

УДК

Душинський В.В.,
Амін Афшар К.

Національний технічний університет “КПІ”

**ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРАЦІ ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ
ІНСТРУМЕНТОМ З НЕПЕРЕТОЧУВАЛЬНОЮ,
БАГАТОГРАННОЮ, ШВИДКОЗМІННОЮ,
ТВЕРДОСПЛАВНОЮ ПЛАСТИНОЮ**

Розглядається можливість підвищення продуктивності праці механічної обробки при використанні інструментів з непереточувальними, багатограними, швидкозмінними, твердосплавними пластинами за рахунок значного підвищення їх якості та зниження собівартості.

Проектування технологічного процесу механічної обробки базується на глибоких знаннях властивостей матеріалу заготовки та ріжучого інструменту та основних законів їх взаємодії у процесі різання. Це дозволяє розробити такий процес, що гарантує у заданих виробничих умовах обробку деталі у повній відповідності з технічними вимогами та з найменшими витратами робочого часу. Він забезпечує виконання вимог показника найбільшої продуктивності обладнання та досягнення найбільшої виробітки верстатника при незмінній його кваліфікації та інтенсивності праці за умов відсутності бригадної та багатостатної роботи.

Показник найбільшої продуктивності характеризує витрати та економію тільки частки витрат суспільної праці, а тому його звичайно використовують при ліквідуванні “вузьких місць” у технологічному процесі. Швидкість різання v_r при цьому сягає свого найбільшого значення у економічній зоні різання.

Такий технологічний процес можна використовувати тільки на протязі невеликого відрізка часу, тому що при таких режимах різання збільшується інтенсивність спрацювання ріжучого інструмента, зростає частота його переточувань та підналадок, збільшуються витрати ріжучого інструмента та собівартість оброблюваних деталей

Визначальними складовими процесу металообробки є верстати та ріжучі інструменти, розвиток яких йде безперервно з постійно випереджувальним розвитком інструмента.

У наш час при обробці металів різанням широко використовуються різноманітні тверді сплави у вигляді багатограних, швидкозмінних пластин, які дозволяють виключити напаювання та багаторазове їх переточування, що призводять до виникнення напруженого стану у карбідній матриці сплаву. Це підвищує якість та точність механічної обробки, зменшує витрати на зміну ріжучої кромки та підналадку інструмента.

Ця концепція досить ефективна і використовується багатьма ведучими фірмами світу при проектуванні сучасних інструментів, незважаючи на те, що при цьому збільшуються витрати на інструмент.

На підтвердження доцільності такого нововведення у практику машинобудування розглянемо деякі аспекти їх використання за режимів найбільшої продуктивності.

При визначенні режимів різання металів до уваги звичайно приймається показник погодинної продуктивності, що ураховує витрати часу, охоплювальні нормою часу на операцію. На витрати часу, які не охоплюються нормою, зміна режимів різання безпосередньо не впливає.

Погодинна продуктивність праці при виконанні i -ї операції знаходиться за формулою

$$q_{ч.р. i} = (60 / t_{шт. i} \beta_i), \tag{1}$$

де $t_{шт. i}$ – штучно-калькуляційний час на виконання i -ї операції, хв; β_i – коефіцієнт, що враховує наявність бригади або багатостатної роботи при виконанні даної операції.

Штучно-калькуляційний час приймається за нормативами або за фактичною величиною витрат. За норму штучно-калькуляційного часу у машинобудуванні приймається час, що встановлений на виконання заданої операції при певних організаційно-технічних умовах з урахуванням ефективного використання усіх засобів виробництва та передового досвіду новаторів виробництва.

Час, який передбачено для виконання операції, має визначальне значення для знаходження продуктивності засобів виробництва, а також для ефективного використання фонду робочого часу.

Режими різання є основними факторами, що визначають як норму часу, так і фактичну величину витрат часу на технологічну операції при обробці деталей різанням.

Час на операцію складається з двох частин: штучного часу $t_{шт. i}$ на операцію та підготовчо-заключного часу $T_{пз}$ на усю партію деталей N , тобто

Параметри режимів різання, викликаючи зміни витрат часу на операцію, по-різному впливають на стійкість інструмента, на час його зміни та підналадки, що припадає на одну деталь, а також на весь штучно-калькуляційний час.

