

Зинченко А. М.

к.э.н., доцент,

Денисова Н. А.

к.т.н., доцент,

Кучма С. Н.

к.т.н., доцент,

Стародубов С. Ю.

старший преподаватель

Донбасский государственный технический институт, г. Алчевск, ЛНР

СИЛА РЕЗАНИЯ КАК КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА СИСТЕМУ «ИНСТРУМЕНТ — ДЕТАЛЬ»

Сила резания при механической обработке является одним из показателей общей эффективности процесса резания. Составляющая силы резания P_x может рассматриваться как показатель, в той или иной степени, зависящий от некоторых условий, также характеризующих процесс резания. К таким условиям, или факторам, обычно относят: подачу, скорость резания и, в условиях ультразвукового воздействия, расход СОЖ и амплитуду колебаний. Другими словами можно определить силу резания как функцию:

$$P_x = f(S; V; Q; A),$$

где S — подача, мм/об; V — скорость резания, м/мин; Q — расход СОЖ, л/мин; A — амплитуда ультразвуковых колебаний, мкм.

С точки зрения организации исследований влияния ультразвуковых колебаний на процесс резания и, в частности, на силу резания, можно показатели S , V , Q и A рассматривать как параметры оптимизации факторного пространства и с учетом их значений планировать эксперимент. Факторное пространство с четырьмя параметрами оптимизации значительно усложняет как планирование эксперимента, так и верификацию полученных результатов. С этой точки зрения целесообразно уменьшить количество факторов оптимизации. С учетом особенностей определения скорости резания, этот показатель можно исключить из рассмотрения и, соответственно, из плана эксперимента. Связано это с тем, что скорость резания достаточно жестко привязана к материалу режущей части инструмента и обрабатываемому материалу через их физико-механические свойства, которые в процессе обработки практически не подвержены изменениям. Таким образом, для силы резания можно определить зависимость следующего вида:

$$P_x = f(S; Q; A).$$

Значение составляющей силы резания P_x можно считать основной величиной, определяющей эффективность воздействия ультразвуковых колебаний на процесс механической обработки. Для оценки эффективности ультразвукового воздействия достаточно определить величину P_x , чем меньше P_x , тем выше эффективность. Учитывая сказанное, значение P_x можно определить как параметр оптимизации, характеризующий эффективность ультразвукового воздействия на механическую обработку с переменными параметрами $x_{1(S)}$, $x_{2(Q)}$, $x_{3(A)}$. Параметры x_1 , x_2 , x_3 можно считать координатами некоторого факторного пространства и, как следствие, факторами оптимизации. Функция $f(x_1, x_2, x_3)$ — называется функцией отклика в факторном пространстве, а ее геометрическое изображение в факторном пространстве — поверхностью отклика.

Верификация функции отклика позволит получить выражение для расчета P_x и, следовательно, позволит определить эффективность воздействия ультразвуковых колебаний на процесс резания.

Задача по верификации функции $f(x_i)$ характеризуется тем, что нам не известно в полной мере поведение переменных x_1, x_2, x_3 . Следовательно, мы не можем установить аналитическое выражение функции отклика (f). Поэтому приходится ограничивать представление функции полиномом вида:

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i<j}^k \beta_{ij} x_i x_j + \dots, \quad (1)$$

где β_0 — свободный член; β_i, β_{ij} — коэффициенты регрессии; x_i, x_j — уровни факторов.

В результате исследования необходимо получить коэффициенты b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij} , которые будут представлять собой оценку теоретических коэффициентов. После определения указанных коэффициентов уравнение (1) примет вид:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i<j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i<j<l}^k b_{ijl} x_i x_j x_l, \quad (2)$$

где \hat{y} — расчетное значение параметра оптимизации (y — выборочная оценка для η).

Выражение (2) можно считать обобщенной полиномиальной моделью составляющей силы резания по оптимизируемому параметру $P_x = \hat{y}$.

После того как выбран параметр оптимизации и сформирована полиномиальная модель, необходимо уточнить независимые переменные (факторы). Необходимо, чтобы они имели количественную оценку (в нашем случае: скорость подачи, объемный расход СОЖ, амплитуда колебаний, т. е. мм/об, л/мин, мкм соответственно).

Поскольку о поведении системы нам не известно ничего, что могло бы указать на вид модели, то следует воспользоваться моделью для $k = 3$:

$$\bar{y} = b_0 x_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3. \quad (3)$$

По переменным x_1, x_2, x_3 непосредственно проводится исследование, а остальные определяются в результате расчетов. Исходные данные для расчета сведем в таблицу 1.

Таблица 1 — Исходные данные

Независимые переменные(факторы)	нулевой уровень	интервал варьирования
Подача S, x_1 , мм/об	0,3	$\pm 0,1$
Расход СОЖ Q, x_2 , л/мин	3	± 1
Амплитуда ультразвуковых колебаний A, x_3 , мкм.	5,5	$\pm 5,5$

Исследования по верификации функции отклика проводились на оборудовании кафедры Технологии и организации машиностроительного производства ДонГТИ. В итоге были получены значения коэффициентов b_i :

$$b_0 = 438,375; \quad b_1 = 2,380; \quad b_2 = -31,380; \quad b_3 = -61,880;$$

$$b_{12} = 27,630; \quad b_{23} = 15,880; \quad b_{13} = -10,875; \quad b_{123} = -9,125.$$

Полученные коэффициенты требуют проверки значимости. Проверка, выполненная стандартным образом, с использованием критериев Стьюдента, Кохрена и Фишера дала возможность оценить значимость коэффициентов.

Коэффициенты b_i следует считать статистически значимыми, если выполняется неравенство:

$$\Delta b_i < b_i.$$

Таким образом, коэффициенты $b_0, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ являются значимыми, а коэффициент b_1 , является незначимым. Незначимые коэффициенты можно отбросить без пересчета остальных коэффициентов, так как при линейной модели все коэффициенты независимы.

Учитывая результаты выполненных расчетов, уравнение регрессии можно записать в следующем виде:

$$\bar{y} = 438,375 - 31,280x_2 - 61,880x_3 + 27,630x_1x_2 + 15,880x_2x_3 - 10,875x_1x_3 - 9,125x_1x_2x_3. \quad (4)$$

Анализируя полученную модель (4), можно сделать вывод о том, что наиболее значимым фактором, влияющим на осевую составляющую сил резания, при ультразвуковом воздействии является фактор x_3 (амплитуда ультразвуковых колебаний) так как он имеет наибольший коэффициент. Кроме того, зависимость силы P_x от амплитуды колебаний носит обратно пропорциональный характер, т. е. с увеличением амплитуды составляющая сил резания P_x уменьшается. Фактор x_2 , также имеет обратно пропорциональное влияние на оптимизируемый параметр (P_x) т. е. с увеличением значения расхода СОЖ осевая составляющая сил резания снижается.

В производственных условиях данную модель можно использовать в аналитической форме (4). При возможном изменении факторов (например, в ходе технологической подготовки выпуска новой продукции) можно предварительно оперативно оценивать изменения значения силы резания и соотносить их с возможностями технологической системы (инструмент, оснастка, конструктивные особенности детали, технические возможности ультразвукового оборудования и др.).

Список литературы

1. Льюис, К. Д. Методы прогнозирования экономических показателей / К. Д. Льюис. — М. : Финансы и статистика, 1986. — 130 с.
2. Казаков, В. Ю. Планирование и организация эксперимента / В. Ю. Казаков. — Томск : Изд-во ТПУ, 2009. — 127 с.
3. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений / Ю. П. Адлер. — М. : Наука, 1976. — 320 с.