

Оглавление

Сокращения и обозначения	7
Предисловие	9
Введение	13
I Теоретические основы	19
1. Алгебра	21
1.1. Кортежи	21
1.2. Группы, кольца и поля	22
1.3. Векторные пространства	24
1.4. Аффинные пространства	25
1.5. Аффинные преобразования координат	26
1.6. Однородные координаты точки	27
1.7. Свёртки	29
1.7.1. Линейная свёртка	30
1.7.2. Циклическая свёртка	30
1.8. Взвешенные суммы	30
1.9. Фильтры	31
1.10. Удаление выбросов	35
2. Геометрия	37
2.1. Криволинейные системы координат	37
2.1.1. Полярная система координат	37
2.1.2. Сферическая система координат	38
2.1.3. Цилиндрическая система координат	39
2.2. Преобразование Радона	39
2.3. Преобразование Хафа	42

3. Геометрические допуски	45
3.1. Развитие геометрических допусков	46
3.2. Допуски формы и расположения	48
3.3. Алгоритмы анализа результатов измерений	48
3.4. Позиционные допуски	50
3.4.1. Практическая реализация	51
3.4.2. Минимизация суммы квадратов отклонений и сборка деталей	55
3.4.3. Обеспечение решения задачи сборки	57
4. Точность координатных измерений	61
4.1. Проблема прослеживаемости координатных измерений	61
4.2. Моделирование методом Монте-Карло	62
4.3. Виртуальная КИМ	63
II Практическая работа с ПО Calypso	65
5. Автоматизация измерений	67
5.1. Параметрическое программирование	67
5.1.1. Основы параметризации в Calypso PCM	68
5.1.2. Параметризация планов контроля	69
5.1.3. Условия и циклы. Управление перемещением КИМ. Получение результатов измерений	70
5.1.4. Генератор точек	73
5.2. Интеграция внешних программ	74
5.2.1. Реализация взаимодействия через файл	74
5.2.2. Считывание значений характеристик из табличного файла Calypso	77
5.3. Измерение деталей с перебазированием	78
5.3.1. Ручная реализация перебазирования	79
5.3.2. Автоматизация перебазирования на PCM	80
5.3.3. Другие возможности применения	82
5.4. Измерение конических поверхностей	82
5.5. Автогенерация протоколов измерений	83
5.5.1. Программная среда	84
5.5.2. Экспорт результатов с использованием PCM	84
5.5.3. Обработка результатов и генерация отчёта	86

6. Особенности измерения резьбы	101
6.1. Перспективные методы контроля резьбы	101
6.2. Использование КИМ	105
6.2.1. Базирование резьбы на КИМ	105
6.2.2. Измерение шага резьбы	105
6.2.3. Измерение среднего диаметра резьбы	105
6.2.4. Самоцентрирующее ощупывание	106
6.3. Практическая реализация в Calypso	107
6.3.1. Предварительное выравнивание	107
6.3.2. Определение расположения впадин	108
6.3.3. Измерение шага	111
6.3.4. Измерение среднего диаметра	111
6.3.5. Итеративное выравнивание	112
6.4. Выводы и дальнейшая работа	112
7. Аналитические способы измерения резьбы	113
7.1. Измерение резьбы с помощью преобразования Хафа . .	114
7.1.1. Описание экспериментальной установки	115
7.1.2. Распознавание резьбы	115
7.1.3. Определение параметров резьбы	117
7.1.4. Полученные результаты	119
7.1.5. Выводы и дальнейшая работа	120
8. Щупы для КИМ	123
8.1. Калибровка щупов	123
8.2. Принципы выбора щупов	124
8.3. Материалы для шариков	125
8.4. Материалы для стержней	128
8.5. Типовые конфигурации щупов	129
Заключение	135
Приложения	137
Получение результатов из Calypso	138
Описание команд Calypso PCM	142
Литература	145
Предметный указатель	157

Сокращения и обозначения

Некоторые обозначения, используемые в данной книге, могут быть ещё недостаточно распространены, поэтому здесь приводится полный перечень всех использованных сокращений.

- | | |
|---------|---|
| ИВК | — измерительно-вычислительный комплекс. |
| КИМ | — координатно-измерительная машина. |
| МНК | — метод наименьших квадратов. |
| САКК | — система автоматизированного контроля качества. |
| САПП | — система автоматизированной подготовки производства. |
| САПР | — система автоматизированного проектирования. |
| ПК | — персональный компьютер. |
| ПО | — программное обеспечение. |
| ЧПУ | — числовое программное управление. |
| CAA | — computer-aided accuracy. |
| CAD | — computer-aided design. |
| CAM | — computer-aided manufacturing. |
| CAQ | — computer-aided quality. |
| CCD | — charge-coupled device. |
| CNC | — computer numeric control. |
| CMM | — coordinate-measuring machine. |
| GD&T | — geometric dimensioning and tolerancing. |
| I++ DME | — dimensional measuring equipment interface. |
| PCM | — parametric coded measurement. |

Предисловие

Высококвалифицированный персонал — жизненно важная составляющая конкурентоспособности любой организации, что особенно актуально в тех областях, где ощущается нехватка специалистов. Это касается и координатных измерений, где инженер должен обладать широким спектром знаний, чтобы получать надёжные результаты. Ему необходимо знать основы машиностроительного производства и метрологии, работы с ПК, САПР координатно-измерительной техникой, понимать стандарты и методы менеджмента качества, знать основы статистики и аналитической геометрии, английский язык. Учитывая существующие программы вузов для подготовки инженеров, можно констатировать, что ни одна из них не обеспечивает полный спектр требуемых вышеперечисленных знаний. Такая ситуация сложилась не только в России, но и в других странах [105], хотя и в меньшей степени.

Занятия, которые проводят различные производители координатно-измерительной техники, как правило, ориентированы только на один вид аппаратуры и не дают хорошего фундамента для уверенности работы в данной области. Порой они не затрагивают даже такие важные вопросы, как методы и точность измерений.

В развитых странах ведущие промышленные предприятия и разработчики измерительной техники объединяют усилия с целью совместной разработки и внедрения программ по обучению специалистов в области координатных измерений. К уже созданным, достаточно широко применяемым программам обучения и сертификации относятся:

- ASMC в США и Канаде;
- CMTrain в Великобритании;
- CMM Club/CEPAS в Италии;
- AUKOM в Германии;

- EUKOM в странах Евросоюза.

Первые две программы сосредоточены на линейных измерениях в целом. Остальные — в основном на координатной метрологии. Все они сходны по структуре и содержанию. Программа EUKOM является развитием AUKOM и больше сконцентрирована на международных потребностях обучения специалистов, в частности, больше внимания уделено вопросам стандартизации. Данные программы обучения активно развиваются и в настоящее время.

В нашей стране повсеместное внедрение методик координатных измерений в производство сдерживается рядом факторов: отсутствием на машиностроительных предприятиях подготовленных кадров и целевых образовательных программ в областях автоматизации контроля и координатной метрологии; высокой стоимостью новой координатно-измерительной техники и программного обеспечения для неё; зависимостью от зарубежных производителей; отсутствием современных стандартов, технических регламентов и методик выполнения координатных измерений типовых деталей; несовершенством российских стандартов в отношении координатных средств измерения.

Эффективное использование координатных измерительно-вычислительных комплексов заключается не только в автоматизации тех рабочих мест, где устанавливается новое оборудование, но и в обучении людей новым способам работы, переподготовке специалистов и переосмыслении всех процессов, выполняемых на рабочих местах. И, скорее всего, это потребует существенных изменений в организации предприятия. *При неправильном внедрении ИВК на производстве возникнет ситуация, когда их использование станет недостатком, а не преимуществом.* Учитывая это, следует уделять больше внимания обучению персонала в области координатных измерений. При покупке оборудования бюджет должен включать в себя расходы не только на аппаратное и программное обеспечение, техническую поддержку, но и на обязательное обучение персонала.

