

Синтез операционных заготовок при проектировании технологических процессов

Д.Д. Куликов,
проф., д.т.н., проф., ddkulikov@mail.ru,
А.И.Востропятов,
асп., art-em39@mail.ru,
А.А. Арнст,
асп., arnstsasha92@gmail.com
Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург

В докладе изложена методика автоматизированного проектирования операционных заготовок (ОЗ), принципиальной особенностью которой являются: применение метода добавляемых тел; формирование в CAD - системе электронных геометрических моделей ОЗ параллельно с созданием параметрических моделей ОЗ; расчет операционных размеров в среде CAD – системы. Реализация методики позволяет повысить уровень автоматизации веб-ориентированной системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП), функционирующей в рамках единого информационного пространства, и повысить качество технологических процессов. Дополнительно рассмотрены основные принципы проектирования и функционирования САПР ТП в условиях расширенного производства.

The report sets out the methodology of computer-aided design of operating the workpiece (OW), a concept which is: use the added solids, CAD-electronic system of geometric models of OW in parallel with the establishment of parametric models of OW, built-in CAD macro system for calculating operational sizes and the use of a single informational space. The implementation of this method increases the level of automation of computer-aided design of technological processes which operates in a single information space environment and increase the quality of technological processes. In addition, the main principles of design and operation of CAD of technological processes in the conditions of modern production are considered in this article.

Введение

В настоящее время, в период зрелости пятого (информационного) технологического уклада, появляются базовые технологии следующего, шестого технологического уклада. Данные технологии, в частности опираются на принципы виртуализации производств, которая является базовой концепцией развития информационно-программного обеспечения производственных предприятий. Под воздействием данных факторов меняются и требования к методам организации технологической подготовки производства (ТПП).

1. Влияние современных требований к ТПП на САПР ТП

В качестве ответа на изменения на кафедре ТПС университета ИТМО разрабатывается экспериментальная САПР ТП, отвечающая современным требованиям к ТПП. Основными особенностями данной системы являются:

- организация САПР как веб-ориентированной системой, каждая компонента которой представляет собой веб-сервис;
- взаимодействие компонентов САПР выполняется на основе многоагентной системы;
- семантическая интероперабельность САПР с CAD-системой Catia выполнена на основе онтологии предметной области;
- интеграция САПР с PDM-системой Smarteam позволяет отслеживать жизненный цикл создаваемых технологических документов.

На рисунке 1 представлена логическая схема САПР ТП, организованной в виде веб-сервиса. Система состоит из нескольких частей, каждая из которых является независимой от других и предназначена для выполнения определенной части процесса обработки и хранения информации.

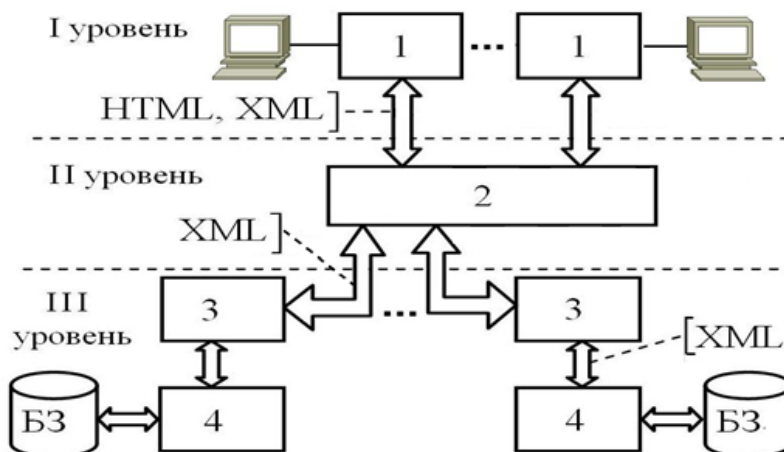


рис. 1 Логическая структура веб-ориентированной САПР ТП

На верхнем первом уровне находится веб-клиент, который снабжает конечного пользователя интерфейсом, позволяющим в диалоговом режиме со стороны пользователя вводить параметры, необходимые для проектирования технологического процесса, со стороны системы – выводить форму готового ТП конечному пользователю. Второй и третий уровни являются серверными бизнес-процессами, реализующими комплекс функциональных возможностей САПР ТП. Четвертый уровень представляет собой программные средства, ответственные за получение и обработку данных из базы знаний (БЗ) САПР ТП, а также пополнение данной базы новыми знаниями, получаемыми в процессе функционирования системы. Данный подход позволяет предоставлять удалённый доступ к работе с САПР ТП, что повышает её гибкость и функциональность в условиях распределённых производств.

