

М 484777

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э. Баумана

НЕ ВЕРНУТЬ

На правах рукописи

УДК 621.757.016

БОКСБЕРГЕР Виктор Фридрихович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА СБОРКИ
КОНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ

Специальность 05.02.08. - Технология машиностроения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

1989

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э. Баумана

- Научный руководитель - заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор А.М. Дальский
- Официальные оппоненты - доктор технических наук, старший научный сотрудник Золотаревский Д.М.
- кандидат технических наук, старший научный сотрудник Завгородний Д.П.
- Ведущая организация - Московский завод скоростных прецизионных электроприводов

Защита диссертации состоится "12" июня 1989 г.
на заседании специализированного совета К 053.15.15 в
Московском Высшем Техническом Училище им. Н.Э. Баумана

по ул., дом 5.

им.

отеке МВТУ

ны

, заверен-
осу.

1989 г.

Мещеряков

За

1 п. л.

Ти

М 484777

Актуальность проблемы. В материалах XXVII съезда КПСС отмечается, что основные пути решения задач перевооружения всех отраслей народного хозяйства на основе современных достижений науки и техники связаны с внедрением новой прогрессивной технологии и всемерной экономией материальных ресурсов. Обеспечение высокой надежности и эксплуатационных показателей различных изделий связано с высоким качеством их изготовления и сборкой.

В настоящее время проблема надежности особенно остро стоит для соединений деталей с гарантированным натягом. Соединения деталей с натягом с коническими сопрягаемыми поверхностями применяются в ответственных соединениях, например, соединение среднего и заднего валов вращающихся аппаратов центробежного компрессора турбореактивного двигателя, соединения рабочих колес с валами высокооборотных роторов в турбодетандерах и т.д.

Прочность конических соединений с натягом, как и цилиндрических, в значительной степени определяется методом сборки. Влияние метода сборки на прочность конических соединений с натягом обусловлено различным характером взаимодействия сопрягаемых поверхностей при осуществлении процесса соединения сопрягаемых деталей, который и определяет различные значения коэффициентов трения в конических соединениях с натягом. В то же время прочность конических соединений с натягом при одном и том же методе сборки меняется в широких пределах, в зависимости от материала сопрягаемых деталей, давления, шероховатости, физико-механического состояния сопрягаемых поверхностей, скорости формирования соединения и других факторов, вытекающих из молекулярно-механической теории трения.

Наиболее низкой прочностью обладают конические соединения с натягом из разнородных материалов, собранные продольной запрессовкой. Применение для их сборки других методов в ряде случаев является нерациональным в силу различного рода конструктивных и технологических причин.

Недостаточная прочность таких соединений приводит на практике к снижению эксплуатационной надежности всего изделия в целом.

Поэтому на современном этапе развития машиностроения поиск

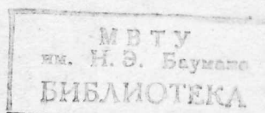
НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1484777

Боксберггер В.Ф. Исследования

I



и разработка новых технологических решений, непосредственно связанных с проблемой дальнейшего усовершенствования технологии и повышения прочности конических соединений с натягом из разнородных материалов, приобретает большую актуальность.

Цель работы. Повышение прочности конических соединений с натягом, сопрягаемые детали которых выполнены из разнородных материалов за счет выбора рациональных параметров технологических и конструктивных факторов, режимов технологического процесса сборки, а также изыскания новых путей повышения их прочностных характеристик.

Методы исследования. В работе применялись производственные, теоретические и экспериментальные исследования. Полученные результаты обрабатывались методами математической статистики. Теоретические исследования выполнялись на базе основ технологии сборки машин с использованием методов теоретической механики и расчетов внешнего трения твердых тел. Экспериментальные исследования проводились на оригинальной сборочной установке, оснащенной современной контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратурой. Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием ЭВМ "Искра - 226".

