

Optimisation multi crit res des conditions de coupe en fraisage en utilisant la programmation non lin aire (NL)

BELLOUFI Abderrahim, ASSAS Mekki

R sum :

L optimisation du processus d usinage un int r t consid rable sur le plan industrielle puisqu elle permet l am lioration de la qualit des produits fabriqus, la r duction des co ts de production et l augmentation de productivit . Dans cet article nous proposons une d marche d optimisation non lin aire permettant de trouver les conditions de coupe optimales (la vitesse de coupe, l avance et la profondeur de passe) en se basant sur l analyse multicrit res avec des mod les d usinage multi-passes. Cette analyse multicrit res prend en consid ration l optimisation des trois fonctions objectives : tat de surface de pi ces usin es, co t et temps d usinage dans un m me mod le.

Crit re du temps de production

$$T_t = \frac{\left[2\sqrt{a(D-a)} + l_1 + l_2 + L\right] \pi D}{1000 f_z z v_c} + t_a + \frac{\left[2\sqrt{a(D-a)} + l_1 + l_2 + L\right] \pi D}{1000 z K^{\frac{1}{a_3}} v_c^{\frac{-1}{a_3}} f_z^{\frac{-a_1+1}{a_3}} a^{\frac{-a_2}{a_3}}} t_{vb}$$

Crit re du co t de production

$$C_t = C_0 t_a + C_0 \frac{\left[2\sqrt{a(D-a)} + l_1 + l_2 + L\right] \pi D}{1000 f_z z v_c} + C_1 \frac{\left[2\sqrt{a(D-a)} + l_1 + l_2 + L\right] \pi D}{1000 z K^{\frac{1}{a_3}} v_c^{\frac{-1}{a_3}} f_z^{\frac{-a_1+1}{a_3}} a^{\frac{-a_2}{a_3}}} + C_a$$

Crit re de rugosit

$$R_a = k v_c^{x_1} f^{x_2} a^{x_3}$$

Des contraintes technologiques li es au processus du fraisage ont t aussi present en consid ration.

- Limitation sur l intervalle des vitesses de coupe

$$v_{c \min} \leq v_c \leq v_{c \max}$$

- Limitation sur l intervalle des avances

$$f_{z \min} \leq f_z \leq f_{z \max}$$

- Limitation sur l intervalle de profondeur de passe

$$a_{\min} \leq a \leq \frac{2}{3} l_r$$

- Limitation sur la dur ee de vie de l outil

$$K^{\frac{1}{a_3}} v_c^{\frac{-1}{a_3}} f_z^{\frac{-a_1}{a_3}} a^{\frac{-a_2}{a_3}} \leq T$$

- Limitation sur l effort de coupe

$$F_c \leq F_{\max} \Leftrightarrow \frac{K_s a p f_z z}{\pi D} \leq F_{\max}$$

- Limitation sur la puissance nécessaire la

$$\frac{K_s a p f_z z v_c}{60000 \pi D \eta} \leq P_m$$

- Limitation sur la résistance pratique la rupture de l'outil de coupe

$$\frac{8 K_s a p f_z z}{\pi^2 D^3} \leq [\tau]$$

- Limitation sur la résistance la déformation de l'outil de coupe

$$\frac{32(1 + \mu) K_s a p f_z z}{E \pi^2 D^4} \leq [\theta]$$

Le modèle multiobjectif

Nous avons utilisé l'ordonnancement lexicographique pour trouver le modèle multiobjectif

Nous choisissons de commencer par la rugosité comme premier objectif.

On a pour :

$$\begin{cases} \text{minimiser } R_a(v_c, f, a) \\ \text{avec } g_i(v_c, f, a) = 0 \\ \text{et } h_j(v_c, f, a) \leq 0 \end{cases}$$

On note R_{opt} la solution de ce problème.

Nous choisissons de poser le temps de production comme deuxième objectif.

On a pour :

$$\begin{cases} \text{minimiser } T_t(v_c, f, a) \\ \text{avec } R_a(v_c, f, a) = R_{opt} \\ g_i(v_c, f, a) = 0 \\ \text{et } h_j(v_c, f, a) \leq 0 \end{cases}$$

On note T_{opt} la solution de ce problème.

Nous choisissons de poser le temps de production comme troisième objectif.

On a pour :

$$\begin{cases} \text{minimiser } C_t(v_c, f, a) \\ \text{avec } R_a(v_c, f, a) = R_{opt} \\ T_t(v_c, f, a) = T_{opt} \\ g_i(v_c, f, a) = 0 \\ \text{et } h_j(v_c, f, a) \leq 0 \end{cases}$$

Les valeurs de v_c, f et a dans cette étape, sont les valeurs optimales du problème multi-objectif.

Les contraintes $g_i(v_c, f, a)$ et $h_j(v_c, f, a)$ sont définies par :

Pour atteindre nous avons utilisé la programmation quadratique séquentielle (SQP) qui s'est avérée efficace sur la base de la comparaison des résultats obtenus par d'autres méthodes.

La programmation quadratique séquentielle

La programmation quadratique séquentielle (SQP) est utilisée pour la résolution des problèmes généraux d'optimisation non linéaire avec contraintes de la forme :

$$\left\{ \begin{array}{l} \min_{x \in \mathbb{R}^n} f(x) \\ \text{sous } g_i(x) = 0, \text{ pour } i = 1, \dots, n \\ h_j(x) \geq 0, \text{ pour } j = n+1, \dots, m \\ x^{\text{inf}} \leq x \leq x^{\text{sup}} \end{array} \right.$$

Cette méthode est basée sur la formulation itérative en créant un sous problème de la programmation quadratique, on obtient le sous problème en utilisant une approximation quadratique du Lagrangien et par linéarisation des contraintes.

Alors on peut écrire le sous problème sous la forme :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min}_{d \in \mathbb{R}^n} \frac{1}{2} d^T B_k d + \nabla f(x^k)^T d \\ \text{sous} \\ \nabla g_i(x^k)^T d + g_i(x^k) = 0, \quad i = 1, \dots, n \\ \nabla h_j(x^k)^T d + h_j(x^k) \geq 0, \quad j = n+1, \dots, m \\ x^{\text{inf}} - x^k \leq d \leq x^{\text{sup}} - x^k \end{array} \right.$$

Où B_k est une approximation de l'Hessien définie positive. On utilise la recherche linéaire pour trouver le nouveau point x^{k+1} .

$$x^{k+1} = x^k + \alpha d_k, \quad \alpha \in]0, 1]$$

De telle sorte que la fonction modale aura une valeur de la fonction inférieure au nouveau point x^{k+1} . Ici, la fonction Lagrange est utilisée comme une fonction modale.

Cette étude a été illustrée par un exemple pratique d'optimisation menée pour une pièce mécanique fabriquée au niveau du Complexe Pelles et Grues (CPG) Ain-Smara (Constantine) de l'entreprise nationale de production de matériels de travaux publics (ENMTP).