

УПРУГИЕ КОНТАКТНЫЕ СМЕЩЕНИЯ В ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

А.А. Максименко, А.Д. Перфильева

Исследованию контактных взаимодействий условно-неподвижных соединений при динамическом воздействии посвящена данная статья. Рассматривается упругий контакт соединений и контактные колебания, возникающие в нормальном и тангенциальном направлениях. Данный метод позволяет создавать соединения с заранее заданными динамическими характеристиками.

Ключевые слова: упругий контакт, диссипация механической энергии, контактные нормальные и тангенциальные колебания, условно-неподвижные соединения.

Одной из актуальных проблем современного машиностроения является проблема повышения долговечности элементов машин по критериям прочности при одновременном снижении их металлоемкости. Непрерывное увеличение мощностей, скоростей, грузоподъемности, производительности и других параметров машин и связанный с этим рост напряженности элементов приводят к тому, что указанную проблему можно решить лишь при использовании в процессе конструирования и расчета новейших достижений науки о контактной прочности.

Для элементов машин и конструкций традиционно применяемые в инженерной практике расчеты прочности, основанные на определении номинальных и местных напряжений (методы сопротивления материалов), оказываются недостаточными и в целом ряде случаев неправомерными.

Вопросы о контактных смещениях твердого тела в пределах трения покоя в динамике изучены весьма мало. Однако в последнее время учет данного явления в решении многих практических вопросов делается все более необходимым.

Таковыми вопросами являются: демпфирование колебаний деталей машин, расчет соединений гибкой связью, резьбовые и заклепочные соединения и т. д. Предварительное смещение должно учитываться также при расчете точных приборов и станков на жесткость, если детали их соединены путем контактирования.

Вследствие деформации в местах соприкосновения элементов конструкции передача давлений происходит по весьма малым площадкам. Материал вблизи такой площадки, не имея возможности свободно деформироваться, испытывает объемное напряженное состояние. Как показывают расчеты, кон-

тактные напряжения имеют явно местный характер и весьма быстро убывают по мере удаления от места соприкосновения. Несмотря на это, исследовать контактные напряжения и деформации необходимо для решения вопросов прочности многих ответственных соединений. К таким так называемым условно-неподвижным соединениям относятся: пресовые, клиновые, резьбовые и заклепочные соединения. Прочность и жесткость таких соединений во многом зависит от процессов, происходящих в контакте деталей соединений в нормальном и тангенциальном направлениях. Поэтому классический инженерный расчет на прочность должен дополняться расчетом контактных смещений соединений, что сможет гарантировать надежную работу конструкции в целом.

Заклепочное соединение — неразъемное соединение деталей при помощи заклепок. Обеспечивает высокую стойкость в условиях ударных и вибрационных нагрузок. По-прежнему находит применение в следующих случаях: в соединениях, где необходимо исключить изменение структуры металла, коробление конструкции и перегрев расположенных рядом деталей; соединение разнородных, трудно свариваемых и не свариваемых материалов; в соединениях с затруднительным доступом и контролем качества; в случаях, когда необходимо предотвратить распространение усталостной трещины из детали в деталь. Большинство соединений в самолётах по-прежнему выполняется клёпкой.

Соединение образуют расклепыванием стержня заклепки, вставленной в отверстие деталей (рисунок 1, где 1- обжимка, 2- прижим при, машинной клепке, 3- замыкающая головка, 4- закладная головка, 5- поддержка).

УПРУГИЕ КОНТАКТНЫЕ СМЕЩЕНИЯ В ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

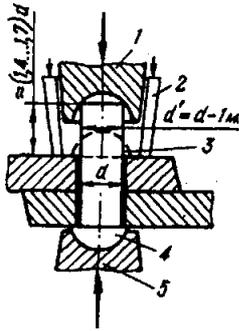


Рисунок 1- Заклепочное соединение

При расклепывании вследствие пластических деформаций образуется замыкающая головка, а стержень заклепки заполняет зазор в отверстии. Силы, вызванные упругими деформациями деталей и стержня заклепки, стягивают детали. Относительному сдвигу деталей оказывают сопротивление стержни заклепок и частично силы трения в стыке.

Одним из основных расчетов для заклепочного соединения является расчет на срез. Силы P_1 передаются на заклепку путем нажима соответствующего листа на боковую полуцилиндрическую поверхность стержня. Силы P_1 стремятся перерезать заклепку по плоскости mn раздела обоих листов (рисунок 2).

Напряжения, возникающие в этом сечении и действующие касательно к плоскости сечения, это — касательные напряжения τ . Обычно принимают равномерное распределение этих напряжений по сечению. Тогда при диаметре заклепки d на единицу площади сечения будет приходиться напряжение:

$$\tau = \frac{P_1}{\pi d^2} = \frac{P}{n \pi d^2} \quad (1)$$

Величина допускаемого касательного напряжения $[\tau]_3$, или, как говорят, допускаемого напряжения на срез, принято определять в виде: $[\tau] = (0,7 \div 0,8) [\sigma]$. Зная $[\tau]_3$, мы напишем условие прочности заклепки на перерезывание в таком виде:

$$\tau = \frac{P}{F} = \frac{P}{n \frac{\pi d^2}{4}} \leq [\tau]_3 \quad (2)$$

т. е. действительное касательное напряжение τ в материале заклепки должно быть равно допускаемому $[\tau]_3$ или меньше его.

Из этого условия можно определить необходимый диаметр заклепок, если задаться их числом, и наоборот. Обычно задаются диаметром заклепочных стержней d в соответствии с толщиной t склепываемых частей (обычно $d \approx 2t$) и определяют необходимое число заклепок n :

$$n \geq \frac{P}{\frac{\pi d^2}{4} [\tau]_3} \quad (3)$$

Помимо среза заклепкам и соединяемым листам в конструкции угрожают и иные опасности.

Так как передача сил на заклепочный стержень происходит путем нажатия стенок заклепочного отверстия на заклепку, то необходимо установить, не произойдет ли наружное обмятие этого стержня или стенок отверстия, — произвести проверку на смятие.

На рисунке 2 указана примерная схема передачи давлений на стержень заклепки. Закон распределения этих давлений по цилиндрической поверхности нам неизвестен; он во многом зависит от неправильностей формы заклепочного отверстия стержня, вызванных условиями изготовления конструкции. Поэтому расчет производится условно. Принято считать, что неравномерное давление, передающееся на поверхность заклепки от листа, распределяется равномерно по диаметральной плоскости сечения заклепки. При этом напряжение по этой диаметральной плоскости оказывается примерно равным наибольшему сминающему напряжению σ_c в точке А поверхности заклепки.

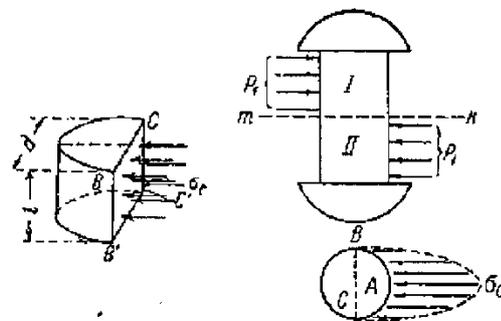


Рисунок 2 – Передача давлений на стержень заклепки

Чтобы вычислить это условное напряжение смятия, необходимо разделить силу, приходящуюся на заклепку, на площадь диаметрального сечения ВСС'В'. Эта площадь представляет собой прямоугольник, одной стороной которого служит диаметр заклепки, другая же равна толщине листа, передающего давление на стержень заклепки.

Так как давление на одну заклепку равно $\frac{P}{n}$, то

$$\sigma_c = \frac{P}{n \cdot d} \quad (4)$$

условие прочности на смятие будет иметь вид:

$$\sigma_c = \frac{P}{n \cdot d} \leq [\sigma_c] \quad (5)$$

где $[\sigma_c]$ — допускаемое напряжение на смятие. Отсюда необходимое число заклепок

$$n \geq \frac{P}{d[\sigma_c]} \quad (6)$$

Допускаемое напряжение на смятие принимают обычно в 2 — 2,5 раза больше основного допускаемого напряжения на растяжение и сжатие $[\sigma]$, так как расчет на смятие по существу является упрощенной проверкой прочности по контактным напряжениям.

