

УДК 621.757
На правах рукописи

Тин Сан

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАХОДНЫХ ФАСОК
НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ СБОРОЧНОГО ПРОЦЕССА**

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2009

Работа выполнена в Калужском филиале ГОУ ВПО Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель	–	кандидат технических наук, доцент Малышев Евгений Николаевич
Официальные оппоненты	–	доктор технических наук, профессор Гусев Алексей Алексеевич
	–	Кандидат технических наук Мусохранов Марсель Владимирович
Ведущая организация	–	ОАО «Калужский турбинный завод»

Защита состоится 27 _____ мая _____ 2009 года на заседании диссертационного совета Д 212.141.06 при Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Ваш отзыв на автореферат в 1 экземпляре, заверенный печатью организации, просим высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.
Телефон для справок: (499) 276-09-63.

Автореферат разослан 02 _____ апреля _____ 2009 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д.Т.Н., доцент

Михайлов В.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Ответственным этапом в производстве машин и оборудования является их сборка. Качество выполнения сборочных работ в конечном итоге определяет качество готового изделия. Учитывая влияние сборочных работ на качество готовой продукции, а также тот факт, что эти работы составляют до 40% от общего объема трудовых затрат на изготовление продукции, следует обратить особое внимание на реализацию и совершенствование технологических процессов сборки.

При выполнении сборочных работ средства механизации и автоматизации применяются существенно меньше, чем при механической обработке. В то же время автоматизация и механизация сборки обеспечивает не только повышение качества выпускаемой продукции, но и существенное снижение материальных и трудовых затрат.

В изделиях машиностроения около 35...40% деталей соединяются по цилиндрическим поверхностям. Если учесть и детали, сопрягаемые по сочетанию цилиндрических и конических с плоскими поверхностями, а также существующую тенденцию на замену шлицевых и шпоночных соединений на детали с поверхностями вращения, то удельный вес этих соединений составит значительную величину – 50...60%. Доминирующим видом соединений, сопрягаемых по поверхностям вращения, являются соединения с гарантированным зазором.

Учитывая все изложенное выше, а также необходимость исключения монотонных и тяжелых работ, **актуальной задачей** современного этапа развития технологии машиностроения является исследование и совершенствование процессов автоматического соединения деталей по поверхностям вращения с гарантированным зазором.

Объектом исследования в настоящей работе является технологический процесс автоматизированного соединения деталей нормальной точности по цилиндрическим поверхностям с гарантированным зазором.

Целью работы является повышение эффективности автоматизированных операций соединения деталей по цилиндрическим поверхностям путем использования заходных фасок на сопрягаемых поверхностях или направляющих элементах оснастки, форма которых спроектирована на основе параметров сборочного процесса.

Основные задачи исследования:

1. Выявить технологическую взаимосвязь между геометрическими и физико-механическими параметрами сборочного процесса и формой заходных фасок на сопрягаемых поверхностях соединяемых деталей и/или направляющих элементах сборочной оснастки;

2. Формализовать решение задачи определения формы заходной фаски, исключая заклинивание деталей, соединяемых по цилиндрическим поверхностям, на основе заданных значений параметров сборочного процесса;

3. Установить влияние параметров сборочного процесса (геометрических параметров соединяемых деталей, места приложения, направления и величины

сборочной силы, значения коэффициента контактного трения и др.) на форму и размеры проектируемой заходной фаски, исключаяющей заклинивание соединяемых посредством ее деталей;

2. Экспериментально подтвердить адекватность математических моделей, принятых в теоретических расчетах.

Методы исследований. Научной и методической базой для выполнения работы явились основополагающие разделы технологии машиностроения: теории точности, базирования и размерных цепей, положения теории машин и механизмов, теоретической механики.

Научная новизна:

- Установлена и формализована технологическая взаимосвязь между геометрическими и физико-механическими параметрами сборочного процесса и формой заходных фасок на сопрягаемых цилиндрических поверхностях соединяемых деталей и/или направляющих элементов сборочной оснастки;
- Научно обосновано применение фасонных заходных фасок, спроектированных на основе параметров сборочного процесса, на сопрягаемых поверхностях соединяемых деталей и/или направляющих элементах сборочной оснастки для предотвращения заклинивания.

Достоверность и обоснованность научных результатов подтверждены проверками их эффективности при проектировании автоматизированных средств технологического оснащения операций сборки электродвигателей и экспериментальными исследованиями.

