

**PERFECTION OF THE AUTOMATED SYSTEMS
OF MACHINE-BUILDING MANUFACTURES**

Oleg N. Mikhalev¹, Alexander S. Yanyushkin¹

¹ Bratsk state university, 665709 Bratsk, Russia

Abstract

In article is examined the modern approach to automation of machine-building manufactures in basis which lays is the modular technology. The basic attention is given to the modern concept of construction of CAD/CAM/CAPP-systems, and also the description of the basic ways of increase of a degree of their automation. Development of the given direction of a science will allow to creating really intellectual automated systems and will considerably change machine-building manufacture as a whole.

Key words: *automation, algorithm, technological process, precise hole.*

1. ВВЕДЕНИЕ

Непрерывное усложнение конструкций машин, повышение требований к качеству их изготовления обуславливает высокие сроки производственно-технологического цикла производства машин. В большей степени отмечается рост трудоемкости и длительности проведения именно проектных работ, нежели, собственно, самого производства. Технологическая подготовка производства (ТПП) к выпуску новых изделий является одним из самых сложных и ответственных этапов жизненного цикла изготовления изделий.

Необходимо резкое сокращение сроков вывода новых изделий на рынок, выполнение повышенных требований к качеству их изготовления, и в первую очередь повышение качества принимаемых проектных технологических решений. Все это возможно только путем автоматизации ТПП и самого, собственно, производства машин.

Главная проблема здесь состоит в том, чтобы связать проектирование изделий, разработку технологических процессов (ТП), создание средств технологического оснащения и организацию производственных процессов в единую систему. Это откроет путь к управлению машиностроительным производством и его развитием. Для этого необходимо применение системного подхода в описании машиностроительного производства и использование модульного принципа его построения.

Современные автоматизированные системы не отвечают требованиям данного подхода к построению машиностроительных производств, кроме того, обладают целым рядом серьезных недостатков. Необходимо совершенствование автоматизированных систем машиностроительных производств с учетом модульного принципа в машиностроении. Только таким образом возможно создание действительно интеллектуальных автоматизированных систем.

2. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ СОВРЕМЕННЫХ CAD/CAM-СИСТЕМ

ТПП к выпуску новых изделий на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) отличается еще более повышенной сложностью и в большинстве случаев занимает гораздо больше времени, чем само собственно производство всей партии изделий.

На сегодняшний день ТПП к выпуску новых изделий, в том числе и на станках с ЧПУ, осуществляется с помощью различных CAD/CAM/CAPP-систем (Computer Aided Design/Manufacturing/Process Planning system). Данные системы автоматизируют решение большинства задач конструкторов, технологов, разработчиков технологической оснастки и ряда других специалистов. И все же использование существующих CAD/CAM/CAPP-систем не дает желаемого снижения трудоемкости и времени проведения ТПП к выпуску новых изделий.

Проведенный анализ различных CAD/CAM-систем, в частности, FeatureCAM, GibbsCAM, Cimatron, EdgeCAM, MasterCAM, SurfCAM, SprutCAM показал, что все они обладают целым рядом общих недостатков, а именно:

1. Многие задачи в системах решаются не в автоматизированном режиме.
2. Системы обладают достаточно низкой степенью автоматизации принятия решений.
3. Имеют ограниченные возможности.
4. Имеют не верную на сегодняшний день архитектуру и методологию в целом, что является наиболее существенным недостатком большинства систем.

Ярким примером наличия недостатков современных CAD/CAM-систем является программирование ТП обработки точных отверстий на многооперационных станках с ЧПУ. Обработка точных отверстий является самой распространенной операцией, проводимой на многооперационных станках. В целом до 70% всей трудоемкости разработки ТП механической обработки корпусных деталей составляет именно проектирование обработки точных отверстий. Данная обработка осуществляется за несколько переходов, проектирование каждого из которых представляет собой сложную, трудоемкую и в тоже время рутинную работу. Не смотря на широкую распространенность применения операций обработки точных отверстий, системы обладают следующими недостатками:

1. CAD/CAM-системы не учитывают параметры точности диаметральных размеров и относительного расположения отверстий в комплексе при автоматизированном проектировании их обработки. Именно поэтому CAD/CAM-системы не могут создать оптимальную технологическую схему обработки точного отверстия автоматически, без участия человека. В большей степени это касается точных отверстий, имеющих сложную ступенчатую конфигурацию.

Автоматизация проектирования ТП обработки точных отверстий в существующих CAD/CAM-системах осуществляется посредством заранее созданных шаблонов. Для каждого типа отверстия разрабатывается свой шаблон ТП его обработки. Все шаблоны хранятся в специальной базе данных. Таким образом, при последующем проектировании обработки отверстия определенного вида, необходимо будет выбрать его шаблон и ввести новые значения диаметральных и линейных размеров отверстия. После чего система самостоятельно сможет построить ТП его обработки на основе существующего шаблона.

Основным недостатком данного способа автоматизации технологического проектирования является ограниченное количество шаблонов и слишком большое разнообразие видов отверстий. И в большинстве случаев, при отсутствии необходимого шаблона, его приходится разрабатывать полностью вручную.

