УДК 621.01(07)

Б.И.Коган

О ФОРМИРОВАНИИ ОБЪЕКТИВНЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ КОНСТРУКЦИЯМИ И ТЕХНОЛОГИЯМИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН ПО КРИТЕРИЯМ КАЧЕСТВА

Производство машин с высокими показателями качества базируется на методе их конструктивно-технологического формирования: разработке оптимальных форм и размеров, выборе материалов, методов формообразования заготовок и деталей, процессов сборки. Для обеспечения заданных эксплуатационных свойств машин методы формообразования должны быть такими, чтобы формы, размеры и физико-механические свойства поверхностей сопрягаемых элементов соответствовали предусмотренным конструктором законам их взаимодействия, а их изменения в процессе эксплуатации были бы допустимыми в определённых пределах. Кроме обеспечения законов образования взаимно контактирующих форм сопрягаемых поверхностей важно обеспечить опорную площадь, необходимую микронеровность, контактную жёсткость соединений, их износостойкость, снижение уровня динамических нагрузок, исключить избыточные связи.

Форма детали (конфигурация) представляет «синтетический образ», составленный из геометрически определённых (заданных каноническими уравнениями) или неопределённых элементов. Для технологии машиностроения практически интересно синтетическое представление поверхностей.

Все детали можно классифицировать по видам поверхностей, из которых они состоят. Эта топологическая классификация включает 12 групп: призматические, цилиндрические, конические, из поверхностей с некруговыми направляющими, из комбинации поверхностей второго порядка, из «римских» поверхностей (постоянной ширины), квазигиперболические, из трансцендентных (эвольвентных, винтовых и др.) поверхностей, из поверхностей высших порядков, из неопределённых поверхностей, из комбинации любых поверхностей [3].

При обработке часто возникает такая ситуация, при которой по разным синтетическим схемам воспроизводятся поверхности, близкие по внешнему виду. Например, гиперболоид вращения и цилиндр становятся различными только при больших отклонениях в их форме. Структурные схемы для их воспроизведения отличаются только одним параметром-параллельностью образующей и размещением её в одной или разных плоскостях. Чем меньше параметр, тем больше сходство поверхностей. Но если такой параметр есть, то цилиндр следует к фиктивной поверхности, а гиперболоид вращения к действительной поверхности. И только, зная действительное соотношение в движениях, можно прогнозировать нарастание или спад ошибок при обработке цилиндрических поверхностей. Указанный параметр имеет материализованное значение на станке и может быть выражен через износ или перекос направляющих суппортов. Поэтому имеют место действительные и фиктивные поверхности. В технологии машиностроения почти всегда действительные поверхности сводят к фиктивным. По последним задают схемы контроля. При этом теряется возможность определения действительной поверхности. Это связано ещё с тем, что только синтетическая схема образования поверхности даёт минимальное количество параметров для измерения действительной поверхности. Если же измерять по другим параметрам, не связанным с синтетической схемой, то количество определяющих поверхностей измерений возрастает. Например, для определения сферы недостаточно измерить её только по диаметру. Согласно данным высшей геометрии сфера определяется рядом показателей, отличающим её от поверхности постоянной ширины.

В синтетической геометрии формы деталей не описываются аналитически, а представляются в виде синтеза структурных элементов – геометрических не разложимых образов. Их механическое воспроизведение хорошо согласуется с траекториями режущих инструментов. Такими элементами являются линия и окружность. В более сложных случаях берётся так называемая характеристика, т.е. неизменная кривая, принадлежащая данной поверхности. Характеристика может быть воспроизведена на копировальном станке или на станке с числовым программным управлением.

При воспроизведении характеристики может быть также применён метод кинематической аппроксимации, например рядами Фурье, гармоники которого воспроизводятся механическими или гидравлическими звеньями силовой системы. Таким образом, посредством синтетической геометрии поверхности высших порядков можно представить или задать сочетанием нескольких простых движений.

Применительно к названным выше поверхностям эти движения будут следующими

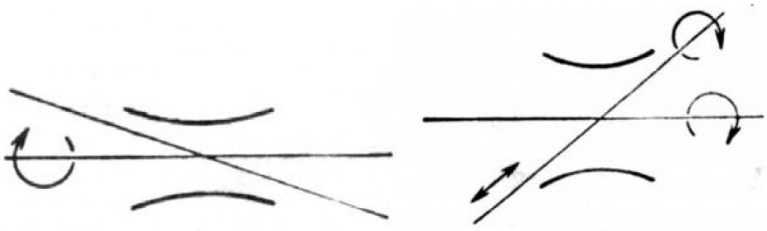
(рисунок).

Гиперболоид вращения образуется двумя траекториями в виде прямых линий, не пересекающихся и не параллельных между собой.

Одна линия берётся за образующую, другая - за ось вращения. Огибающая всех положений образующей и есть гиперболоид вращения. Он представляет вырожденный квазигиперболоид вращения. Для образования последнего синтетическая схема составляется так же из двух прямых, как и для гиперболоида вращения. Но вместо одной прямой берётся цилиндр (шлифовальный круг). Огибающая всех положений цилиндра и есть поверхность квазигиперболоида вращения. Его поверхность тем более отклоняется от поверхности гиперболоида вращения, чем больше радиус цилиндра на образующей.

В работе [3] рассмотрено формирование поверхностей постоянной ширины, «римских», и поверхностей Каталана. Синтетическое представление технологических поверхностей позволяет связать основные формообразующие элементы с механикой станка без аналитической интерпретации. Структурная схема кинематической операции технологического процесса остаётся при этом неизменной и единственной. Если нарушается подобная схема, то образуется новый вид поверхности. Отсюда следует и структурная классификация станков.

Механическое образование поверхностей независимо от производственного назначения деталей машин характеризуется определёнными структурными схемами, каждая из которых представляет собой исходную комбинацию движений. Кинематические схемы станков состоят из кинематических цепей, предназначенных для получения определённых движений. Число и комбинация кинематических цепей зависят от структурной схемы образования кинематической поверхности. Поэтому металлорежущие станки можно классифицировать по видам обрабатываемых поверхностей.



а) б)

Синтетическое представление гиперболоидов (а) и квазигиперболоидов (б)

Производственная классификация пока не соответствует структурной, которая может быть распространена не только на станки, но и на режущий инструмент и операции резания и другие методы обработки деталей машин.

Топологическое представление формообразования основано на взаимной связи исходных движений и результатов обработки. Отсюда следует и порядок оценки погрешностей. Согласно действующим стандартам погрешности формы оцениваются как эллиптичность, овальность, цилиндричность, огранка и др. Отклонения на приборах оцениваются по нескольким точкам. При этом не принимается во внимание действительная поверхность формы. При измерении оценивается только отклонение её от условного номинала. Причины, породившие новую поверхность вместо заданной, во внимание не принимаются. Поэтому не представляется возможность давать рекомендации для исправлений технологического процесса с целью устранения отклонений. В действительности могут быть только две поверхности: фиктивная как номинал и действительная, порождённая динамикой станка. Поэтому и отклонения надо искать только между ними.

В теории погрешностей эти отклонения обычно задаются минимальной средней квадратичной ошибкой

$$J = \int_0^{2\pi} \left[f(x) - T_И(x) \right]^2 dx,$$

где

$$T_И(x) = \frac{a}{2} + (a_1 \cos x + b_1 \sin x) + \\ + \ldots + (a_n \cos x + b_n \sin x),$$

а коэффициенты уравнения, являются коэффициентами отрезка ряда Фурье(предполагается, что направляющая кривая действительной поверхности разложима в тригонометрический ряд). За период ряда считается один оборот шпинделя. Поэтому важно знать уравнение поверхности, её характеристики или направляющей кривой.