Важной ступенью понимания является то, что ИВК необходимо рассматривать не как способ замены или улучшения существующих методов организации производства, а как способ применения принципиально новых методов и методологий (т.е. тех, которые в принципе были невозможны ранее, до применения координатной техники; например, так называемая «виртуальная сборка»). В нашей стране

до сих пор распространена ситуация, когда решается задача автоматизации отдельных рабочих мест, при этом задача автоматизации производственных процессов и процессов управления в масштабе предприятия просто не ставится [28]. Конечно, подобный подход даёт преимущество перед «ручным трудом», но о конкуренции с западными предприятиями по организации внутренних процессов не может идти даже и речи.

Следует ещё раз подчеркнуть, что без чёткого понимания ожидаемого эффекта от применения измерительных комплексов на производстве будет очень сложно получить поддержку руководства для их внедрения.

Введение

*Случайному студенту следовало бы
держаться подальше от этого курса.*

[8, стр. 13]

Признание в промышленности координатная измерительная техника получила с момента её появления. Она применима в различных областях производства: ведь размеры и отклонения формы и расположения поверхностей деталей могут быть определены на КИМ. По результатам исследований зарубежных учёных [87] до 75% общего числа геометрических параметров деталей может быть определено с помощью координатной измерительной техники.

В первые десятилетия развития ИВК внимание разработчиков было сконцентрировано на конструкции, математических основах ПО, системах управления машиной и стандартизации базовых методов выполнения измерений. Позднее работы сместились в сторону совершенствования методов контроля геометрических параметров, интеграции измерительно-вычислительных систем в технологические процессы, определения точности выполняемых координатных измерений. Новая фаза в развитии ИВК привела к новым требованиям в отношении и производителей промышленной продукции, и пользователей координатной измерительной техники, а также к адаптации промышленности под современные возможности информационных технологий. Стандарты качества на промышленные продукты возникают и изменяются за очень короткие временные циклы, приводя к тому, что подготовка, обновление и освоение новых методов контроля качества должны быть полностью интегрированы в поток данных, начиная от конструирования (CAD) и заканчивая изготовлением (CAM), контролем готовой продукции (CAQ) и обслуживанием.

Координатная измерительная техника сегодня используется в процессах обмена данными на всех вышеперечисленных этапах автоматизации производства. Когда встает вопрос о такой интеграции, сам процесс измерения играет уже не главную роль. Из-за постоянно возрастающего объема связей между различными этапами производственного процесса технология промышленных измерений должна также обмениваться всё большим количеством информации с другими этапами. На современном уровне развития технологии эта задача может быть решена различными способами (рис. 1.0 на стр. 15, адаптировано из [106]).

Входными данными для процесса координатных измерений является информация о номинальной форме изделия. Эта информация должна быть задана в форме, понимаемой компьютером, — в виде CAD-модели. Для использования её в процессе измерения необходимо, чтобы данные были переданы в метрологическое программное обеспечение для создания программы измерения.

При классических подходах, до компьютерно-автоматизированной передачи данных, в качестве исходных данных использовался напечатанный чертёж, который служил основой для программирования измерений. Обычно программирование выполнялось непосредственно на измерительной машине с применением модели или образца изготовленной детали.

В настоящее время, при наличии CAD-модели детали в электронном формате, программа измерения может быть практически всегда полностью составлена вне измерительной машины. Тем самым достигается экономия машинного времени, так как можно использовать измерительную машину для контроля других деталей по уже созданным программам измерений.

Для передачи CAD-модели в метрологическое программное обеспечение часто используются следующие форматы данных, стандартизованные национальными или международными организациями:

- IGES (Initial Graphics Exchange Specification);
- VDA-FS (Verband der deutschen Automobilindustrie Flächenschnittstelle);
- SAT/SAB (Standard ACIS Text/Binary);
- SET (Standard d'Excange et de Transfer);
- STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data [71]).

