

А. В. Аверченков

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА СТРАТЕГИЙ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛЕЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ

В статье рассматриваются стратегии обработки деталей и КТЭ деталей в условиях общего машиностроения. Вводятся понятия «кинематическая» и «инструментальная» стратегия обработки. Описаны подходы к разработке автоматизированных систем для выбора стратегий обработки. *Кинематическая стратегия; инструментальная стратегия; АСТПП; конструкторско-технологические элементы деталей*

При технологической подготовке производства изделий машиностроения одной из важных задач является выбор стратегии обработки деталей и отдельных ее элементов. Понятие «стратегия обработки» часто применяется в научной литературе и рекомендациях зарубежных производителей металлообрабатывающего оборудования и инструмента. Под стратегией обработки детали или конструкторско-технологического элемента (КТЭ) детали понимается последовательность применения металлообрабатывающего инструмента и траектория его движения, позволяющие получить требуемую форму, заданное качество и точность обработки.

Стратегия обработки конструкторско-технологических элементов деталей может пониматься двояко: с одной стороны, под стратегией понимается последовательность обработки поверхностей и выбор инструмента, будем называть ее инструментальная (табл. 1), а с другой стороны – траектории движения инструмента при обработке, будем называть ее кинематическая (табл. 2). В статье вводятся и рассматриваются названные понятия.

Предпосылками проведения исследования в области выбора стратегий обработки деталей являются [1]:

- значительное распространение и использование многофункциональных станков с ЧПУ;
- увеличение номенклатуры деталей, которые обрабатываются за один установ;

- многофункциональные станки с ЧПУ требуют более тщательного планирования и расчета параметров обработки;

- наличие потребности в сокращении сроков подготовки производства деталей;

- недостаточная интегрируемость современных САПР ТП с САД системами, и неспособность данных систем обеспечить сквозную подготовку производства в рамках концепции CALS;

- в автоматизированных системах технологического назначения (САМ-системы и САПР ТП) отсутствует математический аппарат выбора стратегии обработки детали.

Таким образом, научное исследование, направленное на выбор наилучшей стратегии обработки КТЭ деталей актуально и необходимо.

В табл. 1 приведены только 5 инструментальных стратегий из нескольких десятков возможных (в сочетании). Отсюда появляется научная проблема выбора инструментальной стратегии обработки, которая возникла сравнительно недавно, с появлением широкого выбора инструмента различных производителей с новыми возможностями [2].

В отечественной науке этому вопросу уделялось мало внимания по причине ограниченного набора инструмента для выбора стратегий. Главный вопрос выбора – «При какой инструментальной стратегии обработки себестоимость детали будет минимальна?» На ответ влияет ряд факторов, таких как материал заготовки, серийность, качество поверхности и точность, вид КТЭ и его размеры, наличие в детали схожих КТЭ, размеры и масса детали, жесткость системы СПИД (технологической системы), возможности технологического оборудования, характе-

Контактная информация: mahar@mail.ru

Исследования проводились в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых МК-417.2010.8

ристики инструмента и режимы резания, стоимость инструмента и норма-часа и др.

Инструментальная стратегия обработки КТЭ заключается в выборе оборудования и инструмента, назначении режимов резания [3]. При любой стратегии обработки элементарной поверхности возможно использовать как инструмент производства России, так и инструмент зарубежных производителей. При использовании инструмента отечественных производителей, возможно добиться снижения затрат на инструмент, но при этом затраты на инструмент в пересчете на одну деталь могут оказаться выше, чем у дорогого инструмента зарубежных производителей (также возможны проблемы с достижением требуемого качества обрабатываемых поверхностей). Инструмент зарубежных производителей гораздо дороже, но за счет высокой износостойкости в серийном производстве возможно получать высококачественные детали при снижении их себестоимости.

Рекомендовать стратегию обработки конкретной элементарной поверхности может опытный технолог или эксперт в данной области. К сожалению, не всегда имеется возможность использовать знания таких специалистов. Альтернативой знаниям эксперта может быть автоматизированная система по выбору инструментальной стратегии обработки КТЭ, которая на основе математического аппарата будет производить выбор стратегий обработки, по ряду критериев заданных пользователем.

Для выбора инструментальной стратегии обработки КТЭ имеет смысл применить математический аппарат принятия многокритериальных решений в условиях определенности.

