

УПРУГИЕ КОНТАКТНЫЕ СМЕЩЕНИЯ В ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

А.А. Максименко, Н.В. Перфильева, В.А. Феропонтов

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.

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, контактные 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: прессовые, 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.

В машиностроении для передачи вращательного движения широкое применение получили шлицевые соединения, посредством которых соединяют валы с зубчатыми

колесами, шкивами ременных передач, маховиками, звездочками цепных передач.

Общеизвестно применение шлицевых соединений в трансмиссиях тракторов, автомобилей, станков, строительных дорожных, сельскохозяйственных и других машин.

Как показывает опыт эксплуатации и проведенные исследования, шлицевые соединения относятся к быстроизнашивающимся элементам, от работоспособности которых во многом зависит долговечность других деталей. Поэтому повышение долговечности шлицевых соединений приобретает важное значение.

Характер повреждения шлицевых соединений зависит от условий нагружения конструкции, технологий изготовления. Большое влияние оказывают материал шлицевых деталей, вид и режимы химико-термической обработки, точность изготовления, зазоры в соединении, смазка.

Известны следующие основные виды повреждения шлицевых соединений: износ контактирующих поверхностей зубьев; поломка и срез зубьев; поломка или скручивание шлицевого вала; разрыв втулки с внутренними зубьями.

Из названных видов повреждений шлицевых соединений преобладает износ контактирующих поверхностей зубьев в виде выработки в месте сопряжения вала со втулкой.

Износостойкость – главный критерий работоспособности большинства шлицевых соединений.

В практике эксплуатации известно изнашивание шлицевых соединений в том случае, когда относительные перемещения контактирующих поверхностей сведены к минимуму. Изнашивание в этом случае, вызывается возникновением и разрушением тонких окисных пленок при микроперемещениях и носит название контактной коррозии. Имея более высокую твердость частицы окислов действуют как абразивы и способствуют усиленному изнашиванию материала. В высокооборотных соединениях авиационных двигателей скорость изнашивания из – за контактной коррозии без смазочного материала достигает 25 мкм/ч.

Смятие зубьев шлицевых соединений наблюдается при низкой твердости их рабочих поверхностей.

Поломки зубьев и их срез являются следствием дефектов механической или термической обработки.

Поломки шлицевого вала носят усталостный характер и являются средством концентрации напряжений.

Проведенные исследования определяют основные пути повышения долговечности шлицевых соединений и прежде всего это разработка достоверных методов расчета шлицевых соединений.

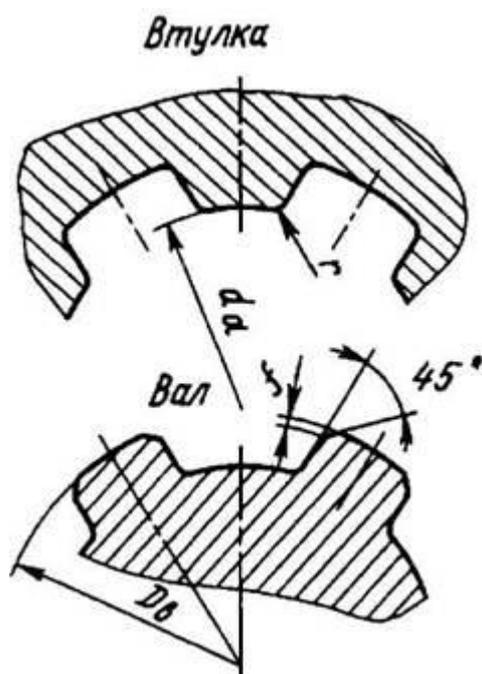


Рисунок 1 - Шлицевое соединение

Одним из основных расчетов для заклепочного соединения является расчет на смятие

Формула расчета на смятие имеет вид

$$\sigma_{см} = \frac{M_k}{0,5d_{cp}hzl} \leq [\sigma_{см}], \quad (1)$$

где $\sigma_{см}$ - среднее давление на рабочих поверхностях МПа;

M_k - расчетный крутящий момент, Нмм;

d_{cp} - средний диаметр шлицевого соединения, мм;

h - рабочая высота зубьев, мм;

z - число зубьев;

l - рабочая длина соединения;

$[\sigma_{см}]$ - среднее давление из расчета на смятие

$$[\sigma_{см}] = \frac{\sigma_T}{n \cdot K_D K_{см}}, \quad (2)$$

где σ_T - предел текучести, МПа;

n - коэффициент запаса прочности при расчете на смятие;

K_D - коэффициент динамичности нагрузки;

$K_{см}$ - общий коэффициент концентрации нагрузки при расчете на смятие.

Помимо смятия шлицевые соединения работают на изгиб и срез.

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 шлицевых 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, подверженных 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.

Итак, податливость за счет микронеровностей в контакте втулки и вала шлицевого соединения нормальном направлении будет определяться общим выражением:

$$K_N = \frac{X(t)}{N^*}, \quad (3)$$

где $X(t)$ - нормальное контактное смещение, изменяющееся во времени в случае действия динамической нагрузки (опре-

деляется по методике расчета нормальных контактных колебаний [1,2,3]). Если имеется статическое нормальное нагружение, то в числителе выражения (3) учитывается величина сближения δ , определяемая по формуле Крагельского-Демкина [4], с учетом того, что при сборке шлицевого соединения происходит частичное смятие шероховатостей на контактных поверхностях $\approx 0,6R_z$; 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:

$$K_{\tau} = \frac{\Delta(x(t); t)}{N^* f}, \quad (4)$$

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

Приведенная динамическая модель упругого контактного взаимодействия применительно к шлицевым 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 параметров условно- неподвижных соединений на шлицевого 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 взаимодействия 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.
5. Скундин Г.И. Никитин В.Н. Шлицевые соединения. - М.: Машиностроение. - 1981. 128с

Максименко А.А., д.т.н., профессор,
кафедра «Прикладная механика»,
р.т. (385-2) 367584,
e-mail: sopromat116@mail.ru

Перфильева Н.В., д.т.н., профессор,
кафедра «Прикладная механика»,
р.т. (385-2) 290960,
e-mail: sopromat116@mail.ru

Феропонтов В.А., аспирант кафедры
«Прикладная механика»,
e-mail: sopromat116@mail.ru
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова»