une partie de la plaquette  
20       rapportée comportant le bord de coupe originel soit brisée. Il n'y a pas de transitoire dans le sens positif étroitement associé dans le temps avec la diminution brutale du niveau du signal. Le signal d'émission acoustique provenant de la fissuration de la plaquette rapportée peut avoir été masqué  
25       par un niveau élevé normal de bruit de coupe, ou peut avoir produit un transitoire dans le sens positif 43 qui a été détecté et rejeté auparavant. Une bonne détection de ce type de signature de rupture d'outil est obtenue en élargissant les critères de suspicion de rupture pour y inclure aussi  
30       bien des diminutions notables brutales du niveau du signal que des augmentations.

          Comme indiqué en figure 3, l'analyse des échantillons de signaux numériques a lieu en deux phases principales. Dans la première phase, effectuée dans le détecteur de  
35       transitoire 45, toute augmentation ou diminution transitoire brutale du niveau de signal de vibration est détectée et

chaque détection enclenche la deuxième phase. Cette deuxième phase est réalisée par le circuit 46 d'essai de persistance de décalage moyen. Si la variation dans le niveau du signal de vibration est un transitoire court, elle est rejetée par cette seconde phase et la commande est renvoyé à la première phase, qui reprend la recherche des modifications brutales de niveau. Lorsque la modification du niveau de signal de vibration persiste, la deuxième phase reconnaît ce fait et engendre un signal d'alarme d'outil brisé 47. Le critère de détection de transitoire de la phase 1 est basé principalement sur la détection d'un unique échantillon de signal qui est soit supérieur, soit inférieur au niveau de signal de fonctionnement moyen d'un facteur suffisamment élevé pour indiquer si le signal est au-delà de la gamme normale de pics et de creux de ce signal qui résulte de son caractère analogue à un bruit (réduit par le filtrage effectué par la voie de traitement de signal analogique). D'autres critères secondaires qui doivent aussi être remplis sont inclus de manière à éviter les fausses alarmes pour les transitoires de faible niveau. Chaque échantillon de signal nouveau est comparé avec la valeur de signal moyen pour les N échantillons antérieurs, où N est le nombre d'échantillons d'une "fenêtre de fonctionnement" utilisée pour traiter un niveau de signal moyen de fonctionnement. La figure 4 représente les échantillons, mis sous forme numérique du signal analogique traité et la fenêtre de "fonctionnement moyen". Classiquement N sera égal à 16. La présence d'une augmentation ou d'une diminution brutale dans le signal de vibration peut indiquer une variation brutale du bruit de coupe provenant d'une variation des conditions de coupe, et peut avoir son origine dans une rupture d'outil significative.

Le critère de persistance de décalage de niveau de la phase 2 consiste à continuellement comparer le niveau moyen du signal après déclenchement avec le niveau au moment du déclenchement. Lorsque le niveau moyen post-déclenchement, après détection d'une variation brutale de signal,

demeure à l'extérieur des limites d'acceptation d'amplitude pendant une période de confirmation minimum, un signal d'alarme de rupture d'outil est engendré. Les limites d'acceptation supérieure et inférieure 48 et 49, représentées en figure 3, sont typiquement 50% au-dessus et en-dessous du niveau moyen de signal de bruit de coupe. Ces limites sont fixées pour une coupe donnée, et sont choisies par l'utilisateur et peuvent être introduites dans le programme de pièces. Si, à un moment quelconque pendant la période de confirmation, un nombre minimum déterminé de signaux moyens post-déclenchement est accumulé à l'intérieur des limites d'acceptation d'amplitude, le transitoire brutal détecté est rejeté comme n'étant pas une rupture d'outil, et la commande revient à la phase 1. La figure 3 représente un déclenchement par un transitoire de signal dans le sens positif 43 qui n'est pas confirmé en A1. En A2 il y a un second déclenchement par un transitoire de signal dans le sens négatif qui est confirmé en B, et là un signal d'alarme de rupture d'outil est engendré.

