

АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КОНТАКТНАЯ ПОДАТЛИВОСТЬ СОПРЯЖЕНИЙ ПРЕЦИЗИОННЫХ КОНУСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

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

В работе рассматриваются результаты теоретических исследований механического контакта сопряжений прецизионных конусных соединений, а именно, амплитудно-частотные характеристики колебательных процессов в условиях динамического нагружения, а также контактная податливость конусных соединений при различных физико-механических и геометрических параметрах контактирующих поверхностей.

Ключевые слова: контактное взаимодействие, механический контакт, конусные соединения, контактная жесткость и податливость.

В инженерной практике расчет соединений на прочность и жесткость ведется, в основном, без учета контактных взаимодействий на уровне шероховатости поверхностей. Для ответственных соединений точных приборов и машин, подверженных знакопеременным динамическим нагрузкам, при расчетах на прочность явление предварительного смещения не учитывается.

Деформации, появляющиеся в зонах фактического касания сопрягаемых деталей оказывают значительное влияние на силовые взаимодействия в фрикционном контакте. Они зависят от механических свойств, используемых в соединении материалов, параметров шероховатости их поверхностей и контурных давлений.

Жесткость сопряжения будет зависеть от упругих перемещений в пределах предварительного смещения в указанных зонах контактирования. Тогда нормальные и касательные упругие контактные перемещения оказывают существенное влияние на формирование величины натяга соединения. Поэтому рассматриваемая задача является весьма актуальной.

В процессе изучения упругих контактных смещений в условиях вынужденных колебаний и при динамическом нагружении получены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) при различных внешних условиях. Они позволяют оценить величину потерь механической энергии в контакте, и установить зоны резонанса и зоны устойчивой работы контактных пар. Это помогает создать с учетом полученных рекомендаций условно-неподвижные соединения достаточно надежными и прочными в эксплуатации.

Рассмотрим конусное соединение под действием осевой гармонической возбуждающей силы $P \sin \omega t$ в пределах трения по кося.

Используемая методика расчета контактных колебаний при динамическом воздействии в условиях вынужденных колебаний позволяет определять АЧХ в широком спектре контактных условий. Для контакта шероховатых поверхностей конических соединений изменяемыми параметрами контактирования являлись: m - масса; N - усилие статического поджатия; P - величина вынуждающего усилия; параметры микрогеометрии поверхностного слоя верхнего движущегося тела:

R_{\max} - максимальная высота микронеровностей, r - приведенный радиус микронеровностей, b и ν - параметры кривой опорной поверхности; физико-механические характеристики материала: E - модуль упругости первого рода, σ - предел текучести материала поверхности.

Общие условия для всех рассмотренных случаев следующие:

$$N = 10 \text{ Н}; m = 0,2 \text{ кг}; R_{\max} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}, \\ R_{\max} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}, b = 2, \nu = 2; P = 0,5 \text{ Н}; \\ E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}, \sigma = 3,6 \cdot 10^8 \text{ Па}.$$

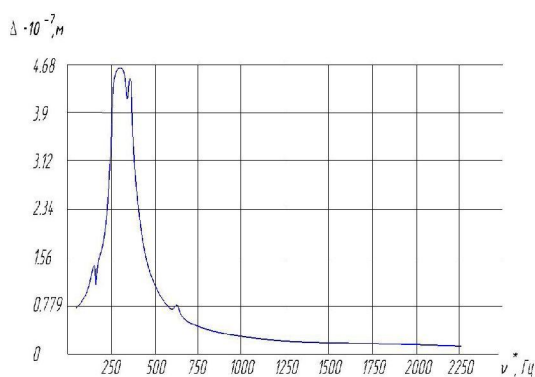
В каждом конкретном случае будет изменяться лишь один из параметров. На приведенных рисунках по оси абсцисс отражена линейная частота процессов – ν^* в герцах, а по оси ординат максимальные значения смещений – Δ в метрах.

Как показано на рисунке 1. рост нормальной статической контактной жесткости
ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2015

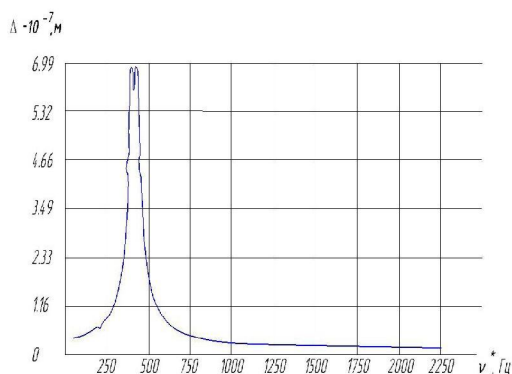
АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КОНТАКТНАЯ ПОДАТЛИВОСТЬ СОПРЯЖЕНИЙ ПРЕЦИЗИОННЫХ КОНУСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

приводит к резкому падению поглощающей способности контакта и значительному снижению максимальных амплитуд резонансной области.

Анализируя графики, представленные на рисунке 2, видно, что увеличение или уменьшение шероховатости существенно влияет на картину динамических процессов в контакте сопряжения: возрастает частота, снижаются амплитуды, растет коэффициент поглощения и соответственно количество энергии, которое рассеяно контактом. Увеличение статической контактной жесткости приводит к существенному падению поглощающей способности контакта и снижению максимальных амплитуд резонансной области.



1)

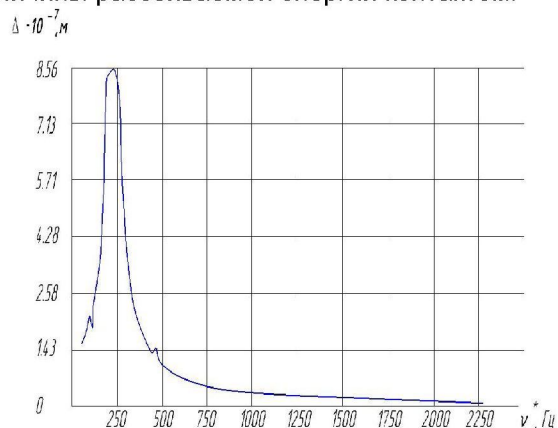


2)

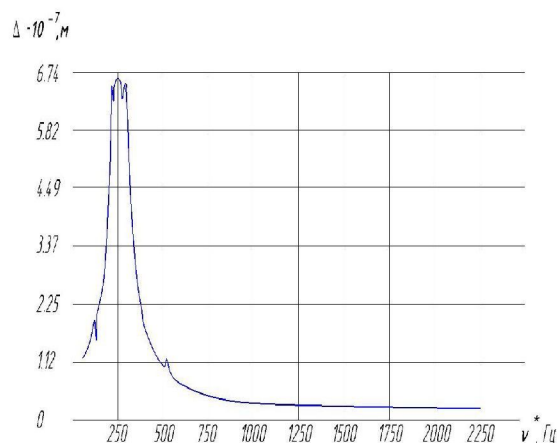
Рисунок 1 - АЧХ тангенциальных контактных колебаний при изменении нормального статического поджатия 1) $N = 60$ Н; 2) $N = 10$ Н

Важным моментом является влияние параметров шероховатого слоя на касательные контактные колебания. Как видно из рисунка 2 при увеличении максимальной высоты микронеровностей увеличиваются резонансные амплитуды смещений и падают частоты процесса, одновременно видим рост величины рассеиваемой энергии контактом.

Рисунок 2 - АЧХ тангенциальных контактных колебаний при различных параметрах микрогеометрии: 1) $R_{\max} = 1.75 \cdot 10^{-5}$ м, $r = 10^{-4}$ м; 2) $R_{\max} = 7.5 \cdot 10^{-6}$ м, $r = 1.8 \cdot 10^{-4}$ м.