Аналіз залежності (8) показує, що збільшення будь-якого параметра режиму різання викликає пропорційне скорочення часу різання за кривими гіперболічного характеру, що асимптотично наближаються до осі досліджуваного параметра. Інтенсивність зміни робочого часу різноманітна і залежить від параметрів режиму різання. Так дослідження [2] показали, що найбільшу інтенсивність зміни робочого часу викликає швидкість різання (рис.1, крива 1). Подача і глибина різання з меншою інтенсивністю впливають на цей показник.

Час на зміну і піднастроювання інструмента $t_{змі}$, що затупився, також залежить від режимів різання і є одним із факторів, що визначають їхнє оптимальне значення. Воно визначається як відношення

$$t_{змі} = T_{змі} / q_{T_i}, \tag{9}$$

де $t_{змі}$ – час зміни і підналадження інструмента за період його стійкості між черговими переточками при виконанні i -ї операції, хв ($T_{змі} = \text{const}$); q_{T_i} - кількість деталей, що виготовлені за період стійкості інструмента, шт; вона залежить від режимів різання і визначається за залежністю

$$q_{T_i} = T_i / t_{p_i}. \tag{10}$$

Зі збільшенням швидкості різання стійкість інструмента T_i зменшується інтенсивніше, чим робочий час t_{p_i} , що призводить до зменшення кількості деталей, оброблених за період стійкості інструмента. Отже, величина $t_{змі}$ зростає (див. мал. 1, крива 2). Аналогічно діють на $t_{змі}$ і інші параметри режиму різання.

Знаючи характер залежності складових штучного-калькуляційного часу t_{o_i} і $t_{змі}$ від режимів різання, можна встановити характер зміни усієї частини штучного-калькуляційного часу $t_{шк.p_i}$, яка залежить від режимів різання (див. рис. 1, крива 3).

Аналіз цієї кривої показує, що вона має екстремальний характер, тобто певному значенню параметрів режиму різання відповідає її мінімум.

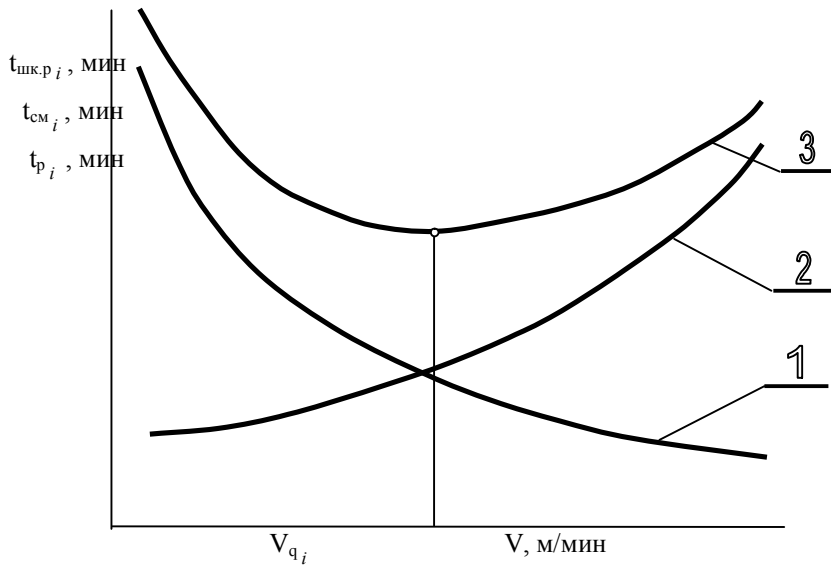


Рис. 1. Зміни складових штучно-калькуляційного часу від швидкості різання при $t = const, s = const$: 1 – $t_{р_i} = f_1(v)$; 2 – $t_{см_i} = f_2(v)$; 3 – $t_{шк.р_i} = f_3(v)$