Dans les figures 5 et 6 on a représenté deux autres types de signature de vibration dont les essais ont montré qu'ils pouvaient être associés à des ruptures d'outils significatives, dans lesquelles les signaux analysés sont les signaux de sortie unipolaires filtrés du système de signal analogique. Le système de détection de rupture d'outil perfectionné déclenche une alarme sur ces configurations de signaux de vibration ou d'autres qui remplissent les deux critères. Le signal de vibration traité représenté figure 5 comporte un court transitoire de signal dans le sens positif bien au-dessus du niveau moyen de signal antérieur, suivi par une chute prolongée du niveau moyen de signal. Les limites d'acceptation d'amplitude du signal post-déclenchement sont indiquées par les lignes en trait discontinu. Le transitoire de signal positif peut être l'émission acoustique provenant de la fissuration de la plaque rapportée, ou peut être dû à un coinçage momentané

d'un morceau brisé de la plaquette rapportée contre la pièce de travail. La chute prolongée du signal moyen est habituellement due à une diminution notable de la profondeur de coupe après qu'une partie de la plaquette rapportée ait été  
5 brisée. Le signal transitoire dans le sens positif correspond à la "suspicion de rupture" ou critère de détection de transitoire de la logique de l'ordinateur et la chute prolongée du niveau moyen de signal correspond à "suspicion confirmée" ou critère de test de persistance.

10 La signature de vibration de rupture d'outil de la figure 6 est caractérisée par une augmentation prolongée brutale du niveau moyen du signal. Cette augmentation peut être due au coinçage d'un morceau brisé de la plaquette rapportée entre ce qui reste de la plaquette et la pièce de  
15 travail, ou à la coupe effectuée avec un bord ébréché de la plaquette rapportée. L'impulsion acoustique émise lors de la fissuration est masquée par le niveau élevé de bruit de coupe anormal. La probabilité de détecter un signal de rupture d'outil est beaucoup plus faible lors des bruits de coupe  
20 élevés associés généralement avec la coupe par des outils céramiques à vitesse élevée de métaux durs tels que l'Inconel. L'élévation brutale du niveau du signal correspond à la "suspicion de rupture" et au critère de détection de transitoire, et le niveau de signal élevé prolongé correspond à "suspicion confirmée" et au critère de vérification de persistance.

Le système de détection de rupture d'outil perfectionné ne déclenche pas de signal d'alarme pour deux types signatures de vibration. Le premier a un court transitoire  
30 dans le sens positif suivi par un retour au niveau moyen de signal antérieur; les conditions de coupe ne sont pas affectées. Le deuxième a un transitoire dans le sens positif plus long suivi par un retour aux niveaux de signal antérieurs. Le transitoire peut être provoqué par la rupture d'un petit  
35 copeau de la plaquette rapportée et se coinçant momentanément contre la pièce de travail ; il est évacué avant que

des dégâts significatifs soient réalisés et ensuite les conditions de coupe ne sont pas affectées. Le critère de confirmation de persistance n'est pas atteint. Ainsi, on crée des obstacles aux signaux d'alarme non nécessaires lors de  
5 rupture d'outil insignifiante.

Les détecteurs de rupture d'outil qui contrôlent et interprètent le bruit de coupe pour déceler les variations provoquées par des ruptures d'outil peuvent être brouillés par des perturbations de bruit de coupe produites  
10 par des coupes initiales sur des surfaces rugueuses avec un bon outil. Ce système empêche la création de faux signaux d'alarme lors de telles coupes tout en permettant de donner l'alarme lors de ruptures d'outil importantes qui peuvent avoir lieu à tout moment, y compris pendant les tailles  
15 d'ébauche. Les tailles d'usinage initiales sur les surfaces rugueuses provenant d'opérations antérieures de fonte ou de forgeage sont caractérisées par des variations brutales de profondeur de coupe comportant des transitions air-métal-air. Ceci a son tour donne lieu à des variations  
20 brutales du niveau de bruit de coupe y compris des chutes jusqu'au niveau des bruits de déplacement. La prévention des fausses alarmes est nécessaire du fait du problème des décalages de niveau de bruit qui peuvent avoir lieu brutalement une ou plusieurs fois par révolution de la pièce de travail  
25 sous l'effet des discontinuités dans les tailles initiales des surfaces rugueuses. De telles transitions brutales présentent de nombreuses caractéristiques des signatures de rupture d'outil valables. Il n'est pas souhaitable de ne pas utiliser le détecteur de rupture d'outil lors de coupes  
30 d'ébauche, parce que les ruptures d'outil sont beaucoup plus fréquentes dans les conditions de coupe d'ébauche. Avoir une surveillance humaine pour vérifier les ruptures d'outil pendant la coupe d'ébauche n'est pas une solution intéressante dans de nombreux cas car certains programmes de pièces com-  
35 portent une coupe d'ébauche sur la plupart des coupes.

