

## **ВИЗНАЧЕННЯ АМПЛІТУДНИХ ПАРАМЕТРІВ КОЛИВАНЬ ФОРМОУТВОРЮЮЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ТА ПАРАМЕТРІВ ХВИЛЯСТОЇ ПОВЕРХНІ**

*Основними причинами виникнення хвилястості є динамічні процеси, що виникають під час обробки деталей на металорізючих верстатах. В статті проведені розрахунки по визначенню амплітудних параметрів коливань системи СПД з метою прогнозування утворення хвилястої поверхні оброблюваних деталей.*

Основними причинами виникнення хвилястості є динамічні процеси в обробленні деталей на металорізальних верстатах, пов'язані з втратою стійкості системи ВІД. Вібрації в процесі різання виникають внаслідок автоколивань та вимушених коливань. Автоколивання є результатом втрати властивості заданого руху в процесі різання, вимушені коливання викликаються зовнішніми збуреннями. Причинами утворення хвилястості є також вимушені коливання системи, викликані різними періодичними збуреннями, що виникають внаслідок невірноваженості ланок системи ВІД, які швидко обертаються (оброблювана деталь, шпindelь верстату, вали, шестерні тощо). Залежність від частоти коливань та швидкості відносного руху інструменту і деталі змінюється характер порушення форми поверхні. Вирішальним фактором, який впливає на форму деталі, є відношення частоти відносного гармонічного коливання інструменту і оброблюваної деталі  $\chi$  до частоти обертання деталі  $n$  [1]. Коли відношення  $\chi/n$  є цілим числом, то гармонічне коливання не впливає на форму поздовжнього перерізу деталі. В такому випадку оптимальним є дослідження форми деталі в поперечному перерізі. Коли  $\chi/n=1$ , відносний рух деталі та інструменту викликає появу ексцентриситету  $e$  оброблюваної деталі, але похибки форми при цьому не виникає.

Такий ексцентриситет є негативним явищем, оскільки кільце підшипника, виготовлене з подібною похибкою, володіє високою віброактивністю, що є недопустимою умовою роботи підшипника.

Для  $\chi/n=2$ , що зазвичай має місце, збурювачем відносного руху служить недостатньо зрівноважений привідний вал, який обертається з вдвічі більшим числом обертів, ніж шпindel, ексцентриситету не виникає, при цьому некруглість  $f_k$  дорівнює подвійному значенню амплітуди  $C_0$  ( $f_k=2C_0$ ), деталь набуває овальної форми.

Для  $\chi/n=3$  відповідно форма деталі є трьохгранною,  $e=0$ ,  $f_k=2C_0$ . Таким чином, коли відношення частот дорівнює цілому числу і  $\chi/n>1$ , ексцентриситет відсутній. Відносний рух інструменту і деталі безпосередньо впливає на поперечну форму оброблюваної деталі. Залежно від відношення частот  $\chi/n$  поточний розмір поперечного перерізу деталі змінюється за синусоїдальним законом з довжиною хвилі:

$$\dot{O} = \frac{2\pi}{\chi/i}$$

Некруглість  $f_k$ , що виникає при цьому дорівнює подвійній амплітуді відносного коливання деталі та інструменту. Відносний гармонічний рух деталі та інструменту впливає не лише на похибки форми деталі, але й на мікрогеометрію поверхні.

Виведемо загальні рівняння для кругових і поперечних хвиль. Введемо позначення (рис. 1):

$r_0$ -радіус геометрично правильної циліндрової деталі в мм;  
 $A_0$  - максимальна амплітуда коливального руху деталей – інструмент, мм;  $\varphi$ - кут повороту, рад;  $r(p)$  – радіус-вектор точки, відповідної куту  $\varphi_0$ , належному  $p$ -му жолобу подачі, тобто хвиля з порядковим номером  $p$ ;  $A_p$  - амплітуда цієї хвилі.

Для окремих хвиль запишемо наступні рівняння:

- нульова хвиля:

$$r_{(0)} = r_0 + A_0 \cos \Omega \varphi, \quad (1)$$

- перша хвиля:

$$r_{(1)} = r_0 + A_0 \cos[\Omega(\varphi + 1 \cdot 2\pi)], \quad (2)$$

- друга хвиля:

$$r_{(2)} = r_0 + A_0 \cos[\Omega(\varphi + 2 \cdot 2\pi)], \quad (3)$$

де  $\Omega$  - відношення повного кута повороту деталі ( $2\pi$ ) до кута повороту ( $\varphi$ ), відповідному довжині хвилі. Звідси можна написати:

$$\Omega = \frac{2\pi}{\phi}. \quad (4)$$

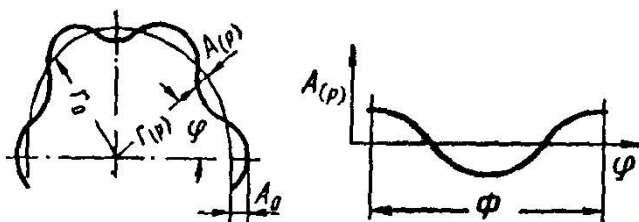


Рис. 1. Графіки поперечної та колової хвиль

Це відношення дорівнює відношенню часу повороту виробу  $T_n$  до тривалості відносного гармонійного руху  $T$ :

$$\frac{2\pi}{\phi} = \frac{\dot{\phi}_i}{\phi} \quad (5)$$

Якщо частоту коливання відносного гармонійного руху деталі та інструменту позначити через  $\chi$ , а частоту, що відповідає числу обертів деталі під час оброблення, позначити через  $n$ , то:

$$\frac{\dot{\phi}_i}{\phi} = \frac{\chi}{i} \quad (6)$$

Підставляючи значення  $\frac{\dot{\phi}_i}{\phi}$  у (5), отримано:

$$\frac{2\pi}{\phi} = \frac{\chi}{i} \quad (7)$$

Якщо враховувати лише амплітуди коливань і вилучити розмір, то останнє з рівнянь (7) запишемо у вигляді:

$$A_{(p)} = A_0 \cos[\Omega(\varphi + p \cdot 2\pi)] \quad (8)$$

Якщо в рівняння (8) замість  $\Omega$  підставити його значення з (6) і (7), то:

$$A_{(p)} = A_0 \cos\left[\frac{\chi}{n}(\varphi + p \cdot 2\pi)\right] \quad (9)$$

Отримане відношення можна розглядати як загальне рівняння для колової та поперечної хвиль. За допомогою рівності (9) можна визначити форму поверхні з різними відношеннями частот для будь-якого заданого кута повороту  $\varphi$  в площині поперечного перетину деталі [2].

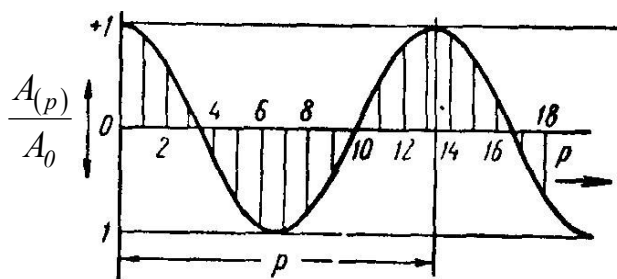


Рис. 2. Залежність відношення поточної амплітуди хвилі до максимальної від кількості хвиль

Так, наприклад, якщо кількість обертів під час оброблення 1200 об/хв. виникаюче коливання, характерне для робочого процесу, має частоту  $\chi=55 \text{ сек}^{-1}$ . Поперечна хвиля визначається в площині, відповідній  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ . Тоді, отримаємо  $\frac{\chi}{n} = \frac{55}{20} = 2,75$ , отже:

$$A_{(p)} = A_0 \cos\left[2,75\left(\frac{\pi}{2} + p \cdot 2\pi\right)\right] \quad (10)$$

Отримана поперечна хвиля зображена на рис. 2. Для запису рівняння поперечної хвилі, в яке б входила довжина хвилі, застосуємо наступну підстановку:

$$\frac{\chi}{n} = \psi \pm \psi' \quad (11)$$

де  $\psi$  - завжди ціле число, а  $\psi'$  - дробове,  $\psi' \leq 0,5$ .

Якщо підставити  $\frac{\chi}{n}$  в рівняння (10), то отримаємо:

$$A_{(p)} = A_0 \cos[(\psi \pm \psi')(\varphi + p \cdot 2\pi)]. \quad (12)$$

Використавши формулу для суми і різниці двох кутів, отримаємо загальне рівняння для колової та поперечної хвилі:

$$A_{(p)} = A_0 \left\{ \begin{array}{l} \cos[\psi(\varphi + p \cdot 2\pi)] \cos[(\varphi + p \cdot 2\pi)\psi'] \\ \mp \sin[\psi(\varphi + p \cdot 2\pi)] \sin[(\varphi + p \cdot 2\pi)\psi'] \end{array} \right\} \quad (13)$$

Для поперечної хвилі в площині, що відповідає  $\varphi=0$ , отримаємо спрощену формулу:

$$A_{(p)} = A_0 \cos(p \cdot 2\pi\psi') \quad (14)$$

Довжина поперечної хвилі, відповідно закону її освіти, у всіх площинах однакова. Тому і надалі для спрощення вибираємо площину перегину  $\varphi = 0$  (рис. 2). В цьому випадку справедливо рівняння, яке запишемо у вигляді:

$$A_{(p)} = A_0 \cos(\Omega^* \cdot p), \quad (15)$$

де  $\Omega$ , рад - відношення повного кута повороту до довжини поперечної хвилі  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{2\pi}{\Omega^*} \quad (16)$$

Якщо замість  $\Omega$  підставити вираз  $2\pi\psi'$ , то  $\lambda = \frac{1}{\psi'}$ .

Отже, довжина поперечної хвилі залежить від дробової частини відношення частот. Ця довжина хвилі близька до довжини хвилі на діаграмі, отриманої на приладі запису обробленої поверхні. Якщо при цьому відоме число обертів головного шпинделя, тобто збурююча частота відносного гармонічного руху, то такий запис може служити для виявлення джерела помилок.

### **Література:**

1. Волнистость поверхности и ее измерение. Лоповок Т.С. М.: Изд-во стандартов, 1973. - 184с.
2. Стругинський В.Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки: Підручник. – Житомир: ТІТІ, 2001. – 612с.
3. Темчин Г.И. Многоинструментальные наладки /Теория и расчет. – М.: Машиностроение, 1978. – 309с.