

# **ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА Pro/ENGINEER В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

**КРУГЛИКОВ Олег Валерьевич**, заместитель Генерального директора ОАО «НИПТИЭМ» по развитию, инженер-механик, факультет «Материалы и технологические процессы» МГТУ им. Баумана, 1991 год.

**ЗАЙЦЕВ Андрей Михайлович**, начальник бюро ОАО «НИПТИЭМ», инженер-электромеханик, Электромеханический факультет Львовского политехнического института, 1976 год.

**ДРАГОМИРОВ Михаил Сергеевич**, ведущий специалист по математическому моделированию ОАО «НИПТИЭМ», инженер-механик, Автотранспортный факультет Владимирского государственного университета, 2001 год.

**ВЕРШИНИН Андрей Валентинович**, ведущий конструктор ОАО «НИПТИЭМ», инженер-электромеханик, Электротехнический факультет Кировского политехнического института, 1984 год.

**СИЖАНОВ Илья Сергеевич**, инженер-конструктор ОАО «НИПТИЭМ», инженер-механик, Автотранспортный факультет Владимирского государственного университета, 1997 год.

*Обобщен опыт применения современной системы трехмерного твердотельного моделирования и расчета Pro/ENGINEER при проектировании новой техники в области электромашиностроения. Приведены примеры эффективного решения различных конструкторско-технологических задач. Показано, что применение современных САПР при проектировании и расчете электрических машин в совокупности с системой управления данными разработки позволяет значительно повысить производительность команды разработчиков и обеспечить высокую конкурентоспособность новых изделий.*

Быстрое развитие вычислительной техники и соответствующего программного обеспечения, привело к тому, что процесс проектирования современных конкурентоспособных изделий стал немислим без применения систем автоматизированного конструирования – CAD (Computer Aided Design), автоматизированной подготовки производства – CAM (Computer Aided Manufacturing) и автоматизированного инженерного анализа и моделирования – CAE (Computer Aided Engineering). Практически все программы, реализующие указанные возможности, основываются на трехмерном представлении изделия, которое позволяет работать с математической твердотельной моделью как с физическим прототипом. Данный подход стал стандартом проведения инженерных разработок не только за рубежом, но и на ведущих российских предприятиях.

Современные САПР обладают следующими неоспоримыми преимуществами:

- наглядное представление отдельных деталей и конструкции в целом;
- возможность еще на ранних стадиях проекта проанализировать взаимодействие деталей в сборке;
- быстрое внесение изменений, которые будут отражены у всех участников проекта на всех элементах проекта (деталь, сборка, чертеж, технологическая оснастка, управляющая программа для станка с ЧПУ);
- возможность создания различных модификаций конструкции, позволяющая сравнить различные варианты исполнения изделия.

Все это приводит к сокращению сроков разработки при уменьшении количества ошибок и естественном повышении качества конечного результата.

Однако, несмотря на широкие возможности современных САПР, в настоящее время сложно привести пример программы, в которой бы не требовалось участие квалифицированного специалиста. Следует отметить, что по-прежнему главными остаются понимание анализируемого процесса, владение спецификой предметной области и методиками расчетов. В связи с этим решение вопроса подготовки специалистов, владеющих современными

инструментами конструктора и технолога, становится особенно важным.

После изучения всего спектра предлагаемых CAD/CAM/CAE-программ нами была выбрана система Pro/ENGINEER компании Parametric Technology Corporation (США). Данная программа, являясь САПР высокого уровня, наиболее полно отвечает предъявляемым требованиям и соответствует уровню решаемых задач.

Pro/ENGINEER представляет собой объектно-ориентированную параметрическую систему проектирования (как твердотельного, так и поверхностного). Наряду с ранее описанными возможностями подобных систем Pro/ENGINEER имеет ряд преимуществ. Программа ориентированна на мышление инженера и оперирует инженерными терминами, поэтому подход к построению деталей и созданию сборок представляется совершенно естественным и интуитивно понятным. Кроме того, программа может быть легко адаптирована под специфические требования пользователя.

Для управления процессом разработки изделий в условиях параллельной работы специалистов различных инженерных подразделений нами всегда, вне зависимости от сложности разработки, используется PDM-система Pro/INTRALINK. Данный пакет необходим для организации работ в соответствии с международными стандартами управления качеством изделия ISO 9000 – ISO 9006. Работа с данными в системе Pro/INTRALINK позволяет отследить все изменения, внесенные в проект, организовать иерархичность в правах на коррекцию документации, исключить несанкционированный доступ к документации и произвольное изменение ее лицами, не имеющими соответствующих прав. Являясь, по сути, надстройкой над Pro/ENGINEER, Pro/INTRALINK существенно повышает производительность команды разработчиков за счет реализации следующих возможностей:

- управление параллельным доступом к данным проекта и их модификациям;
- обмен информацией о проекте по мере его развития;
- гибкий доступ к данным для всех разработчиков изделия в зависимости

от их конкретных задач и уровня квалификации.

Описанные возможности наиболее полно реализуются при следующей организации работ по проектированию новых изделий:

1. На первом этапе определяются как основные этапы разработки в зависимости от поставленной задачи, так и количество задействованных исполнителей различных инженерных подразделений. Важной задачей администратора проекта на этом этапе является формирование эффективной команды разработчиков.

2. В существующей базе данных с помощью Pro/INTRALINK создается новая ветвь, позволяющая объединить все данные будущего проекта в единый архив информации, а также разграничить права доступа к архиву и обязанности каждого из его участников.

3. Проводится концептуальная конструктивная проработка изделия на основе предварительно проведенных поверочных расчетов, что обеспечивает требуемые характеристики изделия. Проработка ведется с использованием встроенного компоновщика (Layout) и скелетной сборки (Skeleton), или реализуется непосредственно в трехмерном твердотельном варианте. При этом может быть создано целое семейство модификаций изделия для их дальнейшего анализа. Кроме того, как правило, на этом же этапе просматриваются основные идеи дизайна будущего изделия.

4. Предварительная оценка возможностей и способов изготовления изделия различными технологическими подразделениями. На этом этапе определяется необходимое оборудование, и закладываются основы для проектирования технологической или литейной оснастки.

5. С помощью систем инженерного анализа и моделирования проводится отработка характеристик изделия, и уточняются конструктивные параметры. Здесь могут использоваться самые разнообразные программные средства, как произведенные самим разработчиком на основе накопленного опыта, так и универсальные расчетные программы, использующие твердотельные модели вариантов изделия в качестве объектов вычислительных экспериментов.

Примерами подобных программ могут служить модуль Pro/MECHANICA для расчета динамических характеристик, тепловых процессов и напряженно-деформированного состояния или специализированные комплексы ANSYS, NASTRAN, COSMOS/M, FEMLAB и др.

Необходимо отметить, что два последних этапа наиболее целесообразно проводить параллельно, чтобы существенно сократить сроки разработки. Обмен актуальными данными проекта при этом будет осуществляться автоматически при помощи Pro/INTRALINK.

6. Доработка трехмерной модели по результатам экспертных оценок технологов и металлургов, а также с учетом рекомендаций группы инженерного анализа.

7. Параллельно предыдущему этапу проводится проектирование необходимой технологической оснастки с помощью модулей Pro/MOLDESIGN, Pro/CASTING и Pro/SHEETMETAL и генерация управляющих программ для станков с ЧПУ с помощью модуля Pro/NC, а также создание конструкторской документации.

8. На последнем этапе разработки, если это необходимо, может быть изготовлен физический прототип будущего изделия с помощью средств быстрого прототипирования.

При этом необходимо отметить, что большую часть времени участники проекта оперируют лишь трехмерными моделями изделия, содержащими всю необходимую информацию. Конструкторская и технологическая документация оформляется лишь на заключительных этапах, когда уже согласованы все основные вопросы по конструкции и технологии изготовления.

В результате реализации проекта в едином электронном архиве информации формируется библиотека знаний инженера относительно выполненного проекта – скоординированная электронная модель изделия и база специальных и общетехнических данных. Ценность всей базы данных, содержащей различные разработки, постоянно повышается, т.к. новые данные могут быть использованы при дальнейшей работе.

С использованием описанной методики на предприятии был успешно реализован целый ряд проектов по разработке новой техники, что подтвердило эффективность применения современных CAD/CAM/CAE-систем высокого уровня и соответствующей системы управления данными разработки.

Одной из важных проблем современного электромашиностроения является организация эффективного охлаждения двигателей при соблюдении возрастающих требований по уровню шума.

