

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИРТУАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И СТРАТЕГИЙ ОБРАБОТКИ

А.В. Аверченков

*Кафедра «Компьютерные технологии и системы»,
ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет»;
mahar@mail.ru*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: автоматизированная система технологической подготовки производства; инструмент; инструментальная стратегия; кинематическая стратегия; конструкторско-технологические элементы деталей; режимы резания; резец; сменная пластина.

Аннотация: Рассмотрены вопросы автоматизированного подбора оптимального режущего инструмента, стратегии обработки деталей и компьютерно-техническая экспертиза деталей в условиях общего машиностроения. Введены понятия «кинематическая стратегия обработки» и «инструментальная стратегия обработки». Описаны подходы к разработке автоматизированных систем для выбора стратегий обработки.

Для промышленных предприятий актуальны задачи снижения трудоемкости операций и себестоимости изготовления деталей с сохранением заданных показателей качества [1]. Поэтому, технологические бюро ведут постоянный поиск путей совершенствования технологических процессов (ТП) изготовления деталей с учетом возможностей, предоставляемых современным высокопроизводительным инструментом, информационным и программным обеспечением. Ресурсы совершенствования ТП можно найти в выборе оптимального металлорежущего инструмента для обработки и стратегий его применения.

Конструкции сборных режущих инструментов одинакового служебного назначения различаются способами установки и крепления режущих элементов – пластин, то есть структурной компоновкой и параметрами – размерами пластин, корпусных элементов или элементов крепежа. Ведущими мировыми производителями инструмента разработано большое количество сборных инструментов одинакового целевого назначения, а подходящую конструкцию пользователь выбирает, в основном, на основании необъективных рекламных материалов или производственного опыта (количество возможных вариантов выбора может достигать тысячи и более). С другой стороны, производителями режущего инструмента разработаны базы данных и экспертные системы выбора инструмента. Однако они достаточно сложны в использовании и не позволяют сравнить между собой однотипные конструкции различных производителей или конструкции, укомплектованные из сборочных элементов различных производителей, а также изменить критерии выбора оптимальных вариантов конструкций.

В качестве объекта исследования выбран процесс подбора оптимального режущего инструмента для обработки изделий на многофункциональном технологическом оборудовании с ЧПУ. Выбор осуществляется на основе данных, полученных из геометрической модели детали, представляемой в виде 3D-модели и 2D-чертежа, с последующей передачей спецификации на выбранный инструмент в САМ-систему и САПР ТП [2].

В процессе исследования создана автоматизированная система, позволяющая на основе 3D-модели изделия и технологической информации (материал и твердость заготовки, размерные допуски, шероховатость поверхностей) автоматически формировать, ранжировать и выбирать различные варианты структурных компоновок режущего инструмента в зависимости от ряда критериев, рассчитывать оптимальные режимы резания. Разработанный программный комплекс включает подсистемы:

- 1) загрузки модели и чертежа;
- 2) подбора системы крепления режущей пластины;
- 3) выбора типа инструментальной державки и формы режущей пластины;
- 4) выбора геометрии режущей пластины и инструментального материала;
- 5) расчета режимов резания;
- 6) интеграции с CAD/CAM-системами.

Можно выделить ряд основных критериев, влияющих на выбор режущей пластины, системы крепления инструмента, инструментального материала:

- тип операции (черновая, получистовая, чистовая);
- размерная точность;
- силовая нагруженность технологической системы;
- жесткость технологической системы;
- размер и вид заготовки;
- точность заготовки;
- состояние поверхностного слоя заготовки (корка, песчаные включения, раковины и т.п.);
- размер припуска;
- свойства обрабатываемого материала;
- при внутренней обработке – диаметр растачиваемого отверстия;
- направление подачи на каждом технологическом переходе;
- профиль обрабатываемой поверхности;
- технологические особенности оборудования (мощность шпинделя, частота вращения, максимальная подача, максимальный диаметр заготовки, максимальная длина заготовки, тип и размер крепления инструмента, наличие смазочно-охлаждающей жидкости);
- максимальное значение глубины резания для каждой операции;
- требования по качеству поверхности обрабатываемой детали;
- условия обработки (непрерывное/прерывистое/ударное резание, постоянная/переменная глубина резания);
- требуемая производительность инструмента;
- требуемый период стойкости инструмента.

