

# ВОПРОСЫ МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СОТС НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ

Зинченко А.А.<sup>1</sup>, Ваниев Э.Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Зинченко Андрей Александрович – магистрант;

<sup>2</sup>Ваниев Эльдар Рустемович - кандидат технических наук,  
кафедра технологии машиностроения, факультет инженерно-технологический,  
Крымский инженерно-педагогический университет,  
г. Симферополь

**Аннотация:** в статье рассмотрены вопросы методики исследования влияния СОТС на процесс резания, с учетом взаимовлияния других факторов, определяющих процесс резания. Обоснован выбор метода моделирования и описаны основные положения моделирования процесса резания в присутствии СОТС. Предложено при исследовании влияния СОТС на процесс резания учитывать ее влияние во взаимосвязи с другими характеристиками этого процесса при моделировании одним из алгоритмов МГУА. А также обоснован выбор коэффициента трения в качестве переменной характеристики СОТС.

**Ключевые слова:** смазочно-охлаждающие технологические среды, процесс резания, моделирование, метод группового учета аргументов, коэффициент трения.

УДК 621.923

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных путей повышения эффективности механической обработки и работоспособности инструмента является использование смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) [1, 2, 3, 4, 5, 6]. СОТС в процессе резания оказывает большое влияние на протекание явлений в зоне контакта инструмента и обрабатываемого материала, которые характеризуются исключительной сложностью и разнообразием.

Значительный вклад в развитие науки о физико-химических процессах, происходящих в зонах контактирования обрабатываемого и инструментального материалов, обычно называемой трибологией резания, при использовании СОТС внесли отечественные и зарубежные ученые Г.В. Виноградов, М.Б. Гордон, И.В. Гребншиков, Г.И. Епифанов, М.И. Клушин, В.Н. Латышев, П.А. Ребиндер, М. Мерчант, В.Я. Кизельштейн, Ф.П. Боуден, Д. Тейлор и др.

Установлено, что СОТС при резании оказывает следующие воздействия:

- охлаждающее;
- смазочное;
- режуще-пластифицирующие;
- моющее;
- защитное;
- упрочняющее.

Анализ результатов исследований влияния СОТС на процесс резания (даже при обработке одних и тех же материалов) показывает, что они имеют противоречивый характер. Это вызвано отличием условий, при которых проводились исследования, учетом недостаточного количества факторов, определяющих процесс резания и неизученностью взаимовлияния этих факторов в присутствии СОТС. Поэтому установление влияния СОТС на процесс резания во взаимосвязи с другими факторами является актуальной задачей, которая ранее не рассматривалась.

В такой постановке эта задача относится к задаче разработки методики, обеспечивающей установление таких взаимосвязей, и которая может быть решена только при рассмотрении существующей.

## ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СОТС НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ

В зависимости от задач существующие методики экспериментальных исследований СОТС предусматривают экспресс-испытания, лабораторные, производственные и ускоренные испытания [6].

Экспресс-испытания производят с целью выявления принципиальных отличий новых от ранее разработанных СОТС этого класса по ряду легко определяемых критериев эффективности.

По результатам лабораторных и производственных испытаний принимают решение о технологической эффективности СОТС и ее использовании для тех или иных видов механической обработки при обработке различных материалов.

Как экспресс-испытания так и лабораторные и производственные испытания требуют больших временных и материальных затрат и не способны в полной мере оценить их технологическую эффективность, так как эти испытания выполняются без учета влияния на эффективность СОТС совокупности факторов, определяющих процесс механической обработки.

Для сокращения времени оценки технологических свойств и прогнозирования определенных ее показателей проводят ускоренные испытания, которые предусматривают две стадии:

1. выполняют ограниченный объем испытаний с целью сбора экспериментальных данных;
2. осуществляют прогнозирование показателей технологической эффективности СОТС на основе математических моделей, установления статических связей, графической экстраполяции, теории распознавания образов, критериев и т.д.

Следует отметить, что осуществление прогнозирования показателей эффективности СОТС при резании на основе математических моделей, является одним из наиболее перспективных методов для установления взаимосвязей СОТС с другими параметрами этого процесса.

Однако, этот метод имеет ограниченное применение при учете небольшого количества переменных факторов (главным образом режимов резания) в узком диапазоне их изменения. Известны отдельные исследования [7, 8] эффективности СОТС при резании на основе математического моделирования. Они базируются на математическом планировании эксперимента и обеспечивают отыскание вектора оценки коэффициентов полинома первой степени с максимальным количеством переменных факторов.

Вместе с тем существуют и другие методы математического моделирования, которые значительно расширяют возможности моделирования [9]. К одному из таких методов, обеспечивающих получение по экспериментальным данным адекватных изучаемому процессу моделей, относится метод группового учета аргументов [10].

### **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Задача эффективности использования СОТС с целью повышения работоспособности инструмента с учетом других факторов, определяющих процесс резания, по своей постановке относится к задачам регрессионного анализа. Однако применение регрессионного в качестве метода математического моделирования процесса с большим числом переменных параметров (каким является резание) приводит к аппроксимации модели малой степени и соответственно к ее неадекватности.

Этот исход предопределен невозможностью получения хорошо обусловленных матриц экспериментальных данных [10]. Сокращение же количества факторов и уменьшение границ их изменения для построения моделей, значительно сужает задачу и снижает ее научную и практическую ценность. Кроме того, метод регрессионного анализа при решении многопараметрических задач требует проведения значительного количества специально спланированных экспериментов, реализация которых сопряжена с большими затратами времени, трудовых и материальных ресурсов.

Процесс обработки резанием относится к классу случайных плохо организованных процессов, характерной чертой которых является то, что в них нельзя четко проследовать причинно-следственные связи между входными и выходными параметрами. Он описывается функцией большого числа аргументов, взаимосвязь и сложность которых позволяет сравнить его с естественными процессами. Анализ математических методов, наиболее широко используемых для решения многомерных задач, позволяет выбрать для нашей задачи один из методов эвристической самоорганизации – метод группового учета аргументов (МГУА) [10].

Этот метод нашел широкое применение в исследовании и прогнозировании сложных естественных и экономических систем, где постановка экспериментов не возможна или очень ограничена. Данными для построения моделей могут служить результаты экспериментов, полученных на основе специальных планов или лабораторных и производственных наблюдений в рассматриваемых пределах изменения выбранных контролируемых переменных, определяющих изучаемый процесс.

Метод группового учета аргументов можно рассматривать как соединение обычного регрессионного анализа и методов регуляризации. МГУА предназначен для прямого моделирования сложных систем по небольшому числу экспериментальных данных. МГУА обладает аппаратом, который дает возможность использовать при планировании экспериментов неортогональные планы и статистически обработанную информацию о реально существующих объектах. Путем использования методов (генераторов) поэтапного усложнения комбинаций пороговых самоотборов (эвристических критериев) лучших комбинаций в алгоритмах МГУА реализована схема массовой селекции. В отличие от других методов моделирования, это схема обеспечивает получение моделей, вид и структура которых неизвестна.

Перечисленные достоинства алгоритмов МГУА позволяют применить их при моделировании процессов обработки резанием, в том числе для построения моделей резания с использованием различных СОТС.

Опыт моделирования процессов резания с применением алгоритмов МГУА показывает, что этот метод обеспечивает построение математических моделей, которые пригодны для оптимизации параметров процесса и позволяют оптимально в заданных условиях управлять обработкой резанием.

### **ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

Построение математической модели процесса обработки резанием (как и любого другого процесса) предусматривает установление взаимосвязей между параметрами изучаемого процесса. Механическая обработка характеризуется настолько большим количеством факторов с настолько сложными и

обусловленными между собой связями, что любая попытка представить их при моделировании во всей совокупности оказалось бы невозможной.

В зависимости от целей (оптимизация, управление процессом, установление причин брака и т.д.) для построения моделей выбирают то или иное количество общих (основных) контролируемых параметров (факторов).

Целью моделирования в рассматриваемом нами случае является установление влияния СОТС на режущий инструмент в условиях прерывистого резания при обработке различных материалов (сталей СТ45, Х18Н10Т и титанового сплава ВТ-22).

Учитывая, что использование смазочно-охлаждающих технологических сред приводит к изменению термомеханических явлений, сопровождающих процесс резания, которые во многом зависят от трения на поверхностях инструмента и обрабатываемой заготовки, то в качестве оценочного параметра влияния СОТС выбран коэффициент трения, определяемый экспериментом [12].

При моделировании процесса механической обработки экспериментально определенным в каждом случае коэффициент трения при обработке быстрорежущим инструментом различных материалов рассматривается как один из факторов изучаемого процесса.

При использовании МГУА задача построения математической модели процесса резания по математической постановке может быть сформулирована как задача установления функциональной связи между выходным параметром и измеряемыми переменными, выбранными исследователем, в присутствии СОТС.

В качестве выходных параметров могут служить как параметры, определяющие конечные результаты процесса резания (стойкость, шероховатость, себестоимость и т.д.) так и характеристики явлений, сопровождающих этот процесс, и на основе которых можно определять влияние СОТС во взаимосвязи с другими факторами.

Математическое моделирование процесса резания с использованием МГУА включает следующие этапы:

- выбор границ изменения факторов;
- построение статистического плана экспериментов;
- реализация плана экспериментов;
- выбор пространства исходных данных для моделирования;
- синтез модели и проверка ее адекватности изучаемому процессу.

Пределы изменения выбранных переменных определяются исследователем на основе априорной информации, технологическими возможностями, нормативной документацией.

При построении статистического плана, необходимым условием является охватывание всей области функционирования объекта [10]. Строки изменения параметров для каждого опыта выбираются случайным образом из множества строк ортогонального плана [11], без включения комбинаций параметров с крайними значениями. Количество опытов статистического плана обуславливается количеством переменных. Согласно [9] на одну переменную достаточно 5-6 опытов, случайно распределенных по области функционирования факторов.

Реализация плана предусматривает получение информационной матрицы для построения математической модели изучаемого процесса. Это может быть осуществлено либо натурными испытаниями, либо расчетным экспериментом.

Опыт использования МГУА для моделирования процесса резания показывает, что при построении моделей необходимо учитывать максимально возможную информацию по построению моделей другими исследователями [10].

Так как, известно, что эмпирические зависимости стойкости (и других выходных параметров) от режимов резания описываются степенными функциями и графически интерпретируются в логарифмическом пространстве, то, учитывая свойство алгоритмов МГУА на основе принципа самоорганизации устанавливать структуру функций, масштабное пространство было расширено.

Это позволило более точно описывать процесс. В работах, проведенных на кафедре инструментального производства (кафедра интегрированных технологий машиностроения) показано, что за счет расширения пространства исходных данных в информационной матрице до

$\vec{x}, \frac{1}{x}, \sqrt{x}, \ln x, \frac{1}{\ln x}, \sqrt{\ln x}$  были получены модели, более точно описывающие процесс, так как

учитывался более полно масштабный фактор.

В этом случае выходной параметр в матрице исходных данных вводился в пространстве  $\ln \vec{y}$  [10].

Так как возможные выходные параметры процесса функционирования механической обработки являются случайными величинами, которые невозможно предсказать, то при моделировании выходные параметры представлялись их математическим ожиданием, а матрица исходных данных представлялась компонентами векторов:

$$\begin{aligned} \vec{x} &= \|x_1, x_2, \dots, x_8\| \\ \frac{1}{\vec{x}} &= \|x_1, x_2, \dots, x_8\| \\ \sqrt{\vec{x}} &= \|x_1, x_2, \dots, x_8\| \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \ln \vec{x} &= \|x_1, x_2, \dots, x_8\| \\ \frac{1}{\ln \vec{x}} &= \|x_1, x_2, \dots, x_8\| \\ \sqrt{\ln \vec{x}} &= \|x_1, x_2, \dots, x_8\| \end{aligned}$$

Таким образом, задача синтеза модели с использованием алгоритма МГУА [10] состояла в построении функции

$$M\left(\vec{x}, \frac{1}{\vec{x}}, \sqrt{\vec{x}}, \ln \vec{x}, \frac{1}{\ln \vec{x}}, \sqrt{\ln \vec{x}}\right) = F\left(\vec{x}, \frac{1}{\vec{x}}, \sqrt{\vec{x}}, \ln \vec{x}, \frac{1}{\ln \vec{x}}, \sqrt{\ln \vec{x}}, \theta\right), \quad (2)$$

где:

$M\left(\vec{x}, \frac{1}{\vec{x}}, \sqrt{\vec{x}}, \ln \vec{x}, \frac{1}{\ln \vec{x}}, \sqrt{\ln \vec{x}}\right)$  – математическое ожидание величины  $\ln \vec{y}$ ;

$F\left(\vec{x}, \frac{1}{\vec{x}}, \sqrt{\vec{x}}, \ln \vec{x}, \frac{1}{\ln \vec{x}}, \sqrt{\ln \vec{x}}, \theta\right)$  – неизвестный по виду и структуре оператор (функциональная

связь);

$\vec{\theta} = \|\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_m\|$  – неизвестный вектор оцениваемых параметров.

При построении моделей процесса резания используется один из алгоритмов МГУА – упрощенный модифицированный алгоритм.

Так как функция и структура модели неизвестны, то при моделировании с использованием МГУА задаются классом функций, внутри которого осуществляется поиск математической модели. Обычно это класс степенных полиномов.

### ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ В ПРИСУТСТВИИ СОТС

При построении модели процесса резания с использованием СОТС возникает задача определения такой характеристики как фактора исследуемого процесса, изменение которой характеризовало бы ту или иную СОТС, и которая была бы способна отразить влияние СОТС в процессе изменяющихся параметров механической обработки. Учитывая то, что резание оказывает особое действие на протекание контактных процессов между поверхностями инструмента и обрабатываемой заготовки, такой характеристикой может служить коэффициент трения. Однако в процессе резания контактное взаимодействие не может быть охарактеризовано лишь коэффициентом трения [12], который не учитывает изменение факторов процесса резания в широком диапазоне. В связи с этим возникает задача определения коэффициента трения при различных условиях этого процесса.

В работах [13, 14] показано, что надежные методы расчета молекулярной составляющей силы сопротивления скольжению для расчета коэффициента трения для различных характеристик трущихся тел, к настоящему времени еще не созданы. В связи с этим возникает задача его экспериментального определения.

Основываясь на том, что процесс резания (превращение слоя материала в стружку) в общем виде представляет собой процесс направленного разрушения материала заготовки лезвием путем создания напряженно-деформированного состояния в срезаемом слое и заготовке. Этот процесс сопровождается упругими и пластическими деформациями, образованием трещин и дальнейшим разрушением с выделением тепловой, электрической и других видов энергии [15]. Так как в процессе резания лезвие контактирует со срезаемым слоем, стружкой и заготовкой вызывая изменяющиеся в процессе резания контактные процессы, на которые большое влияние оказывает СОТС, то в качестве переменных в присутствии СОТС были выбраны режимы резания, передний и задний главные углы, округление режущей кромки лезвия и коэффициент трения. Объектом исследования может служить любой вид обработки, при обработке различных обрабатываемых материалов.

Рассматривая фрезерование цилиндрическими фрезами (как пример), в качестве переменных факторов при моделировании этого процесса для установления взаимосвязей между ними могут быть скорость резания ( $V$ , м/мин), подача на зуб ( $S$ , м/зуб), глубина резания ( $t$ , мм.), ширина ( $B$ , мм.), передний угол ( $\gamma$ , град.), задний угол ( $\alpha$ , град.), радиус округления режущей ( $r$ , мм) кромки коэффициент трения.

Режимы резания и геометрические параметры согласно [10] следует варьировать на 5 уровнях в пределах целесообразного их умения.