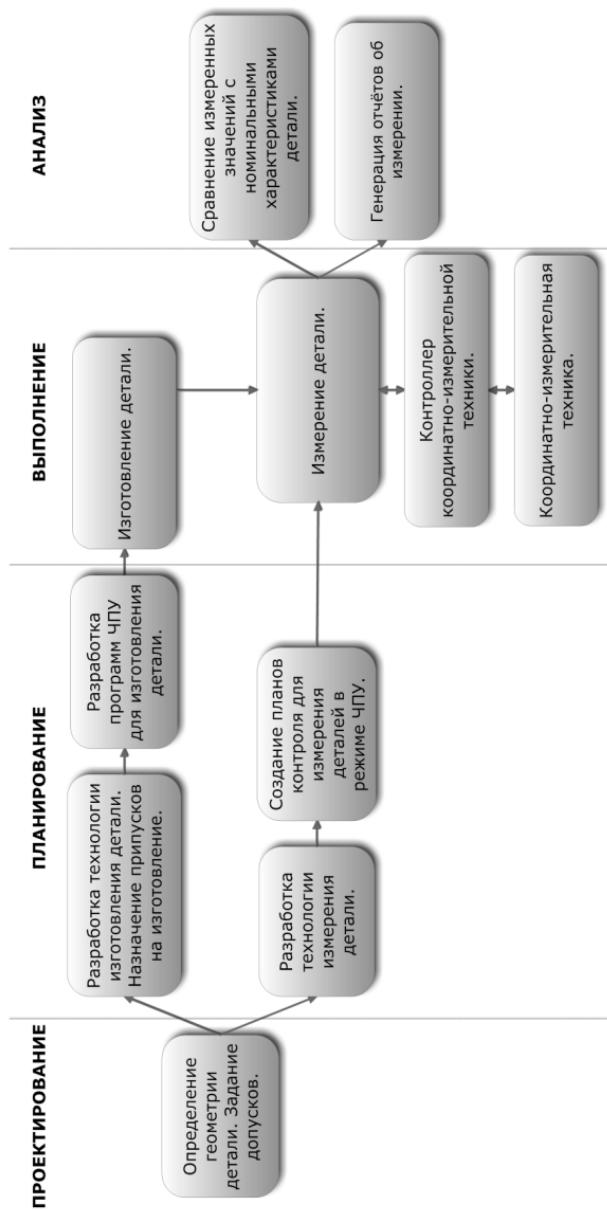


Рис. 1.0. Интеграция технологии измерений на разных этапах производства.

Например, в немецкой промышленности наиболее широкое распространение получили форматы IGES и VDA-FS. Формат SET используется в Европейской аэрокосмической промышленности, хотя сейчас становится всё более востребованным формат STEP. Следует отметить, что из вышеназванных форматов поддерживают хранение и передачу допусков на размеры только IGES, STEP и SET, но, как правило, такая функция не реализована в ПО, экспортирующим CAD-модели в эти форматы, поскольку на практике реализуется только часть данных стандартов.

Для эффективной передачи данных о форме изделия из CAD-системы необходимо, чтобы эти данные удовлетворяли следующим критериям: имели масштаб 1:1 и единицы измерения, соответствующие единицам измерения, принятым на КИМ; содержали систему координат, связанную с деталью и воспроизводимую на КИМ, а также правильную информацию об ориентации поверхностей детали (направление нормалей к поверхностям). Если эти условия не выполняются, то необходимо будет отдельно обрабатывать CAD-модель таким образом, чтобы обеспечить вышеперечисленные требования.

Если процесс измерения требует компьютерного моделирования, например, для проверки отсутствия столкновений при выполнении измерений в режиме ЧПУ, необходимо использовать данные, полученные из САПР. Большинство систем выполняют моделирование прогона измерения путём графического представления измерительной машины, её рабочих органов и измеряемой детали. Обязательным требованием для этого является наличие трёхмерной модели детали¹. Для эффективного анализа столкновений необходимо, чтобы при моделировании рассматривались все детали, расположенные на столе машины (крепёжные приспособления, устройства загрузки и т.п.). Если столкновение было определено, то прогон измерения должен быть исправлен вручную. Некоторые системы уже позволяют частично делать автоматическую коррекцию перемещений КИМ для избежания столкновений с деталью путём задания так называемых плоскостей безопасности.

Связь между метрологическим программным обеспечением и КИМ на сегодняшний день осуществляется с помощью специфичных для каждого производителя интерфейсов. Совершенствование контроллеров КИМ, повышение доли использования стандартных

¹Существуют новые методы, не требующие CAD-модели, например [109], но на момент публикации книги они ещё не вошли в широкое практическое применение.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru