

## СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ЕГО УПРАВЛЕНИЯ

**Стрельчук Р.М.**, канд. техн. наук, Харьков, Украина

*The article shows a structural model of the cutting process, defined the optimum process control processing by the action of disturbing factors*

При управлении обработкой резанием приходится решать сложнейшую задачу оптимизации, противоречивую по своему содержанию: необходимо увязать экономические критерии и надежность процесса с физико-химическими явлениями, протекающими в зоне резания. Характер стружкообразования, нарост, диффузионные, адгезионные, электрические и магнитные явления могут стать решающим фактором целесообразности и эффективности автоматизации обработки резанием и ее управления. С физической точки зрения процесс резания материалов не имеет самостоятельного значения. Диалектически его можно представить как одновременное и взаимосвязанное проявление совокупности физических явлений, действие которых, в свою очередь, обусловлено элементарными актами атомного масштаба. Физические явления можно подразделить на главные и сопутствующие.

К главным физическим явлениям, которые определяют реализацию функционального назначения резания и формообразование новой поверхности, относятся упругая и пластическая деформации, упрочнение и динамический возврат обрабатываемого материала и его разрушение. Упругая деформация из-за ее обратимости и ничтожного вклада в энергетику резания обычно не рассматривается.

Структурная модель процесса резания.

Процесс резания можно рассматривать как сложный физико-химический механизм взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом в условиях рассеяния свойств всех составляющих элементов технологической системы. Параметры, которые определяют протекание процесса резания, можно разделить на входные, функциональные и выходные. Входные параметры подразделяют на определяющие, управляемые и возмущающие.

К определяющим параметрам относят марку обрабатываемого материала, выбранный метод механической обработки, требования к точности и качеству обработки и другие параметры [1].

Управляемые параметры включают в себя параметры, которые допускают целенаправленный выбор при проектировании техпроцесса или их изменение в ходе обработки. Управляемыми параметрами являются марка инструментального материала, конструкция и геометрия режущего инструмента, модель станка, режим обработки, состав, способ и интенсивность подачи смазывающе-охлаждающей технологической среды и т.д.

Среди возмущающих параметров процесса резания можно выделить систематические и случайные параметры. К числу систематических возмущающих

параметров можно отнести закономерное изменение скорости, глубины резания, геометрии инструмента, которые вызваны конструктивными особенностями обрабатываемых деталей и кинематикой резания [2].

Распространенной ситуацией при обработке деталей типа тел вращения, например ступенчатых валов, является точение одним резцом цилиндрических поверхностей разного диаметра с постоянной частотой вращения заготовки. В этом случае непрерывно меняются условия контакта инструмента с заготовкой и интенсивность износа резца. К возмущающим параметрам резания, имеющим случайную природу, относят также неконтролируемые изменения физико-механических свойств заготовки и инструмента, припуска, статические и динамические характеристики оборудования и технологической системы и др.

Функциональные параметры количественно характеризуют физико-химический механизм собственно процесса резания, определяя его протекание во времени. В процессе резания происходит формоизменение заготовки (статистически однородной по своим свойствам в первом приближении системы) в готовую деталь – систему с распределенными параметрами, т.е. с набором новых характеристик.

Для общей оценки такой системы целесообразно пользоваться интегральными параметрами. С этой точки зрения пластическая деформация и упрочнение обрабатываемого материала в зоне резания достаточно полно описываются такими функциональными параметрами, как действующее напряжение, время деформирования и температура. С их помощью можно оценить составляющие силы резания, напряжения на передней и задней гранях инструмента, удельную энергоемкость процесса, рассчитать интегральную характеристику физико-механического состояния упрочненного металла (скрытую энергию деформирования), а также относительную деформацию, плотность дислокаций, глубину упрочнения и др. Внешним проявлением функционального состояния технологической системы резания является сила резания и ее составляющие, термоЭДС как эквивалент температуры в зоне обработки, виброакустический сигнал (ВА-сигнал), акустическая эмиссия (АЭ-сигнал), характер и интенсивность изнашивания рабочих поверхностей инструмента и др.

К числу выходных, или вторичных, параметров процесса резания относят производительность и точность обработки, свойства поверхностного слоя детали, экономические показатели и надежность процесса. Схематически процесс резания как системы взаимодействия рассмотренных параметров представлен на рис. 1. Рассматриваемая модель в отличие от модели "черного ящика" дает возможность прогнозировать выходные параметры процесса резания через функциональные связи с определяющими, управляемыми и возмущающими параметрами. При этом формализация взаимосвязи является следствием раскрытия физического механизма резания. В условиях, когда взаимодействие элементов технологической системы подвержено действию контролируемых возмущающих факторов, процесс резания сопровождается рассеянием во времени функциональных и выходных параметров обработки. Поэтому его необходимо анализировать как стохастический процесс и соответственно определять оптимальные пути повышения стабильности его выходных параметров [3].