Пусть X – множество альтернатив, которыми является множество вариантов инструментальных стратегий обработки КТЭ; Y – множество исходов, которыми являются критерии рассматриваемых стратегий обработки SO , причем каждой альтернативе $x \in X$ соответствует единственный элемент $y \in Y$ и $y = \varphi(x)$.

$$SO = \langle T_m, T_p, C_{ii}, C_i, T_i \rangle$$

где T_m – машинное время; T_p – время смены инструмента; C_{ii} – стоимость инструмента в перерасчете на одну деталь; C_i – затраты на обработку элементарной поверхности при данной стратегии обработки; T_i – время на обработку элементарной поверхности при данной стратегии обработки.

Дальнейшей задачей является ранжирование множества альтернатив X на основе метода линейной свертки на основе критериев SO .

Таким образом, значимость альтернативы $J(x)$ определяется на основе следующей зависимости:

$$J(x) = \sum_{i=1}^m \alpha_i f_i(x); \alpha_i > 0, \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$$

где $f_i(x)$ – критерии рассматриваемых стратегий обработки из множества SO ; α_i – весовой коэффициент критерия $f_i(x)$; m – число критериев множества SO .

Получив значимость альтернатив и проранжировав их получаем рекомендации по выбору инструментальной стратегии обработки.

В исследовании предложена структурно-функциональная схема такой автоматизированной системы, представленная на рис. 1.

Автоматизированная система состоит из:

- подсистемы ввода данных, включающей выбор конструкторско-технологического элемента, выбора заготовки и ее параметров, ввод параметров КТЭ;
- подсистемы анализа, включающей выбор стратегии обработки, выбор станка и металлорежущих инструментов;
- подсистемы расчета и выводов, включающей в себя определение режимов резания, затраты на инструмент в перерасчете на один КТЭ, затраты и время на обработку КТЭ.

Подсистема ввода данных отвечает за корректный ввод оценок экспертов, взаимосвязей и построение запроса пользователем.


В подсистеме анализа реализованы математические модели и алгоритмы обработки экспертных оценок, расчета весов экспертов. В подсистеме расчета и выводов формируются запросы в подсистему анализа, подготавливаются данные для вывода и формируются отчеты для предоставления пользователю.

Результатом работы системы являются рекомендации, содержащие необходимые данные об инструментальной стратегии обработки конструкторско-технологического элемента, рекомендуемых инструментах, рекомендуемых режимах резания, а также предварительный расчет времени и стоимости обработки.

В исследовании рассмотрен ряд КТЭ деталей типа «тела вращения», в том числе такие, как «Цилиндрическая ступень», «Цилиндрическая внутренняя ступень», «Канавка», «Внутренняя канавка», «Внешняя резьбовая поверхность», «Внутренняя резьбовая поверхность», «Торцевая поверхность», «Внутренняя торцевая поверхность».

Таблица 1

Пример представления об инструментальной стратегии обработки

| № | Стратегия | Преимущества | Недостатки |
|---|--|--|---|
| | Вид обрабатываемого КТЭ: Цилиндрическая внутренняя ступень |  | Характеристики: Диаметр: 30мм Длина: 80 мм Точность: 8 квалитет Шероховатость: Ra 1,6 Втулка, отверстие осевое Материал: Сталь 40 |
| 1 | Сверление сверлом из быстрорежущей стали, зенкерование, развертывание | Низкая стоимость инструмента, можно проводить обработку на большинстве видов оборудования | Большое машинное и вспомогательное время, сложности в автоматизированном производстве, необходимость квалифицированной переточки |
| 2 | Сверление сверлом с механическим креплением пластин (Sandvik Coromant, Iscar, Seco и пр.) с размерной сменной пластиной Ø 30 | Длительная обработка без смены пластины, минимально возможное машинное время | Высокая стоимость державки, сложность адаптации к отечественному оборудованию, подходит только для одного диаметра |
| 3 | Сверление сверлом с механическим креплением пластин (Sandvik Coromant, Iscar, Seco и пр.) с двумя пластинами Ø 20, растачивание этим же сверлом до Ø 30 | Длительная обработка без смены пластин, небольшое машинное время, универсальность подхода для диаметров > Ø 20 | Высокая стоимость державки, сложность адаптации к отечественному оборудованию |
| 4 | Сверление сверлом из быстрорежущей стали Ø 20, растачивание токарным резцом с напайными пластинами до Ø 30 | Универсальный инструмент, низкая стоимость инструмента | Большое машинное и вспомогательное время, сложности в автоматизированном производстве, необходимость квалифицированной переточки |
| 5 | Сверление сверлом (Sandvik Coromant, Iscar, Seco и пр.) с напайной пластиной до Ø 20, растачивание резцом (Sandvik Coromant, Iscar, Seco и пр.) со сменными пластинами до Ø 30 | Небольшое машинное время, универсальность подхода для диаметров > Ø 20 | Высокая стоимость инструмента |

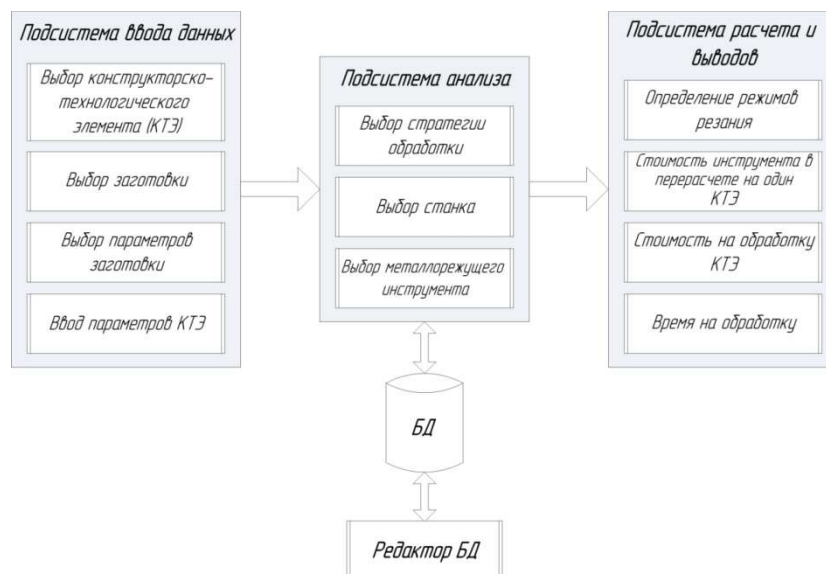


Рис. 1. Структурно-функциональная схема автоматизированной системы

Программная реализация системы была осуществлена при помощи структуры клиент-сервер. Реализация серверной части стала возможна при использовании Microsoft SQL Server 2000 – системы управления реляционными базами данных (СУБД), а клиентская часть проектировалась при помощи системы объектно-ориентированного программирования Delphi 7.

В табл. 2 представлено описание кинематической стратегии обработки КТЭ «Цилиндрическая ступень». В исследовании рассматривались кинематические стратегии обработки ряда КТЭ, среди них: «Уступ», «Цилиндрическая ступень», «Внешняя резьбовая поверхность», «Многогранная поверхность», «Конусная ступень», «Сферическая поверхность (ступень)», «Канавка», «Торцевая канавка», «Цилиндрическая внутренняя ступень», «Внутренняя сферическая поверхность (ступень)».

На выбор кинематической стратегии обработки КТЭ влияют ряд факторов, такие как [4]:

- Жесткость технологической системы. Данный параметр является трудноформализуемым, но человек–эксперт может однозначно определить в каком из случаев жесткость больше. Эксперт делает заключение на основе ряда прямых и косвенных факторов влияния, таких как диаметр заготовки, сила зажатия заготовки в патроне, наличие тонкой стенки в обрабатываемом элементе, вылет заготовки, твердость.

- Длина (глубина) обрабатываемого КТЭ.
- Местоположение обрабатываемого элемента на детали.
- Наличие материала перед и после обрабатываемой поверхности. Данный параметр вводится в связи с невозможностью применения некоторых стратегий при отсутствии или напротив наличии материала.

- Снимаемый на переходе припуск.

Среди перечисленных выше факторов, влияющих на выбор кинематической стратегии обработки КТЭ, многие являются нечеткими, например, эксперт способен сделать заключение о применяемой стратегии обработки при точении торца, оценив величину припуска как среднюю, большую или маленькую. Кроме того, многие параметры будут иметь разное абсолютное числовое значение в зависимости от заготовки. Примером такого параметра является сила зажатия в патроне. Данный параметр может являться большим для одного диаметра и недостаточным для зажатия заготовки большего диаметра, а соответственно, и большего веса. Поэтому для математического описания кинематической стратегии обработки КТЭ в исследовании применялась теория нечетких множеств Л. А. Заде.