Практическая ценность и реализация разработки:

- Формализовано решение задачи определения формы и значений геометрических параметров заходных фасок на сопрягаемых поверхностях и направляющих элементах сборочной оснастки с целью предотвращения заклинивания соединяемых деталей типа вал-втулка и обеспечения универсальности средств технологического оснащения на основе параметров сборочного процесса. Разработана программа для проектирования заходных фасок на ЭВМ;
- На основе полученных решений спроектированы направляющие элементы средств технологического оснащения для операции установки ротора в статор электродвигателя. Исследования, проведенные на спроектированной оснастке, подтвердили эффективность принятых конструкторско-технологических решений.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на Всероссийских научно-технических конференциях «Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе» в г. Калуга 5-7 декабря 2006 г., 11-13 декабря 2007 г. и 10-12 декабря 2008 г., а также на заседаниях кафедр «Технология машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана и «Технологии машиностроения» Калужского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Публикации. Основное содержание работы достаточно полно отражено в 4 работах, в том числе 1 работа по перечню, рекомендованному ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы из 71 наименования. Работа изложена на 155 страницах машинописного текста, содержит 65 рисунков и фотографий, 14 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** раскрыта актуальность исследования и совершенствования процессов автоматического соединения деталей по поверхностям вращения с гарантированным зазором, сформулирована цель работы, ее научная новизна и практическая значимость.

В **первой главе** выполнен анализ современных методов реализации сборочных операций и автоматизированных средств их технологического оснащения, а также анализ факторов, влияющих на процесс автоматического соединения деталей по цилиндрическим поверхностям с гарантированным зазором, сформулированы задачи исследования.

Проблеме разработки сборочных процессов и создания автоматизированного оборудования посвящены труды советских и российских ученых Б.С. Балакшина, В.Ф. Безъязычного, М.В. Варганова, Л.И. Волчкевича, А.В. Воронина, А.Г. Герасимова, А.А. Гусева, А.М. Дальского, Ю.З. Житникова, В.К. Замятина, И.М. Колесова, В.С. Корсакова, М.Г. Косова, М.С. Лебедевского, В.Г. Митрофанова, М.П. Новикова, В.В. Павлова, А.Н. Рабиновича, И.К. Рыльцева, А.И. Федотова, В.А. Яхимовича, зарубежных ученых Van Brussela, J. Volmera, P. Jacobi, J.L. Nevinsa, V. Shimano, R.D. Schrafta и др.

В результате проведенного анализа установлено, что на процесс автоматического соединения деталей по поверхностям вращения с гарантированным зазором влияют факторы, связанные с геометрической точностью звеньев технологической системы, с выбором баз для обеспечения достижения требуемой точности относительного положения соединяемых деталей, с силовыми факторами, возникающими в сборочной системе. Эти факторы часто возникают и действуют совместно.

Наиболее сложным является соединение деталей на начальном этапе. Изготовление заходных фасок на сопрягаемых поверхностях соединяемых деталей является наиболее простым технологическим приёмом для облегчения процесса ориентирования и направления деталей в начале сборки. Заходные фаски изготавливаются на подавляющем большинстве направляющих и ориентирующих элементов сборочной оснастки и транспортно-ориентирующих устройств.

Большинство исследователей, изучавших процесс соединения деталей по поверхностям вращения, придавали заходным фаскам ту или иную форму и размеры и определяли, как это влияет на сборочный процесс, и какие ограничения накладывает принятая форма заходных фасок на параметры сборочного процесса. В настоящем исследовании формулируется и решается задача выявления такой формы заходной фаски, которая, будучи спроектированной на основе задаваемых параметров реализуемого сборочного процесса, обеспечивала бы соединение деталей без заклинивания.

Во **второй главе** выполненные теоретические исследования позволили установить возможность проектирования заходной фаски на основе параметров сборочного процесса, форма которой позволяет исключить заклинивание деталей,

сопрягаемых по цилиндрическим поверхностям; решение задачи формализовано; разработана программа для выполнения необходимых расчетов на ЭВМ; исследовано влияние параметров сборочного процесса на форму и размеры проектируемой заходной фаски.