Научная новизна. В результате исследований разработан новый способ сборки конических соединений с натягом. Установлены закономерности, происходящие в стыке сопрягаемых поверхностей при их контактировании в процессе сборки, влияющие на показатели прочности соединений. Разработана методика расчета силового взаимодействия сопрягаемых деталей с учетом анизотропии коэффициента трения. Разработана методика определения поправки натяга конических соединений с натягом. Разработан метод контроля качества сборки конических соединений с натягом при винтовой запрессовке. Получены зависимости, определяющие влияние различного рода технологических факторов и режимов технологического процесса сборки на прочность конических соединений с натягом.

Практическая ценность. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны рекомендации по технологическому обеспечению прочности конических соединений с натягом из разнородных материалов. Использование данных рекомендаций позволяет повысить их прочность в 1,8...2,2 раза.

Реализация работы. Результаты исследований использовались при выполнении научно-исследовательской работы, направленной на

повышение прочности конических соединений рабочих колес с валами роторов турбодетандеров. Приняты к внедрению и частично используются в ПО "Гелиямаш" и ОЗЗ "Октябрь" НПО "Сборочные механизмы". Ожидаемый годовой экономический эффект составит 2 300 рублей.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на научных семинарах кафедры "Технология машиностроения и режущий инструмент" МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1986 - 1989 гг.; на Всесоюзном совещании "Создание и внедрение на предприятиях минсельхозмаша переналаживаемых (гибких) средств автоматизации, и роботизации процессов сборки" - г. Павлодар, 1986 г.; на Всесоюзной научно-технической конференции "Конструктивно-технологические методы повышения надежности и их стандартизация" - г. Тула, 1988 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 8 печатных работ, в том числе 3 авторских свидетельства на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 136 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав с выводами и общих выводов по работе. Содержит 4 таблицы, 93 рисунка, список литературы из 91 наименования, 5 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, приведена характеристика ее направленности и научной новизны. Сформулирована цель работы и положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрено современное состояние проблемы обеспечения прочности конических соединений с натягом, обоснован выбор объекта, и поставлены задачи исследования.

Повышение прочности конических соединений с натягом может быть достигнуто за счет увеличения его конструктивных параметров (диаметра, длины) и давления в посадке. Однако увеличение конструктивных параметров соединения приводит к увеличению габаритов и веса сопрягаемых деталей, а следовательно, и всего изделия, что противоречит современным тенденциям развития машиностроения. В связи с этим наиболее перспективным путем повышения прочности конических соединений с натягом является технологический путь, влияние которого выражается посредством величины коэффициента трения, который зависит от технологии обработки сопрягаемых

поверхностей и методов сборки соединений.

В результате проведенного анализа технологических методов сборки соединений с натягом установлено, что в настоящее время наиболее распространенным методом сборки конических соединений с натягом с номинальными диаметрами сопряжения до 30 мм является продольная запрессовка, которая отличается относительной простотой и высокой производительностью, недефицитностью оборудования и др. Однако к недостаткам данного метода следует отнести сравнительно невысокую прочность собранных соединений с натягом.

Показано, что применение различных методов сборки определяет и различный характер формирования контакта сопрягаемых поверхностей, а следовательно, и различную прочность соединений с натягом.

Наличие на сопрягаемых поверхностях соединений шероховатости, волнистости и макроотклонений приводит к дискретности их взаимодействия по фактическим площадям контакта. Для повышения фактической площади контакта соединений с натягом с целью увеличения прочности применяют различные методы, например, повышение исходной точности изготовления сопрягаемых деталей, применение мягких гальванических покрытий, плавящих промежуточных сред и пр., однако это приводит к удорожанию изделий и не всегда приемлемо по конструктивным и технологическим соображениям.

Анализ работ Г.Я. Андреева, Г.А. Бобровникова, Е.Ф. Бежелуковой, А.С. Зенкина, А.Г. Рохлина и др. показывает, что на прочность соединений с натягом оказывают такие факторы как скорость запрессовки, количество сборок-разборок, геометрические и физико-механические параметры деталей соединения и их сопрягаемых поверхностей и пр.

В процессе формирования соединений с натягом за счет смятия и среза неровностей на сопрягаемых поверхностях в соединении создается меньший натяг. Для расчета поправки натяга используются различные зависимости которые приводят к результатам, значительно отличающимся друг от друга. Кроме того, поправки натяга подсчитанные по данным зависимостям дают большие расхождения с экспериментальными значениями полученными при сборке конических соединений с натягом из разнородных материалов.

Проведен сравнительный анализ технологических методов контроля качества сборки конических соединений с натягом, в результате которого установлено, что прочность конических соединений с натягом существенно зависит от точности обеспечения заданного натяга (давления) и его контроля в процессе сборки. Показано, что существующие в настоящее время методы контроля натяга (давления) обладают существенными недостатками и требуют совершенствования.

На основании проведенного анализа, исходя из поставленной цели, были сформулированы следующие основные задачи:

1. Теоретически и экспериментально исследовать влияние технологических факторов на прочность конических соединений с натягом из разнородных материалов.
2. Теоретически и экспериментально исследовать технологические методы контроля качества конических соединений с натягом в процессе сборки.
3. Разработать мероприятия и технологическое оснащение для использования результатов исследований в производстве.

Во второй главе проведен теоретический анализ влияния технологических факторов на прочность конических соединений с натягом.

Установлено, что значительное повышение прочности конических соединений с натягом можно достичь за счет повышения фактической площади контакта сопрягаемых поверхностей.

В соединениях с натягом формирование фактической площади контакта под воздействием давления происходит в результате внедрения или смятия микронеровностей сопрягаемых поверхностей. При смятии и внедрении микронеровностей происходит сближение сопрягаемых поверхностей и увеличение фактической площади контакта.

Величина сближения, а следовательно, и фактическая площадь контакта при воздействии на неровности нормальных и тангенциальных напряжений, как показывают исследования Демкина Н.Б., проведенные на плоских образцах, зависит и от пути скольжения сопрягаемых поверхностей. Вначале площадь фактического контакта резко возрастает, а затем рост замедляется, но совсем не прекращается, а увеличивается пропорционально пути скольжения контактирующих поверхностей. Для различных пар трущихся тел изменение фактической площади контакта разное при одинаковом пути

скольжения. Наибольшее увеличение площади фактического контакта происходит у пары трущихся тел, выполненных из разнородных материалов.

На основании данного положения была выдвинута гипотеза о том, что если в конических соединениях с натягом из разнородных материалов увеличить путь скольжения сопрягаемых поверхностей при запрессовке, то за счет повышения площади фактического контакта можно достичь и повышения прочности соединений.

Длина пути скольжения сопрягаемых поверхностей в коническом соединении с натягом при продольной запрессовке (рис. 1) равна:

$$l_{\alpha} = \frac{E_{\alpha n}}{\cos \alpha / 2} = \frac{N}{2 \sin \alpha / 2}, \quad (1)$$

где $E_{\alpha n}$ — осевое смещение натяга; N — натяг; α — угол конуса. Анализ выражения (1) показывает, что при продольной запрессовке конических соединений с натягом увеличение пути скольжения сопрягаемых поверхностей ограничено натягом и углом конуса.

Для устранения указанного противоречия был разработан новый способ сборки конических соединений с натягом. Суть данного способа состоит в том, что для увеличения пути скольжения сопрягаемых поверхностей с целью повышения фактической площади контакта, а следовательно, и прочности соединения, сборку конических соединений с натягом продольной запрессовкой осуществляют с одновременным поворотом одной из деталей (рис. 2).

Применение дополнительного поворота в процессе продольной запрессовки позволяет во много раз увеличить путь скольжения сопрягаемых поверхностей независимо от натяга и угла конуса.

