

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРУГОСИЛОВОГО МЕТОДА КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ И ППД<sup>1</sup>

С.Н. Близнюк, А.М. Довгалев

На основе динамической модели упругосилового метода комбинированной обработки получены аналитические зависимости для выбора рациональных динамических параметров технологической системы, обеспечивающих повышение размерной и геометрической точности формообразования, снижение шероховатости упрочняемой поверхности.

Ключевые слова: совмещенная обработка резанием и ППД, упругосиловой метод комбинированной обработки, амплитуда и фаза колебаний.

Дифференциальные уравнения описывающие вынужденные колебания детали при упругосиловом методе комбинированной обработки резания и ППД имеют вид [1]:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + (b_1 + b_p + b_d) \dot{x}_1 + (c_1 + c_p + c_d)x_1 - b_p \dot{x}_2 - c_p x_2 - b_d \dot{x}_3 - c_d x_3 = F \sin wt ; \\ m_2 \ddot{x}_2 + (b_2 + b_p) \dot{x}_2 + (c_2 + c_p)x_2 - b_p \dot{x}_1 - c_p x_1 = 0 ; \\ m_3 \ddot{x}_3 + (b_d + b_3) \dot{x}_3 + (c_d + c_3)x_3 - b_d \dot{x}_1 - c_d x_1 = 0 . \end{cases} \quad (1.1)$$

Найдем частное решение системы уравнений (1.1), соответствующее установленным вынужденным колебаниям. С этой целью полагаем, что:

$$\begin{aligned} x_1 &= A_1 \sin (wt + \varphi_1); \\ x_2 &= A_2 \sin (wt + \varphi_2); \\ x_3 &= A_3 \sin (wt + \varphi_3). \end{aligned} \quad (1.2)$$

Условия для частного решения системы уравнений (1.1), при которых обеспечивается взаимное гашение вынужденных колебаний в системе, выбираем исходя из последовательности вступления в работу режущего и деформирующего инструментов [2].

1. При вступлении в работу деформирующего инструмента необходимо обеспечить равенство амплитуд колебаний детали и деформирующего инструмента и смещение фаз их колебаний на угол  $\pi$  :

$$A_1 - A_2 \sim 0; \quad \varphi_1 = \varphi_3 + \pi .$$

Подставим значение  $F \sin wt$  в следующем виде:

$$F \sin wt = F \sin [(wt + \varphi) - \varphi] = F \cos \varphi \sin (wt + \varphi) - F \sin \varphi \cos (wt + \varphi). \quad (1.3)$$

<sup>1</sup> Статья подготовлена в ходе выполнения научно-исследовательской работы студентов на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты»

Считаем, что

$$\varphi_1 = \varphi; \quad \varphi_3 = \varphi + \pi.$$

Решение уравнений (1.1) будем искать в следующем виде:

$$x_1 = A_1 \sin(\omega t + \varphi); \quad (1.4)$$

$$x_3 = -A_3 \sin(\omega t + \varphi).$$

Подставив в первое уравнение системы (1.1) параметры (1.4), запишем:

$$-m_1 A_1 \omega^2 \sin(\omega t + \varphi) + (b_1 + b_p + b_d) A_1 \omega \cos(\omega t + \varphi) + (c_1 + c_p + c_d) A_1 \sin(\omega t + \varphi) + b_p A_2 \omega \cos(\omega t + \varphi) + c_p A_2 \sin(\omega t + \varphi) + b_d A_3 \omega \cos(\omega t + \varphi) + c_d A_3 \sin(\omega t + \varphi) = F \cos \varphi \sin(\omega t + \varphi) - F \sin \varphi \cos(\omega t + \varphi).$$

При равенстве значений при  $\cos(\omega t + \varphi)$  и  $\sin(\omega t + \varphi)$  имеем:

$$-m_1 A_1 \omega^2 + (c_1 + c_p + c_d) A_1 + c_p A_2 + c_d A_3 = F \cos \varphi; \quad (1.5)$$

$$b_d A_3 \omega + (b_1 + b_p + b_d) A_1 \omega + b_p A_2 \omega = -F \sin \varphi.$$