Подсистема загрузки модели и чертежа детали предназначена для ввода данных о детали. Для выполнения процедуры подбора инструмента реализовано чтение 3D-модели обрабатываемой детали, представленной в формате IGES.

В подсистеме подбора крепления режущей пластины организовано распознавание конструкторско-технологических элементов (**КТЭ**) в соответствии с базой знаний, которая заполняется в процессе эксплуатации системы, автоматизированное определение типа операции (наружное/внутреннее точение), вида обработки

(непрерывное резание, профильная обработка, подрезка торца или точение вразгонку с врезанием), возможного числа установов.

Для каждого из видов обработки подбирается наиболее подходящая система крепления режущей пластины в державке, обеспечивающая стабильное положение режущей кромки в определенных выше условиях обработки.

Тип державки и форма режущей пластины определяются совместно в подсистеме выбора державки и формы пластины. Совместное определение этих элементов организовано из-за того, что они оказывают взаимное влияние друг на друга. Тип державки определяется используемой пластиной и зависит от направления подачи, размера припуска, вида заготовки и системы крепления на станке. С использованием метода решения задачи многокритериального выбора на основе дополнительной информации определяется оптимальный вариант формы режущей пластины.

Одним из основных критериев выбора на каждом этапе является экономичность обработки, которая определяется стоимостью инструмента, его стойкостью, взаимозаменяемостью, стоимостью машинного времени и другими экономическими критериями. Пользователю представляется отчет в виде спецификации на выбранный инструмент (инструментальная державка, режущая пластина, крепежные элементы) с рассчитанными режимами резания. Спецификация может передаваться инженеру-технологу, программисту станков с ЧПУ и в отдел снабжения – для организации своевременных поставок инструмента. Также отчет содержит список возможных альтернатив применяемого инструмента с оценками предпочтения его выбора по ряду критериев.

Применение созданной автоматизированной системы возможно при использовании как всего функционала, так и отдельных модулей для решения следующих задач:

- определения инструментальной державки, формы и материала пластины, расчета режимов резания на основе загруженной 3D-модели и чертежа детали, данных о заготовке и технологическом оборудовании;
- подбора технологического оборудования для обработки заданной детали;
- определения необходимого материала режущих пластин для имеющихся на предприятии державок;
- расчета режимов резания для имеющегося режущего инструмента.

Также необходимо отметить, что 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 КТЭ детали понимается последовательность применения металлообрабатывающего инструмента и траектория его движения, позволяющие получить 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).

Предпосылками проведения исследования в области выбора стратегий обработки деталей являются:

- 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;
- в экспертных технологических системах отсутствует математический аппарат выбора стратегии обработки детали.

Таблица 1

Представление об инструментальной стратегии обработки КТЭ


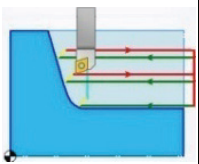
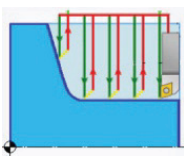
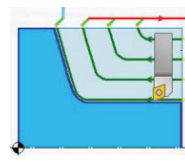
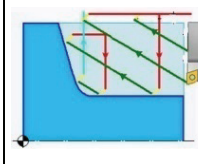
Обрабатываемый КТЭ		Диаметр 30 мм; длина 80 мм; точность 8 квалитет; шероховатость Ra 1,6; втулка, отверстие осевое; материал сталь 40
Стратегия	Преимущества	Недостатки
Сверление (быстрорежущая сталь), зенкерование, развертывание	Низкая стоимость инструмента, можно проводить обработку на большинстве видов оборудования	Большое машинное и вспомогательное время, сложности в автоматизированном производстве, необходимость квалифицированной переточки
Сверление сверлом зарубежных производителей (Sandvik Coromant, Iscar, Seco и пр.) с размерной сменной пластиной $\varnothing 30$	Длительная обработка без смены пластины, минимально возможное машинное время	Высокая стоимость державки, сложность адаптации к отечественному оборудованию, подходит только для одного диаметра
Сверление сверлом зарубежных производителей (Sandvik Coromant, Iscar, Seco и пр.) с двумя пластинами $\varnothing 20$, растачивание этим же сверлом до $\varnothing 30$	Длительная обработка без смены пластин, небольшое машинное время, универсальность подхода для диаметров $> \varnothing 20$	Высокая стоимость державки, сложность адаптации к отечественному оборудованию
Сверление (быстрорежущая сталь) $\varnothing 20$, растачивание токарным резцом с напайными пластинами до $\varnothing 30$	Универсальный инструмент, низкая стоимость инструмента.	Большое машинное и вспомогательное время, сложности в автоматизированном производстве, необходимость квалифицированной переточки
Сверление сверлом зарубежных производителей (Sandvik Coromant, Iscar, Seco и пр.) с напайной пластиной до $\varnothing 20$, растачивание резцом зарубежных производителей (Sandvik Coromant, Iscar, Seco и пр.) со сменными пластинами до $\varnothing 30$	Небольшое машинное время, универсальность подхода для диаметров $> \varnothing 20$	Высокая стоимость инструмента