Некоторые системы обладают возможностью распознавания отверстия на трехмерной модели и автоматически выбирать необходимый шаблон в базе данных. Подобная возможность значительно ускоряет процесс проектирования обработки точных отверстий сложных форм, однако и здесь при отсутствии необходимого шаблона его требуется создать полностью вручную. В связи с этим автоматизация проектирования ТП обработки точных отверстий посредством специальных шаблонов пригодна только лишь для отверстий простых форм.

2. Системы не могут самостоятельно выбрать режущие инструменты, необходимые для обработки точных отверстий. Практически во всех системах назначение инструментов осуществляется полностью вручную из базы данных инструментов. Некоторые системы обладают возможностью автоматизированного выбора режущих инструментов, однако, только после вручную спроектированной технологической схемы обработки точного отверстия, что также является неполноценным решением автоматизированного выбора режущих инструментов и подчеркивает несовершенство существующих автоматизированных систем. Кроме того, при автоматизированном выборе режущих инструментов CAD/CAM-система не учитывает вылет инструмента и ряд других его параметров и в большинстве случаев приходится перебирать инструменты вручную.

Автоматизация выбора вспомогательных инструментов реализуется значительно легче, однако и данная возможность присутствует не во всех CAD/CAM-системах. Выбор вспомогательного инструмента в них в основном реализован путем задания размеров условной его геометрии. Необходима более детальная конкретизация условий выбора вспомогательных инструментов в автоматизированных системах.

3. Современные автоматизированные системы имеют ограниченные возможности по формированию технологической документации, необходимой для наладки станка с ЧПУ и проведения операции в целом. CAD/CAM-системы генерируют цеховую документацию в упрощенном виде, отражая в ней лишь список инструментов и координаты опорных точек, что является недостаточной информацией, в частности для проведения сложных операций.

В такой документации отсутствует полная проработка наладки станка с ЧПУ, в ряде случаев отсутствует проверка столкновений рабочих органов станка с приспособлением или деталью и т.д. В результате это приводит к трудностям и дополнительным затратам времени при самой наладке станка с ЧПУ, а в худшем случае может привести к необратимым последствиям - поломке инструмента, порче приспособлений, выходу из строя станка и т.д.

4. В математическом обеспечении CAD/CAM-систем не заложены технические параметры проектируемой обработки. Отсутствует конкретизация условий обработки точных отверстий.

Данные недостатки современных CAD/CAM-систем по автоматизированному проектированию ТП обработки точных отверстий могут быть легко обобщены и для других конструктивных элементов деталей. Кроме того, представленные недостатки являются лишь незначительной их частью, в действительности их намного больше. Также много вопросов возникает по автоматизированному заданию оптимальных траекторий перемещения инструментов, генерации управляющих программ, настройке постпроцессоров, несовершенству трехмерных моделей деталей и т.д.

3. СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ CAD/CAM-СИСТЕМ

Наиболее верным направлением развития CAD/CAM-систем является концепция автоматического распознавания конструктивных элементов детали с целью автоматического применения к ним не типовых, а оптимальных ТП их обработки. Данной концепции напрямую

соответствует технология модульного принципа построения машиностроительного производства, которая успешно применяется во многих других отраслях.

Модульный принцип – особенность построения технических систем, заключающаяся в подчинении их размеров проектному модулю(ям) и (или) в обеспечении возможности комплектования разнообразных, сложных, нестандартных технических систем с большим различием характеристик из небольшого, экономически обоснованного количества типов и типоразмеров одинаковых первичных (типовых или стандартных) общих модуль-элементов.

Наиболее доступным является другое определение. Модульный принцип – это построение различных технических систем с разнообразными характеристиками путем компоновки их из типовых модулей ограниченной номенклатуры (Базров, 2001).

Модульный принцип в машиностроении призван связать в единую систему проектирование изделий, разработку ТП, создание средств технологического оснащения и организацию производственных процессов. Таким образом, все эти этапы должны отвечать определенным требованиям и обладать определенными свойствами, должны быть организованы на основе одной единой технологии.

При этом еще одной из главных проблем развития автоматизации ТПП является то, что на сегодняшний день совершенствование CAD/CAM-систем ведется независимыми компаниями и их развитие происходит не согласованно.

Началом использования модульной технологии в машиностроении явилось нахождение элементарных единиц, а именно конструктивных элементов деталей, названных как модуль поверхности или модуль поверхностей (МП). Данные МП представляют собой отдельные поверхности или совокупность поверхностей детали, обрабатываемые за один ее установ.

На сегодняшний день разработана и классификация МП, на верхнем уровне которой все модули разделены по служебному признаку на три группы (рабочие, базирующие, связующие). На следующих уровнях классификации МП подразделяются по признакам, характеризующим их конструктивно–геометрическое оформление (внутренние, наружные, тела вращения, цилиндрические, конические, плоские поверхности и т.д.).

Таким образом, некоторая деталь, согласно, модульного принципа построения машиностроительного производства, может быть представлена следующим образом (рис. 1). Все поверхности детали могут быть разбиты на следующие модули поверхностей: Б112 – плоские наружные поверхности; Р112- плоские наружные поверхности; С121 – поверхность вращения внутренняя; Р121 – поверхность вращения внутренняя, где Б – базирующие поверхности, Р -рабочие поверхности, С – соединительные поверхности. Каждому модулю поверхности соответствуют свои ТП их обработки и соответственно свое технологическое оснащение.

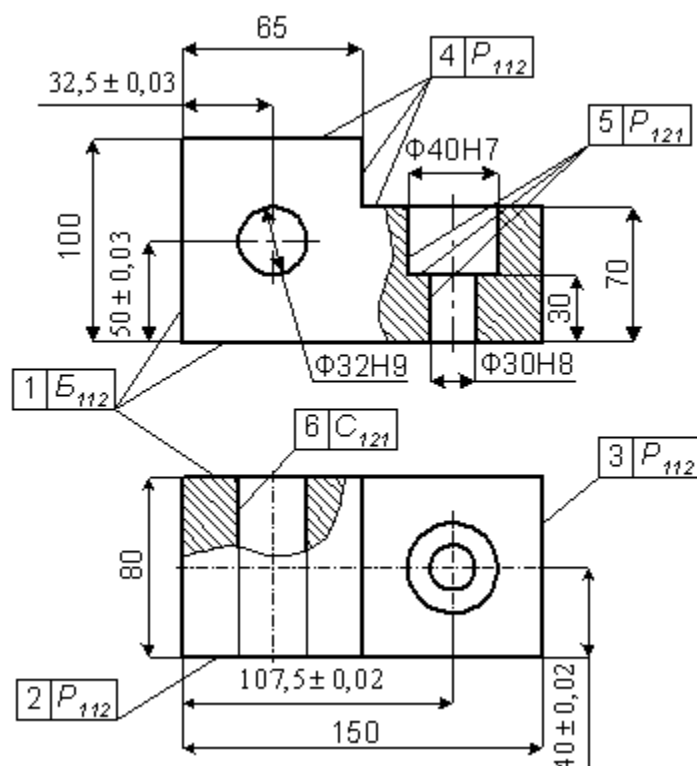


Рис. 1. Представление детали совокупностью модулей поверхностей

Проектирование деталей методом компоновки из МП предполагает и иное оформление чертежа – теперь на чертеже детали должны быть указаны МП, из которых она состоит, код каждого МП в соответствии с их классификацией, порядковые номера МП и их граф. В спецификации детали также необходим ввод дополнительной информации, отражающей размерные связи МП, определяющие их положение, требования к точности размеров и т.д. Таким образом, конструкторский чертеж детали может быть представлен в более понятном для технолога виде, что значительно снизит время технологического проектирования. Однако на сегодняшний день наибольший интерес представляет автоматическое распознавание конструктивных элементов на 3D-модели детали, так как современные CAD/CAM-системы работают именно с трехмерными моделями. Для этого необходимо не только изменение представления чертежа детали, но и изменение свойств трехмерных моделей, их совершенствование.

Такой подход к организации машиностроительных производств хорошо поддается автоматизации. Таким образом, для каждого распознанного МП на трехмерной детали автоматизированные системы смогут самостоятельно применить необходимый ТП его обработки. Однако для этого необходимо создание четких и однозначных взаимосвязей между МП и ТП. Необходимо создание классификации ТП обработки МП. Определенную трудность в создании подобной классификации составляет существование большого разнообразия самих ТП, что требует их предварительной унификации, что на сегодняшний день связано с рядом трудностей, также основной трудностью является необходимость выявления основных критериев, которые будут положены в основу классификации ТП.

Кроме классификации ТП необходимо также и создание классификации технологического оснащения, создание которой также связано с многочисленными трудностями. В первую очередь главной проблемой является существование большого разнообразия самого технологического оснащения, а также их независимое развитие различными производителями, предлагающими свои индивидуальные конструктивные решения, чем и конкурируют на рынке.

Все классификации должны быть взаимосвязаны и согласованы между собой. Создание подобных классификаций, их практическая реализация резко повысит рентабельность и эффективность машиностроительного производства. Таким образом, наиболее верным направлением развития машиностроительного производства, а также и автоматизированных систем является построение их на основе единой модульной технологии.

Построение CAD/CAM-систем на основе модульной технологии вызывает необходимость совершенствования математических моделей, разработки совершенных алгоритмов, а также решения многих других задач, включая задач оптимизации автоматизированного проектирования. Применительно к подобному совершенствованию CAD/CAM-систем необходимо наделять трехмерных моделей дополнительными свойствами, в частности, отверстия трехмерной модели детали должны обладать точностью как диаметрального размера, так и относительного расположения оси, а кроме того и рядом других характеристик, для автоматического создания ТП его обработки. На сегодняшний день наличие модели детали не достаточно для проектирования ТП ее обработки, ввиду отсутствия, необходимых для этого, свойств и несовершенства трехмерных моделей.

