Лекция 8

2.12. Обеспечение функциональной взаимозаменяемости изделий

2.12.1. Основные стадии обеспечения функциональной взаимозаменяемости

Обеспечение функциональной взаимозаменяемости изделий предусматривает расчеты и оптимизацию параметров точности: допусков и предельных отклонений размеров, допусков формы и расположения поверхностей, а также параметров шероховатости поверхностей. Эти расчеты основаны на установлении взаимосвязей показателей качества изделия с функциональными параметрами его деталей и сборочных единиц. Назначение оптимальных точностных требований к функциональным параметрам позволяет создать гарантированный запас работоспособности изделий при обеспечении их эксплуатационных показателей, определяющих качество функционирования (производительности, точности и др.) в заданных пределах.

Изготовление деталей и сборочных единиц изделия с установленной точностью по геометрическим, механическим, электрическим и другим функциональным параметрам обеспечивает функциональную взаимозаменяемость всех однотипных изделий, выпускаемых предприятием.

На стадии конструирования изделий используют следующие исходные положения:

✓ эксплуатационные показатели машин определяются уровнем и стабильностью характеристик рабочего процесса; размерами, формой и другими геометрическими параметрами деталей и сборочных единиц (узлов) изделий; уровнем механических, физических и химических свойств материалов, из которых изготовлены детали, и другими факторами. Неизбежные погрешности и колебания свойств материалов вызывают изменение значений параметров рабочего процесса и эксплуатационных показателей машин. Поэтому для ответственных деталей и сборочных единиц (узлов) взаимозаменяемость необходимо соблюдать не только по размерам, форме и другим геометрическим параметрам, показателям механических свойств материала (особенно поверхностного слоя деталей), но и (в зависимости от принципа действия узла или машины) по электрическим, гидравлическим, оптическим, химическим и другим функциональным параметрам;

✓ необходимо обеспечивать однородность исходного сырья, материалов, заготовок и полуфабрикатов по химическому составу, равный уровень и стабильность механических, физических и химических свойств, а также точность и стабильность размеров и форм. Для заготовок, кроме того, необходимо выдерживать равенство размеров межоперационных посадочных поверхностей, предназначенных для фиксации положения заготовок в приспособлениях в процессе обработки;

✓ необходимо уточнить номинальные значения эксплуатационных показателей изделий, определить исходя из назначения, требований к надежности, долговечности и безопасности допустимые отклонения эксплуатационных показателей изделий, которые они будут иметь в конце установленного срока работы (разность между этими показателями у новых изделий и в конце срока эксплуатации составляет их допуск). Эти значения находят в результате прочностного, теплового, газодинамического или гидродинамического,

акустического и других расчетов, учитывающих износ и изменение функциональных параметров в процессе длительной работы изделий;

✓ необходимо установить основные составные конструктивные элементы изделия, от которых в первую очередь зависят его эксплуатационные показатели; составить перечень деталей и узлов, определяющих надежность и долговечность изделия в целом. Затем для данной категории деталей и узлов изделия выбирают такие конструктивные формы, материалы, технологию изготовления и качество поверхности, которые обеспечат максимальный срок их службы, точность и другие характеристики. Выявляют функциональные параметры, от которых главным образом зависят значения и допустимый диапазон отклонений эксплуатационных показателей машины. Перечень этих параметров определяется принципом действия, назначением и конструктивными особенностями изделий;

✓ необходимы обобщение опыта эксплуатации, быстрое прототипирование и создание моделей, проведение экспериментальных испытаний моделей, макетов или образцов. На этой основе проводится установление взаимосвязей точности функциональных параметров с показателями качества изделия Теоретически или экспериментально на макетах, моделях или опытных образцах следует установить возможные изменения функциональных параметров во времени (в результате износа, пластической деформации, термоциклических воздействий, изменения структуры и старения материала, коррозии, старения электронных ламп и т.д.). Найти связь и степень влияния этих параметров и их отклонений на эксплуатационные показатели нового изделия и в процессе его длительной эксплуатации;

✓ зная эти связи и допуски на эксплуатационные показатели изделий, можно определить допускаемые отклонения функциональных параметров и рассчитать посадки для ответственных: соединений. Используя установленные связи, можно установить значения отклонений эксплуатационных показателей при выбранных допусках функциональных параметров;

✓ обеспечивая взаимозаменяемость ответственных деталей по шероховатости, форме и расположению их поверхностей, следует выбирать эти параметры такими, при которых их эксплуатационные качества будут оптимальными;

✓ при конструировании необходимо учитывать требования технологичности и предусматривать возможность выбора для проверки точностных параметров изделия такой схемы измерения, которая не вносила бы дополнительных погрешностей и позволяла применять простые и надежные универсальные или существующие специальные измерительные средства.