Как видно, инженерный расчет на прочность заклепочных соединений является весьма приближенным и порой во много раз завышает порог прочности соединения, что ведет к удорожанию конструкции. Поэтому расчет на смятие и срез для ответственных соединений точных машин и приборов, подержанных знакопеременным динамическим нагрузкам, недостаточен. В большинстве случаев при прочностных расчетах не учитывают деформации, перемещения, напряжения, возникающие в поверхностных шероховатых слоях сопряженных деталей соединения в пределах трения покоя, а также за счет явления предварительного смещения. Эти упругие контактные перемещения как в нормальном, так и в касательном направлениях оказывают существенное влияние на прочность и жесткость.

В частности инженерная податливость заклепочного соединения увеличивается за

счет контактной податливости шероховатого поверхностного слоя деталей соединения.

Итак, податливость за счет микронеровностей в контакте стержня заклепки и детали нормальном направлении будет определяться общим выражением:

$$K_N = \frac{X(t)}{N^*}, \quad (7)$$

где $X(t)$ - нормальное контактное смещение, изменяющееся во времени в случае действия динамической нагрузки (определяется по методике расчета нормальных контактных колебаний [1,2,3]). Если имеется статическое нормальное нагружение, то в числителе выражения (7) учитывается величина сближения δ , определяемая по формуле Крагельского-Демкина [4], с учетом того, что при сборке заклепочного соединения происходит частичное смятие шероховатостей на контактных поверхностях $\approx 0,6 R_z$; N^* - нормальное усилие, в случае динамического нагружения соединения, являющееся в каждый момент времени суммой нормальной статической составляющей и динамической силы $N(x, t)$, изменяющейся во времени.

Если соединение нагружено динамической или статической силой тангенциального направления, то необходимо в общем инженерном расчете на прочность учесть касательную контактную податливость шероховатого слоя:

$$K_\tau = \frac{\Delta(x(t); t)}{N^* f}, \quad (8)$$

Вид формулы для общего случая одно-временного динамического нагружения соединения как в нормальном, так и в тангенциальном направлениях: где $A(x(t); t)$ - касательные контактные колебания, являющиеся функцией от $x(t)$ - нормальных контактных колебаний в каждый момент времени [2].

Приведенная динамическая модель упругого контактного взаимодействия применительно к заклепочным соединениям позволяет проводить расчет на прочность и жесткость реальных соединений с учетом процессов, протекающих в контакте.

Выводы

На основе созданной модели поведения механического контакта при тангенциальных и нормальных вынужденных колебаниях разработан метод расчета динамических парамет-

УПРУГИЕ КОНТАКТНЫЕ СМЕЩЕНИЯ В ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

ров условно- неподвижных соединений на примере заклепочного соединения. Метод основан на учете реальных деформаций на площадках контакта и его диссипативных свойств. Данный учет необходимо производить при проектировании ответственных соединений прецизионных конструкций.

Данная методика дает возможность создавать условно-неподвижные соединения точных механизмов, прецизионных приборов с заранее заданными прочностными характеристиками. Что позволяет продлить срок их службы и облегчить эксплуатацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максименко А.А., Перфильева Н.В., Котенева Н.В. Динамические контактные взаимодей-

ствия при сложном нагружении в условиях трения покоя // Известия вузов. Машиностроение. - 2002. - № 2-3. - С.28 -37.

2. Максименко А.А., Перфильева Н.В. Динамические контактные взаимодействия упругих квазистационарных систем // Ползуновский вестник,-2002,- № 1.-С. 103-105.

3. Максименко А.А., Перфильева Н.В., Котенева Н.В. Контактная податливость клиновых соединений в условиях динамического нагружения // Ползуновский вестник,- 2007,- № 4.-С.174-177.

4. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ- М.: Машиностроение,- 1977.-526 с.

Максименко А.А., д.т.н., проф., тел. (3852) 36-75-94, Перфильева А.Д., n.perfileva@mail.ru