

OPTIMISATION MULTI-OBJECTIF DU PROCESSUS D'USINAGE BASÉE SUR LA MÉTHODE DES PLANS D'EXPÉRIENCES POUR DES COUPLES OUTIL- MATIÈRE

N. ZEROUDI , M. HAMMAL

Laboratoire Procédés de Fabrication/UER-CFM, Ecole Militaire Polytechnique,
Bordj El Bahri, 16111, Alger, Algérie
nasreddine_zeroudi@yahoo.fr

Résumé :

Cet article traite deux volets, le premier volet concerne la détermination des plages de fonctionnement des conditions de coupe par l'application de la méthodologie couple outil Matière (COM) en fraisage et dont le modèle concerne le fraisage, établi et validé par rapport à un essai de référence d'une opération de surfacage sur un alliage d'Aluminium AS13, réalisé par l'institut de l'usinage Bretagne UGV (ENS Cachan /France). Le deuxième volet concerne l'optimisation multi-objectif du processus d'usinage basée sur la méthode des plans d'expériences pour différents cas du COM : matières étudiées (CBN7020-100Cr6, CBN7020-X200Cr12, CC650-100Cr6) implémentée sous Matlab utilisant l'algorithme génétique NSGA-II, et d'autres algorithmes stochastiques telles que : l'Algorithme de l'Evolution Différentielle (DE), l'Optimisation par Essais Particulaires (PSO), l'Algorithme de Recuit Simulé (ASA), La méthode des plans d'expériences a été utilisée dans le but de déterminer les modèles mathématiques des fonctions objectives et les contraintes utilisés dans l'optimisation à partir d'un espace de recherche considéré (données de références), et où l'optimisation concerne (V_c , a_p et f_i), en minimisant simultanément la pression spécifique de coupe, la rugosité et le temps de coupe, sous contrainte des limitations techniques liées au système usinant « Pièce-Outil-Machine » ainsi que l'obtention d'un ensemble de solutions Pareto optimales représenté sous forme des courbes 2D, 3D et offrant à l'utilisateur beaucoup de degrés de liberté et de lisibilité pour le choix d'une solution encore plus personnalisée à ses besoins, et satisfaisant trois critères d'optimisation, avec une rapidité constatée de la convergence de l'algorithme génétique NSGA-II vers l'optimal de Pareto (de l'ordre du nombre de générations) se terminant par un tableau des résultats des différentes méthodes d'optimisation permettant la consolidation et la validation des résultats trouvés.

Abstract :

This article deals with two aspects, the first part concerns the determination of the operating ranges of the cutting conditions by applying the milling tool method Matter (COM) in milling and the milling model, established and validated with respect to a Reference test of a surfacing operation on an alloy of Aluminum AS13, carried out by l'institut de l'usinage Bretagne UGV (ENS Cachan /France). The second part concerns the multi-objective optimization of the machining process based on the experimental design method for different cases of the COM: subjects studied (CBN7020-100Cr6, CBN7020-X200Cr12, CC650-100Cr6) implemented under Matlab using l Genetic algorithm NSGA-II, and other stochastic algorithms such as: Differential Evolution Algorithm (DE), Particular Swarm Optimization (PSO), Simulated Annealing Algorithm (ASA), Method Experimental plans have been used to determine the mathematical models of objective functions and the constraints used in optimization from a given research space (reference data), and where the optimization concerns (V_c , a_p and f_i), simultaneously minimizing the specific cutting pressure, the roughness and the cutting time, under the constraints of the technical limitations related to the machining system "workpiece-Tool-Materiel "as well as obtaining a set of optimal Pareto solutions represented in the form of 2D and 3D curves and offering the user many degrees of freedom and readability for the choice of an even more personalized solution to Its needs, and satisfying three optimization criteria, with a rapid rate of

convergence of the NSGA-II genetic algorithm to the Pareto optimal (of the order of the number of generations) ending with a table of results Different optimization methods allowing the consolidation and validation of the results found.