Задача определения образующей заходной фаски, исключая заклинивание соединяемых деталей, рассматривалась как двумерная (относительное перемещение деталей возможно только в плоскости (X, Y)) (рис. 1). Это обусловлено осесимметричностью сопрягаемых поверхностей. Рассматривается этап двухточечного касания поверхностей. Все процессы считаются квазистатическими, т.е. инерционными силами пренебрегают, что позволяет не только упростить расчеты, но и избежать неопределенности, вызванной непредсказуемостью моментов начала и окончания действия инерционных сил в процессе соединения деталей. Взаимодействующие поверхности считаются недеформируемыми, а статические и кинематические коэффициенты трения равны. Реакции опор направлены перпендикулярно, а силы трения вдоль линий, касательных к сопрягаемым поверхностям, проведенных через мгновенные точки их соприкосновения.

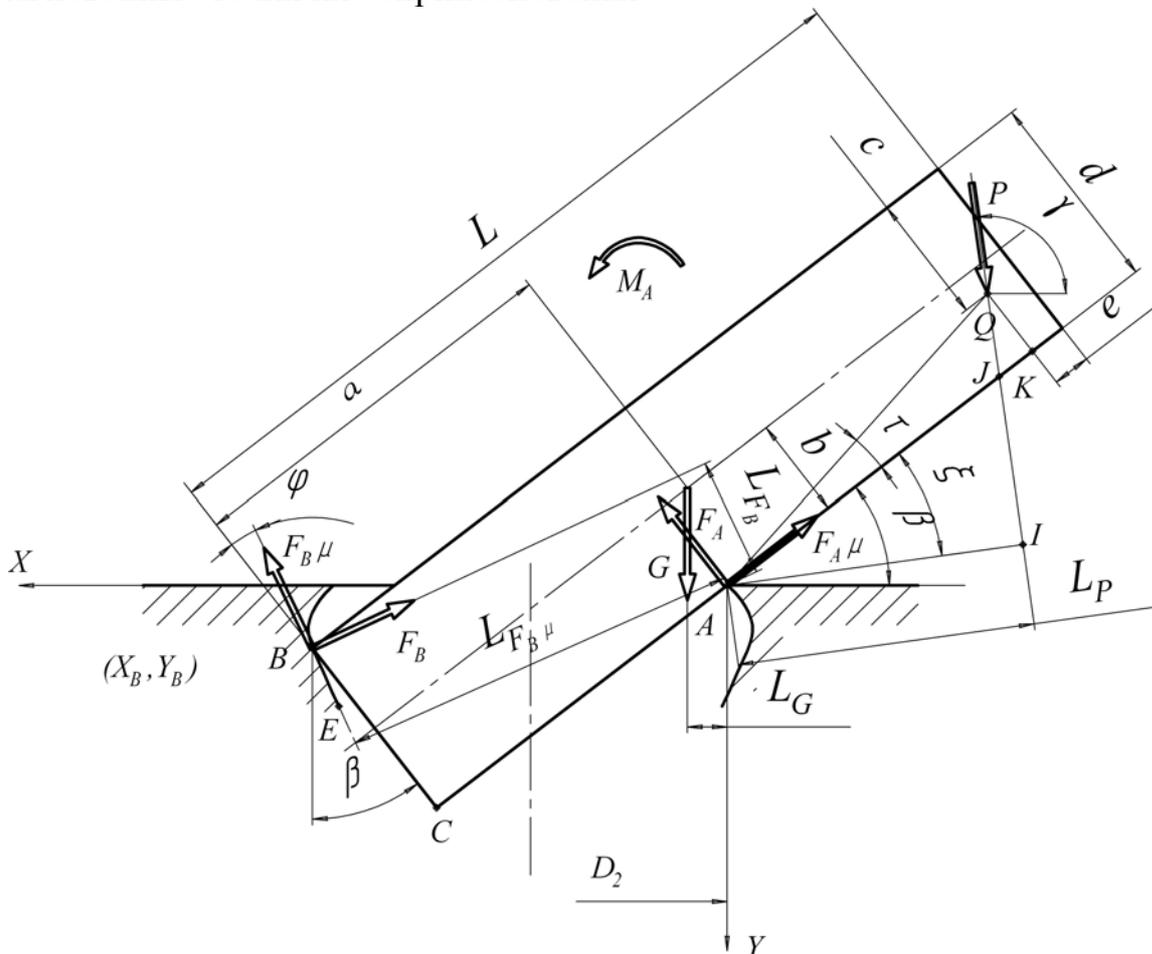


Рис. 1. Расчетная схема и параметры исследуемого сборочного процесса при размещении заходных фасок на охватывающих поверхностях