Перетворимо рівняння (4)

$$t_{шк.р_i} = t_{р_i} + t_{см_i} = t_{р_i} + (T_{зм} \cdot t_{р_i} / T_i) = (\pi \cdot D \cdot L \cdot h / 1000 v_i \cdot s \cdot t) + (T_{зм} \pi \cdot D \cdot L \cdot h / T_i 1000 v_i \cdot s \cdot t). \tag{11}$$

Якщо $v_i = (C_v k_v / T_i^m t^{x_v} s^{y_v})$, то підставляючи її значення у залежність (11), отримаємо

$$t_{шк.р_i} = (\pi \cdot D \cdot L \cdot h \cdot t^{x_v} s^{y_v} / 1000 \cdot C_v \cdot k_v \cdot s \cdot t) \cdot T_i^m + (\pi \cdot D \cdot L \cdot h \cdot t^{x_v} s^{y_v} / 1000 \cdot C_v \cdot k_v \cdot s \cdot t) \cdot (T_{зм} \cdot T_i^m / T_i). \tag{12}$$

Постійні величини, що входять у залежність (12), позначимо через коефіцієнт C_1

$$C_1 = (\pi \cdot D \cdot L \cdot h \cdot t^{x_v} s^{y_v} / 1000 \cdot C_v \cdot k_v \cdot s \cdot t).$$

Тоді залежність (12) прийме вигляд

$$t_{шк.р_i} = C_1 \cdot T_i^m + C_1 \cdot (T_{зм} \cdot T_i^m / T_i) = C_1 \cdot T_i^m + C_1 \cdot T_{зм} \cdot T_i^{m-1}. \tag{13}$$

Для знаходження швидкості різання, при якій частина штучно-калькуляційного часу, що залежить від режимів різання, досягає мінімального значення, визначимо стійкість інструмента T_{q_i} , що відповідає цієї швидкості. Для цього візьмемо похідну по стійкості інструмента від величини $t_{шк.р_i}$ і дорівняємо її нулю

$$\begin{aligned} \partial t_{шк.р_i} / \partial T &= \partial (C_1 \cdot T_i^m + C_1 \cdot T_{зм} \cdot T_i^{m-1}) / \partial T = \\ &= C_1 \cdot m \cdot T_i^{m-1} + C_1 \cdot T_{зм} \cdot (m-1) \cdot T_i^{m-2} = 0. \end{aligned} \tag{14}$$

Вирішуючи рівняння (14) щодо T_i , дістанемо

$$T_i = ((1 - m) / m) \cdot T_{зм}. \tag{15}$$

Дана стійкість інструмента є оптимальною з погляду досягнення мінімальної величини $t_{шк.р_i}$, тобто відповідає максимальній погодинній продуктивності верстата. При цьому стійкість інструмента $T_i = T_{q_i}$ і гарантує досягнення мінімального часу на операцію за умови, що $t_{шк.н_i} = const$.

Тоді, значення швидкості різання v_{q_i} , оптимальне з погляду досягнення максимальної продуктивності операції, може бути знайдене за залежності

$$v_{q_i} = (C_v k_v / T_{q_i}^m t^{x_v} s^{y_v}) \tag{16}$$

або у результаті диференціювання рівняння (11) по швидкості різання

$$v_{q_i} = \{m \cdot C_T / [(1-m) \cdot T_{3m} \cdot t_{p_i}^{x_v} \cdot s^{y_v}]\}^m, \tag{17}$$

де C_T – коефіцієнт, що враховує фізико-механічні властивості оброблюваного та інструментального матеріалів і стандартні умови обробки.

Аналогічно можуть бути знайдені оптимальні значення подачі і глибини різання, що також впливають на стійкість інструмента T_i , на витрати часу t_{p_i} , t_{3m_i} і на штучно-калькуляційний час у цілому $t_{шк_i}$.

Досягнення максимальної годинної продуктивності верстата при здійсненні i -ї технологічної операції можливо тільки при роботі з оптимальними по продуктивності значеннями стійкості інструмента T_{q_i} і параметрів режиму різання (v_{q_i} , s , t). Це можливо тільки в тих випадках, коли знайдені аналітичним шляхом величини T_{q_i} і v_{q_i} будуть відповідати інтервалам можливих змін стійкості інструмента $[T_1, T_2]$ і швидкості різання $[v_1, v_2]$, тобто коли $T_1 \geq T_{q_i} \geq T_2$ при $v_1 \leq v_{q_i} \leq v_2$ (рис.2)

Кожний параметр режиму різання під впливом різноманітних причин і технічних обмежень може змінюватися, що веде до необхідності відшукування таких їх оптимальних значень, які у поєднанні гарантують досягнення мінімально можливої величини машинного часу на операцію при збереженні незмінної величини стійкості інструмента T_{q_i} , отриманої аналітичним шляхом для умов максимальної продуктивності, тобто

$$t_{шк_i} = t_{p_i} \cdot \min [1 + (T_{3m} / T_{q_i})] + t_{шк.н_i} \rightarrow \min. \tag{18}$$

Таким чином, для знаходження оптимальних значень параметрів режиму різання необхідно вирішити систему рівнянь і нерівностей із трьома невідомими.

Якщо визначені аналітичним шляхом значення T_{q_i} і v_{q_i} виходять за межі технологічно можливих інтервалів $[T_2, T_3]$ і $[v_2, v_3]$, встановлених у результаті стійкісних досліджень, то для знаходження значень T_i і v_i , що відповідають вимогам найбільшої можливої продуктивності i -ї операції, необхідно визначити характер кривої $t_{шк_i} = f(v)$ в інтервалі $[v_2, v_3]$, що відповідає даним стійкісних досліджень. Для цього перетворимо залежність (11)

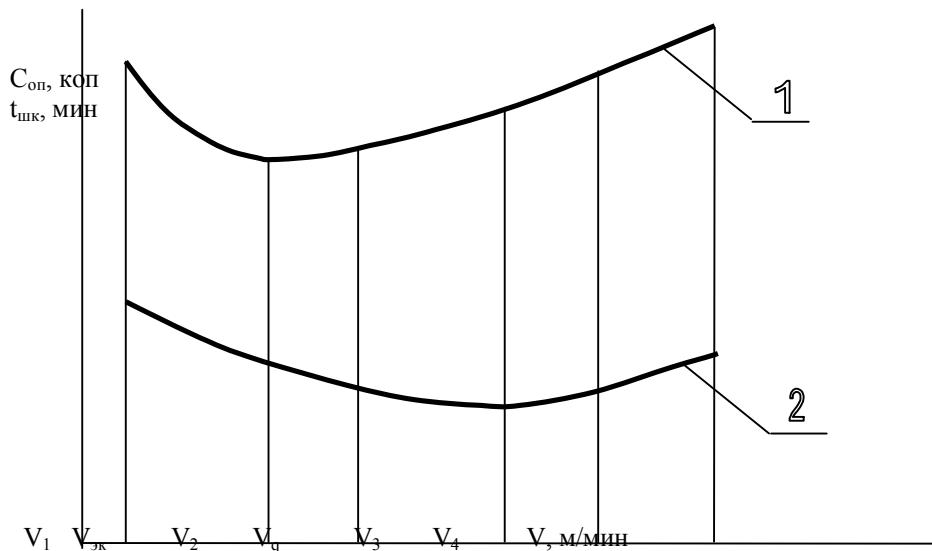


Рис. 2. График изменения себестоимости операции (1) и штучного времени на операцию (2) от скорости резания v_i при $t = const, s = const$

$$\begin{aligned} T_{шк.р_i} &= t_{p_i} + t_{3m_i} = t_{p_i} + (T_{3m} \cdot t_{p_i} / T_i) = \\ &= (\pi \cdot D \cdot L \cdot h / 1000v_i \cdot s \cdot t) + (T_{3m} \pi \cdot D \cdot L \cdot h / T_i \cdot 1000v_i \cdot s \cdot t) = \\ &= C_2 \cdot v_i^{-1} + T_{3m} \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot v_i^{\frac{1-m}{m}}, \end{aligned} \tag{19}$$

де C_2 і C_3 – постійні величини;

$$C_2 = (\pi \cdot D \cdot L \cdot h / 1000 \cdot s \cdot t), \quad C_3 = (t^{\frac{x_v}{m}} \cdot s^{\frac{y}{m}}) / C_T.$$

Диференціюючи рівняння (19) по швидкості різання, отримаємо

$$\partial t_{\text{шк.р}_i} / \partial v_i = -C_2 \cdot v_i^{-2} + [(1 - m) / m] T_{\text{зм}} \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot v_i^{\frac{1}{m}-2} = 0.$$

Вирішуючи це рівняння щодо стійкості інструмента T_i , одержимо:

$$[(1 - m) / m] \cdot T_{\text{зм}} - T_i = 0; \tag{20}$$

або

$$[(1 - m) / m] \cdot T_{\text{зм}} - T_i \geq 0; \tag{21}$$

Аналіз залежностей (20, 21) показує, що :

1. якщо $T_2 \geq T_{q_i} \geq T_3$ при $v_2 \leq v_{q_i} \leq v_3$, то рівняння (20) свідчить про те, що найменше значення $t_{\text{шк}_i}$ і найбільше значення годинної продуктивності q_i для зазначеного інтервалу швидкостей досягаються при $v_i = v_{q_i}$ (рис. 2);

2. якщо $T_{q_i} - T_i > 0$, то крива $t_{\text{шк}_i} = f(v)$ монотонно зростає, а тому, найменша, можлива для даного випадку, величина часу $t_{\text{шк}_i}$ і найбільша годинна продуктивність q_i будуть обумовлені найменшою технологічно можливою швидкістю різання v_3 (рис.2); це можливо при значних витратах часу на зміну інструмента і його настроювання на розмір, що обумовлюють велику стійкість найбільшої продуктивності, а мала величина v_{q_i} не допускається якимись технічними обмеженнями.

3. якщо $T_{q_i} - T_i < 0$, то крива $t_{\text{шк}_i} = f(v)$ монотонно спадає, а найменша можлива для цього випадку величина часу $t_{\text{шк}_i}$ і найбільша годинна продуктивність q_i будуть обумовлені найбільшою технологічно можливою швидкістю різання v_2 (рис. 2). Це можливо при порівняно малому значенні $T_{\text{см}}$ і T_{q_i} , що виходить за межі інтервалу $[T_1, T_2]$.

Робота на режимах максимальної продуктивності припустима тільки в тих випадках, коли дана операція являє собою вузьке місце і за умовами виробництва потрібно в короткий час забезпечити випуск необхідної кількості деталей. У умовах багатосерійного і масового виробництва доцільність застосування режимів максимальної продуктивності вимагає додаткової перевірки на економічність даного засобу в порівнянні зі збільшенням кількості верстатів для підвищення пропускної спроможності даної операції.

Відсутність напруженого стану в багатогранних швидкозмінних твердосплавних пластинах дозволяє вести обробку металів на більш високих швидкостях різання, що сприяє підвищенню продуктивності праці, а також дозволяє використовувати більш тверді і зносостійкі сплави, що допускають при незмінному ресурсі стійкості інструмента суттєве підвищення швидкості різання, що призводить до ще більшого підвищення продуктивності праці.

Проте відсутність експериментальних даних з стійкісних досліджень багатогранних швидкозмінних твердосплавних пластин вітчизняного виробництва при обробці різноманітних конструкційних і важкооброблюваних матеріалів до деякої міри стримує їхнє ефективне використання в металообробній промисловості.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Великанов К.М., Новожилов В.И. Экономичные режимы резания металлов. Л.: Машиностроение, 1972. – 120 с.
2. Вульф А.М. Резание металлов. Изд. 2-е Л.: Машиностроение, 1973.– 496с.
3. Темчин Г.И. Многоинструментные наладки (теория и расчет). – М.: Машгиз, 1963. – 544 с.

In this article we are analyzed methods for increase of efficiency machining operation in using of indexible throwaway cemented- carbide insert. Many factors must be considered in analyze the efficiency of any machining operation with indexible throwaway cemented-carbide insert. In the paper offer formula and method for calculate efficiency of machining operation .