Кроме того, при автоматизации проектирования ТП, в том числе и процессов обработки точных отверстий, возможно и необходимо применение эвристического метода, заключающегося в решении задач на основе интуиции и опыта решающего лица, в данном случае на основе опыта технологов и результатов производственных испытаний. Найденные таким образом технологические решения обработки точных отверстий должны быть формализованы в виде алгоритмов для дальнейшего их применения при автоматизации ТП.

Одними из важных свойств современных автоматизированных систем является их интеграция с другими системами и открытость для дополнения модулями сторонних разработчиков. Интеграция становится одним из главных критерием, характеризующим CAD/CAM-системы. Именно данные свойства делают возможным совершенствование систем путем подключения специальных модулей, в частности, построенных на основе модульной технологии в машиностроении.

4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТП ОБРАБОТКИ ТОЧНЫХ ОТВЕРСТИЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Для обработки одних и тех же точных отверстий на многооперационных станках с ЧПУ можно с легкостью продемонстрировать большое количество различных ТП. Все это свидетельствует о том, что на сегодняшний день отсутствует четкая научно-обоснованная методика проектирования ТП обработки точных отверстий. Существуют лишь типовые ТП, а также определенные рекомендации, выполнение которых необходимо обеспечить при обработке точных отверстий.

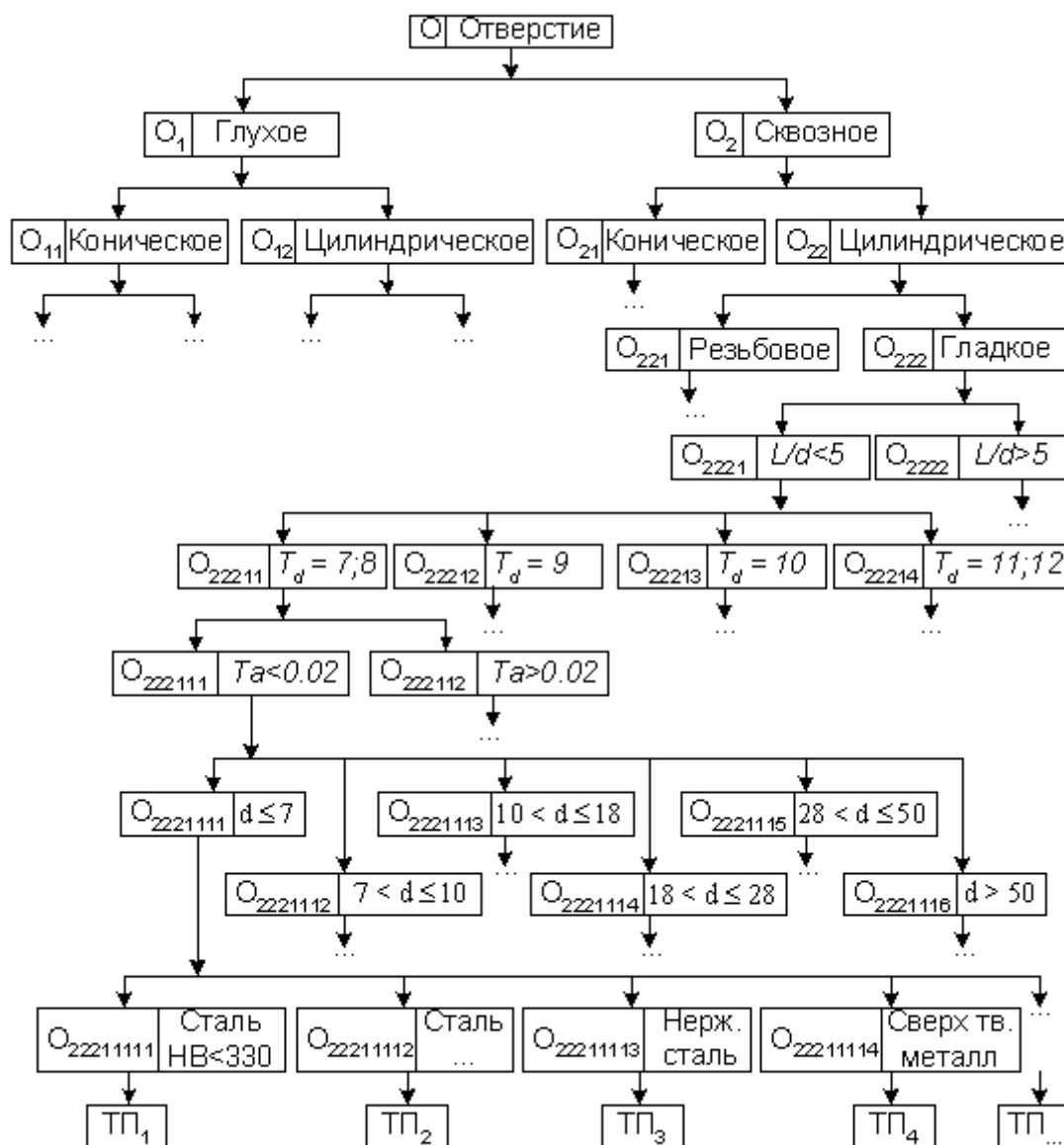


Рис. 2. Фрагмент классификации ТП обработки точных отверстий

Применительно к проблеме автоматизированного проектирования ТП обработки точных отверстий на многооперационных станках с ЧПУ модульный принцип может быть реализован следующим образом. Первостепенной задачей здесь является создание классификации ТП обработки точных отверстий.

В большинстве случаев в современных изделиях машиностроения присутствуют сложные ступенчатые отверстия, для каждой ступени которых соответствуют свои методы обработки. Поэтому при проектировании ТП обработки ступенчатых отверстий необходимо их разложение на элементарные конструктивные элементы – ступени. Для каждой ступени должна быть назначена технологическая схема ее обработки. После чего на основании созданных схем для

каждой ступени необходимо сформировать общую технологическую схему обработки всего ступенчатого отверстия целиком. В связи с этим необходимо создание классификации ТП обработки именно ступеней отверстий. Фрагмент подобной классификации представлен на рис. 2, где L/d -отношение длины отверстия к его диаметру, T_d – точность диаметрального размера, T_a – точность относительного расположения оси отверстия.

Как видно в качестве критериев классификации ТП положены конструктивно-геометрические и точностные признаки отверстий. Теперь каждому точному отверстию, а точнее каждой ступени отверстия соответствует определенный ТП ее обработки ($ТП_1$, $ТП_2$, и т.д.). В качестве подобных ТП выступают типовые ТП и действующие процессы различных предприятий, полученных эвристическим путем на основе многолетнего опыта технологов.

Для проектирования ТП обработки ступенчатого отверстия необходим алгоритм его формирования из назначенных технологических схем обработок каждой ступени отверстия. При этом для проектирования черновой обработки ступенчатого отверстия важное значение играют линейные размеры каждой ступени. Наиболее часто используемая черновая обработка осуществляется последовательно, начиная от наименьшего диаметра и заканчивая наибольшим. Однако применяется и обратная схема, которая также должна быть учтена при автоматизации ТП. При автоматизированном формировании технологической схемы черновой обработки ступенчатого отверстия производится исключение некоторых не нужных сверлильных переходов, назначенных для обработки ступеней в отдельности. Проектирование полуступенчатой и чистовой обработки отверстий полностью осуществляется согласно схемам, заложенным в классификации ТП обработки точных отверстий.

Для формирования схемы обработки ступенчатых точных отверстий на многооперационных станках с ЧПУ разработан специальный алгоритм, результатом выполнения которого является технологическая схема обработки ступенчатого отверстия с назначенными операционными диаметральными размерами, получаемыми на каждом переходе обработки отверстия.

В ходе формирования ТП обработки точного отверстия осуществляется и автоматизированный выбор режущих инструментов. Задача назначения режущих инструментов является наиболее важной и сложной при проектировании технологических переходов операций. Сложность автоматизированного назначения режущих инструментов вызвана, во-первых, большим разнообразием конфигураций инструмента и его типоразмеров, а во-вторых, неполной формализацией задачи его назначения (Филонов, 2003). Для автоматизации назначения режущих инструментов необходимо реализовать следующие четыре этапа:

1. Выбор вида режущего инструмента.
2. Выбор типоразмера инструмента.
3. Определение возможности использования найденного типоразмера инструмента для рассматриваемого перехода.
4. Сортирование найденных и подходящих инструментов, согласно их приоритетов.

Таким образом, согласно представленной общей методики, CAD/CAM-система должна определить отверстие детали как один МП, и по считанным с трехмерной модели свойствам отверстия представить его в виде отдельных поверхностей (рис. 3). ТП обработки каждой отдельной поверхности будут автоматически установлены согласно классификации (рис. 2), а на их основе с помощью разработанного алгоритма и будет сформирован обобщенный ТП обработки всего отверстия целиком.

Любое отверстие или его МП можно представить совокупностью поверхностей соответствующих классификации ТП (рис. 2). Например, отверстия детали, представленной на рис. 1, могут быть представлены в следующем виде (рис. 3).

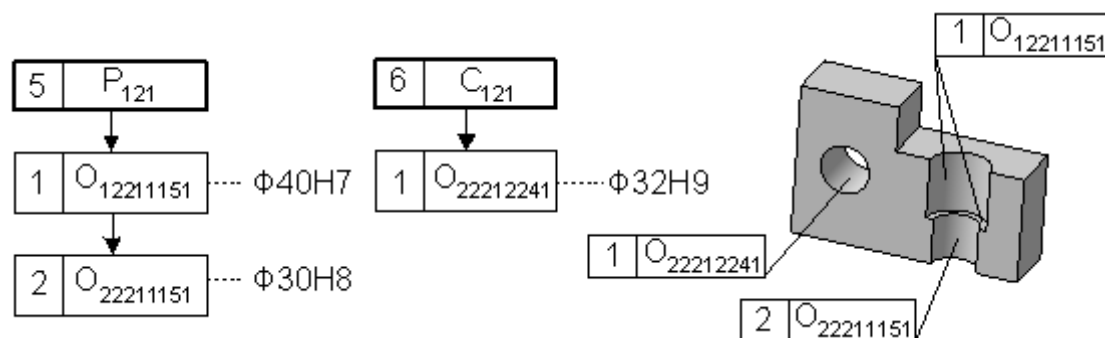


Рис. 3. Представление отверстий отдельными поверхностями в соответствии с классификацией ТП

Именно для реализации подобной методики и необходимо наделение трехмерных моделей определенными свойствами. Только так CAD/CAM-система сможет самостоятельно без участия человека распознать отверстие и создать ТП его обработки.

Точно таким же образом должна быть организована и автоматизация проектирования ТП обработки всех остальных поверхностей деталей. В этом случае CAD/CAM-система сможет самостоятельно спроектировать достоверный ТП обработки всей детали целиком, всех ее поверхностей. Построение CAD/CAM-систем подобным образом открывает огромные резервы повышения степени автоматизации и расширения функциональных возможностей автоматизированных систем машиностроительных производств.

5. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ CAD/CAM-СИСТЕМ

Многие современные CAD/CAM-системы открыты для их дополнения путем подключения внешних программных модулей. Данная возможность в каждой системе реализована совершенно различным способом. Наиболее предпочтительный способ подключения модулей к CAD/CAM-системе является такой способ, который не зависит от языка программирования модулей, а реализован путем создания библиотек, загружаемых в CAD/CAM-систему. Примером подобной автоматизированной системы является система трехмерного проектирования «Компас-3D». Данная система открыта для дополнения путем подключения библиотек, написанных на любом языке программирования. Доступ к методам системы «Компас-3D» организован посредством динамических библиотек «Компас-Мастер». Таким образом, путем подключения дополнительных модулей CAD/CAM-система приобретает дополнительные возможности.

Для автоматизации ТП обработки точных отверстий сложных конфигураций в современных CAD/CAM-системах создана специальная система автоматизированного проектирования ТПП на станках с ЧПУ «САПР ТПП ЧПУ» v. 1.0 (Янющкин, 2008). Система реализована в виде библиотеки, подключаемой к CAD/CAM-системе, основная форма которой представлена на рис. 4.

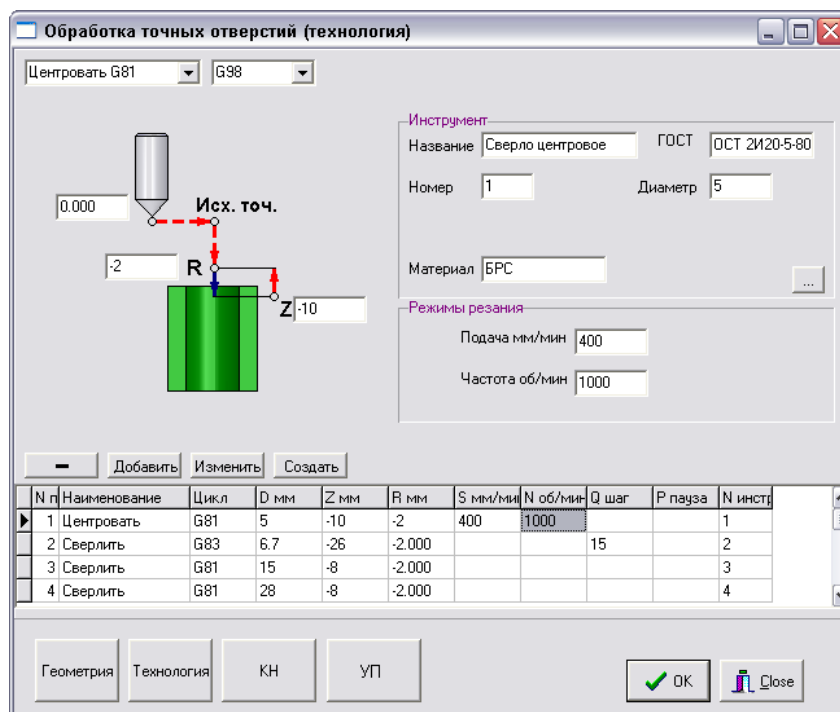


Рис. 4. Форма системы «САПР ТПП ЧПУ» v. 1.0

Данная система полностью интегрирована и работает в среде графической системы «Компас–3D». В системе «САПР ТПП ЧПУ» v. 1.0 реализован обобщенный алгоритм автоматизированного проектирования ТП обработки точных отверстий, позволяющий в «сквозном» режиме проектировать технологические схемы обработки точных отверстий на многооперационных станках с ЧПУ, выбирать необходимые режущие инструменты из базы данных, а также в автоматизированном режиме проектировать карту наладки станка в графической системе «Компас–3D». Проектирование ТП осуществляется с учетом параметров точности как диаметральных размеров так и относительного расположения отверстий. Для технологического проектирования используется минимальный набор исходных данных: геометрические размеры отверстия и параметры его точности. Система позволяет проектировать ТП обработки точных отверстий, имеющих произвольные сложные конфигурации. В данной версии системы отверстие может быть сформировано из пяти доступных видов ступеней в произвольной последовательности. Задание геометрии отверстия задается вручную, так как распознавание точных сложных отверстий с трехмерной модели на сегодняшний день полноценно не реализовано ни в одной CAD/CAM–системе.

Однако предполагается, что при распознавании сложного точного отверстия на трехмерной модели CAD/CAM–система сможет распознать следующие его параметры: тип ступени отверстия, геометрические размеры, показатели точности диаметральных размеров, показатели точности относительного расположения оси отверстия, шероховатость поверхностей, условный признак для каждой ступени отверстия. Все данные должны быть систематизированы и представлены в табличном виде. Например, отверстие, представленное на рис. 5, может быть

записано в виде таблицы 1, в которой сведены геометрические размеры ступеней отверстия (D, d – диаметральные размеры, L – линейный размер, R – радиус скругления кромки, α – угол конической части, Dm и P – диаметр и шаг резьбы), показатели точности (T_d , T_a , T_L – точность линейного размера), а также качественные характеристики (Ra – шероховатость поверхности).

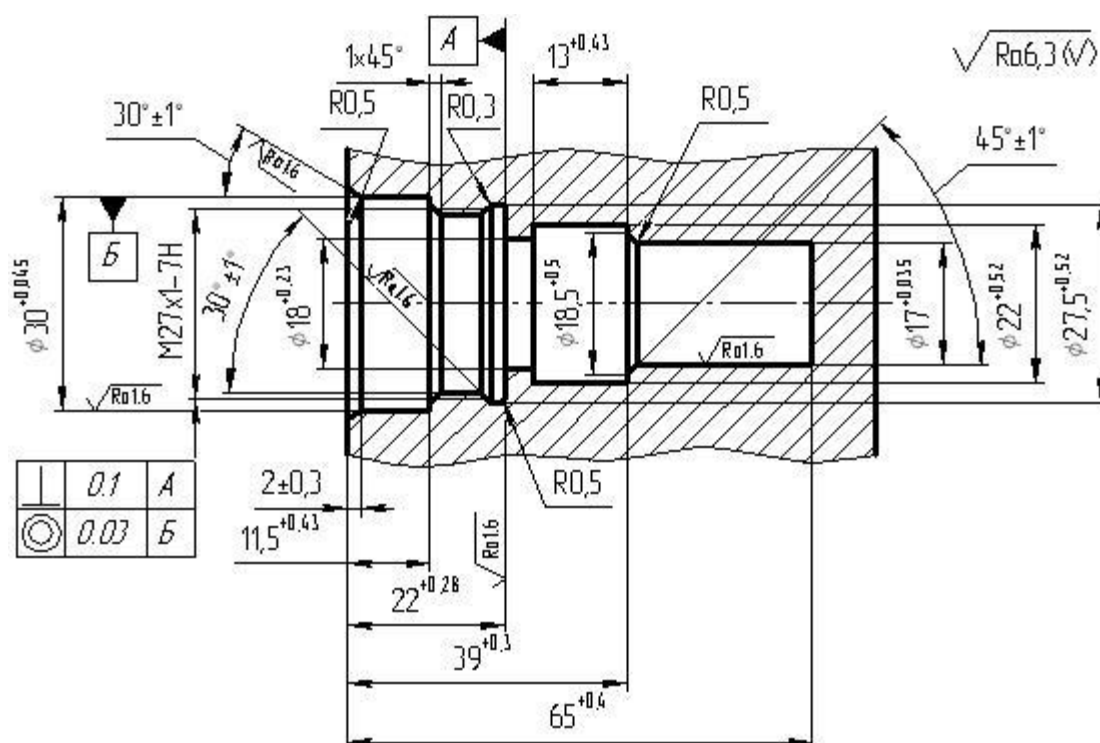


Рис. 5. Пример точного отверстия сложной формы

Таблица 1 – Представление точного отверстия сложной формы в виде таблицы

№	Тип	D	d	L	R	Dm	P	α	T_d	T_a	T_L	Ra	При- знак
1	2	30	31.32	11.5	0.5			30	0.045	0.03	0.43	1.6	0
2	4	26	28	8.5	0	27	1	45	7H	0.03	0.2	6.3	4
3	5	27.5	26		0.3			30	0.52	0.05	0.2	1.6	0
4	1	27.5		2	0.5				0.52	0.05	0.28	6.3	0
5	1	18		4	0				0.23	0.05		6.3	0
6	1	22		13	0				0.52	0.05	0.43	6.3	0
7	2	17	18.5	26	0.5			45	0.035	0.05		6.3	0

После представления отверстия подобным образом автоматизированная система с помощью классификации ТП определит процессы обработки каждой ее ступени отдельно. Из этих процессов обработки каждой ступени отверстия в дальнейшем и будет сформирован общий маршрут обработки всего отверстия целиком в соответствии с логикой, реализованного в данной системе алгоритма.

Сгенерированный ТП обработки точного отверстия сложной формы будет также представлен в виде таблицы, в которой содержится вся информация, необходимая для дальнейшей генерации управляющей программы для станка с ЧПУ и создания технологической документации.

Генерация управляющей программы осуществляется средствами САМ-системы, поэтому необходимо представить сгенерированный ТП в виде исходных данных для конкретной САМ-системы. Разработанная система «САПР ТПП ЧПУ» v.1.0 трансформирует таблицу с ТП обработки точного отверстия в исходные данные для системы «Проект ОЦ» v. 1.0 (Янюшкин и др., 2007), с помощью которой и осуществляется генерация управляющей программы для конкретного оборудования с ЧПУ.

К основным возможностям разработанной системы «САПР ТПП ЧПУ» v.1.0 также относится и автоматизированная генерация карты наладки станка и операционных эскизов в графической системе «Компас-3D». Для реализации данной возможности были разработаны математические описания геометрии инструментов в соответствии с их точными размерами, согласно ГОСТ, ОСТ или ТУ и разработаны специальные базы данных инструментов. Все это сделало возможным автоматизированное вычерчивание инструментов в соответствии с их точными размерами в графической системе непосредственно в карте наладки станка или на операционных эскизах. Именно данная возможность позволяет провести более полную проработку проектируемого ТП обработки точного отверстия, сократить сроки подготовки технологической документации, а также повысить качество самой ТПП (Михалев, 2008).

Тестирование разработанной системы осуществлялось в реальных производственных условиях, результаты которого показали адекватность ее работы. Главными результатами создания системы «САПР ТПП ЧПУ» v. 1.0 являются:

1. Снижение сроков проектирования ТП обработки точных отверстий произвольных сложных форм на 50%, а сроков проведения ТПП для выпуска деталей с большим количеством точных отверстий на 30% по сравнению с использованием существующих CAD/CAM-систем.
2. Снижение трудоемкости технологического проектирования обработки точных отверстий на 30% по сравнению с использованием существующих систем.
3. Повышение степени автоматизации и расширение функциональных возможностей автоматизированных систем машиностроительных производств.
4. Повышение качества ТПП на многооперационных станках с ЧПУ.

Интеграция разработанной системы с существующими CAD/CAM-системами тяжелого уровня приведет к еще большему сокращению сроков и трудоемкости проведения ТПП к выпуску новых изделий с точными отверстиями.

6. ВЫВОДЫ

Совершенствование информационных технологий является самым важным условием успешной деятельности любого конкурентоспособного предприятия. Сегодня, чтобы конкурировать на высшем уровне, предприятиям необходимо создание цифрового производства с

высокоэффективной автоматизацией проектирования всех этапов жизненного цикла изготавливаемого изделия, в том числе и этапа ТПП.

Огромный интерес представляет концепция автоматического распознавания конструктивных элементов деталей для дальнейшего автоматического формирования оптимальных ТП их обработки и автоматической генерации всей необходимой технологической документации. Для реализации данной концепции применим модульный принцип построения машиностроительного производства. В связи с этим наиболее оптимальным способом построения CAD/CAM/CAPP-систем является их построение на основе модульного принципа. Необходимо признание данных основ учеными всего мира для дальнейшего, именно согласованного развития машиностроительного производства и автоматизированных систем. Это позволит устранить дублирование разработок, исключить растрачивание интеллектуального потенциала ученых и разработчиков CAD/CAM-систем, и направит их деятельность на развитие прогрессивной концепции построения автоматизированных систем.

Только развитие данного направления науки сможет сделать возможным создание действительно интеллектуальных автоматизированных систем, которые определенным образом изменят современное машиностроение, основными признаками которого станут низкие сроки и трудоемкость всех этапов жизненного цикла изготовления изделий, что, несомненно, отразится и на экономической эффективности машиностроительного производства.

Будущее машиностроительное производство представляется исключительно высокоавтоматизированным с повсеместным использованием автоматизированных систем нового поколения, обладающих высокой степенью автоматизации принятия решений и самостоятельно решающих большинство задач различных специалистов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. Машиностроение (Москва) 2001, 368 с.; ISBN 5-217-03061-5.
2. Михалев О.Н., Янюшкин А.С. (2008) “Повышение степени автоматизации CAD/CAM-систем при проектировании обработки точных отверстий на многоцелевых станках с ЧПУ” Вестник компьютерных и информационных технологий: №5(47) с. 33-38. Машиностроение (Москва) 2008; ISSN 1810-7206.
3. Филонов И.П., Беляев Г.Я., Кожуро Л.М. Проектирование технологических процессов в машиностроении: Учебное пособие для вузов. УП “Технопринт” (Минск) 2003, 910 с.; ISBN 985-464-385-9.
4. Янюшкин А.С., Михалев О.Н. Система автоматизированного проектирования технологической подготовки производства на станках с ЧПУ (САПР ТПП ЧПУ v. 1.0). 2008 РОСПАТЕНТ. Свидетельство №2008615315.
5. Янюшкин А.С., Стебеньков Ю.Н., Михалев О.Н. Система автоматизированного программирования многооперационных станков с устройством числового программного управления (Проект ОЦ v.1.0). 2007 РОСПАТЕНТ. Свидетельство №2007611271.