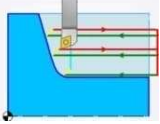
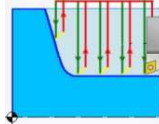
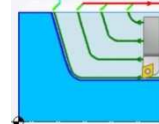
В рамках рассматриваемой работы при математическом описании группы факторов, влияющих на выбор кинематической стратегии обработки, обозначенной S , использовался следующий набор:

$$S = \langle D, L, Mts, Fj, Lj, Mp, Mm, a, H, G \rangle,$$

где D – диаметр заготовки; L – длина обрабатываемого элемента; Mts – наличие тонкой стенки в обрабатываемом элементе; Fj – сила зажатия заготовки в патроне; Lj – вылет заготовки (подразумевается отношение длины заготовки к ее диаметру); Mp – местоположение обрабатываемого КТЭ; Mm – наличие материала перед и после обрабатываемой поверхности; a – снимаемый припуск; H – твердость; G – глубина КТЭ (применяется для канавок).

Таблица 2

Представление о кинематической стратегии обработки КТЭ

| Обрабатываемый КТЭ | Цилиндрическая ступень | | | |
|--------------------------|--|--|--|---|
| Название | Продольное | Поперечное | По контуру | Под углом |
| Визуальное представление |  |  |  | |
| Лингвистическое описание | Резец совершает продольное движение резания, поперечный выход из зоны резания, продольное вспомогательное движение | Резец совершает поперечное движение резания, продольный выход из зоны резания, поперечное вспомогательное движение | Резец совершает движение резания по контуру, выход из зоны под углом, поперечное и продольное вспомогательное движение | Резец совершает движение резания под углом, продольный выход из зоны резания, поперечное вспомогательное движение |

В рамках данной статьи рассмотрим один из факторов влияния. L – длина КТЭ относительно оси вращения детали. Длина КТЭ является нечетким понятием и может быть формализована с помощью лингвистической переменной (ЛПЛ), где $\beta L =$ «длина КТЭ»; TL – множество значений ЛПЛ (терм-множество), представляющее собой следующий набор нечетких переменных:

$$TL = \{ \text{"Незначительная"}, \text{"Средняя"}, \text{"Большая"} \};$$

XL – область определения, имеющая вид:

$$XL = [1 \text{ мм}, 1000 \text{ мм}];$$

GL – синтаксическое правило;

$$ЛПЛ = \langle \beta L, T_L, X_L, G_L, M_L \rangle,$$

ML – семантическое правило задания нечетких подмножеств множества XL , функции принадлежности которых графически представлены на рис. 2.

Нечеткое множество A_1 соответствует терму «Незначительная длина», нечеткое множество A_2 – терму «Средняя длина», A_3 – «Большая длина».

В исследовании также предложены ряд программных алгоритмов, блок-схем и разработана автоматизированная система выбора кинематической стратегии обработки КТЭ.

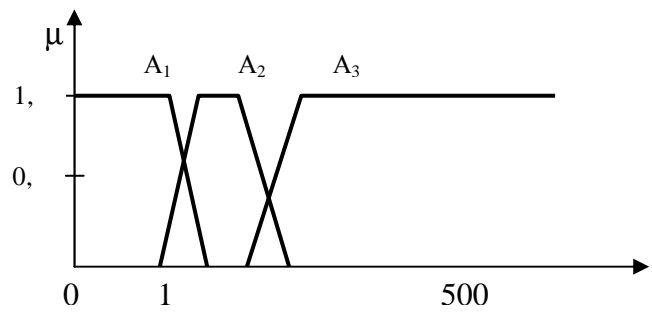


Рис. 2. График функций принадлежности нечетких множеств формализующий термы лингвистической переменной «Длина КТЭ»

Разработанные автоматизированные системы выбора инструментальной и кинематической стратегий обработки КТЭ нашли применение на машиностроительных предприятиях, в учебном процессе Брянского государственного технического университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инновационные центры высоких технологий в машиностроении: монография / В. И. Аверченков [и др.]. Брянск: БГТУ, 2009. 180 с.
2. Автоматизация выбора режущего инструмента для станков с ЧПУ: монография / А. В. Аверченков [и др.]. Брянск: БГТУ, 2010. 148 с.
3. Станки с ЧПУ в машиностроительном производстве: учеб. пособие для вузов / В. И. Аверченков [и др.]. Брянск: БГТУ, 2010. 216 с.
4. Автоматизация подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ: учеб. пособие для вузов / А. В. Аверченков [и др.]. Брянск: БГТУ, 2010. 213 с.

ОБ АВТОРЕ

Аверченков Андрей Владимирович, доц., докторант Брянск. гос. техн. ун-та. Дипл. магистр техники и технологии (БГТУ, 2002). Канд. техн. наук по САПР (2004). Иссл. в обл. технологии автоматизированного производства.