1)



2)

Рисунок 2 - АЧХ тангенциальных контактных колебаний при различных параметрах микрогеометрии: 1) $R_{\max} = 1.75 \cdot 10^{-5}$ м, $r = 10^{-4}$ м; 2) $R_{\max} = 7.5 \cdot 10^{-6}$ м, $r = 1.8 \cdot 10^{-4}$ м.

Контактная податливость прецизионного конусного соединения

Рассмотрим соединение, нагруженное гармонической возбуждающей силой $P \sin \omega t$, направленной перпендикулярно оси соединения - в случае определения нормальной контактной податливости K_{σ} и по оси соединения - при изучении касательной контактной податливости K_{τ} .

Исследовалось влияние следующих параметров контактирования на работу сопряжения: коэффициента трения обеих

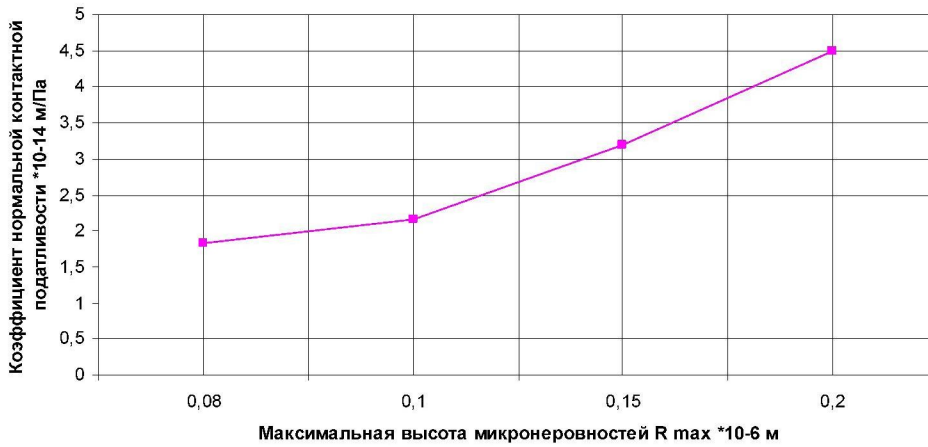


Рисунок 3 – Изменение коэффициента нормальной контактной податливости при различных коэффициентах трения



Рисунок 4 – Изменение коэффициента нормальной контактной податливости при различных параметрах микрогеометрии

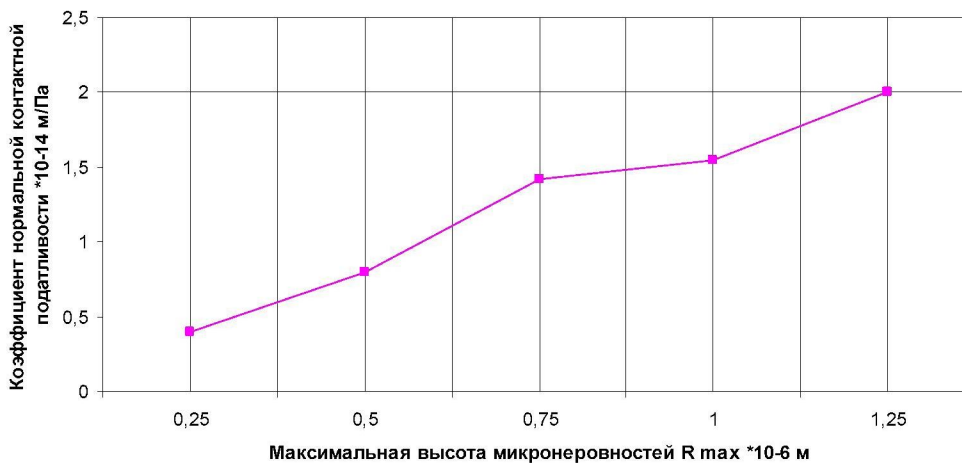


Рисунок 5 – Изменение коэффициента тангенциальной контактной податливости при различных параметрах микрогеометрии

поверхностей соединений шероховатых поверхностей контактирующих шероховатых поверхностей
 - соединения f ; геометрических характеристик

АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КОНТАКТНАЯ ПОДАТЛИВОСТЬ СОПРЯЖЕНИЙ ПРЕЦИЗИОННЫХ КОНУСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

R_{\max} - максимальной высоты микронеровностей, приведенного радиуса микронеровностей r , параметров кривой опорной поверхности b и ν .

