Vers l'évaluation des dispersions d'usinage en tournage pour la caractérisation d'une MOCN

Valéry Wolff, Arnaud Lefebvre

▶ **To cite this version:**

Valéry Wolff, Arnaud Lefebvre. Vers l'évaluation des dispersions d'usinage en tournage pour la caractérisation d'une MOCN. TEHNOMUS XIV NEW TECHNOLOGIES AND PRODUCTS IN MACHINES MANUFACTURING AND TECHNOLOGIES, May 2007, SUCEAVA, Roumanie. p.15 - 22. hal-00344394

HAL Id: hal-00344394
https://hal.science/hal-00344394

Submitted on 5 Dec 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

VERS L'ÉVALUATION DES DISPERSIONS D'USINAGE EN TOURNAGE POUR LA CARACTÉRISATION D'UNE MOCN

Valéry Wolff - Université Claude Bernard Lyon 1- IUTB – Dpt Génie Mécanique et Productique - France - valery.wolff@iutb.univ-lyon1.fr
Arnaud Lefebvre - Université Claude Bernard Lyon 1 - Laboratoire LIESP - IUTB – Dpt Génie Mécanique et Productique - France - arnaud.lefebvre@iutb.univ-lyon1.fr

RESUME :

Pour maîtriser et optimiser le couple produit/processus, les entreprises manufacturières s'orientent de plus en plus vers la mise en place d'outils de simulation. Dans ce contexte, nous considérons la simulation d'usinage qui a pour objectif de simuler par anticipation les opérations et de prendre en compte les dispersions d'usinage afin de vérifier si les intervalles de tolérances fabriquées seront conformes aux spécifications du produit. Dans cet article, nous proposons d'étendre le modèle de simulation des dispersions en tournage basé sur la caractérisation et la prise en compte des défauts géométriques pour intégrer les paramètres relatifs aux conditions de coupe et à la nature du matériau. Cette étude, basée sur les plans d'expérience a également pour objectif de déterminerl'influence des paramètres de coupe sur les dispersions d'usinage.

MOTS-CLÉS :
Dispersions d'usinage, défauts géométriques, simulation, plans d'expériences

I. Introduction

La méthode de simulation d'usinage présentée ici permet la caractérisation des dispersions de machines outils à commande numérique. Elle s'applique aux pièces de révolution obtenues en tournage. Notre méthode, initialement développée par WOLFF [6] est basée sur la méthode des ΔL [2]. Elle permet la prise en compte de la cotation ISO tridimensionnelle lors du processus de fabrication.
L'intégration au modèle précédent de paramètres relatifs aux conditions de coupe et à la nature du matériau – paramètres invariants dans le modèle initial - permet d'enrichir le modèle de simulation des dispersions d'usinage. La mise en œuvre expérimentale de la méthode appliquée à la caractérisation d'une machine existante et l'utilisation des plans d'expériences permet d'affiner le modèle de simulation des dispersions. Il est possible d'évaluer de manière qualitative et quantitative les paramètres influant sur les dispersions d'usinage en tournage.

II. Méthode de caractérisation des dispersions

1. Modèle géométrique proposé

Le modèle géométrique qui accompagne l'évolution du produit de la conception à la fabrication doit permettre un suivi de la géométrie de la pièce à travers la simulation d'usinage [5].

a) Extension de la méthode ΔL (ΔL généralisée)

Il s'agit de réaliser un traitement systématique de la cotation (dimensions, forme, orientation,

position) en s'appuyant sur les principes de la méthode des ΔL. Dans son développement initial, cette méthode s'applique à l'étude des cotes dans une seule direction. Pour les pièces de tournage, alors que le défaut de coaxialité est souvent considéré aussi bien en conception qu'en fabrication, il est alors difficilement pris en compte.
Pour des pièces axisymétriques, le nombre de paramètres nécessaires à une description géométrique complète a été fixé à 5. A chaque paramètre P est associé une valeur de dispersion ΔP.
Pour la prise en compte des tolérances des cotes axiales et radiales et des dispersions d'usinage correspondantes, nous utilisons la méthode classique des ΔL sur les axes X radial et Z axial. Les dispersions correspondantes sont alors désignés par ΔZ_u, ΔR_u pour les surfaces usinées et par ΔZ_r pour la surface posée. La prise en compte des spécifications de cotation GPS sur les orientations et sur les positions entraîne l'utilisation de nouveaux paramètres notés $\Delta\alpha$ et ΔO. L'ensemble est illustré par la figure 1.
$\Delta\alpha$ représente le défaut angulaire de reprise de pièce dans les mors en tournage. ΔO est le défaut de concentricité localisé au niveau du plan d'appui au fond des mors entre l'axe de la surface de référence et l'axe de rotation de la broche.

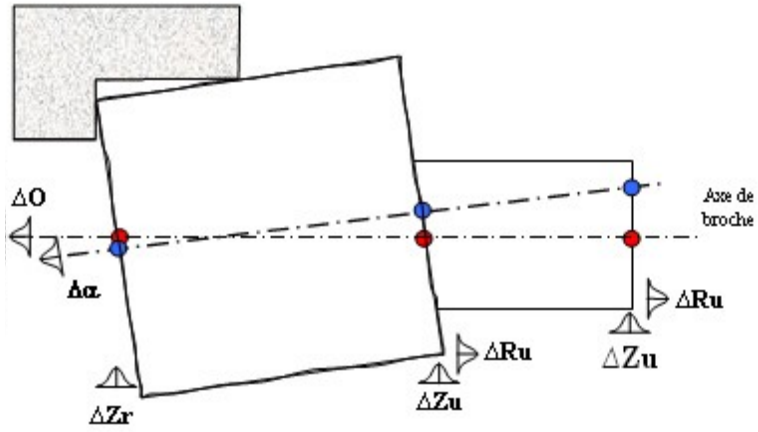

Figure 1 : les dispersions d'usinage en tournage

b) Défauts géométriques et simulation d'usinage

Les normes ISO de cotation [1] proposent un langage complet pour les mécaniciens. Elles sont aujourd'hui très répandues parmi les industriels. Le modèle géométrique de dispersion en simulation d'usinage présenté ici a été construit pour prendre en compte ces spécifications. Les différentes spécifications géométriques des normes GPS (coaxialité, perpendicularité, parallélisme, …) ont été reliées aux dispersions élémentaires ΔP_i et les calculs pour relier les paramètres du modèle aux spécifications ISO ont été définis.
Par exemple, dans le cas de la coaxialité :

$$(Dispersion)_j = F(L\ ,\ \Delta Z_r\ ,\ \Delta O,\ \Delta\alpha\ )_j \qquad (1)$$

où la longueur *L* caractérise la géométrie de la pièce et où l'indice *j* défini l'étape dans la gamme de fabrication.

2. Mise en œuvre expérimentale pour quantifier les dispersions en tournage [6]

La mise en œuvre initiale de la démarche de qualification d'un procédé de tournage est limitée à :

- la caractérisation d'une machine unique (tour HES300)
- la caractérisation de 3 prises de pièces différentes (jeux de mors différents)
- un ensemble de conditions de fabrication figées (outils et conditions de coupes)

Pour les essais, le choix s'est porté sur une géométrie de pièce simple présenté par la figure 2 (3 plans et 2 cylindres) qui permette de déterminer l'ensemble des dispersions ΔP du modèle proposé.

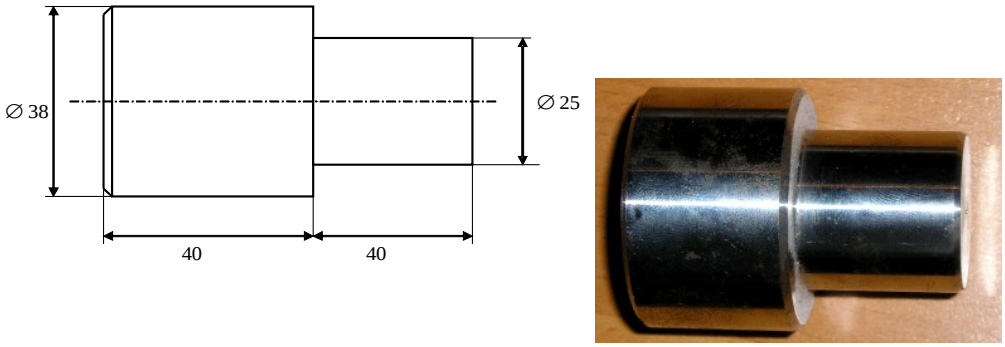

Figure 2 : Pièce d'essai (acier A60) pour la caractérisation d'un tour CN

Cette pièce est usinée en trois phases, dont deux sur machine à commande numérique. La première phase est réalisée sur un tour parallèle classique. Elle consiste à préparer la prise de mors. Ensuite, sur un tour CN (HES300), on réalise l'épaulement de diamètre 38, puis après retournement de la pièce, l'épaulement de diamètre 25.
Les dispersions calculées pour la machine HES300 à partir d'un premier lot de pièces ont été utilisées ensuite pour valider le modèle proposé. La gamme de fabrication d'une pièce nouvelle a été simulée par la méthode proposée et les tolérances ainsi calculées ont été confrontées aux mesures réelles obtenues sur deux séries de 15 pièces fabriquées. Les résultats ont permis de confirmer la validité du modèle pour le suivi du tolérancement, tant dimensionnel que géométrique.

III. Extension du modèle

1. Prise en compte des modifications dans la gamme de fabrication

Le modèle initial permet des prévisions intéressantes : les calculs des tolérances sur les cotes fabriquées sont conduits à partir des valeurs des dispersions fournies en entrée. Dans la pratique, ces valeurs changent dans le temps pour diverses raisons (évolution des pièces produites, de l'offre des fournisseurs d'outils etc.). Il est donc nécessaire d'évaluer la réponse du modèle au regard de ces variations. Pour cela, nous proposons d'étendre le domaine d'utilisation du modèle par la prise en compte des modifications de certains paramètres de la gamme de fabrication, susceptibles d'entraîner des variations de dispersions. La méthode des plans d'expériences basée sur 5 paramètres à 2 modalités est ici exploitée pour quantifier l'influence de ces modifications sur les dispersions. [4][3]

a) Définition des paramètres d'entrée

Sur la base des moyens disponibles et de notre expertise en tournage, 5 paramètres d'entrée ont été définis. Quatre paramètres sont relatifs au procédé et un paramètre à la pièce usinée. La liste des paramètres et leurs modalités associées est présentée tableau 1.

Paramètre		**type**	**Modalités**	
nuance plaquette	A	discret	P15	P35
géométrie R_ε	B	discret	0.4	0.8
vitesse de coupe Vc	C	continu	150	280
Matériau	D	discret	A60	XC38
avance f	E	continu	0.1	0.3

Tableau 1: modalités des facteurs

A rayon de bec identique, les nuances P15 et P35 initialement destinées à des applications différentes (ébauche ou finition) présentent des géométries de brise copeaux différentes. Ces variations sont prises en considération pour cette étude et dans la suite, elles seront identifiées par la seule valeur du rayon de bec R_ε.
Certaines interactions particulières sont aussi prises en compte dans la construction du plan. Celles-ci sont choisies par expertise et consignées dans le tableau 2.

Interactions à prendre en compte	
nuance plaquette – vitesse de coupe	AC
matériau - avance	DE
vitesse de coupe - matériau	CD
nuance - avance	AE

Tableau 2: interactions entre paramètres

b) Particularités du modèle proposé

Conformément à la méthode de calcul des dispersions en tournage, pour la dispersion axiale ΔZu, 2 valeurs ΔZ_{u1} et ΔZ_{u2} respectivement associées aux surfaces 1 et 2 ont été considérées. Elles sont mesurables sur la pièce test. Elles correspondent chacune à des surfaces obtenues par 2 arêtes différentes lors de l'usinage (voir figure 3) : en dressage, suivant la direction standard pour Z_{u1} (de l'extérieur de la pièce vers l'axe de la broche) et en chariotage (en remontant) pour Z_{u2} (de l'axe vers l'extérieur).

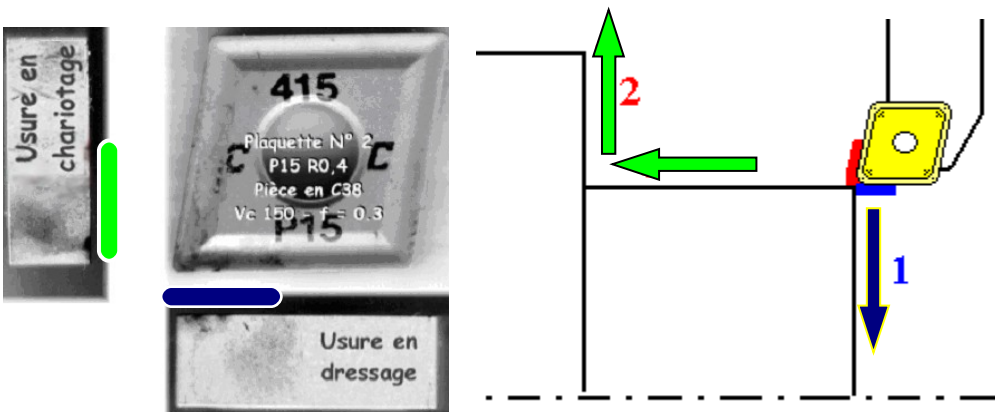

Figure 3 : Zones d'usure en dressage et en chariotage

Il existe sur la pièce test le diamètre mesurable 25 et le diamètre mesurable 38 pour caractériser le défaut ΔR_u. Nous avons effectué les mesures sur ces deux diamètres et nous avons observé une similitude d'évolution des défauts en fonction des combinaisons réalisées comme le montre la figure 4.

