

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В КОНУСНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ НА ПРИМЕРЕ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА И ШТУЦЕРА ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В.А. Феропонтов, Н.В. Перфильева, Н.В. Котенева

В работе было произведено сравнение инженерного расчета конусных соединений и расчета с учетом контактной податливости. На основании сравнения дана оценка влияния контактных деформаций в сопряжении конусного соединения. Используя данную методику была произведена оценка и конусного соединения трубопровода и штуцера топливного насоса высокого давления. В результате предложены рекомендации для внесения изменений.

Ключевые слова: конусное соединение, осевой натяг, контактные деформации

В современном машиностроении остро стоит проблема повышения качества, надежности, экономичности и производительности узлов и деталей машин. Возможности повышения надежности и эксплуатационных характеристик деталей машин и механизмов во многих случаях ограничивается несущей способностью конусных соединений. Широкое применение этих соединений связано с их возможностью восприятия и передачи переменных по величине, направлению и времени действия нагрузок.

Несмотря на значительные результаты, полученные при изучении процессов перемещений и деформаций в контакте твердых тел, а также в расчетах конусных соединений, ряд задач имеющих большую практическую ценность, остаются нерешенными

Прочность и жесткость соединений во многом зависит от процессов, происходящих в контакте деталей соединений. Установлено [2], что на долю контактной деформации приходится до 80% от общей деформации. Поэтому вопросы, связанные с контактным взаимодействием деталей, прежде всего, динамической контактной жесткостью и диссипацией энергии, являются весьма важными. Поэтому классический инженерный расчет на прочность должен дополняться расчетом контактных смещений.

Проведем сравнение инженерного расчета и расчета с учетом контактных деформаций на примере конусного соединения

Инженерный расчет сопряжения

Усилие затяжки определяется формулой

$$P_{zat} = 10^3 \frac{M_{kp} \cdot K}{d_{cp} \cdot f} \left(\frac{f}{\operatorname{tg} \alpha} + 1 \right), \text{ где (1)}$$

M_{kp} — крутящий момент;

K — конусность;

f — коэффициент трения;

d_{cp} — средний диаметр;

l — активная длина конуса;

d — диаметр конуса.

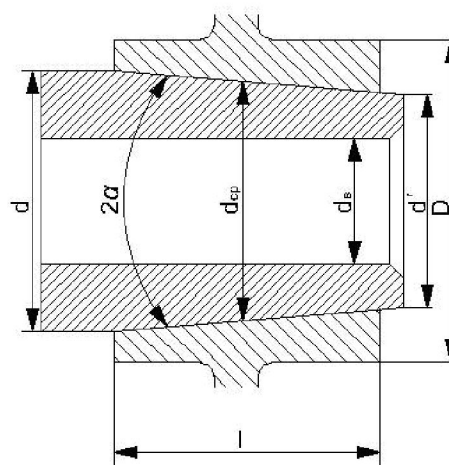


Рисунок 1 - Расчетная схема конусного соединения

Возникший в соединении диаметральный натяг зависит от радиальной жесткости вала и ступицы и определяется по формуле Ламе

$$\Delta = 10^3 \cdot k \cdot d_{cp} \cdot \theta, \text{ где (2)}$$

k — осевая сила, необходимая для создания давления;

θ — коэффициент, учитывающий модуль нормальной упругости, коэффициент Пуассона и тонкостенность

Необходимый осевой натяг определяется

$$h = 10^{-3} \frac{\Delta}{K}, \text{ где (3)}$$

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В КОНУСНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ НА ПРИМЕРЕ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА И ШТУЦЕРА ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Δ - коэффициент, зависящий от диаметрального натяга и параметров микрогеометрии

С учетом контактных смещений фактический натяг определяется

$$\delta_f = \theta_{0f} \cdot d_{cp} \cdot \left(\frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2} \right), \text{ где} \quad (4)$$

θ_{0f} - номинальное давление, рассчитанное с учетом контактной податливости.