При изучении были выбраны следующие геометрические и физико-механические характеристики: статическое осевое усилие $N = 20$ кН; геометрические размеры соединения: $d = 61,75$ мм, $l = 70$ мм; коэффициент запаса прочности $k = 1,5$; физико-механические характеристики материала соединения: предел текучести $\sigma_T = 200$ МПа, модуль упругости 1-го рода $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$; коэффициент трения поверхностей $f = 0,1$; параметры микрогеометрии контактирующих поверхностей (1) и (2): $\nu_1 = 1,85$, $\nu_2 = 1,8$, $b_1 = 1,8$, $b_2 = 0,95$, $R_{a_1} = 0,32 \cdot 10^{-6}$ м, $R_{a_2} = 0,63 \cdot 10^{-6}$ м, $r_1 = 370 \cdot 10^{-6}$ м, $r_2 = 180 \cdot 10^{-6}$ м.

Расчеты нормальной и тангенциальной контактной податливости сопряжения с учетом динамической составляющей проводились при изменении какого-либо одного из параметров при сохранении прочих равных условий контактирования.

Практическую ценность имеют результаты влияния на контактную податливость сопряжения коэффициента трения. Из рисунка 3. видно, что с возрастанием коэффициента трения возрастает статическая и динамическая контактная податливость сопряжения. Это обусловлено ослаблением контакта за счет изменения условий трения.

Увеличение значений максимальной высоты микронеровностей приводит к увеличению контактной податливости сопряжения как нормальном, так и в касательном направлениях (рисунок 4. и 5.).

Рассмотренная динамическая модель упругого контактного взаимодействия применительно к прецизионным конусным соедине-

ниям позволяет рассчитывать на прочность и жесткость реальные соединения с учетом протекающих в контакте процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sharpe William N. Springer handbook of experimental solid mechanics / William N. Sharpe // Springer Science+Business Media, LLC New York, 2008. XXX – 1098p. 874 illus., 58 illus. in color. – ISBN: 978-0-387-26883-5, e-ISBN: 978-0-387-30877-7.
2. Костокрыз, С. Г. Экспериментальное определение амплитудно-частотной характеристики механического контакта в области предварительного смещения / С. Г. Костокрыз, В. В. Ковалевский, Е. А. Збитнев // Трение и износ. – 1992. – Т. 13, №6. – С. 979–984.
3. Максименко, А.А. Влияние деформаций в контакте при расчете конических соединений / Максименко А.А., Перфильева Н.В., Перфильева А.Д., Феропонтов В.А. // Вестник Алтайской науки, № 2-2 /2013. Изд-во ОАО «Алтайский дом печати», Барнаул. С. 220-222
4. Максименко, А.А. Комплексная система конструирования прецизионных контактных соединений машин с прогнозируемыми параметрами работы / Максименко А.А., Перфильева Н.В., Котенева Н.В., Перфильева А.Д., Феропонтов В.А. // Вестник Алтайской науки, № 2-2 /2013. Изд-во ОАО «Алтайский дом печати», Барнаул. С.217-219

Максименко А.А. – д.т.н., профессор, заведующий кафедры механики и инноватики, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», nirsagtu@list.ru

Перфильева Н.В. - д.т.н., профессор, кафедра механики и инноватики, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», sopromat116@mail.ru

Феропонтов В.А. - аспирант, кафедра механики и инноватики, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», sopromat116@mail.ru

Борисова А.Д. – к.т.н., доцент, кафедра механики и инноватики, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», sopromat116@mail.ru