Таким образом, разработка чертежей и технических условий с указанием требуемой точности размеров и других параметров детали и составных частей (узлов) изделий, обеспечивающей их высокое качество, является первой составной частью принципа взаимозаменяемости, выполняемой в процессе конструирования изделий. *Рабочий чертеж,* в котором указаны точностные требования, является основным исходным документом, по которому проектируют технологические процессы и контролируют точность готовой продукции.

На стадии изготовления изделий используют следующие исходные положения:

✓ точность изготовления, т. е. приближение действительных значений геометрических и других параметров деталей и сборочных единиц к их заданным значениям, указанным в чертежах или технических условиях, является главным условием обеспечения взаимозаменяемости;

✓ степень соответствия нормированной точности деталей, узлов изделий (совокупность допускаемых отклонений параметров от расчетных значений) и действительной точности (совокупность действительных отклонений, определенных в результате измерения с допустимой погрешностью) зависит от качества материала и заготовок, технологичности конструкции изделий, точности их изготовления и сборки и других факторов. Достичь заданной точности – зна-

чит изготовить детали и сборочные единицы так, чтобы погрешности геометрических, электрических и других параметров находились в установленных пределах. Стабильность показателей качества однотипных изделий при их серийном производстве в этом случае может быть с определенной вероятностью гарантирована;

✓ достижение высокого качества изделий зависит от точности технологического оборудования, инструмента и технологической оснастки, а также методов и средств контроля. Точность оборудования и оснастки должна быть выше требуемой точности изготовляемых деталей и узлов, т. е. иметь запас точности;

✓ точность средств измерения и контроля должна соответствовать принципам и рекомендациям, изложенным в соответствующей литературе (см. раздел «Литература»). Технические измерения должны обеспечивать связь с технологическим процессом и быть направлены главным образом на профилактику брака, что достигается путем управления точностью процессов изготовления.

На стадии эксплуатации используют следующее исходное положение: важной составной частью осуществления принципа взаимозаменяемости, обеспечивающего долговечную и экономичную работу изделий, является определение необходимого комплекта запасных частей. Они обеспечивают быструю замену в процессе эксплуатации износившихся или вышедших из строя деталей или узлов, сохраняя требуемую работоспособность машины в течение установленного времени. В процессе эксплуатации необходимо проводить техническую диагностику изделия с целью своевременной замены и ремонта деталей, узлов и агрегатов.

2.12.2. Информационные технологии обеспечения функциональной взаимозаменяемости

Для практического осуществления принципа функциональной взаимозаменяемости изделий необходима четкая система конструкторской, технологической, метрологической и эксплуатационной документации.

На современном этапе развития производства продукции наибольшая эффективность функциональной взаимозаменяемости может быть достигнута при реализации концепции *CALS*, стратегия которой предполагает создание *единого информационного пространства* (ЕИП) на всех этапах *жизненного цикла* (ЖЦ) производства изделия. ЕИП охватывает полную информацию об изделии, при этом вся информация должна быть представлена в электронном виде. Использование *CALS*-технологий позволяет предприятию-производителю наукоемкой продукции усовершенствовать процессы в ходе жизненного цикла, снизить сроки выпуска продукции на рынок; заказчику – сократить стоимость заказа и дальнейшей его эксплуатации, с учетом того, что стоимость поддержки наукоемкого изделия в работоспособном состоянии равна или превышает стоимость его приобретения.

В настоящее время поставка готового изделия с большим объемом традиционной бумажной документации существенно снижает его конкурентоспособность, поскольку делает невозможным взаимодействие с автоматизированными системами материально-технического снабжения для проведения профилактических и ремонтных работ. Техническая документация на изделие (в том числе требования к точности) должна быть представлена в форме *интерактивных электронных технических руководств* (ИЭТР). ИЭТР – это электронный документ, формируемый в значительной степени автоматически на основе конструкторского описания, представляющий собой базу данных и средств визуализации, использующих возможности мультимедиа (текст, графика, видео, аудио). Кроме того, необходимо собрать всю информацию об изделии в интегрированной базе данных и обеспечить совместное использование этой информации в процессах проектирования, производства и эксплуатации. Для этой цели применяют систему управления инженерными данными, основанную на стандартизованной модели данных и интерфейсе доступа и работы с этими данными.

В системе *CALS* ключевой является технология управления данными об изделии – *PDM (Product Data Management). PDM-технология* позволяет управлять всеми данными об изделии и информационными процессами ЖЦ изделия. При этом создаются, анализируются и используются взаимосвязи между функциональными параметрами и показателями качества. Данные об изделии состоят из идентификационных данных (например, данных о составе или конфигурации изделия, о точности обработки и др.) и данных или документов, которые используются для описания изделия или процессов его проектирования, изготовления и эксплуатации (при этом все данные обязательно представлены в электронном виде). Управление информационными процессами ЖЦ представляет собой поддержку различных процессов, создающих и использующих данные об изделии (например, процессов изменения точности геометрических параметров изделия). Осуществляется поддержка электронного документооборота, например, конструкторского документооборота.

Основная задача *PDM*-технологии – повышение эффективности управления информацией за счет повышения доступности данных об изделии, требующихся для информационных процессов ЖЦ. Повышение доступности данных об изделии достигается за счет интеграции всех данных об изделии в логически единую модель. Единая модель должна включать модель функционирования изделия, предусматривающую оптимизацию точностных требований.

PDM-система должна контролировать все связанные с изделием информационные процессы (в первую очередь, проектирование изделия, куда входят расчеты по обеспечению функциональной взаимозаменяемости) и всю информацию об изделии, включая: состав и структуру изделия, геометрические данные, точность, чертежи, планы проектирования и производства, нормативные документы, программы для станков с ЧПУ, результаты анализа, данные о надежности партии изделия и отдельных экземпляров изделия и другие данные.

PDM-система является необходимой составляющей для создания ЕИП для всех участников ЖЦ изделия и выступает как средство интеграции всего множества используемых прикладных компьютерных систем (САПР, АСУП и т. п.). Это происходит путем накопления поступающих данных и создания логически единой модели на основе стандартных интерфейсов взаимодействия.

Использование на предприятии *PDM*-системы позволяет сократить время разработки изделия, ускорить время выхода изделия на рынок, а также повысить качество изделия. Сокращение времени выхода на рынок достигается, в первую очередь, за счет повышения эффективности процесса проектирования изделия. Конструктор освобождается от непроизводительных затрат своего времени, связанных с поиском, копированием и архивированием данных, нахождением прецедентов при расчете точности, что при работе с бумажными данными составляет 25…30% его времени. Происходит улучшение взаимодействия между конструкторами, технологами и другими участниками ЖЦ изделия. Это происходит с использованием *CAD/CAM/CAE*-систем.

CAD-системы *(computer-aided design* – компьютерная поддержка проектирования) предназначены для решения конструкторских задач и оформления конструкторской документации, их называют также системами автоматизированного проектирования – САПР. Как правило, в современные *CAD*-системы входят модули моделирования трехмерной объемной конструкции (детали) и оформления чертежей и текстовой конструкторской документации (спецификаций, ведомостей и т.д.). Трехмерные *CAD-системы* позволяют реализовать решение задачи сквозного цикла подготовки и производства сложных промышленных изделий. В свою очередь, *CAM*-системы (*computer-aided manufacturing* – компьютерная поддержка изготовления) предназначены для проектирования обработки изделий на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) и выдачи программ для этих станков (фрезерных, сверлильных, эрозионных, пробивных, токарных, шлифовальных и др.). *CAM*-системы называ-

ют системами технологической подготовки производства. В настоящее время они являются практически единственным способом для изготовления сложнопрофильных деталей (например, лопаток турбин, роторов винтовых компрессоров, кузовов автомобилей и т. п.) и сокращения цикла их производства. В *CAM*-системах используется трехмерная модель детали, созданная в *CAD*-системе.

CAE-системы *(computer-aided engineering* – поддержка инженерных расчетов) представляют собой обширный класс систем, каждая из которых позволяет решать определенную расчетную задачу (группу задач). В числе этих задач: расчеты на прочность, анализ и моделирование тепловых процессов, расчеты гидравлических систем и машин, расчеты технологических процессов получения заготовок и обработки деталей, расчеты и оптимизация точности с целью обеспечения функциональной взаимозаменяемости и др. В *CAE*-системах также целесообразно использование трехмерной модели изделия, созданной в *CAD*-системе. *CAE*-системы являются системами инженерного анализа.

CAD/*CAM*/*CAE*-системы представляют собой индустриальные технологии, непосредственно направленные в наиболее важные области материального производства. В настоящее время становится невозможным изготовление сложной наукоемкой продукции (судов, самолетов, станков, информационно-измерительных приборов и др.) без применения *CAD*/*CAM*/*CAE*-систем. В настоящее время *CAD*/*CAM*/*CAE*-системы представляют собой интегрированные программные комплексы, обеспечивающие единую поддержку всего цикла разработки, начиная от эскизного проектирования и заканчивая технологической подготовкой производства, испытаниями и сопровождением при эксплуатации. Современные *CAD*/*CAM*/*CAE*-системы не только дают возможность сократить срок внедрения новых изделий, но и оказывают существенное влияние на технологию производства, позволяя повысить качество, надежность и конкурентоспособность выпускаемой продукции. Компьютерное моделирование сложных изделий позволяет конструктору оптимизировать не-

обходимые параметры, при этом значительная экономия достигается за счет отказа от изготовления физического прототипа и доводки изделия на испытательных стендах. Существуют многочисленные примеры, когда даже для относительно несложных изделий стоимость прототипа составляет десятки и сотни тысяч. Создание модели двигателя обойдется в полмиллиона долларов, а полномасштабный прототип самолета будет стоить десятки миллионов долларов.

В условиях быстрой сменяемости объектов производства и острой конкурентной борьбы за рынок сбыта задача изготовления прототипа в сжатые сроки становится все более актуальной. Современные технологические средства позволяют эффективно решить эту задачу, не прибегая к традиционным методам, связанным с механической обработкой материалов. Изготовление натурных моделей проводится из технологичных, легко деформируемых материалов. Изготовление таких прототипов осуществляется по *CAD*-данным с использованием трехмерных математических моделей.

Методы быстрого создания прототипов с использованием быстрого прототипирования *(Rapid Prototyping – RP)* позволяют решать проблемы, связанные с традиционными методами макетирования. Преимущество современных технологий быстрого прототипирования – сокращение сроков создания детали заданной точности. Детали, на создание которых раньше уходили недели и месяцы, сегодня могут быть созданы как физические объекты в течение нескольких дней или, в некоторых случаях, нескольких часов. Недостаток этих технологий – разные свойства материала прототипа и реальной детали. Он не является материалом серийной детали или, как минимум, имеет отличия по механическим и химическим свойствам. Это ограничивает возможность использования прототипов, полученных с использованием технологий быстрого прототипирования, в функциональном тестировании. Например, в некоторых случаях прототип не может быть использован в горячей среде, так как имеет низкую температурную устойчивость. Несмотря на эти недо-

статки, использование новых материалов расширяет возможности быстрого прототипирования.

Модели, выполненные по технологиям *RP*, могут изготавливаться из различных материалов: из пластиков, жидких смол, специальных порошков, различных листовых материалов (бумаги, алюминия и др.). Процессы создания модели в значительной степени автоматизированы и позволяют получать качественные и сравнительно недорогие модели, затрачивая на их изготовление часы, а не дни и недели, как это было при использовании традиционных методов. Технологии, предоставляющие такие уникальные возможности, были сразу востребованы и взяты на вооружение многими промышленными предприятиями. Технологии *RP* обеспечили этим предприятиям значительную экономию времени и денежных средств, затрачиваемых на подготовку изделия к производству, доводку показателей качества и обеспечение их стабильности за счет оптимизации требований к точности параметров деталей. Они позволили существенно сократить сроки и стоимость дизайнерских и конструкторских работ, уменьшить затраты на изготовление технологической оснастки, а также повысить качество выпускаемой продукции.