On empêche les fausses alarmes de discontinuité en

réglant la période de confirmation de décalage moyen persistant de la phase 2 pour qu'elle ait une durée supérieure à une période de révolution de la pièce de travail et en rejetant les décalages de niveau de signal qui ne durent pas au moins toute une révolution. La figure 7 représente un niveau de signal variant cycliquement tel qu'il peut être produit par des variations discontinues de la profondeur de coupe. Au point S, l'augmentation brutale déclenche une vérification de "suspicion" et maintient le signal moyen comme signal de référence. Le signal de vibration s'élève au-dessus de la limite supérieure acceptable, mais revient à sa valeur avant la fin de la période de confirmation de sorte que la "suspicion" est écartée au point D. La commande retourne à la phase 1 pour rechercher une autre augmentation ou diminution brutale de signal. Ceci se répète à chaque cycle parce que la période de confirmation dure un peu plus longtemps que la période de révolution de la broche. La figure 8 représente un résultat similaire obtenu lorsque la "suspicion" initiale a lieu au moment d'une diminution brutale du niveau du signal parce que la profondeur de coupe diminue. Le niveau du signal de vibration descend en dessous de la limite d'amplitude acceptable la plus faible mais retrouve sa valeur initiale avant la fin de la période de confirmation. On écarte le signal de déclenchement en D. Le système déclenche un signal d'alarme pour des ruptures d'outil significatives lorsque les variations brutales du niveau du signal soit vers le haut soit vers le bas persistent pendant une durée supérieure à la période de confirmation.

L'invention peut être mise en oeuvre avec des paramètres choisis par l'utilisateur pour régler la sensibilité du système de détection de rupture d'outil de manière à correspondre aux différents besoins des différentes opérations d'usinage. Par exemple, lors de coupes d'ébauches l'utilisateur peut ne pas souhaiter arrêter une coupe pour une rupture d'outil qui change la profondeur de coupe d'une quantité notable mais pas suffisamment pour mettre en danger

- le porte-outil, tandis que lors de coupe de finition, il peut souhaiter arrêter la coupe pour une rupture d'outil qui provoque seulement une petite variation de profondeur de coupe. Puisqu'il y a une corrélation grossière entre la variation de profondeur de coupe et la variation du niveau du signal de bruit de coupe, l'utilisateur peut souhaiter régler les limites d'acceptation de décalage de niveau (48 et 49 de la figure 5) plus proches l'une de l'autre pour les coupes de finition que pour les coupes d'ébauche.
- 10 Dans un deuxième exemple, on peut régler la période de confirmation pour qu'elle ait une durée suffisante pour empêcher les fausses alarmes de discontinuité lors de la plus petite vitesse de broche utilisée pour une coupe quelconque. Cependant une période de confirmation trop longue peut augmenter la probabilité d'écarter une rupture d'outil véritable due au fait que le siège de l'outil entre en contact avec la pièce de travail et augmente le niveau de bruit de coupe après qu'il ait été affaibli par l'enlèvement d'une partie de la plaquette rapportée. L'utilisateur peut
- 15 diminuer la probabilité d'un tel rejet de rupture d'outil en réglant la période de confirmation pour qu'elle soit plus courte lorsque les conditions de coupe ne comportent pas de discontinuités ou lorsque la vitesse de broche est élevée.
- 20 Avec l'accent mis sur le contrôle des variations du bruit de coupe lui-même plutôt que sur la simple détection du signal acoustique de rupture d'outil, le système perfectionné de la présente invention est philosophiquement plus proche des schémas qui contrôlent les variations des forces ou de la puissance d'usinage qu'il ne l'est de tout
- 25 autre système acoustique de détection de rupture connu. Il s'adresse à certains des problèmes spécifiques associés à la détection de rupture d'outil dans des opérations d'usinage utilisant des plaquettes rapportées en céramique à vitesse élevée. Il est facilement intégré au détecteur acoustique de
- 30 contact d'outil de la demande française n° 85 12627 dans un système combiné de détection de contact de rupture d'outil

5 dans lequel le détecteur et le traitement du signal analogique sont pratiquement les mêmes et où la différence fondamentale se trouve dans la manière dont les échantillons de signaux numériques sont analysés et dans la nature de la logique d'identification de formes. On peut utiliser le détecteur acoustique perfectionné de rupture d'outil avec un système automatique de changement d'outil, et comme un produit en lui-même ou comme une option dans une commande numérique de machine-outil.

REVENDECATIONS

1. Système de détection de rupture d'outil de coupe lors de l'usinage d'une pièce de travail, caractérisé en ce qu'il comprend :

- 5           un détecteur de vibration (21, 23, 33, 35) à bande large qui engendre un signal électrique représentant les vibrations à l'interface outil-pièce ;
- un préprocesseur analogique (38) comportant des moyens de discrimination par rapport au bruit basse fréquence de la machine et de détection de l'énergie du signal dans  
10       une bande de fréquence acoustique inférieure à 100 kHz ;
- des moyens (39, 40) pour échantillonner le signal de sortie unipolaire du préprocesseur analogique et pour convertir chaque échantillon en une valeur numérique ; et
- 15       un circuit numérique (41) d'identification des formes pour détecter des modifications des conditions de coupe dues à une rupture d'outil qui peuvent provoquer des dégâts, comportant des moyens (45) pour calculer le niveau de signal moyen de fonctionnement d'un nombre choisi  
20       d'échantillons, des moyens pour comparer chaque échantillon avec le signal moyen de fonctionnement pour rechercher une augmentation ou une diminution transitoire brutale du niveau du signal échantillonné provenant d'une variation notable du bruit de coupe, et des moyens (46, 47) pour comparer le niveau  
25       du signal moyen après détection d'une variation brutale avec le niveau du signal avant détection et engendrer un signal d'alarme de rupture d'outil lorsque le décalage dans le signal moyen persiste pendant une période de confirmation minimum.

- 30       2. Système selon la revendication 1 caractérisé en ce que le détecteur de vibration est un accéléromètre (36) qui a une fréquence de résonance au-dessus de 30 kHz.

3. Système selon la revendication 2 caractérisé en ce que le préprocesseur analogique (38) est constitué par un  
35       filtre passe-haut (37), un redresseur et un filtre passe-bas réalisant un filtrage des ambiguïtés aux vitesses d'échan-

tillonnage du signal du moyen d'échantillonnage (39).

4. Système selon la revendication 3 caractérisé en ce que la fréquence de coupure du filtre passe-bas est inférieure à 500 Hz.

5 5. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que les derniers moyens mentionnés comparent chaque nouvel échantillon de signal avec des limites d'acceptation d'amplitude (48, 49) et rejette une variation brutale détectée du niveau du signal comme non rupture d'outil lorsqu'un  
10 nombre donné d'échantillons de signal se trouve à l'intérieur des limites d'acceptation.

6. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que la période de confirmation a une durée plus longue que la période de révolution de la pièce de travail pour empêcher les fausses alarmes pendant une coupe d'ébauche.  
15

7. Système de détection de rupture d'outil de coupe lors de l'usinage d'une pièce de travail caractérisé en ce qu'il comprend :

20 un accéléromètre à bande large (36) qui est le plus sensible pour les fréquences autour d'une fréquence de résonance et qui est situé sur une machine-outil pour détecter les vibrations à l'interface outil-pièce et qui convertit ces vibrations ainsi que d'autres en un signal électrique;

25 un moyen analogique de traitement de signal comportant un moyen de filtrage passe-haut (37) de signal de vibration pour effectuer une discrimination par rapport au bruit basse fréquence de la machine, et un moyen (38) pour redresser et filtrer en passe-bas ce signal pour détecter  
30 l'énergie du signal dans cette bande de fréquence acoustique comprise entre 30 kHz et 100 kHz ;

des moyens (39, 40) d'échantillonnage du signal de sortie unipolaire du moyen de traitement analogique et de conversion de chaque échantillon sous forme numérique ; et  
35 un circuit numérique (41) d'identification de formes pour détecter des variations du bruit de coupe dues à des ruptu-

res d'outil qui peuvent endommager la pièce de travail ou la machine-outil ;

le circuit numérique (41) comportant des moyens de calcul du niveau du signal moyen de fonctionnement d'un nombre choisi d'échantillons, un détecteur de transitoire (45) pour comparer chaque nouvel échantillon avec le signal moyen de fonctionnement et déceler augmentations et des diminutions brutales dans le niveau du signal qui peuvent être le résultat d'une telle rupture d'outil, et des moyens (46, 47) pour vérifier l'existence d'un décalage persistant dans le niveau moyen du signal qui demeure à l'extérieur des limites d'acceptation d'amplitude pendant une période de confirmation prédéterminée après déclenchement par le détecteur de transitoire et pour engendrer un signal d'alarme de rupture d'outil.

8. Système selon la revendication 6 caractérisé en ce que les derniers moyens mentionnés (46) renvoient le signal de commande vers le détecteur de transitoire (45) après échec de l'essai de persistance de décalage moyen.

9. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que chaque nouvel échantillon après le déclenchement et la détection d'une variation brutale du niveau du signal est comparé avec le niveau de signal moyen au moment du déclenchement.

10. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que la période de confirmation a une durée supérieure à la période de révolution de la broche de la machine-outil pour empêcher les fausses alarmes lors de passes alternées dans le métal et à l'air sur des surfaces rugueuses de pièce de travail.

11. Procédé de détection de rupture d'outil capable d'endommager la pièce de travail ou une machine-outil caractérisé en ce qu'il consiste à :

détecter les vibrations à l'interface outil-pièce et convertir ces vibrations ainsi que d'autres vibrations de la machine-outil en un signal électrique ;

effectuer un prétraitement du signal de vibration pour réaliser une discrimination contre le bruit basse fréquence de la machine, redresser et filtrer avec un filtre passe-bas ce signal pour détecter l'énergie de signal dans  
5 une bande de fréquence acoustique inférieure à 100 kHz ;

échantillonner le signal de vibration traité et convertir chaque échantillon sous forme numérique ; et

analyser les échantillons de signal en seulement deux phases principales pour détecter les modifications des  
10 conditions de coupe dues à des ruptures d'outil capables de provoquer des dégâts, la première phase comportant la détection d'une augmentation ou d'une diminution brutale du niveau du signal qui peut être une variation du bruit de coupe par comparaison de chaque échantillon avec le niveau moyen  
15 de signal de fonctionnement de N échantillons antérieurs, la deuxième phase comportant la vérification d'un décalage dans le bruit de coupe qui persiste pendant une période de confirmation minimum en comparant continuellement le niveau moyen du signal à des limites d'acceptation d'amplitude, et  
20 en générant un signal d'alarme de rupture d'outil lorsque ce niveau est à l'extérieur des limites, sinon autrement en rejetant et en renvoyant le signal de commande vers la première phase.

12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé  
25 en ce que la période de confirmation a une durée supérieure à la période de révolution de la broche de la machine-outil pour empêcher les fausses alarmes dues aux discontinuités.

30

35





FIG. 4

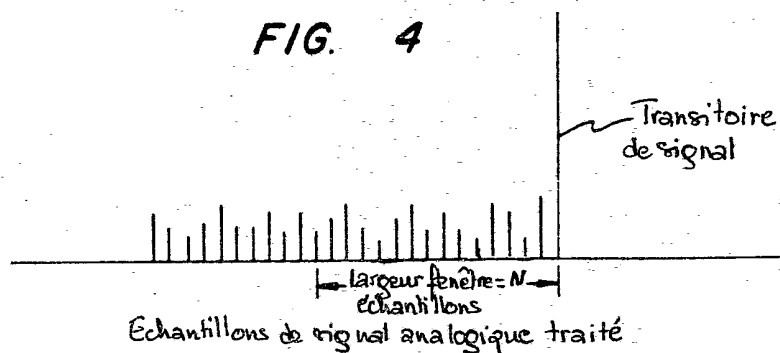


FIG. 5

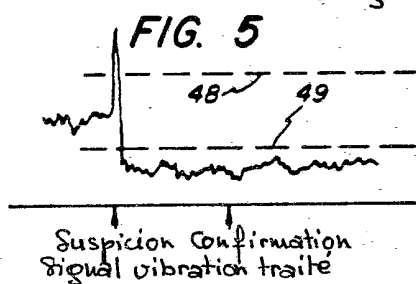


FIG. 6

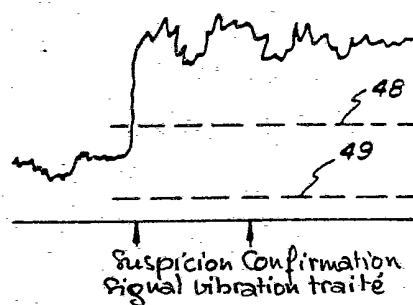


FIG. 7

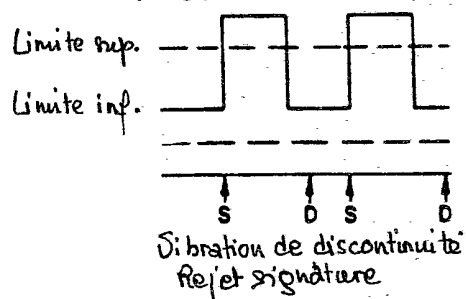


FIG. 8