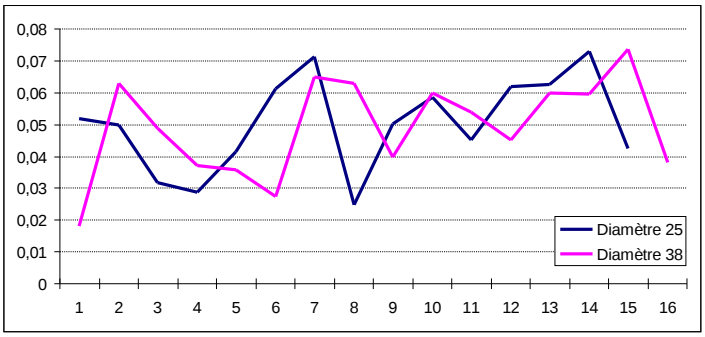

Figure 4 : évolution du défaut ΔR sur les diamètres 25 et 38

Pour conserver une homogénéité sur le nombre de mesures servant aux calculs statistiques, nous avons seulement conservé le paramètre de dispersion ΔR_{u_25} correspondant au diamètre 25.

2. Plan d'expériences

a) Choix du plan

Le nombre d'essais doit être supérieur au nombre d'inconnues du modèle N_{ddl} soit 10. Par conséquent, la table $L_{16}(2^{15})$ a été choisie.

b) Mesure et évaluation des réponses

Les réponses obtenues par mesurage permettent de calculer les dispersions ΔO, $\Delta\alpha$, ΔR_u, ΔZ_r et ΔZ_u en mm. Les dispersions sont liées aux écarts types des réponses obtenues. Un échantillon réduit de cinq pièces est suffisant. Le plan sera donc de type $L_{16}(2^{15})$ répété 5 fois.
Les paramètres nécessaires aux calculs des différentes dispersions (rayon, points particuliers etc.) sont mesurés directement sur les pièces à l'aide d'une machine à mesurer tridimensionnelle. Ils constituent en quelque sorte des réponses intermédiaires. Chaque lot de 5 pièces permet de calculer à partir des mesures effectuées l'écart type de chacune des réponses ΔZ_r, ΔO, $\Delta\alpha$, ΔR_{u_25}, ΔZ_{u1} et ΔZ_{u2}. Le plan d'expériences fournit donc 16 valeurs pour chaque réponse étudiée.

IV. Analyse des résultats

Pour interpréter les résultats, nous avons considéré 3 catégories de dispersions : la dispersion de remise en position ΔO, les dispersions axiales ΔZ_{u1} et ΔZ_{u2} et les dispersions radiales ΔR_{u_25}.

1. Dispersions de remise en position

ΔO représente la dispersion de reprise en concentricité. Selon le modèle statistique issu du plan d'expériences, la dispersion de reprise peut s'écrire $\Delta O = f(avance)$. Statistiquement, ΔZ_r et $\Delta\alpha$ ne dépendent d'aucun paramètre d'entrée choisi.

2. Dispersions axiales ΔZ_{u1} et ΔZ_{u2}

Dans le premier cas, en dressage, l'arête qui génère la surface subit des variations de vitesse de coupe au-delà de la plage de variation compatible avec la nuance. En effet, la fonction *vitesse de*

coupe constante asservit la vitesse de rotation à la position radiale de l'outil. Elle atteint ses limites en fonction des capacités de la machine utilisée c'est-à-dire la vitesse maximale disponible pour la broche. En dessous du diamètre limite, la vitesse de coupe diminue jusqu'à tendre vers 0 au voisinage de l'axe comme le montre la figure 5.

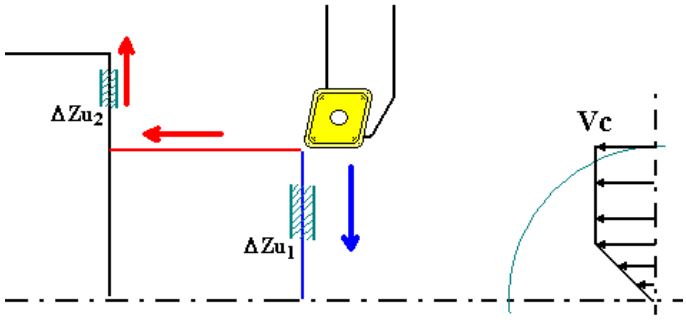

Figure 5 : influence de la vitesse de coupe sur les dispersions axiales

L'utilisation d'une vitesse de coupe insuffisante entraîne une accélération des phénomènes d'usure et donc une variation des dispersions observées.