Параметрами исследуемого сборочного процесса при размещении фаски на охватывающей поверхности (рис. 1) являются: d - диаметр охватываемой сопрягаемой поверхности (диаметр вала), мм; L - длина устанавливаемого вала,

мм; G - сила тяжести устанавливаемого вала, Н; a и b - параметры, характеризующие место действия силы тяжести устанавливаемого вала, мм; P - сборочная сила, Н; c и e - параметры, характеризующие место приложения сборочной силы, мм; γ - параметр, характеризующий отклонение направления действия сборочной силы от вертикального (с учетом трения в точке контакта вала и сборочного устройства), °; D_1 - диаметр охватываемой сопрягаемой поверхности (диаметр отверстия), мм; D_2 - начальный диаметр заходной фаски, мм; L_ϕ - длина фаски, мм; μ - значения приведенного коэффициента трения в местах контакта сопрягаемых поверхностей.

Устанавливаемый вал контактирует с поверхностью фаски в точках A и B соответственно. Если на всей длине фаски $M_A(X_B, Y_B) > 0$, то вал устанавливается по фаске без заклинивания.

Для нахождения решения уравнения $M_A(X_B, Y_B) \geq 0$ относительно переменных X_B и Y_B выявлены геометрические и сило-моментные зависимости; по разработанным математическим моделям составлен алгоритм вычислений и разработана программа для расчетов на ЭВМ, которая позволяет определить геометрическое место точек (X_{B_i}, Y_{B_i}) в системе координат (X, Y) , составляющих образующую проектируемой фаски.

На рисунках 2-5 показаны формы фасок при различных значениях параметров сборочного процесса.

На рис. 2 показаны формы фасок при различных значениях отношения длины и диаметра L/d устанавливаемого вала.

На рис. 3 показана форма заходной фаски при изменяющихся значениях сборочного усилия P . Значения остальных параметров сборочного процесса: $d = 20$ мм, $L = 120$ мм, $G = 15H$, $D_1 = 20,4$ мм, $\mu = 0,3$, $c = 3$ мм и $e = 5$ мм

Форма заходной фаски, исключая заклинивание соединяемых деталей при заданных параметрах сборочного процесса, существенным образом зависит от принятого значения начального диаметра D_2 , величина которого связана с предельно допустимым углом наклона осей сопрягаемых поверхностей β отношением $\beta = \arcsin(d/D_2)$. На рис. 4 показаны формы заходных фасок при различных принятых значениях D_2 . Остальные параметры сборочного процесса: $P = 0$ Н, $G = 15H$, $D_1 = 20,4$ мм, $\mu = 0,3$.

На рис. 5 показана зависимость формы заходной фаски от значения коэффициента трения μ в местах контакта соединяемых деталей.

При выполнении теоретического исследования соединения деталей с фасонными заходными фасками на охватываемых поверхностях (рис. 6) параметрами исследуемого сборочного процесса являлись: D - диаметр охватываемой сопрягаемой поверхности (диаметр отверстия устанавливаемой

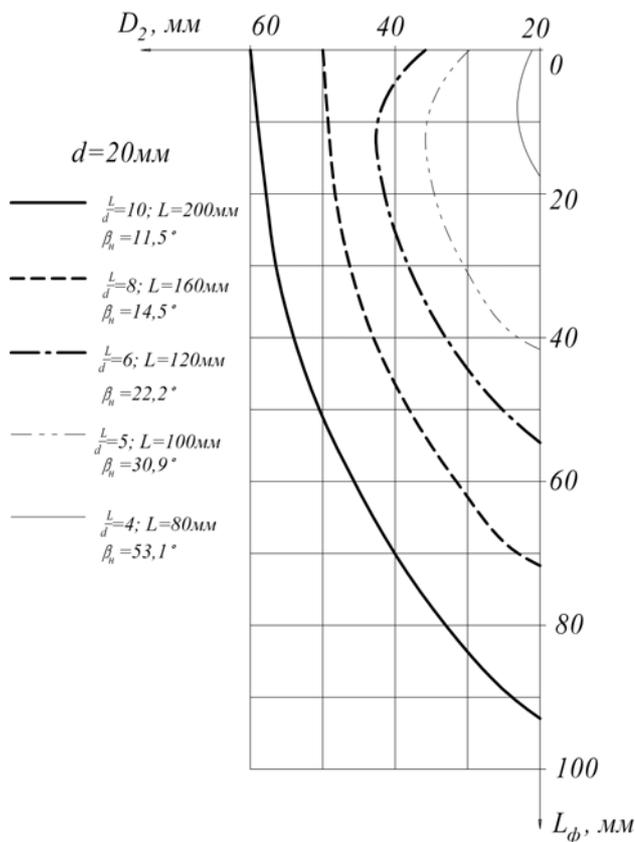


Рис. 2. Технологическая зависимость формы заходной фаски от отношения L/d устанавливаемого вала