Формирование САПР ТП как агента в составе многоагентной системы позволяет обеспечить её интероперабельность с другими агентами, входящими в состав системы, такими, как CAD-система Catia и PDM система SMARTEAM.

2. Метод синтеза операционных заготовок при проектировании технологических процессов

Одной из важнейших задач при проектировании технологических процессов является проектирование операционных заготовок. Современный подход к проектированию ОЗ заключается в выполнении следующих этапов:

- формирование 3D моделей операционных заготовок для всех операций заданного технологического процесса (ТП) и создание 2D моделей ОЗ;
- простановка на 3D или 2D моделях заготовок технологических баз и операционных размеров с указанием точности этих размеров;
- выполнение размерного анализа технологического процесса;
- оформление технологической документации.

Первый и второй этапы выполняются в CAD – системах. Для первого этапа в работах [1] был предложен метод «дополняемых тел», позволяющий на основе имитационного моделирования показать процесс последовательного преобразования исходной заготовки в деталь.

Второй этап заключается в расстановке баз и размеров в соответствии с ИСО 10303-41-2000 (ГОСТ 2.052-2006) для получения электронной геометрической модели заготовки (ЭГМ), т.е. 3D модель насыщается необходимыми аннотациями, позволяющими наиболее полно представить информацию о заготовке, необходимую для её изготовления [2].

Третий этап – это размерный анализ ТП, который представляет собой совокупность сложных и трудоёмких процедур, позволяющих определить возможность использования создаваемых технологических решений. Методика размерного анализа впервые была предложена в работах И.А. Иващенко [3], В.В. Матвеева [4], Б.С. Мордвинова [5]. На основе этих работ было разработано большое количество более поздних методик. Исследования по автоматизации размерного анализа привели к созданию целого ряда систем, для автоматизированного расчета операционных размеров [8-13]. Автоматизированные системы требуют трудоёмкого ввода информации о заготовках, решения систем линейных уравнений с последующим анализом технологом полученных результатов и переносом полученной информации в технологические документы [6,7].

2.1. Метод «дополняемых тел»

В настоящее время для размерного анализа используются специализированные системы автоматизированного расчета операционных размеров. Однако широкое применение CAD – систем открывает новые возможности для дальнейшего совершенствования методик и систем размерного анализа технологических процессов.

На кафедре технологии приборостроения Университета ИТМО много лет использовалась автоматизированная система расчета ОР, основанная на методике И.А Иващенко, Применение в учебном процессе CAD –системы «САТИА» стимулировало исследования по проектированию операционных заготовок (ОЗ), результатом которых явилось создание методики и соответствующей системы проектирования ОЗ в среде CAD. В основе системы лежит метод добавляемых тел [1], для которого в рамках «САТИА» была создана графическая библиотека добавляемых тел. Результатом проектирования ОЗ является комплекс электронных геометрических моделей (ЭГМ) операционных заготовок, снабженных всей необходимой информацией для получения операционных эскизов: проставлены технологические базы, указана шероховатость обрабатываемых поверхностей, проставлены стрелки, над которыми указаны обозначения, величины и точность операционных размеров.

Метод заключается в проектировании электронно-графической и параметрической модели (ПМ) входной заготовки для каждой операции технологического процесса посредством синтеза ЭГМ выходной заготовки с ЭГМ добавляемого тела, то же самое и для ПМ. Основной особенностью данного метода является то, что процесс формирования операционных заготовок происходит от последней операции ТП к первой. Для каждой операции в среде CAD – системы выполняется синтез формы входной операционной заготовки путем логического сложения ЭГМ выходной заготовки с ЭГМ добавляемого тела (ДТ), выбранного из библиотеки конструктивных элементов CAD – системы (рис. 2). Символ \oplus означает логическое сложение, допускающее пересечение двух тел и получение единого тела. Для формирования выходной заготовки может использоваться несколько добавляемых тел. В результате получаем входную заготовку для данной операции [16].

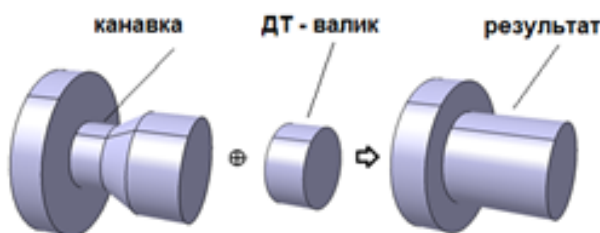


рис. 2 Применение добавляемого тела «валик» для закрытия канавки [16]

2.2. Размерный анализ

Одной из задач, решаемых при проектировании ОЗ, является задача расчета операционных размеров (ОР) заготовок для всех операций технологического процесса.

Дальнейшее развитие исследований в этом направлении позволило на основе накопленного опыта создать новый алгоритм расчета операционных размеров, принципиальные особенности которого заключаются в следующем:

- расчёт ОР ведется от последней операции к первой;
- для выбора припусков используется табличный процессор «ТИС-ТАП» [14, 15], для которого создана база знаний припусков на механическую обработку. Величина припуска учитывается в размерах добавляемых тел, над которыми выполняется операция логического сложения. Таким образом, значение припуска автоматически учитывается в проставляемых ОР;
- величина ОР определяется путем прямого считывания размера, заданного между точками начала и конца операционного размера, следовательно, расчет номинальной величины ОР не требуется;
- размерные цепи определяются с помощью процедуры «ЦЕПЬ», которая представляет собой макрос для CAD – системы «САТИА», с последующим размерным анализом найденных размерных цепей.

Принципиально важным моментом является проектирование ОЗ, начиная с последней операции. Если формирование ОЗ на заданной операции прошло успешно, то выполняется переход к предшествующей операции (рис. 3 а, б, в). Такой подход позволяет вовремя не переходя к предшествующей операции обнаружить неверно составленные цепи, требующие изменения простановки технологических баз и операционных размеров. что значительно снижает общее время проектирования ОЗ. Кроме того, не нужен ввод данных для специализированных систем расчета ОР, так как расчет ОР идет параллельно с проектированием операционных заготовок и необходимая информация поставляется из параметрических моделей детали и ОЗ.

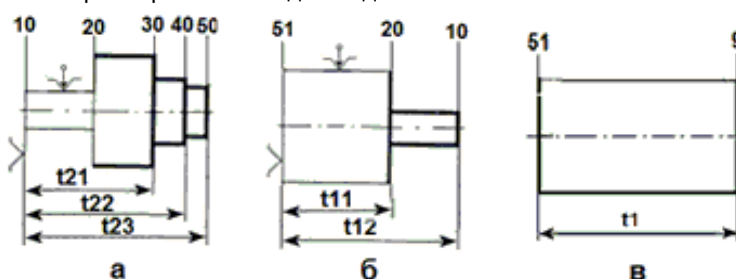


рис. 3 а – эскиз для 2 операции, б – эскиз для 1 операции, в - исходная заготовка

Процедура ЦЕПЬ, разработанная как макрос для CAD «САТИА», предназначена для составления размерной цепи по каждому конструкторскому размеру. ЭГМ детали содержит связанные между собой конструкторские размеры, следовательно, граф замыкающих размеров, уже существует, однако задан в неявном виде. Звенья, относящиеся к припускам в этом графе отсутствуют. Аналогично граф составляющих размеров так же задан неявно и образуется путем последовательного добавления операционных размеров по мере формирования операционных заготовок (рис.4). Процедура основана на небольшом изменении номинала конструкторского размера с последующим отслеживанием изменения номинальной величины, связанных с ним операционных размеров. Если ОР увеличился, то он включается в размерную цепь со знаком «плюс», иначе – со знаком «минус» как показано на рис.2. Далее выполняется размерный анализ составленных цепей.

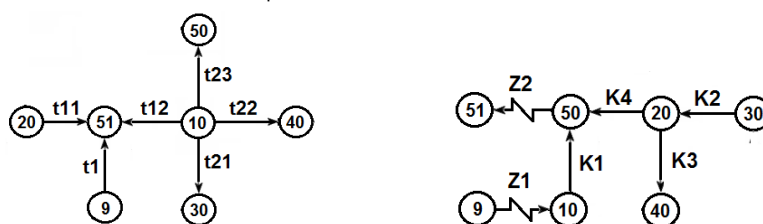


рис. 4 Графы замыкающих и составляющих размеров

При проверке цепей могут возникать следующие ситуации:

- для заданного конструкторского размера его допуск больше суммы допусков ОР, вошедших в размерную цепь; это означает положительные результаты проверки конструкторского размера (обозначение ситуации – С3);
- если номинальная величина конструкторский размер не совпадает с суммой величин операционных размеров, попавших в цепь и просуммированных с учётом знака, то это означает, что в цепь должны войти ОР от предшествующих операции; расчет такой цепи считается не выполненным и будет сделан после перехода на проектирование ОЗ для предшествующей операции (ситуация С2: расчет размера отложен);
- если для заданного конструкторского размера цепь не образовалась, то её составление переносится на предшествующую операцию (ситуация С1: конструкторский размер не участвует в составлении цепей на данной операции);
- если для заданного конструкторского размера его допуск меньше суммы допусков ОР, вошедших в размерную цепь, то это означает необходимость изменить простановку технологических баз и операционных размеров (ситуация С0: отрицательные результаты размерного анализа).

Процедура ЦЕПЬ выполняется для каждой проектируемой операции по всем конструкторским размерам.

Рассмотрим действия пользователя при расчете ОР. Возможны две тактики расчета цепей:

- Проектируются все ОЗ, для них, после того как для заданной операции сформирована операционная заготовка, выполняется простановка технологических баз, шероховатости обрабатываемых поверхностей и операционных размеров, которые необходимо выдержать на операции. В результате получается лишь предварительная ЭГМ операционной заготовки, так как над стрелками операционных размеров пока проставлены лишь обозначения этих размеров. Только после этого выполняется расчет цепей с помощью процедуры ЦЕПЬ, начиная с последней операции и доработка ОЗ (при необходимости) путем изменения простановки баз и операционных размеров.
- Полное проектирование операционной заготовки с применением процедуры «ЦЕПЬ» и последующим переходом к предшествующей операции. Эта тактика является предпочтительной, так как позволяет вовремя определять ошибки размерного анализа и уменьшить количество проектируемых вариантов операционных заготовок.

2.3. Расчёт режимов обработки

Одним из завершающих этапов проектирования ТП является расчёт режимов обработки для каждого технологического перехода операций ТП. Эта задача реализуется в среде ТИС ТАП [14,15]- табличного процессора, совершающего вычисления на основе справочных технологических таблиц. Совокупность таблиц и правил принятия решений формирует базу знаний ТИС ТАП. В то время, как правила решения определяются самим технологом, также происходит выборка параметров обработки из типизированного шаблона заготовки, хранящемуся в среде словарной системы ТИС-Словарь и соотносённому с обрабатываемой заготовкой посредством онтологического поиска по номенклатуре. Значения параметров извлекаются из ЭГМ заготовки, хранящейся в среде САД-системы. В дальнейшем ТИС-ТАП осуществляет расчёт параметров обработки на основе правил, установленных технологом. Все эти операции реализуются за счёт организации единого информационного пространства на базе онтологий предметной области, которое позволяет отдельным системам обмениваться необходимой технологической информацией.

3. Анализ разработанного метода

Рассматривая эффективность предложенных методов формирования операционных заготовок необходимо отметить:

1. Сокращение времени формирования 3D модели детали с аннотациями и её параметрической модели параметрической заготовки за счет их одновременного (параллельного) создания достигает, как показано в таблице 1, может достигать от 1.5 до 3 раз. В таблице обозначение 3D + ПМ означает совместное создание 3D модели детали с аннотациями и её параметрической модели, как это предложено в работе.

Таблица 1

Временные затраты на проектирование ОЗ

Сложность детали	3D	ПМ	3D + ПМ
Простая (3 – 8 КЭ)	0.6 – 0.8 ч.	0.4 – 0.9 ч.	0.5 – 1.0 ч.
Средняя (10 – 16 КЭ)	1.0 – 2.0 ч.	0.8 – 1.5 ч.	0.9 – 2.2 ч.
Высокая (20 – 30 КЭ)	2.5 - 3.5 ч.	2.0 – 3.0ч.	2.2 – 4.0

2. Формирование операционных заготовок методом добавляемых тел выполняется в 2-3 раза быстрее, так как не требует переформирования 3D модели детали с аннотациями в 3D модель заготовки и выполняется путем логического сложения добавляемого тела к уже существующей 3D модели детали
3. Эффект от использования процедур автоматической выборки информации из параметрической модели детали или операционной заготовки вместо ввода информации из графических моделей деталей или заготовок выполняется в десятки раз быстрее ручного ввода данных.

Таким образом, предлагаемые методы формирования операционных заготовок не только имеют научную новизну, но и дают значительный экономический эффект при их применении.

Выводы

Выполненные исследования могут рассматриваться как составная часть той большой киберфизической системы, которая начинает создаваться в рамках конструирования и производства сложных изделий. Так как создание параметрических моделей ОЗ выполняется автоматически параллельно с созданием электронных геометрических моделей операционных заготовок, то это позволяет организовать единое информационное пространство на базе онтологии предметной области для обеспечения эффективной информационной интеграции между веб - ориентированными системами расширенного предприятия, в частности, как показано в работе, между системами конструирования изделий и системами проектирования технологических процессов. Такой подход обеспечивает удобный доступ к информации об операционных заготовках из веб-модулей, решающих технологические задачи, что в дальнейшем позволит повышать уровень автоматизации решения этих задач в условиях виртуального предприятия.

Литература

1. Куликов Д.Д., Яблочников Е.И. Проектирование операционных заготовок с использованием трехмерных САД-систем.- Известия высших учебных заведений. Приборостроение, №3, 2002, с.65.

2. Батаев А.Е., Пелипенко А.Б., Яблочников Е.И. Использование объёмных геометрических моделей при проектировании технологической документации – Информационные технологии, №2, 1998, с.16-19.
3. Иващенко И.А. Технологические размерные расчёты и способы их автоматизации – М: Москва, 1992, 222 с.
4. Матвеев В.В., Тверской М.М., Бойков Ф.И. Размерный анализ технологических процессов – М: Москва, 1982, 264 с.
5. Мордвинов Б.С., Яценко Л.Е., Васильев В.Е. Расчёт линейных технологических размеров и допусков при проектировании технологического процесса механической обработки: Иркутск, Иркутский госуниверситет, 1980, 104с.
6. Кузьмин В.В. Размерный технологический анализ при проектировании технологической подготовки производства – Вестник машиностроения, №6, 2012, с.19-23.
7. Шамин В.Ю. Теория и практика размерно-точностного проектирования: Челябинск, изд-во ЮУрГУ. 2007, 520 с.
8. Волков С.А., Рябов А.Н. расчёт операционных размеров с использованием пакета программ “Техкарт” – СТИН, №3, 2008, с. 20-23.
9. Дорофеев В.Д., Савкин С.П., Шестопад Ю.Т., Кольчугин А.Ф. Реализация процедуры формирования уравнений размерного анализа в системе принятия решений САПР ТП – Сборник ученых трудов Пензенского государственного технического университета, №3, 2001, с. 73-79.
10. Калачев О.Н., Богоявленский Н.В., Погорелов С.А. Графическое моделирование размерной структуры технологического процесса на электронном чертеже в системе AUTOCAD – Вестник компьютерных и информационных технологий, №5, 2012, с. 13-19.
11. Масыгин В.Б., Мухомозов А.В. Методика размерного анализа технологических процессов механической обработки с применением компьютерной программы: Омск, изд-во ОмГТУ, 2015, с. 226-236.
12. Бабанин В.С. Методика создания конструкторско-технологической модели детали в среде CAD-системы - Известия Вузов – Приборостроение – СПб: СПб НИУ ИТМО, 2014. Т.57, №8, с. 21 – 25.
13. Бабанин В.С. Создание параметрической модели детали в среде CAD-системы – Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – СПб: СПбГУ ИТМО. 2011. Т. 74, №4.
14. Носов С.О., Куликов Д.Д., Сагидуллин А.С. Интеграция CAD-системы с системами автоматизированного проектирования – Известия ВУЗов, №8, 2014, с. 18-20.
15. Носов С.О. Организация семантического единства параметров таблиц соответствий в САПр технологических процессов – Международный научно-исследовательский журнал, №8, 2016, с. 73-76.
16. Куликов Д.Д. Методика автоматизированного проектирование операционных заготовок в среде CAD-системы – Материалы международной научно практической конференции «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2017)», 2016.