Pour cette dispersion, statistiquement, on peut écrire ΔZ_{u1} = *f(vitesse de coupe)*.

Dans le second cas, en remontant, les conditions de coupe sont maintenues au cours de l'usinage. Il n'y a pas de paramètre parmi ceux choisis en entrée statistiquement influent sur ΔZ_{u2}. Seule l'interaction matériau - avance a une influence statistique sur la dispersion. Des essais complémentaires seront nécessaires afin de valider l'influence de cette interaction.

3. Dispersions radiales ΔR_{u_25}

Le cas traité concerne la dispersion observée pour ΔR_{u_25}.

Le rayon de bec est le seul paramètre indépendant statistiquement significatif. Ce paramètre représente la géométrie effective du bec de l'outil. Les interactions matériau - vitesse de coupe et matériau - avance apparaissent également influentes sur la réponse ΔR_{u_25}. Elles sont composées des paramètres matériau, vitesse de coupe et avance qui participent à l'évolution des efforts de coupe et de la puissance consommée par la coupe.

Le rayon de bec de l'outil associé à la géométrie du brise copeaux caractérise plus complètement l'outil. Seul le rayon de bec est un paramètre identifiable, ce qui n'exclue pas pour autant l'influence de la géométrie du brise copeaux sur la direction et sur la valeur des efforts de coupe.

Pour les dispersions radiales, on peut écrire :

$$\Delta R_{u_25} = F(R_\varepsilon, \text{matériau - avance, matériau - vitesse de coupe}) \quad (2)$$

4. Conclusion sur les dispersions

La campagne d'essais a confirmé l'essentiel des hypothèses prises lors de l'élaboration du premier

modèle. Les dispersions de remise en position $\Delta\alpha$ et ΔZ_r sont indépendantes des paramètres d'entrée que nous avons fait variés. Cette conclusion permet de valider les hypothèses de départ.
Les essais ont permis de mettre à jour des paramètres influents sur certaines dispersions. Les analyses relatives aux dispersions axiales ΔZ_{u1} et ΔZ_{u2} et aux dispersions radiales ΔR_{u_25} ont montré en plus l'influence non négligeable du type d'usinage (dressage jusqu'à l'axe ou non) et l'influence de la géométrie du bec de l'outil sur les dispersions radiales.

V. Conclusion

L'objectif de cet article est de montrer l'influence de paramètres lié au procédé sur la variation des dispersions d'usinage en tournage. La méthode des plans d'expérience a bien mis en évidence l'influence statistique des paramètres liés au procédé.
La prise en compte de l'influence de ces paramètres permet d'enrichir le modèle de simulation des dispersions d'usinage en tournage. R_ε est le plus influent d'entre eux. Ce sont ensuite les couples matière - vitesse de coupe et matière – avance qui influent préférentiellement sur les dispersions d'usinage et donc sur les cotes fabriquées.
Les perspectives de ce travail s'orientent vers l'application des modifications (prise en compte du type d'usinage et de la géométrie de l'outil) en terme de dispersions, pour une simulation de gamme comportant plusieurs opérations élémentaires en tournage. Une autre perspective concernerait l'extension du modèle à d'autres procédés (par exemple l' UGV) et son intégration dans un système global de CFAO.

Bibliographie

[1] Anselmetti B, « *Cotation de fabrication et métrologie* », Editions Hermes, Vol 3, 2003

[2] Bourdet P, « Chaînes de cotes de fabrication » , ITET L'ingénieur et le technicien de l'enseignement technique, Déc. 1973

[3] Lefebvre A, Renaud J, Sabourin L, Gogu G, « *Formalisation des savoir-faire métier pour la conception des gammes de fabrication série. Application à l'usinage des culasses.* », Renault, Projet IAO-DM, 4ème congrès international de Génie Industriel, GI 2001, Vol 1, Aix Marseille, 12-15 juin 2001, pp. 141-151

[4] Pillet M, Regnier G, « *Les plans d'expériences : outil de la démarche expérimentale.*» , Institut pour la promotion des sciences de l'ingénieur, Paris, 1995

[5] Schneider F, Martin P, « Réglage optimal des machines outils », Technologie et Formation, n° 86, pp. 56-59, 1999

[6] Wolff V, « *Le suivi de la cotation des pièces fabriquées pour la conception coopérante en mécanique* » , Thèse de Doctorat , INSA Lyon , 2000

[7] Wolff V, Lefebvre A, Renaud J, « Maps of dispersions for machining processes », CERA Vol 14, ISSN 1063 293X, pp. 129-139, Juin 2006