Таблица 2

Представление о кинематической стратегии обработки КТЭ

Обрабатываемый КТЭ	Цилиндрическая ступень			
	продольная	поперечная	по контуру	под углом
стратегии				
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 таблице 1 приведены только 5 инструментальных стратегий из нескольких десятков возможных (в сочетании). Научная проблема выбора инструментальной стратегии обработки возникла сравнительно недавно с появлением широкого выбора импортного инструмента с новыми возможностями. 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 целый 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 технологической системы, возможности технологического оборудования, характеристики инструмента и режимы резания, стоимость инструмента и норма-часа и др.

Инструментальная стратегия обработки КТЭ заключается в выборе оборудования и инструмента и назначении режимов резания [3]. При любой стратегии обработки элементарной поверхности возможно использовать как инструмент производства России, так и инструмент зарубежных производителей. При использовании инструмента отечественного производителя 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 дороже, но за счет высокой износостойкости в серийном производстве возможно получать высококачественные детали при снижении 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 стала разработанная автоматизированная система по выбору инструментальной стратегии обработки КТЭ, которая на основе математического аппарата будет производить выбор стратегий обработки, по ряду критериев за-

данных пользователем. В исследовании предложена структурно-функциональная схема автоматизированной системы, представленная на рисунке. Автоматизированная система состоит из подсистем.

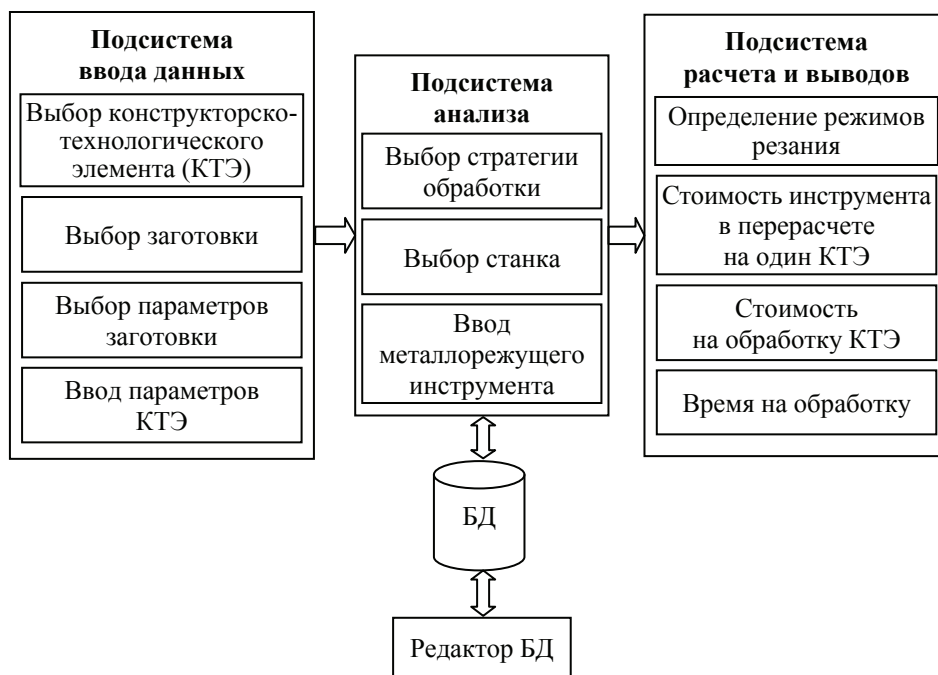
Результатом работы системы являются рекомендации, содержащие необходимые данные об инструментальной стратегии обработки конструкторско-технологического элемента, рекомендуемых инструментах, рекомендуемых режимах резания, а также предварительный расчет времени и стоимости обработки.

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».

В таблице 2 представлено описание кинематической стратегии обработки КТЭ «цилиндрическая ступень».

На выбор кинематической стратегии обработки КТЭ влияет ряд факторов, таких как [4]:

- жесткость технологической системы. Данный параметр является трудноформализуемым, но человек-эксперт может однозначно определить в каком из случаев жесткость больше. Эксперт делает свое заключение на основании ряда прямых и косвенных факторов влияния. Этими факторами являются 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.



Структурно-функциональная схема автоматизированной системы

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 математическая теория нечетких множеств Л.А. Заде.

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

Исследования проводились в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-417.2010.8.

Список литературы

1. Инновационные центры высоких технологий в машиностроении : монография / В.И. Аверченков [и др.] ; под общ. ред. В.И. Аверченкова, А.В. Аверченкова. – Брянск : Изд-во Брян. гос. техн. ун-та, 2009. – 180 с.
2. Автоматизация выбора режущего инструмента для станков с ЧПУ [Текст] + [Электронный ресурс] : монография / В.И. Аверченков [и др.]. – Брянск : Изд-во Брян. гос. техн. ун-та, 2010. – 148 с.
3. Станки с ЧПУ в машиностроительном производстве [Текст] + [Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов / В.И. Аверченков [и др.]. – Брянск : Изд-во Брян. гос. техн. ун-та, 2010. – 216 с.
4. Автоматизация подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ [Текст] + [Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов / В.И. Аверченков [и др.]. – Брянск : Изд-во Брян. гос. техн. ун-та, 2010.– 213 с.

Improving the Efficiency of Virtual Preparation of Production on the Basis of Selection of Optimal Cutting Tool and Strategies for Treatment

A.V. Averchenkov

*Department “Computer Technologies and Systems”,
Bryansk State Technical University;
mahar@mail.ru*

Key words and phrases: cutting conditions; cutting tool; design and technological elements of the parts; generative planning system; instrumental strategy; kinematic strategy; shift plate; tool.

Abstract: The paper studies the automatic selection of optimal cutting tools, machining strategy and design and computer-technological expertise of the parts in general engineering. We introduce the concepts of “kinematic processing strategy” and “instrumental strategy of processing”. The approaches to the development of automated systems for selecting strategies for treatment are described.

Erhöhung der Effektivität der virtualen Vorbereitung der Produktion auf Grund der Auswahl des optimalen Schneidwerkzeuges und der Strategien der Bearbeitung

Zusammenfassung: Es werden die Fragen der Auswahl des optimalen Schneidwerkzeuges, die Strategien der Bearbeitung der Werkstücke und der computer-technologischen Expertise der Werkstücke in den Bedingungen des gesamten Maschinenbaues betrachtet. Es werden die Begriffe “kinematische Strategie der Bearbeitung” und “instrumintelle Strategie der Bearbeitung” eingeführt. Es sind die Herangehen zur Entwicklung der automatisierten Systeme für die Auswahl der Strategien der Bearbeitung beschrieben.

Augmentation de l'efficacité de la préparation virtuelle de la production à la base du choix de l'outil tranchant et des stratégies du traitement

Résumé: Sont examinés les problèmes du choix automatisé de l'outil tranchant optimal, de la stratégie du traitement des pièces et l'expertise du computer-technique des pièces dans les conditions de la construction mécanique générale. Sont introduites les notions «stratégie cinématique du traitement» et «stratégie instrumentale du traitement». Sont décrites les approches envers l'élaboration des systèmes automatisés pour le choix de la stratégie du traitement.

Автор: *Аверченков Андрей Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Компьютерные технологии и системы», ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет».

Рецензент: *Прокофьев Александр Николаевич* – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология машиностроения», ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет».
