

В.П. Ларшин, д.т.н., проф.

О.В. Якимов, д.т.н., проф.

Одеський державний політехнічний університет

РЕГУЛЮВАННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ОЦІНКИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

Описано новий принцип регулювання трудомісткості шліфування та собівартості механічної обробки на етапі проектування технологічних процесів.

Одним з факторів прискорення проектних робіт у машинобудуванні є їхнє виконання в середовищі відповідної системи автоматизованого проектування (САПР). В даний час створений ряд таких систем, що дозволяють будувати параметричні твердотілі моделі деталей, складальні одиниці, а також увесь виріб. В інтегрованих системах CAD/CAM ця інформація використовується для підготовки керуючих програм і для виготовлення технологічного оснащення. Прикладами є такі інтегровані системи: Компас, Pro-Engineer, Solid-Works, T-Flex, Master-CAM тощо. Однак у всіх цих системах відсутній один важливий компонент, що впливає на точність при аналізі моделей, що використані, і вірогідність одержаних результатів. Цим компонентом є індивідуальні особливості елементів технологічної системи «верстат–пристосування–інструмент–деталь».

Наприклад, як у режимі зворотного зв'язку врахувати індивідуальну твердість елементів технологічної системи чи фактичну теплонапруженість процесу різання? Очевидно, що без обліку експериментальних даних про процес різання тут не обійтися.

Використання експериментальної інформації в інтегрованій CAD/CAM/CAT системі, де CAT (Computer–Aided Training) – етап автоматизованого самонавчання, можливо такими шляхами: 1) коректування параметричної моделі процесу при самонавчанні технологічної системи в процесі її функціонування [1]; 2) уточнення моделі процесу на основі експрес-методів попереднього експериментального дослідження [2].

Наприклад, в [2] показано, що для уточнення програми розподілу припуску за технологічними переходами плоского шліфування з урахуванням фактичної твердості верстата і теплонапруженості процесу необхідно на основі експрес-методів конкретизувати параметри таких рівнянь математичної моделі процесу:

$$F_y = A_y + B_y \cdot t_a; \quad (1)$$

$$P = A + B \cdot t_f; \quad (2)$$

де F_y – радіальна складова зусилля шліфування; P – потужність шліфування; t_a , t_f – глибини шліфування: за лімбою верстата і фактична відповідно; A , A_y , B , B_y – обумовлені параметри моделі.

Після коректування параметрів моделі процесу стає можливою оцінка його фактичної трудомісткості. Однак для цього потрібна модель оцінки.

Відомо, що одним з найбільш розповсюджених критеріїв розвитку (якості) технологічних систем є трудомісткість виготовлення продукції, що оцінюється технічною нормою часу:

$$T_{шт.к} = T_o + T_a + T_{мех} + T_{орг} + T_{від} + \frac{T_{нз}}{n}, \quad (3)$$

де $T_{шт.к}$ – штучно-калькуляційний час; T_o – основний час; T_a – допоміжний час; $T_{мех}$, $T_{орг}$ – час на технічне й організаційне обслуговування робочого місця; $T_{від}$ – час на відпочинок; $T_{нз}$ – підготовчо-заклучний час; n – величина партії оброблюваних деталей.

Формула (3) має двоякий сенс. З одного боку, вона характеризує роботу технологічного устаткування: складові T_o і T_a разом утворюють оперативний час. З іншого – ця формула є моделлю для оцінки праці робітника-оператора: складові $T_{орг}$, $T_{від}$. Складові $T_{мех}$ і $T_{нз}$ характеризують роботу й устаткування (в умовах комп'ютерно-інтегрованого виробництва) і

робітника-оператора (у традиційному виробництві). У цьому зв'язку перемінна частка штучного часу τ , що залежить від режимів різання і стійкості інструменту $T_{вер}$, може бути представлена у вигляді моделі такого типу [3]

$$\tau = T_o + T_{тех} = t_m + \frac{t_p \cdot t_{зм}}{T_{вер}}, \quad (4)$$

де t_m – машинний час; t_p – час різання; $t_{зм}$ – час на заміну і регулювання інструменту, що ріже.

З урахуванням рівняння (4) формула (3) для плоского шліфування приймає такий вигляд:

$$T_{шт.к} = t_m + \frac{t_p \cdot \tau_{пр}}{T_{вер}} + t_{ост}, \quad (5)$$

де $\tau_{вин}$ – час на виправлення та заміну шліфувального кола; $t_{ост} = T_{орз} + T_{отд} + \frac{T_{пз}}{n}$.

Час різання t_p при плоскому шліфуванні з постійною глибиною різання і швидкістю столу V залежить від кількості m поперечних ходів шліфувального кола, причому

$$m = \left[\frac{h}{S} \right], \quad (6)$$

де h – ширина оброблюваної заготовки; S – поперечна подача.

У вираженні (6) дужки означають найбільше ціле число.

Позначивши поточну j -ту величину подовжнього ходу різання (сюди не входить врізання та перебіг) при плоскому шліфуванні складного профілю як l_j , одержимо для i -го шаруючого матеріалу:

$$t_{pi} = \frac{1}{V} \sum_{j=1}^m l_j. \quad (7)$$

Тому що збільшення величини j на одиницю при фіксованій (для одного подовжнього ходу) подачі S_j характеризує збільшення площі оброблюваної поверхні $\Delta F_j = l_j \cdot S_j$, то

$$l_j = \frac{\Delta F_j}{S_j}. \quad (8)$$

Тоді вираження (7) приймає такий вигляд (при $S_j = \text{const} = S$):

$$t_{pi} = \frac{1}{V} \cdot \sum_{j=1}^m \frac{\Delta F_j}{S_j} = \frac{F_p}{V \cdot S}, \quad (9)$$

де F_p – площа оброблюваної поверхні.

При постійній швидкості столу V у процесі багатшарового видалення припуску за i переходів сумарний час різання складе:

$$t_p = \frac{F_p \cdot i}{V \cdot S}. \quad (10)$$

У такий спосіб сумарний час сталого процесу різання (t_p) прямо пропорційний площі оброблюваної поверхні F_p та кількості переходів i , що необхідна для пошарового видалення припуску.

Аналогічно можна виразити складову t_m у рівнянні (4), тобто:

$$t_m = \frac{F_m \cdot i}{V \cdot S}. \quad (11)$$

Тут

$$F_m = F_p + \Delta F,$$

де ΔF – площа обробки, що утворена ділянками врізання і перебігами шліфувального кола (ця площа характеризує час несталого процесу різання).

З урахуванням виражень (5), (10) і (11) одержимо:

$$T_{шт.к} = \frac{i}{V \cdot S} \left\{ F_p \left(1 + \frac{\tau_{np}}{T_{вер}} \right) + \Delta F + \Delta F_1 \right\} + t_{осм}, \quad (12)$$

де ΔF_1 – різниця між площею прямокутника, що описує оброблювану складнопрофільну поверхню вирубного штампа, і площею F_m для цієї оброблюваної поверхні.

З аналізу формули (12) випливають шляхи керування трудомісткістю плоского шліфування:

- 1) зменшення кількості переходів i ;
- 2) збільшення стійкості абразивного інструменту $T_{вер}$;
- 3) усунення складової ΔF_1 площі, що характеризує «час шліфування повітря».

Для виконання пунктів 1 і 2 нами запропоновано використовувати при плоскому шліфуванні тверді технологічні змащення [2], а для виконання пункту 3 – застосовувати адаптивну систему автоматичного обмеження непродуктивних подовжніх перебігів інструменту [4].

Позначимо трудомісткості базового і нового варіантів технологічного процесу як $T_{шт.к}^0$ і $T_{шт.к}^1$ відповідно. Тоді різниця трудоемкостей для цих варіантів складе:

$$\Delta T_{шт.к} = T_{шт.к}^0 - T_{шт.к}^1 = \frac{1}{V \cdot S} \left\{ (i_0 - i_1) \cdot (F_p + \Delta F) + F_p \cdot \tau_{np} \cdot \left(\frac{i_0}{T_{вер.0}} - \frac{i_1}{T_{вер.1}} \right) + i_0 \cdot \Delta F_1 \right\}, \quad (13)$$

де i_0 , i_1 – кількість переходів шліфування за базовим і новим варіантами; $T_{вер.0}$, $T_{вер.1}$ – стійкість абразивного кола за зазначеними варіантами.

Наприклад, якщо з зазначених вище трьох шляхів керування процесом шліфування використовувати тільки третій, то:

$$\Delta T_{шт.к} = \frac{i}{V \cdot S} \{ \Delta F_1 \}. \quad (14)$$

У цьому випадку безрозмірна (відносна) оцінка технологічної системи плоского шліфування складе:

$$\frac{\Delta T_{шт.к}}{T_{шт.к}^0} = \frac{1}{1 + \frac{F_p}{\Delta F_1} \left(1 + \frac{\tau_{np}}{T_{вер}} \right) + \frac{\Delta F}{\Delta F_1} + \frac{t_{осм}}{i(\Delta F_1)}}, \quad (15)$$

де $i(\Delta F_1)$ – час обробки, що затрачується на «шліфування повітря».

Наприклад, при шліфуванні пуансона вирубного штампа трикутної форми при $\frac{F_p}{\Delta F_1} = 1,2$;

$\left(1 + \frac{\tau_{np}}{T_{вер}} \right) = 1,1$; $\frac{\Delta F}{\Delta F_1} = 0,8$ і $\frac{t_{осм}}{i(\Delta F_1)} = 1,0$ зменшення трудомісткості обробки тільки від використання адаптивної системи автоматичного обмеження непродуктивних подовжніх перебігів шліфувального кола складе:

$$\frac{\Delta T_{шт.к}}{T_{шт.к}^0} = \frac{1}{1 + 1,2 \cdot 1,1 + 0,8 + 1,0} = 0,2427,$$

тобто 24,3 %.

При додатковому використанні твердих технологічних змащень фактичний ефект, обумовлений формулою (13), буде більше, ніж 24,3 %, тому що з'являться додаткові джерела ефекту: $(i_0 - i_1)$ та $\left(\frac{i_0}{T_{вер.0}} - \frac{i_1}{T_{вер.1}} \right)$. Таким чином, вибираючи ті чи інші тверді технологічні змащення, можна регулювати трудомісткість операції плоского шліфування, а отже, і технологічну собівартість цієї операції.

Описаний у статті підхід можна використовувати для регулювання трудомісткості та собівартості будь-яких інших технологічних операцій механічної обробки на етапі їхнього

проекування. Що стосується операцій плоского шліфування, то розроблені в статті математичні залежності можна використовувати в підсистемі САПР, що працює в середовищі зазначених вище комп'ютерних прикладних програм типу Компас, T-Flex тощо. Крім того, ці залежності можна використовувати в стандартних додатках системи «Office-2000», наприклад, у додатку Microsoft Excel.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Основы теории тепловых явлений при шлифовании деталей машин: Учеб. пособие / А.В. Якимов, Б.О. Ткаченко, С.Г. Зимин и др. – Одесса: ОГПУ, 1997. – 272 с.
2. Ларшин В.П., Гречижа А.А. Повышение эффективности шлифования вырубных штампов при использовании твердых технологических смазок // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 2000. – С. 45–48.
3. Методические указания к изучению раздела «Оптимизация режимов резания» курса «Нормирование труда рабочих» / Сост. Б.Н. Игумнов, Т.П. Завгородняя. – Хмельницкий: ХТИ, 1989. – 128 с.
4. А.с. 747706 СССР МКИ В24В 49/00. Устройство для ограничения перемещений шлифовального круга / А.В. Якимов, В.П. Ларшин, А.А. Якимов. Опубл.15.07.80. Бюл. № 26. – 3 с.

ЛАРШИН Василь Петрович – доктор технічних наук, професор кафедри “Технологія машинобудування” Одеського національного політехнічного університету.

Наукові інтереси:

– теорія шліфування.

ЯКИМОВ Олександр Васильович – доктор технічних наук, професор кафедри “Технологія машинобудування” Одеського національного політехнічного університету.

Наукові інтереси:

– теорія шліфування.

Подано 19.07.2001