При условии моделирования этого процесса с использованием алгоритмов МГУА радиус округления режущей кромки и коэффициент трения при исследовании принимаем равным наблюдаемым значениям. В качестве выходного параметра может служить любая характеристика (стойкость, температура, усилия резания и т.д.) по которой можно установить влияние СОТС во взаимосвязи с другими параметрами исследуемого процесса. План эксперимента в этом случае предусматривал 55 опытов, из них 40 по которым синтезируется модель и 15 для проверки ее адекватности.

Таким же образом можно моделировать различные виды механической обработки, как в присутствии СОТС, так и на воздухе. Одним из важных условий является сравнение полученных моделей с использованием СОТС с моделями, полученными без их использования.

### **ВЫВОДЫ**

Показано, что в настоящее время при исследовании влияния СОТС на процесс резания не учитывается ее влияние во взаимосвязи с другими характеристиками этого процесса.

Предложено для установления этой взаимосвязи использовать один из алгоритмов МГУА [16]. На основе рассмотрения особенностей моделирования процесса резания в присутствии СОТС, предложено в качестве переменной характеристики СОТС использовать коэффициент трения, изменяющиеся в зависимости от условий протекания процесса резания, определяемый экспериментально.

### **Список литературы**

1. *Ящерицын П.И.* Теория резания: учебник / П.И. Ящерицын, Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич / 2-е издание, исправлено и дополнено. Мн.: Новое знание, 2006. 512 с.
2. *Мазур М.П.* Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищих навчальних закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новоселов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазур / Львів: Новий світ 2000, 2010. 422 с.
3. *Верещака А.С.* Резание материалов: учебник / А.С. Верещака, В.С. Кушнер / М.: Высшая школа, 2009. 539 с.
4. *Подураев В.И.* Резание труднообрабатываемых материалов / В.И. Подураев / - М.: Высшая школа, 1974. 587 с.
5. *Цупков М.Е.* Средства защиты рук рабочих на машиностроительных предприятиях / М.Е. Цупков, В.Н. Ардасенова / М.: Машиностроение, 1983. 111 с.
6. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: Справочник / Л.В. Худобин, А.П. Бабичев, Е.М. Булыжев и др. / Под общ. ред. Л.В. Худобина. М.: Машиностроение, 2006. 544 с.
7. *Подгорков В.В.* Исследование эффективности и некоторых физических сторон действия распылённых СОЖ при резании металлов / Дисс. канд. техн. наук. Горький, 1967.
8. *Цыпкин Е.Н.* Повышение работоспособности инструмента из быстрорежущей стали в условиях прерывистого резания путем комбинированной активации СОТС / Дисс. канд. техн. наук. Кинешма, 2004. 138 с.
9. *Ивахненко А.Г.* Системы эвристической самоорганизации в технической кибернетике. – К.: статистика, 1971. 268 с.
10. *Родин П.Р.* Монолитные твердосплавные концевые фрезы / П.Р. Родин, Н.С. Равская, А.И. Касьянов. Киев: Вища школа, 1985. 64 с.
11. *Адлер Ю.П.* Планирование эксперимента при полоске оптимальных условий / О.П. Адлер, Е.В. Марков, Ю.В. Грановский. М.: изд. «Наука»: 1976. 279 с.
12. *Залога В.А.* К вопросу об экспериментальном определении коэффициента трения / В.А. Залога, Д.В. Криворучко, О.А. Залога // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Краматорск: ДДМА, 2009. Вып. 25. С. 150-159.
13. *Криворучко Д.В.* Основи 3D – моделювання процесів механічної обробки методом скінчених елементів / Д.В. Криворучко, В.О. Залога, В.Г. Корбач. Суми: Видавництво СумДУ, 2010. 209 с.
14. *Полетика М.Ф.* Контактные нагрузки на режущие поверхности инструмента / М.Ф. Полетика. М.: Машиностроение, 1969. 150 с.
15. *Бобров Б.Ф.* Основы теории резания металлов / Б.Ф. Бобров. М.: Машиностроение, 1975. 344 с.
16. *Ваниев Э.Р.* Упрочняющее действие СОТС при фрезеровании сталей аустенитного класса: Дисс... канд. техн. наук: 05.03.01 / Э. Р. Ваниев. Тернополь, 2014. 169 с.