

Модуль силы, и положение точек  $K$  и  $B$ , а следовательно, и направлении линий действия силы  $\bar{F}_{12}$ , координируемое углом  $\beta$ , неизвестны и определяются силовым расчетом. Действие силы  $\bar{F}_{12}$  (рис.2, а) можно заменить совместным действием силы  $\bar{F}_{12}$ , равной  $\bar{F}_{12}$  и приложенной в центре шарнира, и пары сил  $[\bar{F}_{12}, \bar{F}''_{12}]$  (рис.2, б). Направление действия пары сил  $[\bar{F}_{12}, \bar{F}''_{12}]$  противоположно угловой скорости  $\omega_{12}$ , с которой звено 1 вращается относительно звена 2. В этом проявляется тормозящее действие трения в шарнире. Пару сил  $[\bar{F}_{12}, \bar{F}''_{12}]$  приложенную к звену 1 от звена 2, будем называть моментом трения в шарнире, величина которого составит  $M_T = F_{21} p_T$ . Все это необходимо учитывать при проектировании вращательной пары.

#### Литература

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский – М: Ленанд, 2019-640 с.
2. Тимофеев С.И. Теория механизмов и механика машин / С.И. Тимофеев. – Рн / Д: Феникс, 2011. – 349с.
3. Коловский М.З. Теория механизмов и машин : учебник / М.З. Коловский. – Н: Academia, 2018. – 304 с.

#### **Виды внешнего трения в механизмах и способы его устранения с целью повышения долговечности машин**

Студент гр. 10110119 Камашук В.А.

Научный руководитель – доцент Дубовская Е.М.,  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

При работе машин и механизмов происходит явление, которое сопровождается рассеиванием механической энергии. Это явление называют трением. Подсчитано, что около 33% мировых энергетических ресурсов бесполезно затрачивается на работу, связанную с трением. Вполне закономерно, что эти затраты необходимо сделать минимальными, т. е. уменьшить силы трения. Для быстроходных машин и механизмов такая задача становится еще более актуальной.

В механизмах и машинах при исследовании физических основ явления трения различают трение внешнее и внутреннее.

**Внешнее трение** — сопротивление относительному перемещению, возникающее между двумя телами в зонах соприкосновения поверхностей по касательным к ним и сопровождаемое диссипацией энергии.

**Внутреннее трение** — процессы, происходящие в твердых, жидких и газообразных телах при их деформации и приводящие к необратимому рассеянию механической энергии. Силу сопротивления при относительном перемещении одного тела по поверхности другого под действием внешней силы, тангенциально направленную к общей границе между этими телами, называют силой трения.

В зависимости от состояния поверхностей трения различают два вида трения: трение без смазочного материала (сухое трение) и трение со смазочным материалом.

Различают следующие виды смазки:

- **твердую**, при которой разделение поверхностей трения деталей 1 и 2 осуществляется твердым смазочным материалом;
- **жидкостную**, при которой полное разделение поверхностей трения деталей 1 и 2 осуществляется жидким смазочным материалом;
- **газовую**, при которой разделение поверхностей трения деталей 1 и 2 осуществляется газовым смазочным материалом;
- **полужидкостную**, при которой частично осуществляется жидкостная смазка;
- **граничную**, при которой трение и износ между поверхностями, находящимися в относительном движении, определяются свойствами поверхностей и свойствами смазочного материала, отличными от объемных (при толщине слоя жидкости 0,1 мкм).
- **гидростатическую**, при которой полное разделение поверхностей трения, осуществляется в результате поступления жидкости (газа) в зазор между поверхностями трения под внешним давлением;
- **гидродинамическую (газодинамическую)**, при которой полное разделение поверхностей трения осуществляется в результате давления, самовозникающего в слое жидкости при относительном движении поверхностей;
- **эластогидродинамическую**, при которой характеристики трения и толщина пленки жидкого смазочного материала между двумя поверхностями определяются упругими свойствами материалов тел и самопроизвольным снижением напряжений, ползучестью, упругим последствием и

необратимыми остаточными деформациями материалов, участвующих в трении.

Трению движения предшествуют *трение покоя*, т.е. трение между телами при относительном предварительном микросмещении двух тел, и период перехода от покоя к скольжению. Предварительное смещение равно расстоянию, при котором сила трения покоя возрастает от нуля до некоторого максимального значения. Эти микросмещения перед полным скольжением достаточно малы — порядка 0,1 — 1,0 мкм — в ряде случаев могут быть необратимыми. Силу трения покоя, любое превышение которой ведет к возникновению движения, называют наибольшей силой трения покоя.

По кинематическому признаку различают следующие виды трения движения:

- трение скольжения,
- трение качения,
- трение верчения,
- трение качения с проскальзыванием;
- трение при виброперемещениях.

Процессы трения рассматривают на моделях, позволяющих оценить молекулярное взаимодействие материалов контактирующих с учетом влияния внешней среды (оксиды, пленка, смазка). Первоначально разработанные теории механического сцепления, молекулярного притяжения, сваривания, среза и пропахивания получили значительное развитие в молекулярно-механической теории трения, нашедшей наиболее широкое распространение. Согласно этой теории, процесс трения происходит не только на границе раздела твердых тел, но и в некотором объеме поверхностных слоев, физико-механические свойства которых отличаются от свойств материалов в объеме тел. Это связано с деформированием поверхностных слоев, с изменением температуры, с образованием слоев адсорбированных паров влаги или газов, с образованием пленок окислов, атомов или молекул окружающей среды и т. п.

Для расчетов механизмов, работающих при разных режимах и видах трения, важное значение имеет зависимость силы сухого трения от скорости относительно движения трущихся поверхностей. Резкое падение силы трения с увеличением скорости движения обычно наблюдается в зоне малых скоростей перемещений. Это, например, характерно для технологического оборудования (перемещение суппортов по направляющим, позиционирование автооператоров и роботов). При крутопадающей

скоростной характеристике силы трения наблюдаются неустойчивость движения, характерное скачкообразное движение. Это сопровождается неравномерностью подачи, снижением точности обработки, неточностью позиционирования. В связи с этим снижается производительность оборудования, возрастает износ направляющих и инструментов, ухудшается качество обработанных на станках поверхностей деталей, возникают дополнительные динамические нагрузки в механизмах привода.

Для уменьшения вредных последствий скачкообразного движения при малых скоростях, перемещения используют разные способы. Широко применяют следующие:

- использование разгрузки (механической, пневматической, гидравлической и т. п.) для уменьшения нормального давления;
- уменьшение коэффициента трения во фрикционной паре применением фторопласта взамен чугуна и бронзы и антискачковой смазки;
- использование гидростатической смазки;
- применение вместо опор скольжения направляющих качения.

#### Литература

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский – М: Ленанд, 2019-640 с.

### **Силовой расчет рычажного механизма с учетом трения**

Студент гр. 10110119 Чехомов Е.М.

Научный руководитель – доцент Дубовская Е.М.,  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Основные положения силового расчета с учетом трения такие же, как и расчета без учета трения. Это объясняется тем, что наличие трения не изменяет числа неизвестных в кинематических парах. Группы Ассур при учете трения сохраняют свою статическую определенность. Поэтому силовой расчет проводится по структурным группам с использованием уравнений, в которые должны быть включены силы трения и моменты трения. Это усложняет вычисления. Чтобы снизить их сложность, И. И. Артоболевский предложил применить метод последовательных приближений.