С помощью Pro/ENGINEER была построена твердотельная модель вентиляционного узла двигателя и проведена его оптимизация с учетом особенностей реального вентиляционного тракта. Целью моделирования газодинамических характеристик вентилятора в трехмерной постановке задачи было снижение вентиляционных потерь при увеличении обеспечиваемого расхода и уменьшении шума. В результате проведения серии вычислительных экспериментов с различными модификациями вентилятора была получена конструкция, прототип которой был построен с помощью средств быстрого прототипирования методом стереолитографии<sup>1</sup> (рис.1). Результаты предварительных испытаний подтвердили эффективность найденного решения.

Таким образом, рациональное сочетание трехмерного представления геометрии изделия, моделирования его работоспособности и прототипирования позволило значительно сократить сроки разработки и улучшить показатели применяемого вентилятора.

Еще одним примером реализации возможностей Pro/ENGINEER на практике может служить использование модуля Pro/NC для создания управляющих программ для станков с ЧПУ. На сегодняшний день понятно, что применение в инструментальном или основном производствах современных обрабатывающих центров с ЧПУ не только обеспечивает лучшее качество, но и существенно сокращает трудоемкость обработки. Проведенные расчеты показали, что при механической обработке станин больших габаритов (В.О.В. 280...355) возможно снижение трудоемкости в 3...5 раз.

---

<sup>1</sup> Прототипирование вентилятора выполнено инженером Астаховым К.А.

На рис.2 показана схема установки крупногабаритной станины для ее полной механической обработки на станке с ЧПУ за 1 установ. Отличительной особенностью такого способа является минимальное количество переустановок и возможность проводить обработку станин различных габаритов и вариантов исполнения на одном обрабатывающем центре без значительных переналадок. Верификация (проверка) полученных управляющих программ на твердотельной модели изделия позволяет значительно снизить вероятность ошибки при их применении на станках.

Успешным является также опыт применения системы Pro/ENGINEER при проектировании матриц вырубного штампа для изготовления статорных и роторных листов асинхронного электродвигателя. При получении электронного профиля пазовырубных отверстий матрицы использовалась такая возможность системы, как автоматический пересчет контура паза с учетом нахождения каждого из размеров, определяющих форму паза, в середине своего поля допуска. Далее рассчитанный электронный профиль был загружен непосредственно в устройство ЧПУ современного японского электроэрозионного вырезного станка MITSUBISHI FA-20P, где была создана управляющая программа и выполнена высокоточная обработка формообразующих отверстий в матрице из закаленной стали X12Ф1 твердостью HRCэ 61...63 (рис.3).

Таким образом, применение новой технологии проектирования и изготовления позволило сократить срок от идеи до готовой детали более чем в 4 раза и значительно повысить точность обработки, в том числе и за счет отказа от бумажных носителей информации – чертежей. Понимание значительных преимуществ применения станков с ЧПУ привело к тому, что в настоящее время практически в 90% случаев выдачи заказа на изготовление оснастки обязательным требованием является наличие трехмерной модели или управляющей программы.

Одним из важных вопросов при разработке новых электрических машин является дизайн. При определении основных элементов дизайна необходимо

учитывать, что внешний вид электродвигателя должен быть не только узнаваемым и соответствовать современным тенденциям в этой области, но также быть технически целесообразным. При решении подобных задач необходимо проработать множество возможных решений, оценивая их как с эстетической, так и с технической точек зрения.

Описанные ранее возможности трехмерного проектирования позволяют эффективно решать обе поставленные задачи. Использование программы Pro/ENGINEER позволяет иметь реальное представление о внешнем виде отдельных деталей и двигателя в целом еще на этапе эскизного проектирования. Среди отличительных признаков представленного эскизного проекта электродвигателя 6A160 можно отметить:

- современный дизайн, соответствующий лучшим образцам зарубежных производителей;
- развитую наружную поверхность корпусных деталей;
- применение привертных лап, позволяющих располагать вводное устройство двигателя с любой из трех сторон.

Одновременно можно проанализировать возможные варианты конструкции, создавая различные ветви проекта. Оценивая влияние тех или иных конструктивных решений на дизайн, можно проводить, при необходимости, сравнительные расчеты на прочность, теплообмен, аэродинамику или вибрационную жесткость.

Подобная работа была проведена при выборе дизайна подшипниковых щитов для двигателя ВОВ 160 мм. Одним из критериев при оценке эффективности применения внешнего оребрения являлась площадь наружной поверхности подшипникового щита, которую можно легко вычислить, используя стандартные средства получения информации о детали, реализованные в Pro/ENGINEER. Таким образом, был найден вариант конструкции щита, сочетающий современный дизайн и развитую наружную поверхность.

Все больше российских и зарубежных фирм используют современные

технологии для проведения своих разработок. Использование единой среды позволяет осуществить кооперацию конструкторских идей с коллегами или заказчиками.

Опыт совместного применения CAD/CAM/CAE-системы Pro/ENGINEER и PDM-системы Pro/INTRALINK подтвердил их эффективность при проектировании новых изделий. Конструкторские разработки, проведенные с помощью Pro/ENGINEER, позволили повысить конкурентоспособность выпускаемой продукции за счет более рационального и технически обоснованного дизайна, лучшей проработки конструкции изделий в целом и применения новых конструкторских решений, проверенных численным моделированием. Сегодня можно с уверенностью утверждать, что современные, качественные и конкурентоспособные изделия можно создавать только с использованием современных способов проектирования и инженерного анализа.

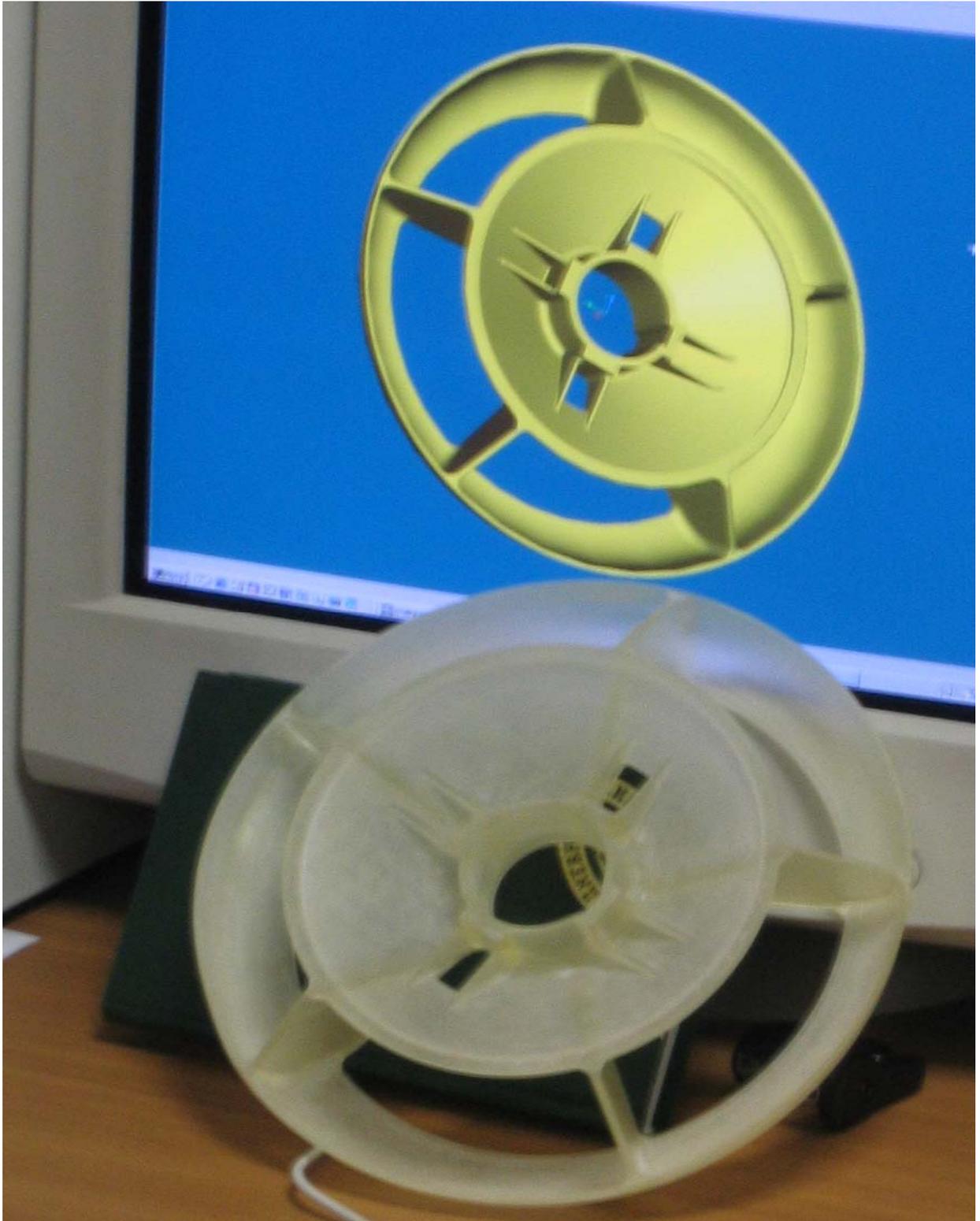


Рис.1. Прототип вентилятора для исследования аэродинамических характеристик.

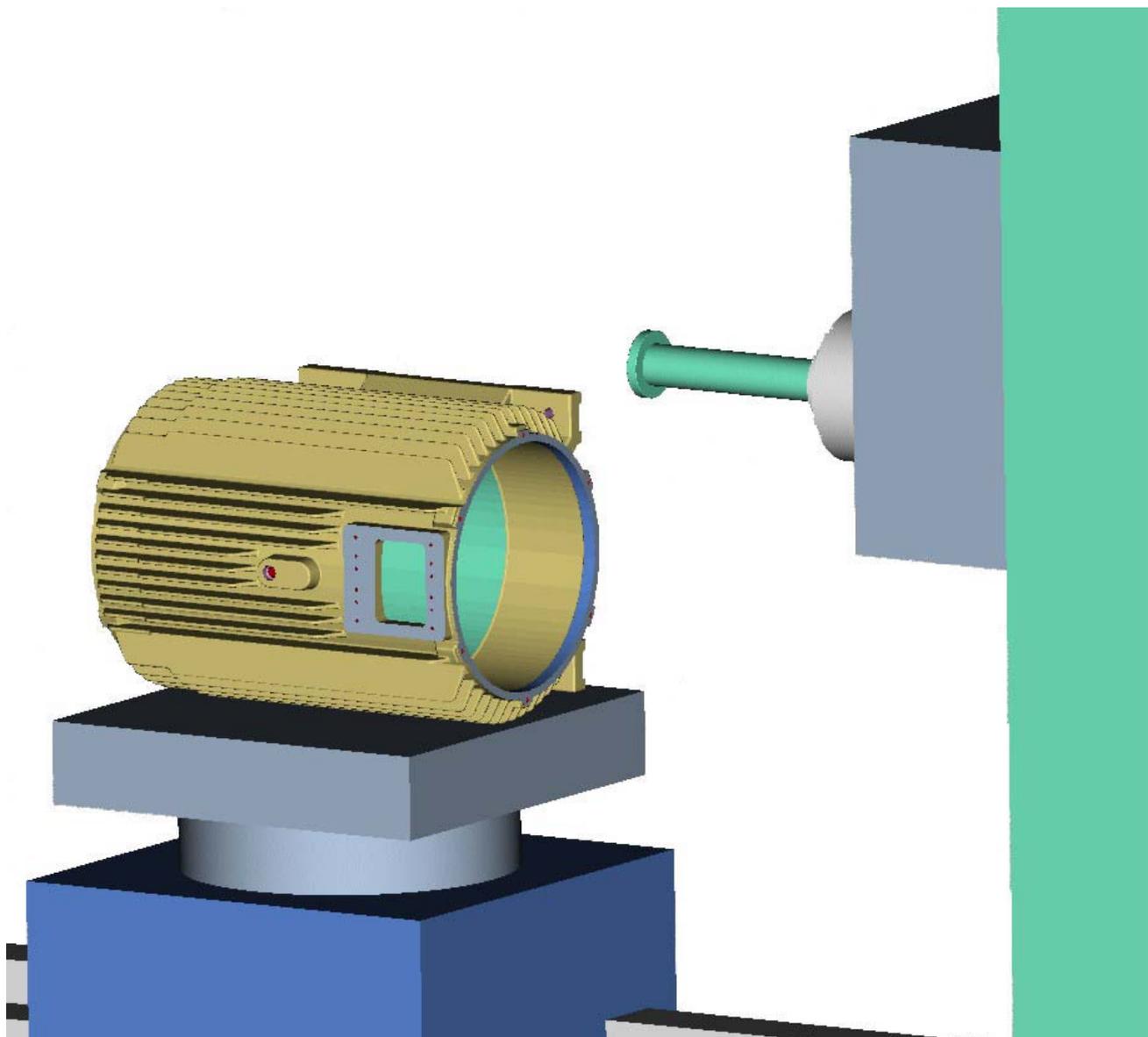


Рис.2. Схема установки станины габарита 355 мм на палетте при комплексной обработке на 4 координатном горизонтальном обрабатывающем центре с ЧПУ

