

Analyse de l'influence d'une fraise de différentes de dents sur la qualité de l'état de surface d'une pièce usinée par fraisage

B. Bloul^{1,a}, M.Gaceb¹, R.Harhout¹, B.Aour²

¹ Reliability laboratory of petroleum equipment & materials- Boumerdes, Algeria. Email: benattia69@gmail.com

²Laboratory of applied biomechanics and biomaterials, ENP Oran, PB1523 El'Mnaour 31000, Oran, Algeria.

Résumé

Cet étude permet d'analyser l'influence du nombre de dents de la fraise en bout sur l'état de surface, elle est précieuse en termes de fourniture de pièce de haute précision et l'usinage efficace afin de donner une nouvelle approche de l'amélioration de la qualité la surface d'une pièce en acier par le procédé de fraisage. La rugosité de surface est particulièrement sensible à la vitesse d'avance, aux faux-rond de dent, au rayon de bec et au nombre de dents de la fraise dans une opération de fraisage en bout. Cet article analyse et compare de l'état de surface entre l'usinage au moyen d'une fraise de 6 dents et 12 dents en gardant les mêmes conditions de coupe. L'étude comparative géométrique est la précision dimensionnelle dans une opération de fraisage en utilisant un modèle de rugosité de surface. Cette approche examine également les caractéristiques de la topographie de la surface dans l'usinage de finition à l'aide de fraise ainsi que les paramètres physiques et statistiques de la rugosité. L'enquête est menée par des tests de simulation sur ordinateur en exploitant des outils de calcul pour l'usinage stable, avec les rayons d'immersion faibles. La simulation montre que la rugosité de l'état de surface est influencée inversement au nombre de dents de la fraise.

Mots clés: Modèle de Surface / Fraisage en bout/ Rugosité/ Simulation /Machine outil.

1. Introduction

La qualité des pièces mécaniques usinées est généralement déterminée par les erreurs de forme et le degré de finition de la surface produite par le processus de fabrication [13]. L'état de surface joue un rôle important dans la résistance à l'usure, et à la fatigue des pièces usinées et il ne doit pas être négligé durant la phase de conception [14,15]. Une surface usinée est le résultat de la reproduction géométrique et cinématique de la forme et de la trajectoire de la pointe de l'outil [16]. Dans la pratique actuelle, il y a beaucoup de facteurs tels que la matière, les conditions de coupe, la géométrie de l'outil, les vibrations, qui influent sur la formation du copeau et la rugosité de la surface usinée [17,18]. La qualité des états de surface est l'un des aspects les plus pertinents des opérations d'usinage, puisqu'elle représente la phase finale dans le cycle de production pour l'amélioration du degré de finition des surfaces et les propriétés dimensionnelles et géométriques des pièces mécaniques. Les technologies de fabrication de pointe telles que les systèmes de fabrication intégrés 'IMS' et des systèmes d'usinage sans pilote nécessitent l'utilisation de modèles de processus de coupe précis. La force de coupe ou les modèles de rugosité de surface sont largement utilisés pour prédire la force de coupe et la rugosité de surface [13-14-16].

Jusqu'à présent, la plupart des modèles de rugosité de surface développés ont été utilisés pour la prédiction de la texture de la surface et l'analyse quantitative de la surface usinée. Cependant, en général, les erreurs de faux-rond dans un corps de coupe ne peuvent être évitées dans une opération de fraisage et elles affectent quantitativement l'analyse de la force de coupe et la rugosité de surface. [2]

2. Problématique

L'aspect d'une surface usinée en fraisage en bout est caractérisé par une série de courbes sécantes appelées cycloïdes correspondant à la trace laissée par les dents de la fraise sur la pièce. Lors de l'usinage, l'axe de la fraise est perpendiculaire à la surface usinée. Nous prenons deux nombres de dents de la fraise pour optimiser la qualité de l'état de surface et plus pour diminuer la charge appliquée sur la machine outil. En effet, nous remarquons que les signatures de la fraise sur l'état de surface sont changées pendant l'usinage. Est-ce que les caractéristiques physiques et statistiques de la rugosité augmentent, diminuent, ou bien restent en constant, si l'on prend un plus petit le nombre de dents de la fraise?

