

УДК 622:65.011.56/.002.28

Ю.А. Павлов

ОРГАНИЗАЦИЯ ГИБКОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КАМНЕОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ МОДУЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Сделан вывод о том, что ускоренный переход к гибкому компьютерно-интегрированному производству может стать начальным импульсом выхода камнеобрабатывающих предприятий из кризисного положения.

Ключевые слова: камнеобрабатывающее производство, прототипная модель, компьютерно-интегрированная система.

Семинар № 25

Промышленное изготовление сложных изделий из камня по заказам, получившее в настоящее время широкое распространение в ведущих странах, существенно изменяет требования к автоматизации дизайнерской и конструкторско-технологической подготовки производства. Это связано с необходимостью сочетания промышленных методов производства с индивидуальностью дизайна практически каждого выпускаемого изделия. Организационная структура производственно-технологических подразделений предприятия должна обеспечивать эффективное решение следующих задач:

- рациональное распределение функций художественной (ART) и конструкторско-технологической (CAD-CAM) подготовки производства между отдельными подразделениями;
- тесная информационная интеграция технологических служб как с дизайнерами и конструкторами, являющимися источниками необходимой информации, так и с производственными подразделениями;
- четкая организация электронного документооборота (PDM) дизайнерских и конструкторско-технологических служб с фиксацией конкретных

исполнителей и отслеживанием любого документа от момента его возникновения до архивации;

- возможность оперативного реагирования на быстро меняющуюся номенклатуру выпускаемых изделий, исходя из требований моды и сезона.

В отношении автоматизации художественной и технической подготовки особенностью предприятий, использующих элементы промышленного производства изделий по заказам потребителей, является наличие двух параллельных информационных потоков, характеризующих: промышленное производство изделий обычно единично или мелкими сериями; выпуск опытных вариантов изделий для расширения номенклатуры моделей и отслеживания тенденций изменения приоритетов потребителей (рис. 1).

Выбор конкретного варианта структуры системы ART-CAD-CAM зависит от следующих факторов:

- доля изделий, выпускаемых по индивидуальным заказам, в производственной программе предприятия;
- уровень организации подготовки производства, в том числе уровень автоматизации выполнения проектно-производственных операций;

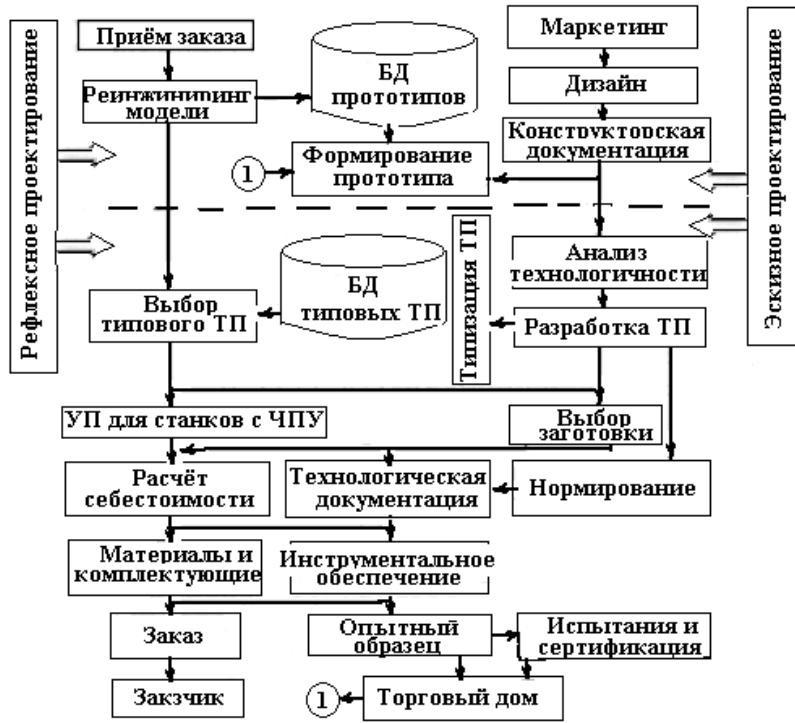


Рис. 1. Общая структурная схема организации художественно-технической подготовки производства изделий из камня

- длительность, точность и безошибочность выполнения этапов технологической подготовки производства, а также полнота и достоверность необходимых для этого исходных данных.