Анализ кинематики процесса винтовой запрессовки (запрессовки с поворотом) показывает, что при данном методе сборки средний путь скольжения сопрягаемых поверхностей может быть определен по формуле:

$$L_{cp} = \sqrt{\left(\frac{E_{\alpha n}}{\cos \alpha / 2}\right)^2 + \left(\varphi \frac{d_{cp}}{2}\right)^2}, \quad (2)$$

где φ — угол поворота вала в процессе запрессовки.

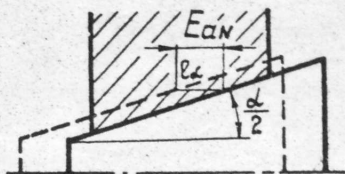


Рис. 1. Схема перемещения деталей конического соединения при продольном методе сборки

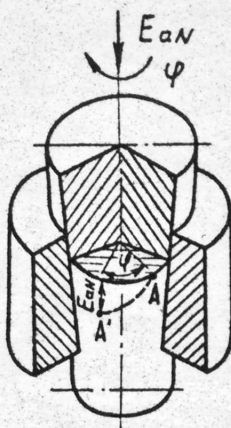


Рис. 2. Схема винтовой запрессовки конических соединений с натягом (AA' - путь скольжения сопрягаемых поверхностей)

При $\varphi = 0^\circ$ получим $L_{cp} = E_{av}/\cos\alpha/2$, т.е. в этом случае будет иметь место продольная запрессовка без поворота.

При $\varphi \rightarrow \infty$ получим $L_{cp} \rightarrow \infty$.

Таким образом, согласно выражения (2) следует, что при винтовой запрессовке при прочих равных условиях изменением φ можно увеличивать средний путь скольжения сопрягаемых поверхностей от 0 до ∞ , а следовательно, целенаправленно влиять на прочность конических соединений с натягом.

Для осуществления процесса винтовой запрессовки к одной из сопрягаемых деталей кроме осевой силы необходимо приложить момент кручения, который изменяет направление сил трения в коническом сопряжении.

Современные методы расчетов силового взаимодействия сопрягаемых деталей не учитывают анизотропию свойств коэффициента трения. В работе показано, что из-за разности коэффициентов трения в осевом f_{ax} и окружном $f_{a\varphi}$ направлениях целесообразно использовать представление об эллипсе коэффициента трения. В этом случае при расчете силового взаимодействия сопрягаемых деталей конических соединений с натягом применяют приведенный коэффициент трения, который зависит от направления сил трения в соединении и определяется по уравнению

$$f_{np} = \frac{f_{a\varphi} f_{ax}}{\sqrt{f_{ax}^2 \cdot \cos^2 \gamma_{cp} + f_{a\varphi}^2 \cdot \sin^2 \gamma_{cp}}}, \quad (3)$$

где γ_{cp} — направление действия сил трения.

На основании данного положения разработана методика расчета силового взаимодействия сопрягаемых деталей конических соединений с натягом при винтовой запрессовке и передачи нагрузки.

Анализ методов расчета поправки натяга, обусловленной смятием и внедрением неровностей сопрягаемых поверхностей, показал, что известные методы неприемлемы для соединений с натягом из разнородных материалов. При расчете поправки натяга δ в случае винтовой запрессовки принято, что в процессе скольжения сопрягаемых поверхностей будет происходить одновременное сглаживание неровностей мягкой детали и внедрение микронеровностей более твердого тела в сглаживаемую поверхность. Поверхности взаимо-

действующих деталей будут сближаться при этом на величину h :

$$h = h_{см} + h_{вн} , \quad (4)$$

где $h_{см}$ - величина сближения сопрягаемых поверхностей за счет сглаживания неровностей менее твердой детали (втулки);

$h_{вн}$ - величина сближения сопрягаемых поверхностей за счет внедрения микронеровностей твердой детали в сглаженную поверхность менее твердого тела

