

***Методологія дослідження продуктивності технологічної системи зубошліфування
для верстатів з ЧПК***

***Методология исследования производительности технологической системы
зубошлифования для станков с ЧПУ***

Gear grinding system productivity study methodology for CNC machines

Науковий керівник – докт. техн. наук, проф. каф. «Технологія машинобудування»

Ларшин В. П., Ларшин В. П., Larshin V.

Студент Медюк Р. С., Медюк Р. С., Medyuk R.

Анотація: *Розроблено і обґрунтовано методіку визначення основного (технологічного) часу шліфування для умов обробки на верстаті з числовим програмним керуванням (ЧПК). Вперше враховано можливість включення до складу формули для оперативного часу так званого часу на вимір, який в ряді випадків можна порівняти з часом обробки.*

Ключові слова: основний (технологічний) час операції, оперативний час, питома інтенсивність шліфування, час на вимір припуску.

Аннотация: *Разработана и обоснована методика определения основного (технологического) времени шлифования для условий обработки на станке с числовым программным управлением (ЧПУ). Впервые учтена возможность включения в состав формулы для оперативного времени так называемого времени на измерение, которое в ряде случаев сопоставимо со временем обработки.*

Ключевые слова: *основное (технологическое) время операции, оперативное время, удельная интенсивность шлифования, время на измерение припуска.*

Annotation: *A methodology for determining the main (technological) grinding time for processing conditions on a machine tool with computer numerical control (CNC) has been developed and substantiated. For the first time, the possibility of including in the formula for the operational time of the operation, the so-called time for measurement, which in some cases is comparable to the processing time, has been taken into account.*

Keywords: *main (grinding) operation time, operational time, specific grinding intensity, grinding allowance measurement time.*

Питанню підвищення продуктивності технологічних процесів і систем присвячена велика кількість публікацій, в тому числі [1-5].

Змінна частина штучного часу зубошліфування на верстаті з ЧПК і убудованою системою вимірювання припуску складається із двох складових: часу вимірювання

фактичного розташування припуску на заготовці (етап налагодження верстата) і часу обробки, що залежить від фактичного розташування обмірюваного припуску по правій і лівій сторонам западин зубчастого колеса на етапі обробки, тобто

$$T'_{um} = T_O + T_{вим} , \quad (1)$$

Формула для машинного часу наведена в роботі [1]. Стосовно до структури циклу зубошліфування на верстаті Höfler RAPID 1250 формула має вигляд

$$T_O = \left(\frac{B + l_1 + l_2}{V_f} \frac{z_{rated}}{t} + T_{IND} \right) z + kT_D , \quad (2)$$

де B – ширина зубчастого вінця, мм; l_1, l_2 – величина шляху врізання і перебігу, відповідно, мм; V_f – осьова подача, мм/с; z_{rated} – номінальний припуск в нормальному (z_n) або вертикальному (z_v) вирахуванні, мм; t – глибина шліфування в нормальному (t_n) або вертикальному (t_v) вирахуванні, мм; T_{IND} – час ділення зубчастого колеса, с; z – число зубів зубчастого колеса; k – кількість правок шліфувального круга; T_D – час однієї правки, с.

Достовірна інформація про припуск по всіх западинах зубчастого колеса дозволяє враховувати при обробці індивідуальні особливості заготовки і, як наслідок, мінімізувати непродуктивні витрати часу при зменшенні припуску. Ступінь вірогідності цієї інформації залежить від числа N вимірів припуску. Очевидно, що максимальне число вимірів дорівнює числу западин (або числу зубів) зубчастого колеса і переважно для одержання максимально достовірної інформації. Однак з ростом числа вимірів штучний час операції (у хвиликах) збільшується на час вимірів відповідно до формули

$$T_{вим} = \frac{1}{60} (T_1 + T_2 + T_3 + T_4) , \quad (3)$$

де T_1 – час на розгортання тактильного приладу у вимірювальну позицію і його повернення у вихідну позицію, с; $T_2 = mN$ – час, затрачений на N вимірів (N – кількість вимірюваних западин), с; m – час циклу вимірювальних переміщень зубчастого колеса при торканні щупом датчика правої і лівої сторін западини, с; $T_3 = m'N$ – сумарний час на N зведень і виводів щупа датчика, с; m' – час одного циклу зведення-виводу щупа, с; $T_4 = k(N)\tau_r$ – час на один повний поворот зубчастого колеса при вимірюванні припуску, с; $k(N) > 1$ – змінний коефіцієнт, що враховує нерівномірність обертання зубчастого колеса при його стартовому режимі руху; τ_r – час на один повний поворот зубчастого колеса при його рівномірному русі, с.

У свою чергу

$$T_4 = k(N) \frac{1}{V} \frac{2\pi R}{z} \frac{z}{N} N = k(N) \frac{2\pi R}{V}, \quad (4)$$

де R – радіус вимірювальної окружності, м; V – лінійна швидкість точки на вимірювальній окружності зубчастого колеса, м/с.

З огляду на те, що $V = \omega R$, де $\omega = \pi n / 30$ – кутова швидкість зубчастого колеса (рад/с), n – частота обертання заготовки зубчастого колеса при вимірюванні припуску (хв^{-1}), вираження (4) приймає вид

$$T_4 = 60 \frac{k(N)}{n}.$$

Вертаючись до рівняння (3) одержуємо

$$T_{\text{вим}} = \frac{T_1}{60} + \frac{m + m'}{60} N + \frac{k(N)}{n}.$$

Видно, що зі збільшенням числа вимірів N час виміру зростає (перша тенденція із двох протилежних альтернатив у математичній моделі оптимізації). Формулу (2) можна представити в наступному вигляді

$$T_O = \left(\frac{B + l_1 + l_2}{Q'_w} z_{\text{rated}} + T_{\text{IND}} \right) z + kT_D,$$

де $Q'_w = t_v \cdot V_f$ – питома інтенсивність шліфування (кількість матеріалу, що видаляється, в одиницю часу, розраховуючи на 1 мм активної ширини профілю шліфувального круга), $\text{мм}^3/(\text{мм} \cdot \text{с})$.

Кількість правок k визначають за формулою

$$k = \frac{z}{j_{\text{gap}}}, \quad (5)$$

У формулі (5) використовується вираз

$$j_{\text{gap}} = \frac{V'_w \text{lim}}{V'_w \cdot i} \quad (6)$$

де $V'_w \text{lim}$ – граничне значення параметра, $\text{мм}^3/\text{мм}$; V'_w – обсяг матеріалу, що видаляється, (кількість матеріалу, що видаляється, розраховуючи на 1 мм активної ширини профілю шліфувального круга), $\text{мм}^3/\text{мм}$; i – кількість ходів на відповідному етапі обробки.

Таким чином, з урахуванням формул (5) і (6), формула (3) приймає вигляд

$$T_O = \left(\frac{B + l_1 + l_2}{Q'_w} z_{rated} + T_{IND} \right) z + \frac{V'_w \cdot i \cdot z}{V'_{w \lim}} T_D \quad (7)$$

Вчення про продуктивності технологічних процесів і систем є складовою частиною навчальної дисципліни "Автоматизація технологічних процесів", оскільки сам термін "Автоматизація" означає розробку високопродуктивних технологічних процесів, які неможливо реалізувати вручну. Таке розуміння дозволяє правильно проектувати відповідні навчальні дисципліни [5].

Список літератури

1. Производство зубчатых колес: Справочник / [Калашников С. Н. [и др.]; под общей ред. Б. А. Тайца. – [3-е изд. перераб. и дополн]. – М.: Машиностроение, 1990. – 464 с.
2. Ларшин В. П., Ліщенко Н. В. Моделювання технологічної системи профільного зубошліфування як об'єкта керування. – Збірник наукових праць VII-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні» 5-9 лютого 2018 р. – Львів: НУ «Львівська політехніка», с. 76-79.
3. Lishchenko, N. & Larshin, V. (2019) "Grinding Temperature Model Simplification for the Operation Information Support System", Scientific Journal Herald of Advanced Information Technology, Odessa, Ukraine, Publ, Science and Technical, Vol. 2, No. 3, pp. 197-205. DOI: 10.15276/hait.03.2019.3.
4. Larshin, V. & Lishchenko, N. (2020) "Intermittent grinding temperature modeling for grinding system state monitoring" Applied Aspects of Information Technology, Odessa, Ukraine, Publ, Science and Technical, Vol. 3, No. 2, pp. 58-73. DOI: 10.15276/aait.02.2020.3.
5. Larshin, V. & Lishchenko, N. (2019) "Education Technology Information Support", Scientific Journal Herald of Advanced Information Technology, Odessa, Ukraine, Publ, Science and Technical, Vol. 2, No. 4, pp. 317-327. DOI: 10.15276/hait.04.2019.8.

Науковий керівник:

Ларшин Василь Петрович,

Ларшин Василий Петрович,

Larshin Vasily,

Медюк Ростіслав Сергійович,

Медюк Ростіслав Сергеевич,

Medyuk Rostislav.