Аналогично запишем для третьего уравнения системы (1.1):

$$m_3 A_3 \omega^2 \sin(\omega t + \varphi) - (b_d + b_3) A_3 \omega \cos(\omega t + \varphi) - (c_d + c_3) A_3 \sin(\omega t + \varphi) - b_d A_1 \omega \cos(\omega t + \varphi) - c_d A_1 \sin(\omega t + \varphi) = 0.$$

После преобразования запишем:

$$m_3 A_3 \omega^2 - (c_d + c_3) A_3 - c_d A_1 = 0;$$

$$b_d A_1 \omega + (b_d + b_3) A_3 \omega = 0.$$

Пусть  $A_1 = A_2 = A_3 = A_4$ , тогда из уравнений (1.5) находим:

- жесткость закрепления детали:

$$c_1 = m_1 \omega^2 - 2c_p - 2c_d - ctg \varphi (b_1 + 2b_p + 2b_d) \omega;$$

- амплитуду упругих колебаний элементов системы

$$A = -\frac{F \cdot \sin \varphi}{(b_1 + 2b_p + 2b_d) \omega}.$$

Из уравнений (1.5) выразим:

- приведенную массу деформирующего узла упрочняющего инструмента

$$m_3 = \frac{2c_d + c_3}{\omega^2};$$

- коэффициент демпфирования деформирующего узла упрочняющего инструмента

$$b_3 = |2b_d| = 2b_d.$$

Таким образом, решения уравнений системы (1.1), при которых обеспечивается выравнивание амплитуд колебаний детали и деформирующего узла, а также и смещение фаз колебаний детали и деформирующего инструмента на угол  $\pi$ , имеют вид:

$$c_1 = m_1 \omega^2 - 2c_p - ctg \varphi \cdot \omega \cdot (b_1 + 2b_p); \quad (1.6)$$

$$m_3 = \frac{2 \cdot c_3}{\omega^2}; \quad (1.7)$$

$$b_3 = 2b_d. \quad (1.8)$$

2. При совмещенной обработке шейки вала деформирующим и режущим инструментом гашение колебаний в технологической системе можно обеспечить при

равенстве амплитуд колебаний детали, режущего и деформирующего инструментов, а также смещением фаз колебаний детали и режущего инструмента на угол  $\pi$ , сближение фаз колебаний детали и деформирующего элемента:

$$A_1 - A_2 \sim 0; \quad A_1 - A_3 \sim 0; \quad \varphi_1 = \varphi_2 + \pi; \quad \varphi_1 - \varphi_3 \sim 0.$$

Решение уравнений (1.1) при этих условия имеют вид:

$$c_1 = m_1 \omega^2 - 2c_p - ctg \varphi \cdot w \cdot (b_1 + 2b_p); \quad (1.9)$$

$$m_2 = \frac{2 \cdot C_p + C_2}{\omega^2}; \quad (1.10)$$

$$b_2 = 2b_p; \quad (1.11)$$

$$m_3 = \frac{2 \cdot c_3}{\omega^2}; \quad (1.12)$$

$$b_3 = 0. \quad (1.13)$$

3. В конце упругосилового метода комбинированной обработки, когда окончательные качественные характеристики поверхности шейки вала формирует деформирующий инструмент, следует совместить фазы колебаний детали и деформирующего элемента и выровнять по величине амплитуды их колебаний. При этом обеспечивается постоянство натяга деформирования и, как следствие, высокие качественные характеристики упрочненной поверхности:

$$A_1 - A_3 \sim 0; \quad \varphi_1 - \varphi_3 \sim 0.$$

Решения уравнений системы (1.1), при которых обеспечивается выравнивание амплитуд колебаний детали и деформирующего инструмента, а также сближение фаз колебаний детали и деформирующего инструмента имеют вид:

$$c_1 = m_1 \omega^2 - 2c_p - ctg \varphi \cdot w \cdot (b_1 + 2b_p); \quad (1.14)$$

$$m_3 = \frac{2 \cdot c_3}{\omega^2}; \quad (1.15)$$

$$b_3 = 0. \quad (1.16)$$

Решение уравнений системы (1.1) позволили разработать новый метод упругосилового комбинированной обработки, согласно которому в процессе отделочно-упрочняющей обработки изменяют динамические параметры технологической системы. Причем в начальный период, когда в работе участвует только деформирующий инструмент, динамические параметры в системе соответствуют математическим зависимостям (1.6-1.8), при вступлении в работу режущего инструмента и осуществлении совмещенной обработки резанием и ППД – математическим выражениям (1.9-1.13), а при снятии с детали припуска на обработку и участии в работе только деформирующего инструмента-зависимостям (1.14-1.16).

Усовершенствованный метод упругосилового комбинированной обработки позволил, как показали экспериментальные исследования, повысить размерную и геометрическую точность обработанных цилиндрических поверхностей, снизить шероховатость упрочненной поверхности [3-9].

#### Литература

1. Близнюк С.Н. Динамика упругосилового метода комбинированной обработки.// 42-я студенческая научно-техническая конференция: тез. докл. 16-20 мая 2006 г. – Могилев, 2006.- с.27.
2. Довгалев А.М., Близнюк С.Н. Управление колебаниями при упругосиловом методе комбинированной обработки // Международная научно-техническая конференция: тез. докл. 17-18 апреля 2008 г. – Могилев, 2008. – с.89.

3. *Близнюк С.Н.* Упругосиловой метод комбинированной обработки резанием и ППД.// Республиканская научн. техн. конф. аспирантов, магистрантов, студентов: тез. докл. 26 января 2006 г. – Могилев, 2006. – с.25.
4. *Близнюк С.Н.* Технологические возможности упругосилового метода комбинированной обработки.// Республиканская научн. техн. конф. аспирантов, магистрантов, студентов: тез. докл. 12-13 октября 2006 г. – Могилев, 2006. – с.28.
5. *Близнюк С.Н.* Экспериментальные исследования шероховатости поверхности при упругосиловом методе комбинированной обработки // 44-я студенческая научно-техническая конференция: тез. докл. 20-24 мая 2008 г.- Могилев, 2008. – с.40.
6. *Близнюк С.Н., Довгалев А.М.* Малооперационные технологии изготовления валов с применением совмещенной обработки резанием и ППД // Международная научно-техническая конференция: тез. докл. 17-18 апреля 2008 г. – Могилев, 2008. – с.70.
7. *Близнюк С.Н.* Исследование точности комбинированной обработки шеек вала резанием и ППД //44-я студенческая научно-техническая конференция: тез. докл. – 20 – 24 мая 2008 г. – Могилев, 2008. – с.39.
8. *Близнюк С.Н.* Прогрессивные технологии совмещенной обработки резанием и ППД / *Близнюк С.Н., А.М. Довгалев* // Электронный научно-технический журнал «Студенческий вестник Белорусско-Российского университета»: электронный ресурс. [www.bru.mogilev/scence/vesnik/index.htm](http://www.bru.mogilev/scence/vesnik/index.htm) октябрь 2006г.
9. *Близнюк С.Н.* Заявка на выдачу патента Республики Беларусь. Упругосиловой метод комбинированной обработки резанием и ППД / *Довгалев А.М., Близнюк С.Н.* (РБ) № а. 20081197; заявлено 22.09.08.

**Близнюк Сергей Николаевич**

Студент машиностроительного факультета  
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв  
Тел.: +375(29) 745-12-54

**Довгалев Александр Михайлович**

Доцент кафедры металлорежущие станки и инструменты, канд. техн. наук  
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв  
Тел.: +375(22) 223-63-12