В результате получена зависимость для определения поправки натяга с учетом геометрических параметров сопрягаемых поверхностей. Полученное выражение для наиболее типичных видов обработки сопрягаемых поверхностей (точение, шлифование и пр.) при $\beta = \gamma = 2$ приведена к упрощенному виду

$$h = H_{max_2} + W_{max_2} + 5Ra_2 + R_{max_1} \left(\frac{2P_{cp}}{HB_2} + 0,125 \right) (2\sqrt{1+f})^{0,5}, \quad (5)$$

где β, γ, R_{max_1} - константы микрогеометрии и максимальная высота микронеровностей сопрягаемой поверхности твердой детали (вала); $H_{max_2}, W_{max_2}, Ra_2$ - соответственно максимальная высота макроотклонения, максимальная высота волнистости и среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости сопрягаемой поверхности мягкой детали (втулки); HB_2 - твердость материала втулки; P_{cp} - давление в посадке; f - коэффициент трения.

Теоретический анализ силового взаимодействия сопрягаемых деталей показал, что при винтовой запрессовке конических соединений с натягом по заданной траектории скольжения сопрягаемых поверхностей γ_{cp} осевая сила запрессовки P затрачивается на преодоление силы нормального давления и осевой составляющей силы трения. Момент запрессовки затрачивается только на преодоление окружной составляющей силы трения. В то же время осевая составляющая силы трения при винтовой запрессовке пропорциональна окружной составляющей силы трения. На основании данного положения была получена зависимость для определения среднего давления

$$\rho_{\text{ср}} = P K_1 - M_3 K_2, \quad (6)$$

где K_1, K_2 — постоянные коэффициенты, зависящие от $\delta_{\text{ср}}$ и геометрических размеров соединения.

Таким образом, при винтовой запрессовке конических соединений с натягом контроль среднего контактного давления в посадке можно осуществлять по зависимости (6), измеряя в процессе сборки осевую силу и момент запрессовки.

В третьей главе проведено экспериментальное исследование влияния длины пути скольжения сопрягаемых поверхностей, а также различного рода технологических факторов и режимов технологического процесса сборки на прочность конических соединений с натягом из разнородных материалов.

Выбор типичных образцов для исследований был осуществлен на основании проведенного анализа производственных и литературных данных. Исследования проводились на соединениях вал-втулка со средним номинальным диаметром сопряжения $d_{\text{ср}} = 23,5$ мм, длина сопряжения $l = 30$ мм, конусность соединения $S = 1:10$, наружный диаметр втулки $d_2 = 50$ мм. Материал втулок — алюминиевый сплав АК6, материал валов — сталь 16Х2Н4ВА. Все образцы тщательно аттестовывались по основным точностным параметрам сопрягаемых конических поверхностей.

Для проведения экспериментальных исследований была спроектирована и изготовлена многоцелевая установка, которая позволяет производить следующие операции:

- сборку конических соединений без поворота запрессовываемой детали;
- сборку конических соединений с различной величиной угла поворота запрессовываемой детали;
- испытание собранных соединений на кручение;
- испытание собранных соединений на осевой сдвиг.

Установка снабжена контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратурой.

В главе приведена методика экспериментальных исследований. Экспериментальные исследования влияния длины пути скольжения сопрягаемых поверхностей были проведены на образцах с параметрами шероховатости сопрягаемых поверхностей валов —

$Ra_1 = 0,32 \dots 0,5$ мкм, втулок $Ra_2 = 1 \dots 1,25$ мкм. Натяг в соединении $N = 30$ мкм. В качестве варьируемого фактора была принята средняя длина пути скольжения $L_{\text{ср}}$ сопрягаемых поверхностей, которая задавалась изменением угла поворота вала в процессе запрессовки.

Результаты испытаний соединений на кручение показали, что при винтовой запрессовке с увеличением пути скольжения (угла поворота) сопрягаемых поверхностей прочность соединений достигает максимума при $L_{\text{ср}} = 8 \dots 13$ мм ($\varphi = 40 \dots 65^\circ$), что в $1,8 \dots 2,2$ раза выше по сравнению с прочностью, полученной при запрессовке без поворота. При дальнейшем увеличении пути скольжения сопрягаемых поверхностей прочность уменьшается и становится ниже, чем при запрессовке без поворота.