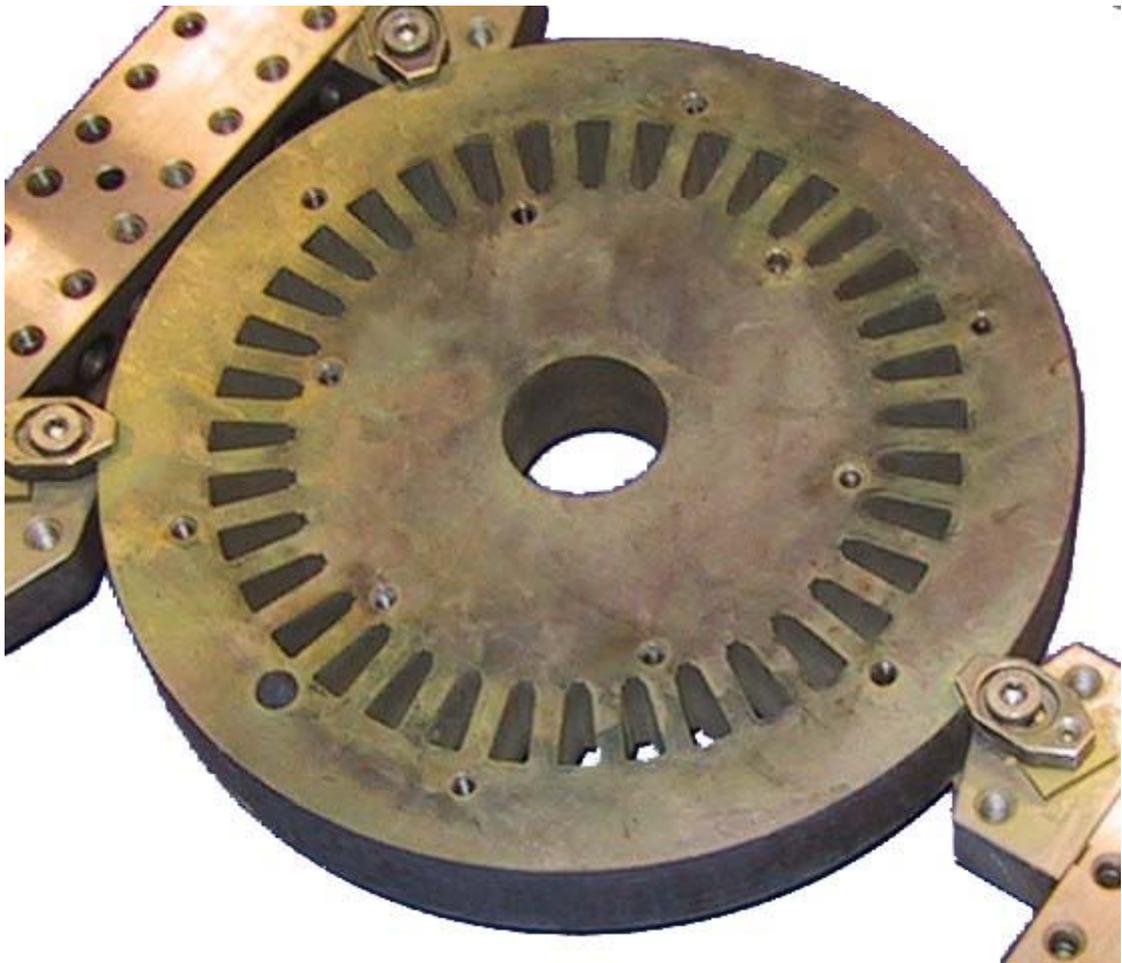


Рис.3. Готовая матрица вырубного штампа с 36 высокоточными фигурными отверстиями после электроэрозионной обработки