

УДК 621.9.06.01

## ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИН ПРИ ПЕРЕДАЧЕ СИЛ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

© 2009 П.Ф. Зибров

Тольяттинский государственный университет

Поступила в редакцию 10.03.2009

Выявлены факторы, влияющие на технологическое состояние геометрических характеристик машин при передаче сил и перемещений.

Ключевые слова: машины, технологические функции, состояние, геометрические характеристики, силы, перемещения.

При проектировании, изготовлении и эксплуатации машин, устанавливаются связи между их геометрическими характеристиками, служебным назначением, нормами точности, величинами соответствующих отклонений. Заданный режим функционирования машин и ее механизмов при выполнении технологических функций обеспечивается в результате относительного движения или положения исполнительных поверхностей. Количественными характеристиками здесь выступают размеры, относительные повороты, соосность, симметричность, параллельность, перпендикулярность, время, прочность, податливость, микрошероховатость и другие параметры.

Таким образом, машины и механизмы представляют собой набор определенным образом ориентированных относительно друг друга узлов, подузлов и деталей. К отдельным из них приложены внешние нагрузки или подведены источники тепла. Кроме того в процессе выполнения механизмом служебного назначения возникают дополнительные источники сил и температур. Указанные факторы действуют независимо от времени (статическое нагружение) или как функции времени (динамическое нагружение). Следовательно, каждое технологическое оборудование можно представить как цепь звеньев, соединенных деталей. В общем случае при передаче сил через несколько звеньев возникает цепь звеньев. В этой цепи сила передается через чередующиеся рабочие объемы и рабочие поверхности, то есть возникает силовая связь между двумя смежными поверхностями одного рабочего объема или между двумя смежными рабочими поверхностями различных рабочих объемов.

Две детали можно рассматривать как рабочие поверхности, если они непосредственно не сопри-

касаются, и между ними находится слой вещества или физическое поле. Согласно изложенному, все связи в цепи звеньев подразделяются на внутренние (объемные) и внешние (граничные). Объемные связи устанавливаются с помощью известных свойств материалов: абсолютная твердость, жесткость (упругость), пластичность, вязкость. Граничные связи характеризуются геометрическим типом, при котором подразумевается соединение деталей. Вещественная связь обеспечивает соединение деталей посредством слоя вещества, заполняющего пространство между двумя рабочими поверхностями, например, встречающаяся в расчетах механических систем стержневая связь, то есть коэффициент постели. Под контактной связью подразумевается контакт двух поверхностей как в герцевском так и более широком смысле (конструкционные контактные задачи) без учета сил трения в стыках. К фрикционным связям относится контакт в условиях сухого и полусухого трения. Гидродинамический или гидростатический контакт, в котором поверхности трения воспринимают нагрузки через смазочный слой. Последний в соответствии с гидродинамической или гидростатической теорией смазки обладает переменной несущей способностью, воспринимающей рабочие нагрузки. И, наконец, полевая связь, возникающая при взаимодействии через различные физические поля. В различных моделях выделяют двухсторонние или односторонние связи. Объемные и поверхностные связи обязательно чередуются в цепи звеньев и поэтому свойства их комбинаций определяют свойства общей связи соединения.

Под размерной цепью в расчетах понимают все расположенные по замкнутому контуру в определенной последовательности размеры связывающие поверхности и оси контактирующих между собой деталей, взаимное положение которых требуется определить. Тогда, представляя детали

---

*Зибров Петр Федорович, доктор технических наук, профессор, декан факультета. E-mail: Zibrov@tlttsu.ru.*

как некоторые объемы, строят точностные модели с учетом их свойств и связей между ними.

Поэтому в процессе проектирования определяются исполнительные поверхности, их геометрические и нормативные характеристики соответствующие допуски на отклонения, возникающие при изготовлении и эксплуатации машин. Совершенство конструкции, производительность и экономичность машин предопределяется возможностью достоверного расчета погрешностей геометрических характеристик и прогнозирования их динамики во времени. Для этого машину представляют, как отмечалось выше, совокупностью механизмов, соединений, деталей по их служебному назначению. Если возникающие при этом погрешности превысят допустимые значения, то машина не будет соответствовать предназначенным функциям. Надежность работы кинематических пар обеспечивается требуемым зазором и величиной контакта. Таким образом, соединения звеньев обеспечивают как относительное движение, так и взаимное их расположение, за счет соответствующих величин зазора и натяга.

Деталь содержит исполнительные поверхности, с конкретными геометрическими характеристиками, гарантирующими выполнение служебных функций. Например, для того чтобы в проводах механизмов шестерня с эвольвентным профилем зуба, качественно передавала вращательное движение и крутящий момент необходимо, чтобы рабочая поверхность имела точное расположение относительно центра вращения. Отклонение из-за погрешностей фактической рабочей поверхности от эвольвентной приводит к искажению передаточного отношения, ухудшению хода машины снижению срока службы не только шестерни, но и других элементов машины.

Следующая группа геометрических характеристик обусловлена размерными цепями, которые устанавливают взаимное влияние составляющих их звеньев. Таким образом, все геометрические характеристики можно разделить на независимые и зависимые. К первым относят обеспечивающие непосредственное выполнение машиной, механизмом, соединением, деталью служебных функций. В зависимые геометрические характеристики включают те, что входят в качестве составляющих звеньев размерных цепей и изначально зависят от величины независимых характеристик. При создании любой машины необходимы функциональные соотношения между независимыми геометрическими характеристиками и показателями служебного назначения. Их устанавливают на основе эксплуатационных данных аналогичных машин или с помощью специально поставленных экспериментов, с помощью математических моделей.

Несовершенство указанных зависимостей приводит к завышению или занижению норм точности. Необоснованное завышение норм точности ведет к увеличению сроков проектирования, удорожанию изготовления и эксплуатации машины, занижение – существенно влияет на точность выполнения служебных функций. Выбранные соотношения влияют на результаты дальнейших расчетов точности таких как: нормы точности, эффективность их достижения при изготовлении машин, поддержании при эксплуатации, проведении измерений. Не достаточная адекватность математических моделей устанавливающих количественные зависимости между геометрическими и эксплуатационными показателями вынуждает получить их экспериментальным путем, что экономически дорого, трудоемко, продолжительно во времени и дает лишь частные результаты. Поэтому повышение точности функционирования технологического оборудования тесно связано с исследованиями в области математического моделирования физических явлений, протекающих в кинематических цепях работающих машин. На его основе устанавливают аналитические методы расчета закономерностей наиболее полно соответствующих реально функционирующим машинам и механизмам.

После определения независимых допусков их подразделяют на две части, одну из которых используют для компенсации погрешностей изготовления машин, другую реализуют при компенсации погрешностей, возникших в процессе эксплуатации машин. Оптимальное соотношение между указанными множествами допусков устанавливают на технико-экономической основе.

Расчет зависимых допусков осуществляют согласно размерного анализа. Для этого, каждую независимую геометрическую характеристику принимают в качестве исходного звена, а затем строят необходимые линейные размерные цепи и цепи относительных поворотов. Метод размерного анализа является одним из важнейших в проблемах обеспечения точности машин, хотя и имеет определенные недостатки. Основные из них:

построение линейных размерных цепей, а также относительных поворотов осуществляется независимо друг от друга, хотя каждая деталь представляет совокупность взаимосвязанных поверхностей, образующих пространственное тело, поэтому назначение независимых допусков на размеры и повороты этих поверхностей приводят к значительным неточностям;

для расчета допусков звеньев размерной цепи используется только одно уравнение

$$\delta_{\Delta} = \sum_{i=1}^{n-1} \delta_i;$$

Здесь  $d_d$  – допуск, замыкающего звена;  $d_i$  – допуск на  $i$ -е звено,  $n$  – число звеньев размерной цепи. При этом в первом приближении расчета используется принцип равных влияний, согласно которому  $\delta_\Delta = (n-1)\delta_i$ .

Дальнейшая корректировка допусков  $\delta_i = \delta_\Delta / (n-1)$  производится с учетом особенностей технологии изготовления, эксплуатации, экономики, при этом:

не достаточно разработана концепция выбора наиболее выгодных приемов расчета допусков из методов полной и неполной взаимозаменяемости, методов пригонки и регулировки;

высокая трудоемкость в расчетах размерного анализа цепей машин.

Изложенное требует математического моделирования и реализации процесса расчета допусков. При исследовании погрешностей геометрических характеристик выделяют две задачи. Расчет погрешностей на составляющих звеньях размерной цепи и расчет погрешности на замыкающем звене. В их решениях используют детерминированные, вероятностно-статистические и комбинированные зависимости. Первые устанавливаются из результатов причинно-следственных связей принципа образования погрешностей от действия каждого фактора в отдельности с последующим суммированием. Вторые получают на основе статистических исследований погрешностей и их анализа.

Для повышения точности расчета допусков и погрешностей геометрических характеристик необходимо развитие и совершенствование методов:

установления зависимостей между служебными показателями машины, механизма, соединения, детали и их геометрическими параметрами, а так же процессами в кинематических парах; пространственного размерного анализа;

математического моделирования механизма образования погрешностей геометрических характеристик;

автоматизации расчетов допусков и погрешностей.

Таким образом, под действием внешних воздействий и внутренних ограничений на перемещения возникающих в кинематических парах при изготовлении, сборке и эксплуатации машин их детали, узлы и механизмы приобретают погрешности геометрических характеристик, которые нарушают точность служебных функций машины. Указанные погрешности регламентируются нормативными допусками. Их оптимизация требует аналитических зависимостей связывающих геометрические характеристики элементов машин с их служебными функциями. Повышение точности функционирования технологического оборудования существенно зависит от достоверности методик математического моделирования физических процессов и явлений, протекающих в машинах и их кинематических парах.

Работа выполнена при поддержке гранта по ведущим научным школам РФ 2008-2009 гг. (НШ-4245.2008.8) и в рамках программы “Развитие научного потенциала Высшей школы” Минобрнауки РФ

## FACTORS OF INFLUENCING TO THE TECHNOLOGICAL STATE OF GEOMETRICAL CHARACTERISTICS OF MACHINES DURING TRANSMISSION OF FORCES AND SHIFTINGS

© 2009 P.F. Zibrov

Togliatti State University

Factors influencing to the technological state of geometrical characteristics of machines during transmission of forces and shiftings have been determined.

Key words: machinery, technological features, condition, geometry, force, displacement