3. Modèle de rugosité de surface

Lors la conception de l'algorithme, les paramètres pris en compte et qui sont considérés comme entrées sont :

La vitesse de coupe v_c , la vitesse d'avance de la pièce v_a , Le rayon du bec de l'outil r_e , le faux-rond de bec de la fraise selon les axes ox et oz suivant ϵ_r, ϵ_a . Les sorties doivent être les coordonnées x_i, z_i de chaque point m_i de la surface usinée. Une série de simulations a été effectuée pour évaluer les performances du modèle développé utilisé et la validation de résultats. Par ces simulations on s'intéresse principalement à la rugosité théorique (défaut de troisième ordre), qui est excitée principalement sur les deux paramètres essentiels: La géométrie de l'outil de coupe, l'avance de l'outil, le nombre de dents de la fraise. La simulation est faite en trois étapes:

- La génération d'un fichier de points avec l'utilisation d'un programme. Ces points représentant les coordonnées x_i, z_i des points m_i appartenant à la surface usinée.
- Les points générés sont introduits à l'Excel de génération des surfaces. Pour reproduire la figure correspondante. Cette dernière, représente l'image virtuelle de la surface obtenue par l'opération de surfaçage en deux dimensions.
- Les calculs des paramètres de la rugosité physiques et statistiques afin de comparer les deux résultats obtenus.

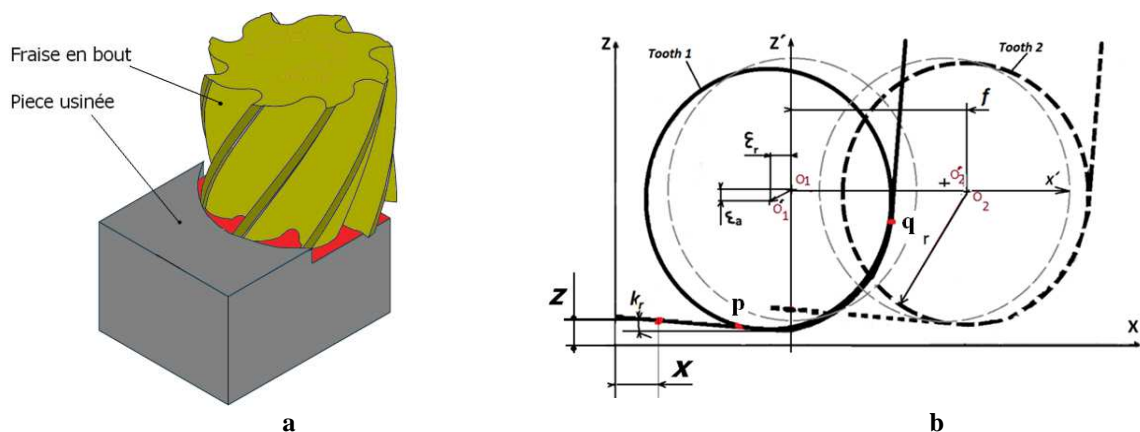


Fig.1 a) Usinage une pièce par un fraise en bout b) Relation géométrique entre le profil d'insertion et faux-rond

3.1. Mise en équation

La valeur de chaque graduation si le déplacement total est égal au tour de la fraise (voir la figure 1):

$$\Delta x = \frac{z_c \cdot f}{n} \quad (1)$$

On estime la valeur instantanée de la longueur de trajet de la fraise suivant l'axe x si l'on prend nombre entier de déplacement égal à j alors :

$$x(i, j) = \Delta x \cdot j \quad (2)$$

D'un autre coté, on détermine les coordonnées de point p (voir la figure 1) :

$$\Delta x \cdot p = 0.5 - r \cdot \cos(\gamma) - \varepsilon_r(i) \quad (3)$$

$$p = \frac{0.5 - r \cdot \cos(\gamma) - \varepsilon_r(i)}{\Delta x} \quad (4)$$

$$X_p = \frac{z_c \cdot f}{n} \cdot p \quad (5)$$

$$Z_p = \frac{r(1 - \sin(\gamma)) - \varepsilon_r(i)}{n} \quad (6)$$

Maintenant on calcule les coordonnées de point q:

$$\Delta x \cdot q = 0.5 + r \cdot \sin(\gamma) - \varepsilon_r(i) \quad (7)$$

$$q = \frac{0.5 + r \cdot \sin(\gamma) - \varepsilon_r(i)}{\Delta x} \quad (8)$$

$$X_q = \frac{z_c \cdot f}{n} \cdot q \quad (9)$$

$$Z_q = r(1 - \cos(\gamma)) - \varepsilon_a(i) \quad (10)$$

On donne l'équation de cercle de bec de la dent de fraise qui est limitée par les points p et q :

$$Z_{pq}(i, j) = \sqrt{r^2 - \{x(i, j) + \varepsilon_r(i)\}^2} - \varepsilon_a(i) + r \quad p \leq j < q \quad (11)$$

3.2. Tableaux de données de simulation

En prenant les valeurs de spécification de l'expérimental simulé, les conditions de coupe, les dimensions géométriques, l'angle de coupe et l'angle de direction principale $\gamma=18^\circ$, $k=45^\circ$ voir les tableaux ci-dessous.

1. Tableau de conditions de coupe

Vitesse		Nbre de dents de la fraise	Rayon de bec de l'outil	Diamètre de la fraise
Avance	coupe	6 dents	0.4 mm	100mm
0.03 mm/dent	50 m/min	12 dents	0.4 mm	100mm
0.03 mm/dent	50 m/min			

2. Tableau des valeurs de faux-rond radial et axial de dents de la fraise de 6 dents

	Dent1	Dent2	Dent3	Dent4	Dent5	Dent6
$\varepsilon_a(mm)$	-0.002	0.005	-0.003	0.002	-0.002	-0.001
$\varepsilon_r(mm)$	0.032	-0.036	-0.024	0.011	0.010	0.001

3. Tableau des valeurs de faux-rond radial et axial de dents de la fraise de 12 dents

	Dent1	Dents2	Dents3	Dent4	Dent5	Dent6	Dent7	Dent8	Dent9	Dent10	Dent11	Dent12
$\varepsilon_a(mm)$	0.015	0.008	-0.001	0.007	-0.009	-0.001	-0.001	0.001	-0.005	0.008	0.008	0.015
$\varepsilon_r(mm)$	0.007	-0.002	-0.032	-0.003	0.029	0.001	-0.003	0.015	-0.019	0.010	0.000	-0.025

4. Simulation du profil de d'état de surface

Dans ce cas, les profils de premier tour se combinent à la surface génération. La profondeur maximale de la dent qui a un grand faux-rond axial et radial, empreint sur le profil de la rugosité. Mais les dents qui ont faux axial et radiale inferieur ne pas graver sur l'état de surface de la pièce voir la figure 2. En prenant la valeur minimale de z (i, j) à chaque coordonnée entre eux. La valeur de x (i, j), comme représenté sur la Fig.1 génère le profil de rugosité de surface. Parfois, le profil de surface engendre par une seule dent pour chaque tour (voir les figures 2 et 3). Dans ce cas, ayant quatre dents gravées sur la surface de la pièce. Les figures 4 et 5 ayant deux dents gravées pourtant la fraise comporte 12 dents et 6 dents en justifiant par la déférence entre les valeurs de faux rond des dents.

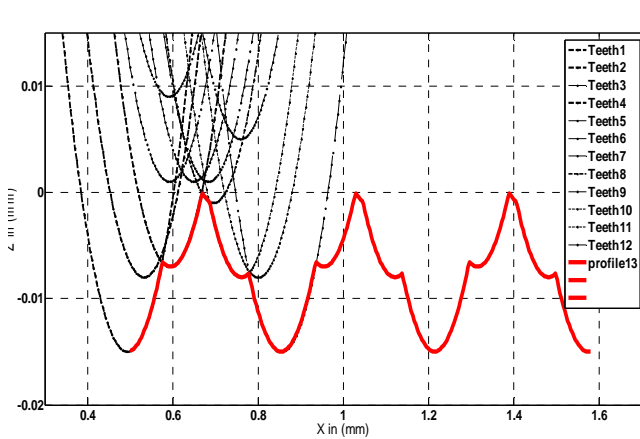


Fig.2. Surface simulée obtenue par une fraise de 12 dents

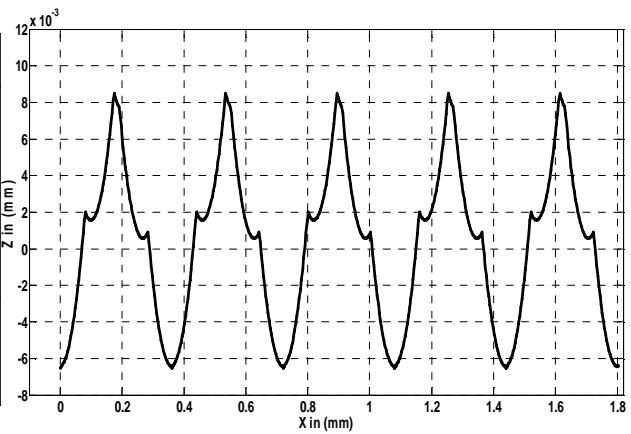


Fig.3. Surface simulée obtenue par une fraise de 12 dents après avoir une translation vers le zéro

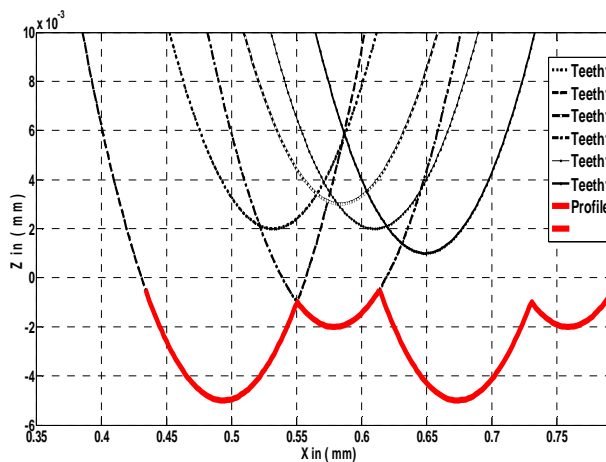


Fig.4. Surface simulée obtenue par une fraise de 6 dents

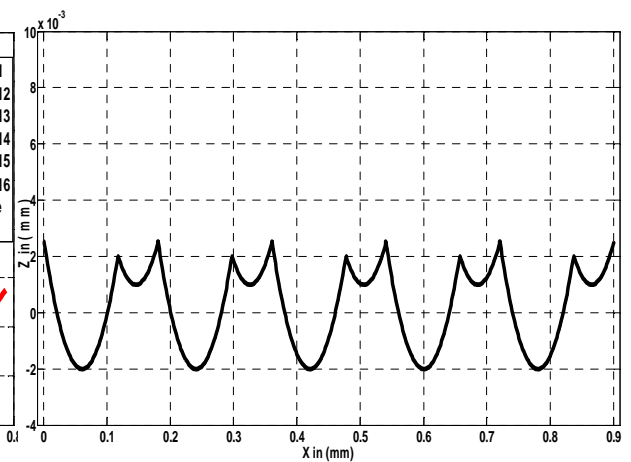


Fig.5. Surface simulée obtenue par une fraise de 6 dents après la translation de courbe vers le zéro

Les figures présentées ci-dessus montrent l'image virtuelle d'une surface usinée obtenue par une opération de fraisage. Nous avons obtenu ces résultats par simulation numérique basée sur le modèle développé. Lors de la simulation, les paramètres considérés sont l'avance, le rayon du bec de l'outil de coupe, le nombre de dents de la fraise. Sur ces figures on voit bien que le profil est décrit par le point générateur de l'outil. Ce trajet représente réellement la trace laissée par l'outil après l'usinage. Nous pouvons observer également que cette trace varie en profondeur d'immersion de dents, ainsi que la rugosité théorique est fortement influencée par le rayon de bec et l'avance, faux-rond des dents de la fraise notamment le nombre de dents dans ce cas.

5. Résultats comparatifs

La figure 6 représente les paramètres physiques et statistiques de la rugosité d'une surface usinée par les deux fraises de 6 dents et 12 dents qui ont été simulés dans la même condition de coupe. L'unité sur l'axe des y est en μm , en représentant les quatre rangs sur l'axe x et chaque rang contient deux paramètres de contrôle de l'état de surface comme suit: (R_{a0}, R_{a1}) , (R_{p0}, R_{p1}) , (R_{m0}, R_{m1}) , (R_{y0}, R_{y1}) (R_{q0}, R_{q1}) . Ces chiffres montrent le contrôle du profil de surface pour deux tours de la fraise. Effectivement, ça exprime la comparaison entre deux surfaces usinées par deux fraises les nombres de dent différents. La hauteur de la colonne de la rugosité pour la fraise de 6 dents est moins que celle de l'autre fraise pour tous les paramètres de la rugosité mais avec des pourcentages différents par exemple $R_{y6} = 4,3\mu\text{m}$ et $R_{y12} = 15\mu\text{m}$, ça nous donne l'impact de nombre de dents sur la qualité de

l'état de surface voir la figure 6. Finalement, nous pouvons conclure que dans le cadre de l'usinage par la fraise de nombre de dents moins ça nous donne meilleurs résultats qu'une fraise à plus grand nombre de dents. Ceci est du au fait que les efforts de coupe évoluent faible que la fraise de 12 dents.

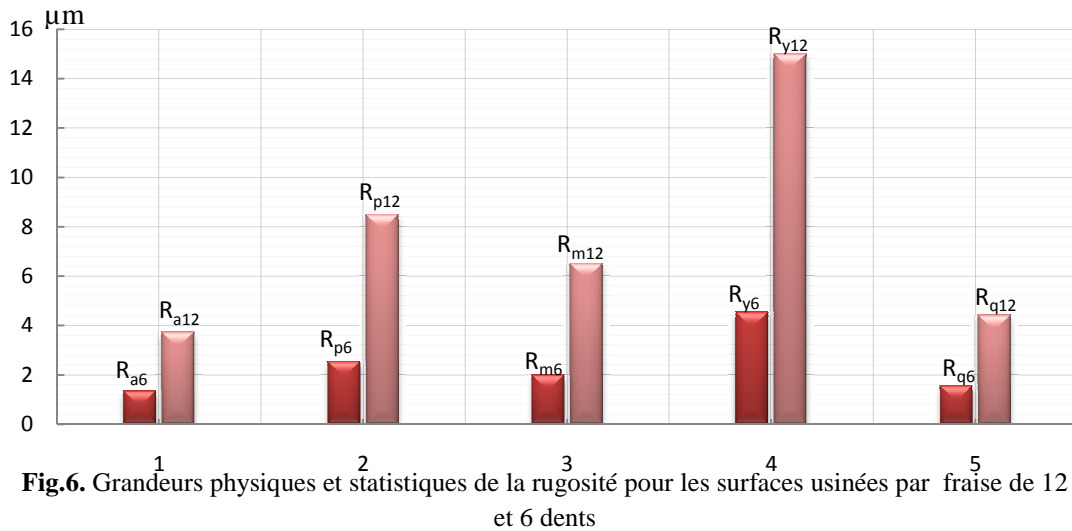


Fig.6. Grandeurs physiques et statistiques de la rugosité pour les surfaces usinées par fraise de 12 et 6 dents

6. Conclusion

Analyse de l'influence du nombre de dents de la fraise sur la qualité de l'état de surface d'une pièce en acier joue un rôle important sur la qualité de la rugosité. En fixant tous paramètres de coupe, en négligeant les vibrations de la machine, le facteur de dilatation de la pièce et matière de l'outil, en appliquant le procédé de fraisage. En prenant en considération les paramètres géométriques de l'outil, des angles de coupe, un rayon de bec de l'outil, des erreurs de faux-rond des dents, il en résulte que lorsque le nombre de dents augmente, la rugosité diminue. En outre, les outils de fraisage nombreux de dents plus grand, sont chers.

7. Références

- [1] T.Ozel, Y.Karpat, Prediction of surface roughness and tool wear in finish dry hard turning using back propagation neural networks, 17th International conference on production research, Blacksburg, Virginia, August 3-7, 2003.
- [2] D. K.Baek, T.J.Ko, H.S. Kim, Optimization of feedrate in a face milling operation using a surface roughness model International journal of machine tools & manufacture 41 -2001- pp: 451– 462
- [3] M.A, elbestawl, F. Ismail and K. M. Yuent, Surface topography characterization in finish milling, Int. J. Mach. Tools manufacture. Vol. 34, No. 2. pp. 245-255, 1994.
- [4] M.Ess, S. Weikert, K.Wegener, J.Mayr, Dynamic loads and thermal errors on machine tools.
- [5] D.K.Baek, T.J.Ko and H.S.Kim, A dynamic surface roughness model for face milling, Precision Engineering 20:pp 171-178, 1997
- [6] N. K. Mehta, P. C. Pandey and G. Chakravarti, An investigation of tool wear and the vibration spectrum in milling, Wear, 91 (1983) 219 – 234.
- [7] A.Popov & A.Dugin , Effect of uncut chip thickness on the ploughing force in orthogonal cutting, Int J Adv manuf technol (2015) 76:pp 1937–1945.
- [8] A.A. D. Sarhan, M. A. Hassan, A.Matsubara, and M. Hamdi , Compensation of machine tool spindle error motions in the radial direction for accurate monitoring of cutting forces utilizing sensitive displacement sensors, Proceedings of the world congress on engineering 2011, vol I WCE 2011, July 6 - 8, 2011, London, U.K.
- [9] P.M. Escalonaa, P.G. Maropoulos, A geometrical model for surface roughness prediction when face milling Al 7075-T7351 with square insert tools, Journal of manufacturing Systems (2014)
- [10] A. Boryczko, Measurement of relative tool displacement to the workpiece for the assessment of influences of machining errors on surface profiles, Measurement 31 (2002) 93–105

- [11] K.F. Ehrmann, M. S. Hong, A Generalized model of the surface generation process in metal cutting, *Annals of the CIRP*, Vol. 43/7/7994.
- [12] P. Franco, M. Estrems, F. Faura, Influence of radial and axial runouts on surface roughness in face milling with round insert cutting tools, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 44 (2004) pp 1555–1565.
- [13] St.Enache, *La qualité des surfaces usinées*, Dunot, 1972, paris.
- [14] M. Gaceb, S. Brahmi, Etude de l'influence de l'état de surface sur la tenue à la fatigue d'un acier XC48, 19^{ème} Congrès Français de Mécanique, 26 au 30 août 2009.
- [15] S. Boukebbab, Analyse de la signature des procédés d'usinage en vue d'une démarche qualitative dans le respect des spécifications techniques, Séminaire International sur les technologies mécaniques du 05 au 06 décembre 2009, Tlemcen, Algérie.
- [16] A.Benamar et al. Optimisation du procédé d'usinage a rugosité contrôlée, 3e Journées d'Etudes Techniques, AMFM, Marrakech, Avril 2003.
- [17] L. Jérôme, étude de l'effet de l'usinage grande vitesse sur la tenue en fatigue de pièces aéronautiques, le 4 mars 2008, l'Université Toulouse III – Paul Sabatier.
- [18] M.Suraratchai, C. Mabru, R.Chieragatti, Influence de gammes d'usinage sur la tenue en fatigue d'un alliage léger aéronautique, 17ème Congrès Français de Mécanique, Troyes, septembre 2005.