На основании схемы художественно-технической подготовки разрабатываются типовые сетевые графики, отражающие набор и последовательность реализации отдельных ее этапов, которые представляются в виде графа [4].

Для сохранения имеющихся конкурентных преимуществ и объемов прибыли предприятию необходимо организовать оперативное обновление номенклатуры прототипных моделей. Модель, разработанная дизайнером, может получить статус прототипной

либо директивно, либо на основании изучения потенциального спроса при экспонировании опытного варианта в торговых салонах (обычно в течение одного-трех месяцев).

В условиях позаказного промышленного производства изделий из камня, помимо фактора времени, важной задачей является уменьшение количества субъективных ошибок технического проектирования на всех этапах. Параллельное и независимое выполнение операций эскизного и рефлексного проектирования, являющееся одним из принципов концепции бездефектного производства, позволяет решить эту проблему. Однако практическая реализация данного подхода в пространстве геометрических моделей объектов, традиционно используемых

в существующих САПР (CAD), оказывается затруднительной. Необходим переход к моделям структурно-атрибутивного класса, которые отражают специфику конкретной предметной области.

Модели изделий, помимо геометрической информации, должны включать в себя способы и алгоритмы реализации сопряжения деталей между собой, методы контроля соответствия модели технологическим требованиям и ограничениям, информацию о наличии и форме вхождения в изделие стандартных элементов. Принципиальным отличием рассматриваемого подхода является моделирование прототипных объектов в пространстве эскизных координат. Другими словами, эскизная модель изделия является обобщенной моделью, не привязанной ни к какому конкретному технологическому процессу изготовления, но содержащей достаточный объем информации для исключения субъективных ошибок в процессе перехода к некоторому конкретному изделию, то есть в пространство исполнительных координат. Например, включение в эскизную модель требования о недопустимости перемычек между соседними отверстиями столешницы меньше определенного размера при построении конкретного изделия автоматически приведет к увеличению размеров плиты.

Разработка проекта нового изделия, даже при использовании функционально развитых CAD-систем, требует достаточного времени и не исключает субъективных ошибок проектирования. В определенной мере сократить их количество позволяет использование библиотек ранее созданных изделий. Однако поиск подходящего изделия, доработка его конструкции и технологии изготовления тоже требуют немало времени. Таким образом, при

большом количестве поступающих заказов конструкторско-технологическая подготовка становится узким местом, не позволяющим полностью загрузить производственные мощности предприятия. Экстенсивный способ решения этой проблемы путем увеличения штата специалистов неизбежно приведет к росту себестоимости продукции, что неприемлемо в современных рыночных условиях.

При распараллеливании процессов эскизного и рефлексного проектирования (см. рис.1) реализация заказа нового изделия уже не требует конструкторско-технологической проработки, поскольку оно априорно входит в одну из разработанных технологических цепочек. Время рефлексного проектирования изделия невелико по сравнению с длительностью проектирования нового изделия, а субъективные ошибки исключаются в основном еще в процессе приема заказа, т.е. при переходе от эскизных координат к исполнительным.

Реорганизация структуры предприятия при внедрении систем ART-CAD-CAM, построенных на рассмотренных принципах, позволяет решить и проблему дефицита квалифицированных дизайнерских и инженерно-технических кадров. В данном случае главной задачей дизайнера-конструктора становится разработка новых прототипных моделей изделий, а технologа – типовых технологических процессов их изготовления. Смена номенклатуры выпускаемых изделий происходит естественным образом: новые прототипные модели добавляются в библиотеку, а не пользующиеся спросом – исключаются из нее, не нарушая при этом общего процесса производства. Другими словами, квалифицированные специалисты занимаются эскизным проектированием, которое не пред-

полагает жестких ограничений по времени. Это позволяет в максимальной степени учесть современные тенденции на рынке изделий, всесторонне проанализировать разрабатываемые модели изделий и отработать технологию их изготовления.

Задачи рефлексного проектирования обычно решаются специалистами торговых домов и салонов (дизайнерами по интерьеру, менеджерами, продавцами-консультантами) при приеме индивидуальных заказов от потребителей. Эти работники, как правило, не владеют глубокими знаниями конструкторских и технологических особенностей конкретного камнеобрабатывающего производства, а также не имеют опыта и навыков работы с автоматизированными системами CAD-CAM, что и не является их прямой обязанностью. Однако при применении специально созданного для этих работников них программного обеспечения результаты их работы будут полностью соответствовать требованиям производства, причем степень соответствия (качество проекта) в значительной мере зависит от результатов предварительно выполненного эскизного проектирования прототипных образцов изделий. Фактически при рефлексном методе проектирования прототипная модель изделия «доопределяется», обеспечивая выполнение индивидуальных требований заказчика к конкретному изделию.

В программное обеспечение рефлексного проектирования входят функции расчета стоимости изделия, процедуры динамической визуализации его конструкции и модули формирования и печати документации, предназначенный для оформления расчетно-договорных отношений с заказчиком: договор-заявка, накладная, спецификация с эскизом изделия и др. Поскольку

конечным результатом рефлексного проектирования является комплект конструкторско-технологической документации, соответствующие проектные процедуры традиционных систем CAD-CAM должны дополняться функциями PDM.

В соответствии с такой структурой процесса проектирования в составе системы ART-CAD-CAM-PDM изделий из камня для позаказного промышленного производства выделяются следующие основные функциональные подсистемы (программные модули):

- автоматизированного эскизного проектирования;
- менеджера рефлексного проектирования;
- универсальной САПР изделий, предназначенной для визуализации геометрических моделей и выполнения операций по подготовке конструкторско-технологической документации проектов;
- администрирования процесса подготовки производства.

Первый модуль предназначен для формирования прототипных моделей. Он работает в интерактивном режиме, что позволяет специалистам предприятия создавать параметрические эскизные модели различных изделий. Функциональные возможности модуля полностью охватывают текущие и перспективные ассортиментные потребности предприятия. Он устанавливается в отделе дизайна и предоставляет такие функциональные возможности, как:

- разработка формы изделия путем задания конструктивных параметров;
- структуризация детального наполнения сложного изделия;
- создание и редактирование базы данных материалов и комплектующих

изделий.

Модуль администратора предназначен для эксплуатации на стыке конструкторско-технологического подразделения, экономических служб и руководства предприятия. Его основное назначение состоит в формировании базы данных для работы менеджеров по приему заказов, что требует выполнения следующих функций:

- формирования списка менеджеров, имеющих доступ к модулю приема заказов, и наделения их соответствующими правами;
- формирования базы прототипных изделий, составляющих текущий модельный ряд предприятия;
- описания формальных алгоритмов компиляции прототипных моделей в конкретные изготавливаемые по заказам модели;
- определения алгоритмов расчета стоимости изделия и ее структуры с учетом ценообразующих элементов заказа и принятой системы предоставления скидок.

Модуль менеджера предназначен для эксплуатации в местах приема индивидуальных заказов и реализует процесс рефлексного проектирования изделий на основе информации, полученной от заказчика, и данных, подготовленных в модуле администратора. Он полностью абстрагирован от специфики производства и не предъявляет высоких требований к компьютерной и технологической квалификации пользователей. Главное его назначение заключается в быстрой реализации пожеланий заказчика и их визуализации. Это предполагает:

- быстрое и наглядное построение модели изделия в соответствии с размерами, предоставленными заказчиком;
- автоматизированное вариантное эскизное проектирование конфигурации изделия с автоматическим контролем допустимости выполнения каждой проектной операции;