Исследования влияния параметров шероховатости сопрягаемых поверхностей на прочность конических соединений с натягом при винтовой запрессовке были проведены для $L_{\text{ср}} = 11$ мм ($\varphi = 54^\circ$), что соответствует максимальной прочности соединений для $N = 30$ мкм ($p_{\text{ср}} = 48$ МПа).

На первом этапе было исследовано влияние параметров шероховатости сопрягаемых поверхностей валов на прочность конических соединений с натягом при среднем фиксированном уровне параметров шероховатости сопрягаемых поверхностей втулок ($Ra_2 = 1,0$ мкм). Для этого сопрягаемые поверхности валов были выполнены с $Ra_1 = 0,2 \dots 0,25$ мкм, $Ra_1 = 0,4 \dots 0,5$ мкм, $Ra_1 = 0,9 \dots 1$ мкм и $Ra_1 = 2,4 \dots 2,5$ мкм.

Результаты испытаний соединений на кручение и осевой сдвиг показали, что наибольшая прочность конических соединений достигается при выполнении сопрягаемых поверхностей валов с $Ra_1 = 0,2 \dots 0,63$ мкм.

На втором этапе было исследовано влияние шероховатости сопрягаемых поверхностей втулок на прочность конических соединений с натягом при среднем фиксированном уровне параметров шероховатости сопрягаемых поверхностей валов ($Ra_1 = 0,32$ мкм). Параметры шероховатости сопрягаемых поверхностей втулок составляли — $Ra_2 = 0,2 \dots 0,25$ мкм, $Ra_2 = 0,45 \dots 0,55$ мкм, $Ra_2 = 0,9 \dots 1,1$ мкм и $Ra_2 = 2,0 \dots 2,5$ мкм.

Проведенные исследования показывают, что максимальная прочность конических соединений с натягом достигается при параметрах шероховатости сопрягаемых поверхностей втулок

$R\alpha_2 = 0,5 \dots 1,5$ мкм.

Экспериментальные исследования влияния метода технологической обработки сопрягаемых поверхностей валов на прочность конических соединений с натягом показали, что при прочих равных условиях точение способствует повышению прочности на 20 % по сравнению со шлифованием.

В связи с тем, что прочность конических соединений при увеличении пути скольжения сопрягаемых поверхностей проходит через максимум при определенном давлении, то возникла необходимость исследования влияния давления на изменение пути скольжения, обуславливающего максимальную прочность. Полученные результаты показали, что при увеличении давления длина пути скольжения, при которой достигается максимальная прочность конических соединений с натягом, уменьшается.

Таким образом, проведенные эксперименты подтвердили высокую эффективность разработанного нового способа сборки конических соединений с натягом винтовой запрессовкой, который позволяет за счет изменения угла поворота φ (рис. 2) изменять длину пути скольжения сопрягаемых поверхностей, а следовательно, целенаправленно влиять на их прочность.

Экспериментально подтверждена методика расчета поправки натяга. Расхождение результатов экспериментов с расчетными не превышает 10...15%, что можно признать вполне удовлетворительным. Для определения поправки натяга следует пользоваться упрощенной зависимостью (5), не требующей определения констант δ и γ сопрягаемой поверхности вала.

На прочность конических соединений с натягом существенное влияние оказывает и скорость запрессовки. При винтовой запрессовке с увеличением скорости вначале прочность возрастает и достигает максимума при $V_3 = 5 \dots 7$ мм/с. Дальнейшее увеличение скорости запрессовки приводит к падению прочности конических соединений с натягом.