Синтетическое представление форм деталей машин, состоящих из типовых элементов, приводит к своеобразной нормализации объектов технологии машиностроения, что является основой типизации методов обработки. Геометрические методы в технологии машиностроения позволяют широко применять математические методы для анализа операций машин во взаимной связи. Трансформация геометрии режущих инструментов непосредственно связана со сферической геометрией, которая позволяет записать изменение углов резания в процессе обработки. Очень важно установить вид реальной поверхности, измерить отклонения её от поверхности заданной, установить причины возникновения отклонений.

Структурная схема кинематической операции технологического процесса обычно соответствует кинематическим це-

пям обрабатывающих станков.

Многообразие кинематических схем металлорежущих станков может быть сведено к шести [3]. Конечные перемещения элементов кинематической цепи формируют геометрический образ обрабатываемой детали (поверхности).

Однако это формирование не является чисто геометрическим, так как оказывают влияние динамические факторы. Траектория движения и взаимодействия структурных элементов не получаются равномерными. Действуют дополнительные силы и моменты, искажающие характер траекторий. Тогда реальная поверхность усложняется, а её точный геометрический образ превращается в номинал.

Кинематические цепи могут быть представлены в виде размерно-механических цепей [2] и системы графов с аппаратом матричного исчисления.

Профессорами Л. Т Дворниковым.и Э. Я. Живаго обосновано существование семи видов геометрических элементов звеньев (двояковыпуклая поверхность-шар; двояковогнутая-лунка; выпукловогнутая-корсет; вогнутовыпуклая-седло; линейная выпуклая-цилиндр; линейная вогнутая-жёлоб; плоская поверхность- параллепипед) [1], также выполнено математическое обоснование этих поверхностей и определены условия их наложимости – существования 15 одноконтактных кинематических пар разных классов-частей механизмов и машин (наложимость – свойство геометрических элементов соприкосаться между собой, образуя кинематические пары.). Этими авторами разработан классификатор 120 кинематических пар различных классов с зависимыми движениями.

В случае нарушения наложимости кинематических пар, вызванного технологическими погрешностями обработки и сборки деталей (погрешности формы, отклонения от теоретического профиля поверхностей и.т.д.) возникают дополнительные нагрузки (вибрации, удары, трение, деформации), которые ухудшают показатели назначения, повышают интенсивность износа, ускоряют наступление отказов.

При изготовлении и сборке деталей машин-элементов кинематических пар важно технологически обеспечить их наложимость по параметрам геометрической точности и придать соответствующим слоям контактируемых поверхностей необходимые свойства.

Формирование функциональных моделей механизмов и сборочных единиц на основе размерно-механических цепей, их анализ, целевой синтез технологических блоков и модулей для изготовления и сборки структурных элементов - научная основа технологического обеспечения качества машин.

Поэтому актуальной задачей является развитие исследований в направлении совершенствования классификаторов функциональных поверхностей структурных элементов кинематических пар и сборочных единиц, самих кинематических пар и сборочных единиц не только по конструктивно-технологическим признакам, но и по критериям качества (наложимость, шероховатость, качество поверхностного слоя, жёсткость контакта и др.), моделей процессов формообразования контактирующих (налагающихся) геометрических элементов (поверхностей) с учётом тех же критериев качества и установлении объективных закономерностей-связей между этими классификаторами. Для этого нужно разработать систему идентификации объектов классификации по качественным признакам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дворников Л.Т., Живаго Э.Я.* Основы теории кинематических пар. – Новокузнецк: СибГИУ, 1999. – 105 с.

2. *Коган Б.И.* Новая концепция классификации структурных элементов горной техники и анализ функциональных размерно-механических цепей // Вестн.КузГТУ. – 1998. – №1. – С. 48-53.

3. *Шашкин А.Г.* Формообразование технологических поверхностей // Проблемы развития технологии машиностроения. Под ред. д.т.н., проф. Э.Я. Сателя. - М.: Машиностроение, 1968. – С. 414-431.

Автор статьи:

Коган
Борис Исаевич
- докт.техн.наук, проф.,
зав. каф. технологии машиностроения