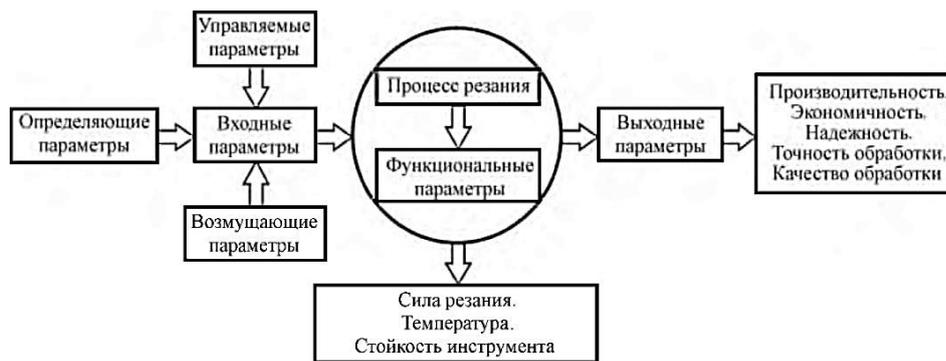


Рис. 1. Структурная модель процесса резания

### Управление процессом резания.

Качество и надежность управления стабильностью обработки зависят от числа и значимости управляемых параметров и степени их влияния на функциональные параметры. Чем выше степень влияния управляемых параметров на процесс обработки, тем надежнее управление и выше стабильность выходных параметров процесса. Чем больше включается в управление значимых параметров резания на стадии его проектирования и при обработке, тем выше гарантия эффективной эксплуатации автоматизированной станочной системы и технологическая надежность процесса.

Стабильность выходных параметров обусловлена стабильностью функциональных параметров, величина и характер рассеяния которых определяются интенсивностью и стабильностью физико-химических явлений, протекающих в зоне обработки. Стабилизация одного из функциональных параметров силы резания, термоЭДС, ВА-сигнала, АЭ-сигнала или их набора в процессе обработки лежит в основе адаптивного управления.

Вероятностная задача надежности управления при обработке резанием может быть решена с использованием теории случайных процессов. Нормальное протекание процесса резания в этом случае соответствует условию, когда относительное перемещение резца и заготовки  $y(\tau)$ , например, меньше по модулю некоторого допустимого значения  $y_0$ , т.е.  $y(\tau) < y_0$ .

Функция надежности при резании определяется как вероятность того, что некоторое значение  $y$  не превысит барьер  $y_0$  за время обработки  $T$ :

$$P(T) = \left\{ \begin{array}{l} \sup |y(\tau)| < y_0 \\ 0 \leq \tau \leq T \end{array} \right\}. \quad (1)$$

Процесс обработки резанием, если представить его как преобразование заготовки в виде статистически однородной системы в готовую деталь, как систему с распределенными параметрами, то в общем виде указанную трансформацию можно описать системой уравнений конечно-разностного типа:

$$X^{k+1} = F_k(X^k, U^k, P^0, \eta^k, \varepsilon^k), \quad (2)$$

где  $k = 0, 1, 2, \dots, N$  – момент изменения состояния системы, которые совпадают, как правило, с моментами измерений состояния системы резания.

Рассмотрим составляющие элементы уравнения (2). Вектор  $X^k = [X_1^k, X_2^k, \dots, X_n^k]$ ;  $k = 1, N$  определяет состояние системы резания в момент времени  $k$  (его компоненты – фазовые координаты), т. е. является вектором функциональных параметров процесса резания. Вектор  $U^k = [U_1^k, U_2^k, \dots, U_m^k]$  – вектор управления в момент времени  $k$ .

Вектор  $P^k = [P^0, \eta^k, \varepsilon^k]$  является вектором, определяющим состояние системы резания, включая  $P^0$  – вектор определяющих, или обязательных, параметров;  $\eta^k$  – вектор систематических возмущений параметров и  $\varepsilon^k$  – вектор случайных возмущающих параметров. Фазовые координаты и вектор управления должны удовлетворять системе технологических ограничений

$$G(X, U, P) \leq 0, \quad (3)$$

где  $G = [G_1, G_2, \dots, G_s]$  заданная вектор-функция.

Задачу оптимального управления процессом обработки при действии возмущающих факторов в общем виде можно сформулировать следующим образом. Пусть в области  $G \leq XUP$  прямого произведения  $X, U, P$  задан функционал  $W$ , который определяет качество управления  $W = W(X, U, P)$ . Требуется найти дискретную функцию управления  $U = [U^1, U^2, \dots, U^n]$  таким образом, чтобы перевести систему уравнений (2) из начального состояния  $X(0)$  в конечное  $X(N)$  так, чтобы выполнялись ограничения (3) и функционал  $MW$  достигал оптимального значения:

$$\begin{aligned} MW &= \text{opt} MW(X, U, P), \\ (X, U) &\in G \end{aligned} \quad (4)$$

где  $MW$  – математическое ожидание.

**Выводы.** Таким образом можно отметить, что при наличии случайного возмущения вектора  $\varepsilon$  в ограничении (3) берется  $MG$ . Конструктивная реализация функций  $U$  находит воплощение на станках, оснащенных системами адаптивного управления.

Список литературы: 1. Концепции развития механической обработки материалов и создания металлорежущих станков / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков // Физ. и компьютерные технологии в нар. хоз-ве: Тез. докл. V Междунар. науч.-техн. конф., г. Харьков. 28-29 мая 2002 г. – X. 2002. – С. 3 – 7. 2. Направления повышения производительности механической обработки / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г.В. Новиков // Физ. и компьютерные технологии в нар. хоз-ве: Тез. докл. VI Междунар. науч.-техн. конф. г. Харьков. 10-11 окт. 2002 г. – X., 2002. – С. 3–5. 3. Перспективы развития процессов резания материалов лезвийными и абразивными инструментами / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков. // Вісн. Харків, держ. техн. ун-ту сільського госп-ва – X. 2002. – Вип.10: Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. Фіз. та комп'ют. технології. – С. 24 – 30.