Экспериментальные исследования влияния количества сборок-разборок на характер изменения сборочных сил, моментов и прочности конических соединений с натягом показали, что в соединениях, где точность конечного положения сопрягаемых деталей не регламентирована, увеличение количества сборок-разборок при винтовой запрессовке приводит к повышению прочности соединения до пятой-шестой сборки, затем прочность стабилизируется на определенном

уровне.

В соединениях, где точность конечного положения сопрягаемых деталей строго регламентирована, прочность конических соединений с увеличением количества сборок-разборок резко падает при первых сборках-разборках. Увеличение количества сборок-разборок свыше пяти-шести незначительно сказывается на дальнейшем уменьшении прочности конических соединений с натягом.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований силового взаимодействия и характера зоны контакта сопрягаемых деталей конических соединений с натягом.

Экспериментальные исследования силового взаимодействия сопрягаемых деталей при сборке и передаче нагрузки проводились одновременно с исследованиями коэффициентов трения путем измерения и записи на диаграммной ленте осевых смещений, осевых сил и крутящих моментов. Для исследований приведенного коэффициента трения и силового взаимодействия сопрягаемых деталей конических соединений с натягом при передаче крутящего момента и осевой силы была изготовлена специальная оправка. Оправка, при закреплении ее на экспериментальной установке, позволяла нагружать собранное соединение дополнительной осевой силой требуемой величины.

Параметры шероховатости сопрягаемых поверхностей составляли: для охватывающих деталей - $Ra_2 = 1...1,25$ мкм, для охватываемых деталей - $Ra_1 = 0,32...0,5$ мкм. Диапазон изменений давлений в соединениях составлял $p_{ср} = 5...70$ МПа.

Результаты экспериментальных исследований коэффициентов трения показали, что значения коэффициентов трения $f_{пр}$ достаточно близко располагаются по линиям расчетных эллипсов (в пределах 5...10%), что является хорошим подтверждением необходимости учета анизотропии коэффициента трения при расчете силового взаимодействия сопрягаемых деталей конических соединений с натягом.

Исследования силового взаимодействия сопрягаемых деталей показали, что осевая сила и момент запрессовки практически линейно зависят от натяга и изменяются с изменением угла поворота вала. Незначительный поворот вала в процессе запрессовки вызывает резкое уменьшение осевой силы P и увеличение момента M_3 запрессовки, что позволяет изменением величины угла поворота вала целенаправленно воздействовать и на напряженно-деформированное состояние сопрягаемых деталей при запрессовке.

Экспериментальная проверка разработанного метода контроля давления при винтовой запрессовке проводилась путем сравнения полученных значений давлений, подсчитанных по предлагаемой зависимости (6) с значениями давлений, подсчитанными по увеличению наружного диаметра втулки и с значениями давлений, подсчитанными по расчетному натягу. Сравнение полученных результатов показало, что разработанный метод контроля давления является наиболее точным по сравнению с указанными методами.

Для вскрытия механизма взаимодействия сопрягаемых поверхностей при винтовой запрессовке, а также причин, вызывающих изменение прочности конических соединений с натягом в зависимости от величины угла поворота вала, были проведены экспериментальные исследования характера зоны контакта и физико-механического состояния сопрягаемых поверхностей.

Для этого на собранных соединениях производили поперечные и продольные срезы. В плоскостях среза изготавливали микрошлифы для изучения зоны контакта и определения микротвердости в зоне сопряжения. Исследования зоны контакта соединений проводили с помощью микроскопа "NEOFOT-21" при увеличении в 200 раз, а микротвердости с помощью прибора ПМТ-3 при нагрузке 0,25 Н.

В результате экспериментов было установлено, что в процессе винтовой запрессовки за счет пластической деформации неровностей втулки происходит наследование втулкой сопрягаемой поверхности вала. Это обуславливает большую площадь фактического контакта, а следовательно, и высокую прочность конических соединений.

Выявлено, что в процессе винтовой запрессовки происходит наклеп и упрочнение поверхностного слоя сопрягаемой поверхности втулки в 1,5...2 раза, а при продольной запрессовке упрочнение поверхностного слоя втулки незначительное.

Экспериментально установлено, что винтовая запрессовка наряду с повышением прочности соединений позволяет уменьшить амплитуду смещений сопрягаемых деталей в процессе передачи нагрузки.

В пятой главе на основании выполненных исследований разработаны практические рекомендации по использованию способа винтовой запрессовки для сборки конических соединений с натягом из разнородных материалов. Приведена экономическая эффективность проведенных исследований от внедрения технологических рекомендаций в производстве.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований подтверждено, что повышение прочности конических соединений с натягом достигается при увеличении пути скольжения сопрягаемых поверхностей в процессе запрессовки.

2. На основе данной закономерности разработан способ винтовой запрессовки конических соединений с натягом, позволяющий изменять длину пути скольжения сопрягаемых поверхностей в любых пределах. Практическое использование разработанного способа позволило повысить прочность конических соединений с натягом в 1,8...2,2 раза по сравнению с традиционной продольной запрессовкой.

3. Экспериментально определено влияние основных технологических факторов и режимов технологического процесса винтовой запрессовки на прочность конических соединений с натягом.

4. Вскрыты закономерности контактирования сопрягаемых поверхностей конических соединений с натягом в процессе формирования соединений, обуславливающие их прочность.

5. Разработана методика расчета силового взаимодействия сопрягаемых деталей конического соединения с натягом при сборке и передаче нагрузки с учетом анизотропии коэффициента трения.

6. Разработана методика определения поправки диаметрально-го натяга конических соединений с натягом. Разработанная методика подтверждена экспериментально.

7. Теоретически разработан и экспериментально обоснован метод контроля качества сборки конических соединений с натягом при винтовой запрессовке, основанный на определении давления путем измерения осевой силы и момента запрессовки.

8. Предложено комплексное технологическое оснащение для реализации разработанного способа сборки конических соединений с натягом.

9. На основании проведенных исследований разработаны практические рекомендации по технологическому обеспечению качества сборки конических соединений с натягом.

10. Ожидаемый экономический эффект от внедрения рекомендаций составит 2300 руб. в год.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. Боксбергер В.Ф. Анализ конструкции и технологических методов сборки конических соединений с натягом // Создание и внедрение на предприятиях минсельхозмаша переналаживаемых (гибких) средств автоматизации и роботизации процессов сборки: Тез. докл. Всесоюзн. совещания. - Павлодар, 1986. - С. 76-78.

2. Боксбергер В.Ф. Влияние вращения детали в процессе запрессовки на надежность конических соединений с натягом // Конструктивно-технологические методы повышения надежности и их стандартизация: Тез. докл. Всесоюзной научно-технической конференции. - Тула, 1988. - Ч. I. - С. 91.

3. Боксбергер В.Ф. Влияние поворота детали в процессе запрессовки на прочность конических соединений с натягом // Технология и оборудование обработки металлов резанием: Экспресс-информация ВНИИТЭМР. - 1988. - Вып. 5. - С. 8-11.

4. Боксбергер В.Ф. Приспособление для контроля качества соединений с натягом в процессе запрессовки // Передовой производственный опыт, рекомендуемый для внедрения в отрасли: Информац. сб. ВНИИТЭМР. - 1988. - Вып. 6. - С. 20-21.

5. Боксбергер В.Ф., Васильев А.С. Многоцелевая оборочная установка // Передовой производственный опыт, рекомендуемый для внедрения в отрасли: Информац. сб. ВНИИТЭМР. - 1988. - Вып. 6. С. 21-22.

6. А.с. 1438947 СССР, МКИ В 23 Р 19/02. Устройство для сборки запрессовкой конических соединений / А.М. Дальский, В.Ф. Боксбергер (СССР). - № 4238401/31-27. Опубл. 23.II.88. Бюл. № 43 // Открытия. Изобретения. - 1988. - № 43. - С. 65.

Боксбергер