Расчет показал, что при учете деформаций в контакте диаметральный и осевой натяг примерно на 30% меньше, чем при обычном инженерном расчете

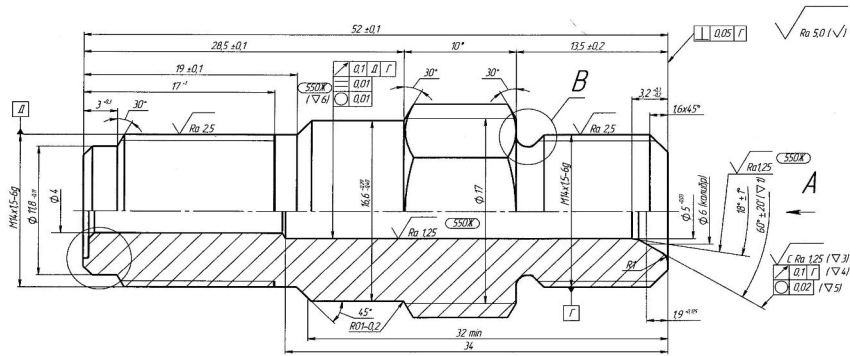


Рисунок 2 - Трубопровод топливного насоса высокого давления

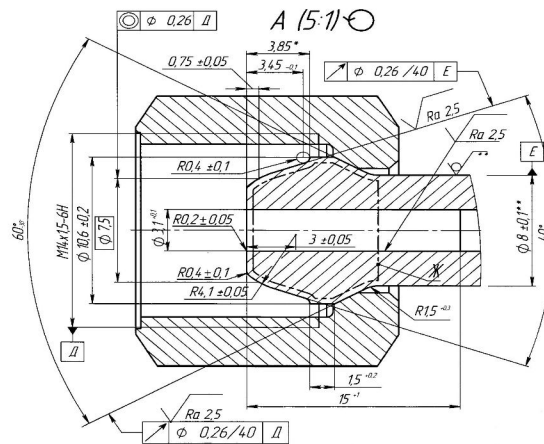


Рисунок 3 - Штуцер топливного насоса высокого давления

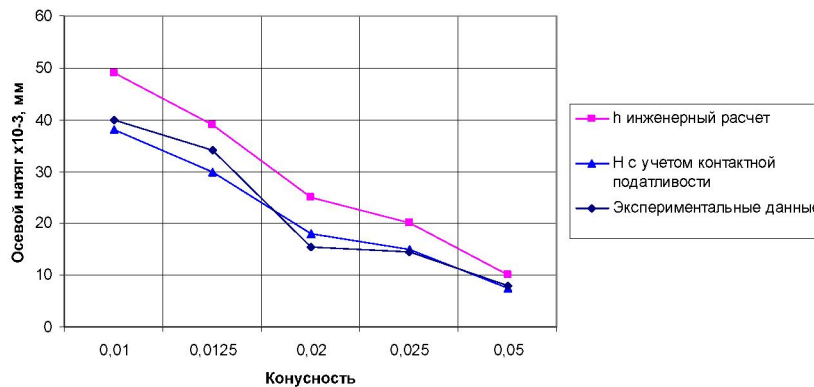


Рисунок 4 - Соотношение расчетных и экспериментальных результатов зависимости осевого натяга от конусности

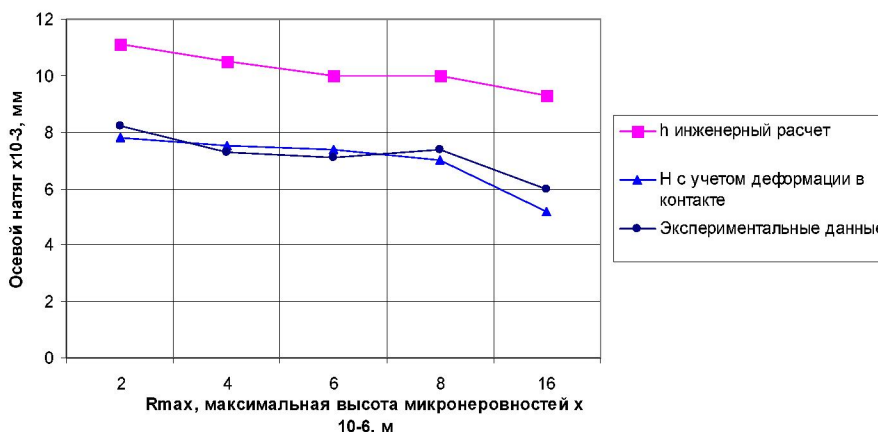


Рисунок 5 - Соотношение расчетных и экспериментальных результатов зависимости осевого натяга от параметров микрогеометрии

В современном машиностроении широко применяются детали с коническими поверхностями, к которым относятся соединения деталей топливного насоса высокого давления.

Рассматриваемый численно-аналитический метод расчета контактных перемещений сопряжений предназначен для определения статической и динамической контактной податливости прецизионных конусных соединений. В качестве практического применения разработанной методики инженерного расчета контактных взаимодействий представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований для соединения трубопровода со штуцером топливного насоса высокого давления изготавливаемого на Алтайском заводе прецизионных изделий, включающего в себя конусные соединения, от прочности, долговечности, работоспособности которых зависит в конечном итоге нормальная эксплуатация рассматриваемой конструкции в целом.

Соединение топливопровода и штуцера топливного насоса высокого давления является очень ответственным соединением и работает в условиях значительных перепадов давления в системе. Максимальное давление может достигать 200 МПа. Выход из строя данного соединения ведет к нарушению герметичности и как следствие потери работоспособности топливного насоса высокого давления. Основной причиной выхода из строя является износ сопряжения.

Существенное влияние на работу соединений, статическую и динамическую контактную податливость или жесткость оказы-

вают следующие параметры контакта: усилие затяжки; параметры микрогеометрии шероховатого слоя - максимальная высота микронеровностей, приведенный радиус микронеровностей, параметры кривой опорной поверхности; коэффициент трения покоя, физико-механические характеристики материала деталей.

В соответствии с уточненной методикой, были проведены теоретические и экспериментальные исследования прецизионного конусного соединения - соединения топливопровода со штуцером топливного насоса высокого давления (рисунок 2, рисунок 3).

Итогом исследований стали рекомендации по выбору параметров конусного соединения топливопровода со штуцером топливного насоса высокого давления с учетом процессов контактного взаимодействия и диссипации механической энергии в соединениях, а именно физико-механических и микрогеометрических характеристик контакта в сопряжениях деталей.

Изменение коэффициента трения, также как и физико-механических свойств, связано с выбором определенного материала для деталей прецизионного конусного соединения.

Необходимо отметить, что при увеличении коэффициента трения растет статическая и динамическая контактная жесткость соединения, а для материалов, имеющих высокое значение предела текучести, этот параметр падает.

При уменьшении углов наклона образующих конических поверхностей уменьшается усилие затяжки, но увеличиваются размеры штуцера и гайки в осевом направлении и, наоборот, при увеличении углов, повыша-

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В КОНУСНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ НА ПРИМЕРЕ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА И ШТУЦЕРА ТОПЛИВНОГО НАСОСА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

ется требуемая сила затяжки соединения и соединение становится компактнее. При этом увеличение сил на контакте трубопровода с большей конической поверхностью штуцера усиливает эффект их взаимного самоторможения и одновременно повышает герметичность соединения.

Для прецизионного конусного соединения трубопровода со штуцером:

Действующий вариант	Разработанный вариант
Параметры микрогеометрии шероховатого слоя	
$R_a = 2.5 \cdot 10^{-6}$, м	$0.63 \cdot 10^{-6} \leq R_a \leq 2 \cdot 10^{-6}$, м
Предел текучести материала	
785 МПа	>850 МПа
Коэффициент трения материала	
0,2	0,3
Угол конуса	
60	68
Фактическая площадь контакта соединения	
55%	78%

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования характеристик контакта реальных прецизионных конусных соединений позволяет сказать о правильности выбора теоретических предпосылок, динамической модели упругого контактного взаимодействия в пределах предварительного смещения, а также о необходимости использования в уточненных инженерных расчетах на прочность и жесткость соединений разработанной методики. Все это является одним из способов неразрушающего контро-

ля качества условно-неподвижных соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ.- М.: Машиностроение.- 1977.-526 с.
2. Левина З.М., Решетов Д.Н. Контактная жесткость машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 265 с.
3. Максименко А.А., Перфильева Н.В., Перфильева А.Д., Ферпонтов В.А. Влияние деформаций в контакте при расчете конических соединений. Вестник Алтайской науки №2 – 2 /2013. Изд-во ОАО «Алтайский дом печати». Барнаул. – С. 219–222.
4. Феропонтов В.А., Перфильева А.Д. Расчет пресовых конических соединений с учетом взаимодействия в контакте сопряжений деталей. «Горизонты образования». Научно-образовательный журнал АлтГТУ. Вып. 14. – С.19-21.
5. Феропонтов В.А., Перфильева Н.В., Максименко А.А. Контактные перемещения в сопряжениях конусных соединений в пределах трения покоя. «Урал – Трибо» Материалы международной научно – технической конференции ученых, ведущих специалистов в области трибологии и аспирантов. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. – 2014. – С. 7–10.

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

Котенева Н. В. – к.т.н., доцент, кафедра механики и инноватики, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», sopromat116@mail.ru