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 fabriqu s, 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

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

Crit re du co t de production

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

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 prisent en consid ration.

- Limitation sur l intervalle des vitesses de coupe

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

- Limitation sur l intervalle des avances

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

- Limitation sur l intervalle de profondeur de passe

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

- Limitation sur la dur e de vie de l outil

  $$K^{\frac{1}{a_3}} v_c^{\frac{-1}{a_3}} f^{\frac{-a_1}{a_3}} a^{\frac{-a_2}{a_3}} \le T$$

- Limitation sur l effort de coupe

$$F_c \le F_{\max} \Leftrightarrow \frac{K_s apf_z z}{\pi D} \le F_{\max}$$

- Limitation sur la puissance n cessaire la

$$\frac{K_s apf_z z v_c}{60000 \pi D \eta} \le P_m$$

- Limitation sur la r sistance pratique la rupture de l outil de coupe

$$\frac{8 K_s apf_z z}{\pi^2 D^3} \le [\tau]$$

- Limitation sur la r sistance la d formation de l outil de coupe

$$\frac{32(1+\mu) K_s apf_z z}{E \pi^2 D^4} \le [\theta]$$

Le mod le multiob ectif

Nous avons utilis s l ordonnancement lexicographique pour trouver le mod le multi objectif

Nous choisissons de commencer par la rugosit comme premier objectif.

On r sout :

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

On note R_{aopt} la solution de ce probl me.

Nous choisissons de poser le temps de production comme deuxi me objectif.

On r sout :

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

On note T_{topt} la solution de ce probl me.

Nous choisissons de poser le temps de production comme troisi me objectif.

On r sout :

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

Les valeurs de v_c, f et a dans cette tape, sont les valeurs optimales du probl me multi-objectif.

Les contraintes $g_i(v_c, f, a)$ et $h_j(v_c, f, a)$ sont d finis pr c demment.

Pour atteindre nous avons utilis la programmation quadratique s quentielle (SQP) qui s est av r e efficace sur la base de la comparaison des r sultats obtenus par d autres m thodes.

La programmation uadrati ue s uentielle

La programmation quadratique s quentielle (SQP) est utilis e pour la r solution des probl mes g n raux d optimisation non lin aire avec contraintes de la forme :

$$\begin{cases} \min\limits_{x\in\ ^{n}} f(x) \\ sous \quad g_i(x) = 0,\ pour \quad i = 1,...,n \\ \qquad h_j(x) \geq 0,\ pour \quad j = n+1,...,m \\ \qquad x^{\inf} \leq x \leq x^{\sup} \end{cases}$$

Cette m thode est bas sur la formulation it rative en cr ant un sous probl me de la programmation quadratique, on obtient le sous probl me en utilisant une approximation quadratique du Lagrangien et par lin arisation des contraintes.

Alors on peut crit le sous probl me sous la forme :

$$\begin{cases} \mathop{\mathrm{Min}}\limits_{d\in\ ^{n}} \frac{1}{2} d^T B_k d + \nabla f\left(x^k\right)^T d \\ sous \\ \nabla g_i\left(x^k\right)^T d + g_i\left(x^k\right) = 0,\ i = 1,...,n \\ \nabla h_j\left(x^k\right)^T d + h_j\left(x^k\right) \geq 0,\ \mathrm{j} = n+1,..., \\ x^{\inf} - x^k \leq d \leq x^{\sup} - x^k \end{cases}$$

O B_k est une approximation de l Hessien d finie positive. On utilise la recherche lin aire pour trouver le nouveau point x^{k+1}.

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

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

Cette tude a t illustr e par un exemple pratique d optimisation men pour une pi ce m canique fabriqu e au niveau du Complexe Pelles et Grues (CPG) Ain-Smara (Constantine) de l entreprise nationale de production de mat riels de travaux publics (ENMTP).