Mots clefs : Couple Outil-Matière, optimisation multi-objectif, méthode des plans d'expériences

1. Introduction

Dans ce travail, on commence par l'application de la méthodologie COM en fraisage, notre modèle en fraisage a été établi et validé par rapport un essai de référence d'une opération de surfacage sur un alliage d'Aluminium AS13, réalisé par l'institut de l'usinage Bretagne UGV (ENS Cachan /France), suivi par l'application des modèles de l'optimisation multi-objectif des conditions de coupe en utilisant l'algorithme génétique NSGA-II, ainsi que d'autres algorithmes stochastiques telles que : l'Algorithme de l'Evolution Différentielle (DE), l'Optimisation par Essaims Particulaires (PSO), l'Algorithme de Recuit Simulé (ASA), pour trois cas du couple outil-matière (CBN7020-100Cr6, CBN7020-X200Cr12, CC650-100Cr6) sous Matlab, conclue par un tableau de comparaison pour ces différentes méthodes d'optimisation permettant la consolidation de la validation des résultats trouvés.

2. Application du Couple Outil matière : Essai de fraisage sur une pièce en AS13

Un essai de référence réalisé par l'institut de l'usinage Bretagne UGV (ENS Cachan /France) [3], a été choisi pour la validation de notre modèle établi en fraisage, sur une pièce en Aluminium chargé en Silicium AS13, avec une géométrie d'outil fraise cylindrique à 3 dents en carbure pour alliages légers Ø 10 mm et à des vitesses de coupe variables. Les résultats de cet essai représentés dans la Figure 3, montrant que les plages de fonctionnement pour ce type d'opération de fraisage ont données les résultats suivants : Une plage de vitesse de coupe entre 150 et 350 m/min ; épaisseur de copeau minimal : $h_{min} = 0.06$ mm ; surface du copeau maximale : $A_{Dmax} = 100$ mm².

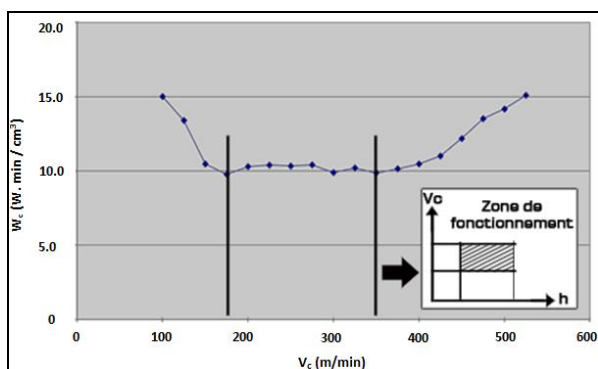


Figure 3: Evolution de W_c (N/mm^2) en fonction de V_c (m/min). (Surfaçage pour AS13) [3].

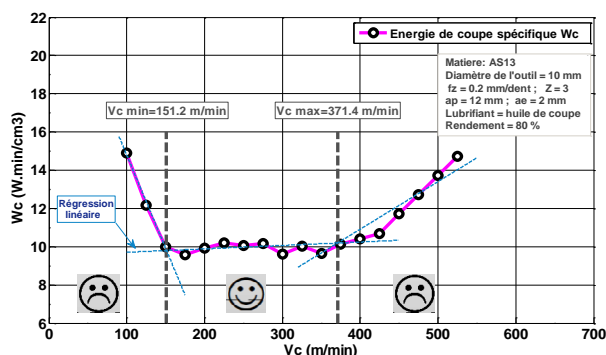


Figure 4: Evolution de W_c ($W.min/cm^3$) en fonction de V_c (m/min). (Surfaçage d'un alliage AS13).

L'application de notre modèle avait besoin de l'utilisation des données de l'essai de référence, qui nous a permis de trouver les résultats représentés dans la Figure 4 et dont la plage de fonctionnement est déterminée pour les vitesses de coupe minimale et maximale (151.2 m/min et 371.4 m/min) par l'intersection des trois régressions linéaires des points appartenant à la courbe tracée (énergies spécifiques de coupe, vitesses de coupe), ainsi la détermination de l'énergie spécifique de coupe W_c stable aux environs de $10 W.min/cm^3$ dans le domaine de fonctionnement défini, représentant l'énergie spécifique de coupe minimale.

3. Optimisation Multi-objectif

Cette partie concerne l'optimisation multi-objectif des conditions de coupe en utilisant l'algorithme génétique NSGA-II, ainsi que d'autres méthodes telles que Evolution Différentielle (DE), algorithme (PSO), algorithme (ASA), pour les mêmes données relatés dans le Tableau 1, une comparaison des résultats trouvés a été faite pour les différentes méthodes d'optimisation renforce la validation de ces résultats.

Données du Problème	Valeurs
Longueur de la partie usinée de la pièce	$L = 200 \text{ mm}$
Diamètre extérieur de la pièce	$D = 80 \text{ mm}$
Durée de vie maximale estimée de l'outil	$T_{max} = 25 \text{ min}$
Force de coupe maximale	$F_{c-max} = 500 \text{ N}$

Données du Problème	Valeurs
Puissance de coupe maximale	$P_{c-max} = 5.28 \text{ KW}$
Le rendement de la machine	$\eta = 0.80$
Nombre de population	200
Nombre d'itération	100

Tableau 1 : Tableau des données de l'optimisation multi-objectif.

Sachant que l'optimisation multi-objectif est basée sur les fonctions objectives, les espaces de recherche ainsi que sur les contraintes de production qui sont déterminées auparavant dans le chapitre III par la méthode du plan d'expériences.

a. Présentation des Optimisations multi-objectifs pour le Cas d'exemple (CBN7020 - 100Cr6)

a. Fonctions objectives

- Pression spécifique de coupe (N/mm^2) : $K_c = e^{7.9706} \cdot f^{0.5249} \cdot a_p^{-0.1865} \cdot V_c^{-0.1882}$
- Rugosité arithmétique (μm) : $R_a = e^{4.1542} \cdot f^{0.6226} \cdot a_p^{0.0703} \cdot V_c^{-0.3085}$
- Temps de coupe : $T_c = (50.2655) \cdot f^1 \cdot V_c^{-1}$

b. Espace de recherche

Cet espace de recherche est basé sur la plage de fonctionnement du couple outil matière (CBN7020 - 100Cr6) :

$$\begin{cases} 0,08 \leq f \leq 0,2 \\ 0,2 \leq a_p \leq 0,6 \\ 90 \leq V_c \leq 180 \end{cases}$$

c. Contraintes de production

- Limitation sur l'effort de coupe (N) : $F_c = e^{7.9706} \cdot f^{0.4751} \cdot a_p^{0.8135} \cdot V_c^{-0.1882} \leq 500$
- Limitation sur la puissance de coupe (KW) : $P_c = F_c \cdot V_c / 60 \cdot 10^3 \leq P_{max}$
- $P_c = (0.0318) \cdot f^{0.2944} \cdot a_p^{0.6661} \cdot V_c^{-0.7927} \leq 5.28 \text{ KW}$
- Limitation liée à la durée de vie imposée à l'outil (min) : $T = e^{14.65} \cdot V_c^{-2.18} \leq 25$

4. Représentation de solutions optimales (front de Pareto) sous forme des courbes 2D, 3D

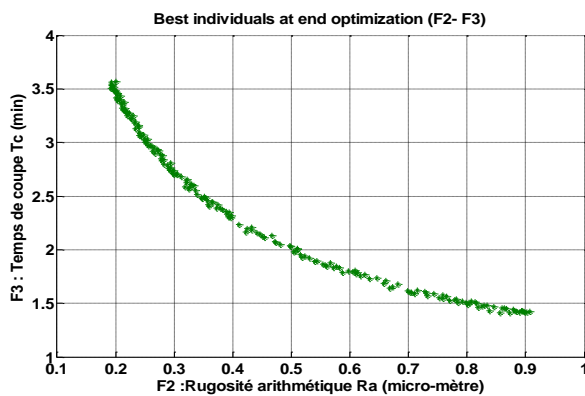


Figure 5 : Projection du front de Pareto en (2D) représente l'espace des solutions de $F(R_a-T_c)$ pour le Cas (CBN7020 - 100Cr6).

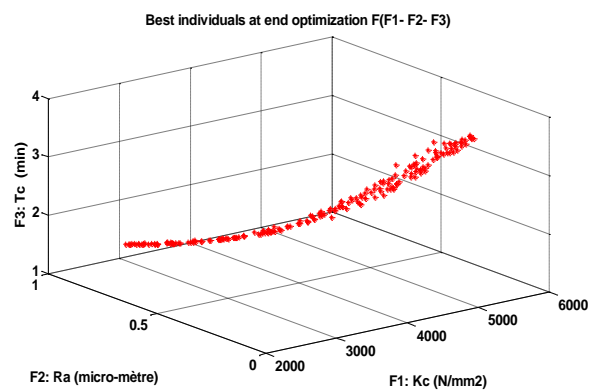


Figure Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.: Front de Pareto en 3D obtenu par l'application de l'algorithme NSGA-II représente l'espace des solutions de $F(K_c-R_a-T_c)$.

5. Tableau des résultats de l'Optimisation multi-objectif pour différents cas

		f_{opt} (mm/tr)	$a_{p,opt}$ (mm)	$V_{c,opt}$ (m/min)	K_c (N/mm ²)	R_a (μ m)	T_c (min)
CBN7020 - 100Cr6	NSGA-II	0,1993	0,5954	177,3534	2806,1	0,9073	1,4224
	DE	0,1996	0,5704	175,6678	2831,4	0,9095	1,4339
	ASA	0,2000	0,5866	177,3317	2808,5	0,9118	1,4174
	PSO	0,1994	0,5598	178,6698	2833,8	0,9021	1,4112
CBN7020 - X200Cr12	NSGA-II	0,1992	0,5957	178,3190	2416,2	1,1873	1,4153
	DE	0,1963	0,5853	174,7872	2465,6	1,1686	1,4649
	ASA	0,1971	0,5974	170,8994	2453,6	1,1830	1,4925
	PSO	0,2000	0,5934	169,0867	2439,4	1,2081	1,4867
CC650 - 100Cr6	NSGA-II	0,1997	0,5949	178,8848	2367,9	1,1543	1,4070
	DE	0,1973	0,5939	177,4901	2391,1	1,1355	1,4355
	ASA	0,2000	0,5866	177,3317	2381,3	1,1591	1,4174
	PSO	0,1995	0,5792	157,1404	2415,6	1,1949	1,6035

4. Conclusion

La qualité des solutions obtenues, nous laisse d'entrevoir les réelles possibilités d'application industrielle pour l'optimisation multi-objectif des opérations de tournage en usinage conventionnel de produits à forte valeur ajoutée, en associant en particulier la méthodologie du Couple Outil-Matière. Le résultat est un ensemble de solutions optimales (front de Pareto) représentée sous forme des courbes 2D, 3D et qui offrent à l'utilisateur beaucoup de degrés de liberté et de lisibilité pour le choix d'une solution encore plus personnalisé à ses besoins. La méthode NSGA-II ainsi adaptée permet d'obtenir un ensemble de solutions Pareto optimales qui satisfassent les trois critères d'optimisation et qui donnent un choix suffisant au décideur. Aussi, la convergence de l'algorithme génétique NSGA-II vers l'optimal de Pareto est rapide (de l'ordre de Nombre de générations).

5. Références Bibliographiques

- [1] M. A. YALLESE, « Etude du comportement à l'usure des matériaux de coupe modernes en tournage dur », Thèse de Doctorat, Université de Badji Mokhtar, Annaba, 2005.
- [2] « Cut Optimizer Premium, l'outil de base de détermination des conditions de coupe », Centre Technique de l'Industrie de Découpage (CTDEC), Mont-Blanc, Haute-Savoie, Rhône-Alpes, France. (<http://www.cdtec.fr>).
- [3] « Couple Outil Matière COM », Institut de l'usinage Bretagne UGV, Ecole Normale Supérieure de Cachan, Antenne de Bretagne, Bruz, France. (<http://www.b-ugv.fr>).
- [4] M. RICHARD, « Efforts de coupe - Puissance de coupe et puissance absorbée », Cours n°07 : version professeur, Terminale S.T.I. Génie Mécanique Productive, Lycée P. Duez Cambrai, France, 2007.
- [5] A. PASSERON, « Tournage », Technique de l'ingénieur, traité génie mécanique, Réf : BM 7 086, Paris, France, 2000.).