



АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ФРЕЗ ТА ЇХ ПРОГРЕСИВНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Настасенко В.О., к.т.н., доцент, професор кафедри
Херсонська державна морська академія

Постановка проблеми Робота відноситься до сфери машинобудування та інструментального виробництва, зокрема – до виробництва черв'ячних фрез та шеверів для обробки ними зубчатих коліс.

Черв'ячні зуборізні фрези відносяться до найбільш поширених зуборізних інструментів, що обумовлено їх відносно високою продуктивністю, точністю, 3) поширенням використовуваних для їх роботи зубофрезерних верстатів, Черв'ячні шевери знайшли своє використання для обробки черв'ячних коліс, і майже не використовуються для обробки циліндричних зубчастих коліс, оскільки значно складніші у виготовленні за дискові шевери. у яких високу продуктивність забезпечує збільшення їх діаметру та кількості зубців, а також можливість більш простого, у порівнянні зі збірними черв'ячними шеверами, оснащення їх зубцями з твердосплавних інструментальних матеріалів.

Аналіз стану проблеми. В сучасному виробництві постійно зростаючі вимоги до підвищення продуктивності, точності і якості обробки зубчатих коліс вимагають удосконалення черв'ячних фрез та шеверів, тому гострота даної проблеми теж постійно зростає, що потребує її розв'язання

Таким чином, *головною метою даної роботи* є аналіз умов підвищення продуктивності черв'ячних фрез і розробка на цій базі їх удосконалених конструкцій та нових способів і технологій їх виробництва.

Шляхи розв'язання поставлених проблем. Проблема підвищення продуктивності черв'ячних фрез є спірною, особливо для коліс великих модулів і кількості зубців, що пов'язано, як зі стійкістю фрез, так і з можливостями використовуваних для них зубофрезерних верстатів. Однак використання твердого сплаву і зуборізних верстатів з ЧПК для узгодження відокремлених рухів обертання черв'ячної фрези і столу зубофрезерного верстату, дозволяють ефективно вирішити вказані проблеми, що підтверджує перспективність черв'ячних фрез і черв'ячної зубообробки. Другою їх перевагою у порівнянні зі спрощеними методами обробки, є висока точність, особливо для зубчастих коліс з евольвентним профілем, найменш чутливим для похибок монтажу міжцентрової відстані.

Підвищення продуктивності (Π) обробки зубчатих коліс черв'ячними фрезами передбачене в загальномашинобудівних нормативах режимів різання, як зворотна величина основного машинного часу $t_{o.m.}$ в рамках залежності:

$$\Pi = \frac{1}{t_{o.m.}} = \frac{S_{об.см.} n_{\phi} k_z}{(l_{вр.} + l_p + l_{пер.}) z_k} (xv^{-1}) \quad (1)$$

де $l_{вр.}$, $l_{пер.}$ – довжина врізання і перебігу, мм,
 l_p – довжина різання, мм,
 z_k – число зубців колеса,



$s_{об.см.}$ – подача на оборот столу верстата, мм/об,
 $n_{ф}$ – частота обертання фрези, об/хв.,
 k_z – кількість заходів фрези.

Однак з цієї залежності витікає, що продуктивність може бути безкінечною при аналогічному рості величин $s_{об.см.}$, $n_{ф}$, k_z , що не відповідає реальній дійсності, тому потрібен її подальший аналіз.

При $n_{ф} = \frac{1000}{\pi D_{аф.}} (xv^{-1})$, $l_{пер.} = 2...5$ мм, $l_{ер} = \sqrt{2,2m(D_{аф.} - 2,2m)}$ (мм), які наведені

в роботі [20], отримаємо нову залежність (2), в якій продуктивність Π залежить від подачі на зуб фрези $s_{ф}$, числа її рейок $z_{ф}$, швидкості різання v , зовнішнього діаметру фрези $D_{аф.}$, модуля m і довжини різання l_p :

$$\Pi = \frac{1000s_z z_{ф} v}{\pi D_{аф.} (l_{ф} + \sqrt{2,2m(D_{аф.} - 2,2m)} + 2...5)} \quad (2)$$

Однак і ця залежність не в повній мірі пояснює можливості збільшення продуктивності, оскільки не враховує стійкість фрез, яка обумовлена залежністю (3):

$$v_{ф} = \frac{C_v}{T^{0,3} s_{об.см.}^{0,5} m^{0,1} HB^{1,25}} (м \cdot xv^{-1}) \quad (3)$$

де $v_{ф}$ – швидкість різання, м/хв.,

C_v – нормативний коефіцієнт швидкості різання,

$s_{об.см.}$ – подача на оборот столу верстата, мм/об,

m – модуль, мм,

HB – твердість виробу.

З урахуванням залежності (3), із залежності (2) витікає, що для зниження T в 2 рази достатньо:

- 1) підвищення швидкості різання $v_{ф}$ в 1,26 рази,
- 2) підвищення подачі s_z – в 1,43 рази,
- 3) збільшення числа рейок $z_{ф}$ – в 2 рази (оскільки більш сильно зменшується кількість їх можливих переточок).

Це накладає відповідні обмеження на зростання Π . Однак, для виключення зниження T , можлива комбінація вказаних параметрів. При $T = const$ з рівняння (3) витікає, що підвищення в n разів швидкості різання $v_{ф}$ потребує зниження подачі $s_{об.см.}$ у n^2 разів:

$$v_{(n)} = n v_{(c)}, \quad (4)$$

$$s_{об.см.(n)} = \frac{s_{об.см.(c)}}{n^2}.$$

де індекси (н) і (с) – відповідно позначають нове і старе значення даного параметра.

Підставивши значення (4) в рівняння (2), при інших рівних параметрах, отримаємо не ріст, а зменшення продуктивності $\Delta \Pi_v$:

$$\Delta \Pi_v = \frac{\Pi_{v(n)}}{\Pi_{v(c)}} = \frac{n v_{(c)}}{v_{(c)}} \times \frac{s_{об.см.(c)}}{n^2 s_{об.см.(c)}} = \frac{1}{n} (\text{разів}). \quad (5)$$



Підвищення в n разів подачі $s_{об.см.}$ менш сильно знижує стійкість і при $T = const$ може бути компенсоване зниженням швидкості різання v в \sqrt{n} разів:

У стандартних фрез збільшення в n разів кількості рейок z_f зменшує кількість переточувань в $(n^2 - 1)$ разів, але збільшує стійкість T в n разів, що при $T = const$ дозволяє підвищити подачу $s_{об.см.}$ у n разів:

Збільшення в n разів зовнішнього діаметру фрези D_{af} приводить до збільшення довжини шляхів врізання і перебігу, до зростання габаритів фрез, верстата і потужності, що витрачається на різання, У разі обробки одиничних виробів, даний шлях призводить до найбільшого зниження продуктивності.

Таким чином, при $T = const$, реальний вплив на продуктивність відображає схема (6), де \uparrow – чинники, що збільшують, а \downarrow – що зменшують продуктивність P :

$$s_{об.см.} \uparrow z_f \uparrow D_{af} \uparrow \downarrow m \downarrow l_{вр.} \downarrow l_p \downarrow l_{пер} \downarrow. \quad (6)$$

Найбільш доцільним для підвищення продуктивності зубофрезерування є збільшення подачі $s_{об.см.}$, однак при цьому обмежуючим чинником стає хвилястість зубообробки (висоти макронерівностей у напрямку осьової подачі фрези по дузі виходу вершин її зубів). Оскільки зменшити ці чинники дозволяють збільшення кількості зубців і заходів фрези, вони є головними для збільшення продуктивності зубообробки.

Однак збільшення кількості заходів автоматично веде до збільшення швидкості обертання столу верстату і пов'язаного з цим – збільшення частоти обертання фрези, або її швидкості v_f . Таким чином, коло впливових факторів замикається – реальне підвищення продуктивності черв'ячних фрез можливе тільки при переході до твердосплавних інструментальних матеріалів і до багатозахідних багатозубих конструкцій.

Розробка нових конструкцій черв'ячних фрез Збільшити кількість заходів до 7, а зубців – до 90 на 1 виток, без збільшення зовнішнього діаметру черв'ячних фрез і шеверів, дозволяють пружинно-пластинчасті конструкції, за патентом на винахід РФ № 2134183 і заявкою на патент України № 2013 09603.

Загальні висновки по роботі

1. Реальні можливості підвищення продуктивності черв'ячних зуборізних інструментів забезпечує використання твердих сплавів, збільшення кількості їх заходів і зубців, реалізувати їх можуть тільки багатозубі системи, з яких найбільш ефективні пружинно-пластинчасті конструкції.

2. Серед пружинно-пластинчастих черв'ячних зуборізних інструментів найбільш доцільні конструкції, які забезпечують кріплення у витках черв'якового корпусу комплектів пластин, що чергуються з клиновими вставками, введенням зовнішніх пружин в западини між витками і бічними сторонами з сусідніх пластин.

3. Застосування пружинно-пластинчастих конструкцій черв'ячних зуборізних інструментів більш доцільне для циліндричних багатозахідних фрез і шеверів, оскільки для гіперболоїдних конструкцій потрібне застосування великої кількості клинових вставок індивідуальних розмірів, що істотно ускладнює і здорожує їх виготовлення і експлуатацію.