• качественную трехмерную визуализацию изделия для оценки его эстетических параметров;

- калькуляцию стоимости заказа с дифференцированным учетом стоимости наиболее ценных материалов и комплектующих и формирование сопроводительных документов, включая договор на изготовление конкретного изделия, бланки заказов на материал и комплектующие, графические эскизы изделия с простановкой необходимых фактических размеров;
- сохранение информации о принятом заказе с целью ее последующего использования;
- автоматическое формирование производственного задания в электронном виде с учетом требований и возможностей системы автоматизированного проектирования, используемой на предприятии;
- обеспечение защиты от несанкционированного доступа к программе и авторизации процесса приема заказов.

Переход к художественным и техническим прототипным моделям изделий структурно-атрибутивного класса, которые отражают специфику конкретной предметной области – камнеобрабатывающего производства, реализуется средствами модульного проектирования [4]. Эффективным методом проектирования деталей изделий сложной формы становится их компьютерное моделирование с использованием конечного множества типовых модулей поверхностей (МП) разного функционального назначения. В этом случае маршруты изготовления деталей включают в себя определенные последовательности модулей технологических процессов изготовления (МТИ) разных видов МП – базирующих (МПБ), рабочих (МПР) и связующих (МПС), рассмат-



Рис. 2. Типовые технологические операции и инструментальные переходы, выполняемые на камнеобрабатывающем многоцелевом станке с ЧПУ

риваемые совместно с транспортными, накопительными, контрольно-измерительными и другими типовыми вспомогательными операциями. Каждый МТИ характеризует, таким образом, типовую технологическую операцию изготовления соответствующего модуля поверхности детали, представляющую собой определенную последовательность основных технологических и вспомогательных переходов по обработке на станках с ЧПУ всех составляющих поверхностей данного МП (рис. 2).

Методология модульной операционной технологии реализована в современных автоматизированных системах подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ, входящих в АСТПП (CAM) [5]. Для возможности работы с графическими моделями де-

тей АСТПП интегрированы с САПР (CAD), а для организации проектных работ используются системы документирования (PDM). Совместно с художественным проектированием они образуют единую систему ART-CAD-CAM-PDM [4]. Необходимость выполнения административно-управленческих задач при реализации проектов обеспечивается встраиванием этой системы в информационную среду поддержки всех этапов жизненного цикла промышленных изделий (CALS или PLM – Product Lifecycle Management). Рассмотрим новые направления развития этих компьютерно-интегрированных производственных систем.

Компания «Siemens PLM Software» объявила стратегию технологического развития на ближайшее время, осно-

в которой составляет новая технология синхронного проектирования [3]. Главная идея заключается в поэлементном моделировании без использования дерева построения модели, которое сейчас является самым распространенным методом проектирования (*history-based design*) и используется в CAD-системах SolidWorks, PTC Pro/Engineer и Autodesk, а также во всех отечественных САПР (Компас-3D, T-Flex CAD-3D и др.). Метод дерева построения подразумевает, что каждый новый конструктивный элемент позиционируется относительно ранее созданных, и при изменении параметра любого выбранного элемента происходит пересчет формы всех последующих элементов. Такой подход позволяет сохранить взаимосвязи между элементами проекта, но затрудняет внесение изменений в модель изделия.

Внедряемая технология синхронизирует процессы подготовки геометрии моделей и правил их построения с помощью экспертной системы. При этом история построения модели не ведется. Преимущество метода заключается в возможности быстрого редактирования модели, а также в упрощении импорта моделей из других САПР, которые можно транслировать без специальных конверторов, необходимых для преобразования дерева построений из одного формата в другой. Уникальной возможностью технологии синхронного проектирования является то, что пользователь имеет полный контроль над параметрами и элементами импортированной, а затем сохраненной модели. Он может вернуться к ее редактированию в любое время и менять элементы в любой последовательности, что особенно важно при оформлении заказов.

Синхронная технология трехмерного моделирования впервые реализована в CAD-системе Unigraphics (PLM версии NX 6) [3]. Синхронная технология обеспечивает распознавание и поддержку геометрических взаимосвязей, размерную параметризацию, редактирование отдельных участков модели при независимости элементов модели от истории их создания. Кроме того, значительно усовершенствованы команды прямого редактирования моделей и улучшен пользовательский интерфейс.

Чтобы обеспечить быструю окупаемость производства изделий по индивидуальным заказам за счет использования всех возможностей современного камнеобрабатывающего оборудования с ЧПУ, необходимо применять надежные и эффективные компьютерные системы автоматизированной подготовки управляющих программ (УП). Одним из таких решений является пакет FeatureCAM компании «Delcam plc» [2].

В основе системы FeatureCAM лежит возможность автоматического распознавания типовых элементов твердотельной 3D-модели и автоматическая обработка этих элементов с применением заложенной в систему технологической базы знаний. Это позволяет свести к минимуму возможные ошибки при программировании, вызванные человеческим фактором, и сократить время подготовки управляющих программ для сложных деталей до нескольких минут. Таким образом, для работы в FeatureCAM не нужно иметь высокооплачиваемый штат высококвалифицированных программистов. Эта простая в освоении CAD-CAM-система предназначена для технологов, имеющих базовые знания в области механообработки материалов.

За основу для разработки управляющей программы для станка с ЧПУ

в FeatureCAM берется твердотельная 3D-модель детали, которую можно либо создать средствами самой системы CAD-CAM, либо импортировать геометрию из любой другой CAD-системы. Помимо геометрии, в качестве исходных данных необходимо задать модель станка, сформировать используемый набор инструментов, указать размеры заготовки и характеристики материала. После этого необходимо автоматически или вручную идентифицировать типовые конструктивные элементы (модули поверхностей детали), которые требуется обработать, и запустить имитацию обработки детали. При этом FeatureCAM на основе встроенной в систему технологической базы знаний автоматически:

- выбирает режущий инструмент из заданного набора или встроенной базы данных инструмента;
- назначает параметры черновой и

чистовой обработки;

- разбивает припуск на проходы и рассчитывает режимы резания в зависимости от характеристик материала;
- контролирует отсутствие врезаний и столкновений инструмента с деталью;
- рассчитывает управляющую программу и сохраняет ее в коде ISO.

Итак, освоение современных систем автоматизированной разработки геометрических моделей изделий на основе модульного принципа, а также типовых, заданных параметрами, модульных технологических процессов и операций обработки деталей на станках с ЧПУ совместно с управлением художественными и техническими проектами становится актуальной задачей компьютерно-интегрированных камнеобрабатывающих производств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Appius – PDM*: Система управления проектом и электронным архивом (для платформы 1С: Предприятие 8.0). – М.: ЗАО «Appius». Электронная версия / www.appius.ru.

2. Галкин В. FeatureCAM – эффективное решение для многозадачных станков с ЧПУ // САПР и графика, №6, 2008. – с. 85–87.

3. Интегрированная среда проектирования UniGraphics-CAD-CAE-CAM-PLM. Электронная версия / www.ugs.ru.

4. Павлов Ю.А., Ткач В.Р. Организация камнеобрабатывающего производства с

использованием информационных технологий. – М.: ИКФ «Каталог», 2006. – 358 с.

5. Павлов Ю.А. Программное управление технологическим оборудованием в гибком автоматизированном камнеобрабатывающем производстве: Учебное пособие в 3-х кн. – М.: Изд-во МГГУ, 2008. – 112 с. (кн. 1); – 160 с. (кн. 2)

6. Российский комплекс программ T-Flex CAD/CAM/CAE/PDM. — М.: АО «Топ Системы», 2008. Электронная версия / www.topsystems.ru. ГИАБ

Коротко об авторе

Павлов Ю.А. – доктор технических наук, профессор кафедры Технологии художественной обработки материалов Московского государственного горного университета, jathom@list.ru

Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru