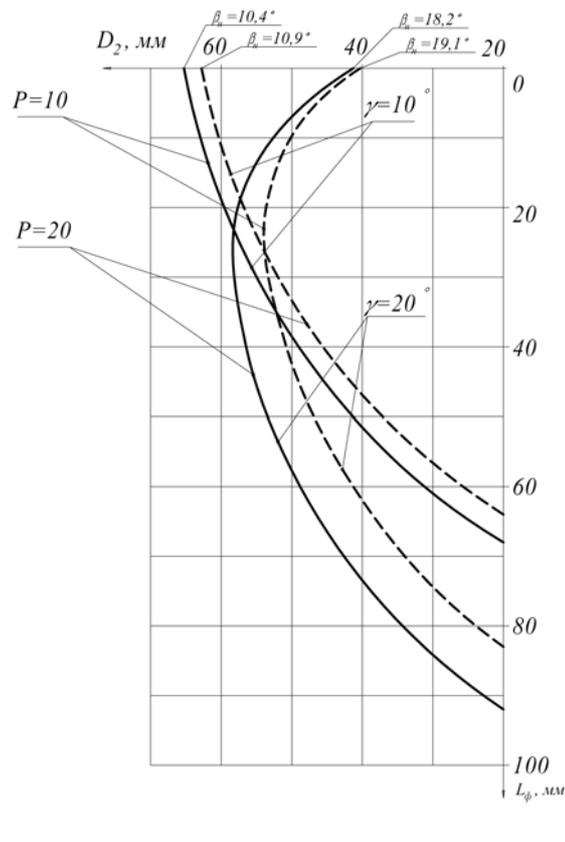


Рис. 3. Технологическая зависимость формы заходной фаски от направления γ и величины сборочного усилия P

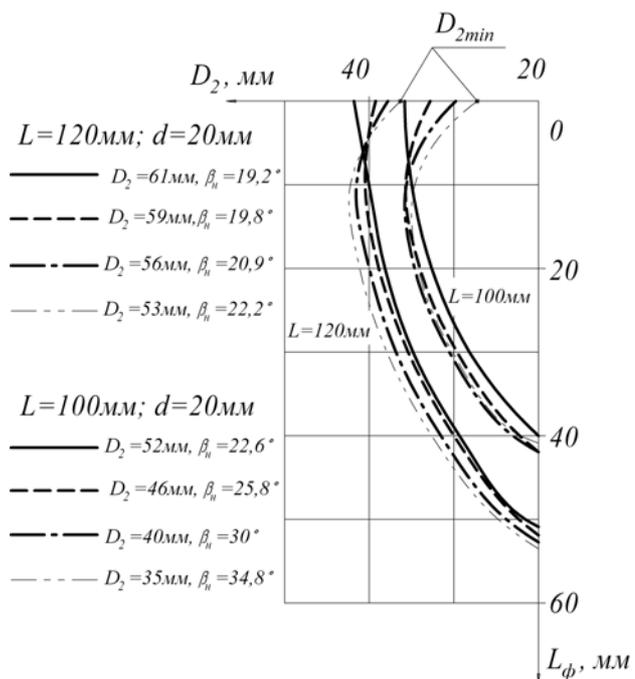


Рис. 4. Технологическая зависимость формы заходной фаски от значения начального диаметра заходной фаски D_2

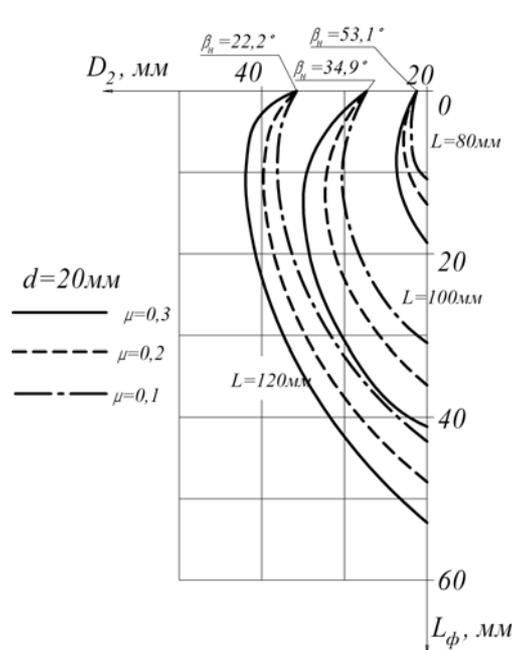


Рис. 5. Технологическая зависимость формы заходной фаски от коэффициента трения μ

штулки), мм; L - высота (длина) устанавливаемой штулки, мм; D_3 - наружный диаметр устанавливаемой штулки, мм; G - сила тяжести устанавливаемой штулки, Н; a и b - параметры, характеризующие место приложения силы тяжести устанавливаемой штулки, мм; P - сборочная сила, Н; c и e - параметры, характеризующие место приложения сборочной силы, мм; γ - параметр, характеризующий отклонение направления действия сборочной силы от вертикального (с учетом трения в точке контакта вала и сборочного устройства), °; d_1 - начальный диаметр заходной фаски (диаметр ловителя), мм; d_2 - диаметр охватываемой сопрягаемой поверхности (диаметр вала), мм; L_1 - длина фаски, мм; μ - значения приведенных коэффициентов трения в местах контакта сопрягаемых поверхностей.

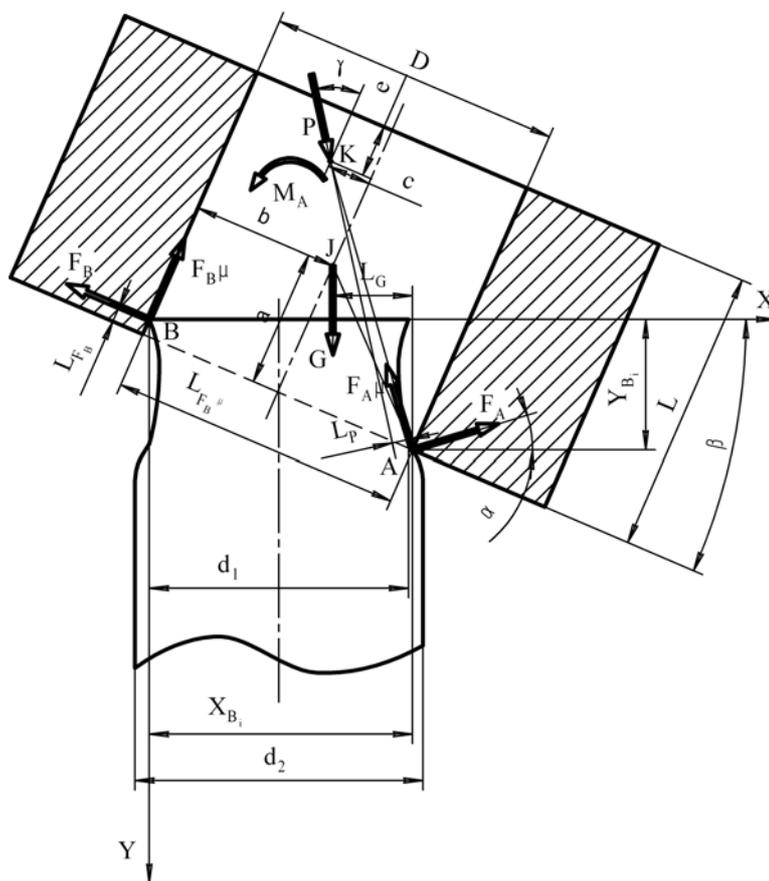


Рис. 6. Расчетная схема и параметры исследуемого сборочного процесса при размещении заходных фасок на охватываемых поверхностях

Для решения уравнения $M_A(X_A, Y_A) \geq 0$ относительно переменных X_A и Y_A выявлены геометрические и сило-моментные зависимости; по разработанным математическим моделям составлен алгоритм вычислений и разработана программа для расчетов на ЭВМ. После ввода исходных значений параметров сборочного процесса, определяется высота ловителя L_1 из условия двухточечного касания сопрягаемых поверхностей, и определяются координаты первой точки (d_1, L_1) , а также координаты точек (X_A, Y_A) , в которых

обеспечивается условие $M_A \geq 0$. Геометрическое место таких точек в системе координат (X, Y) составляют образующую искомой фаски.

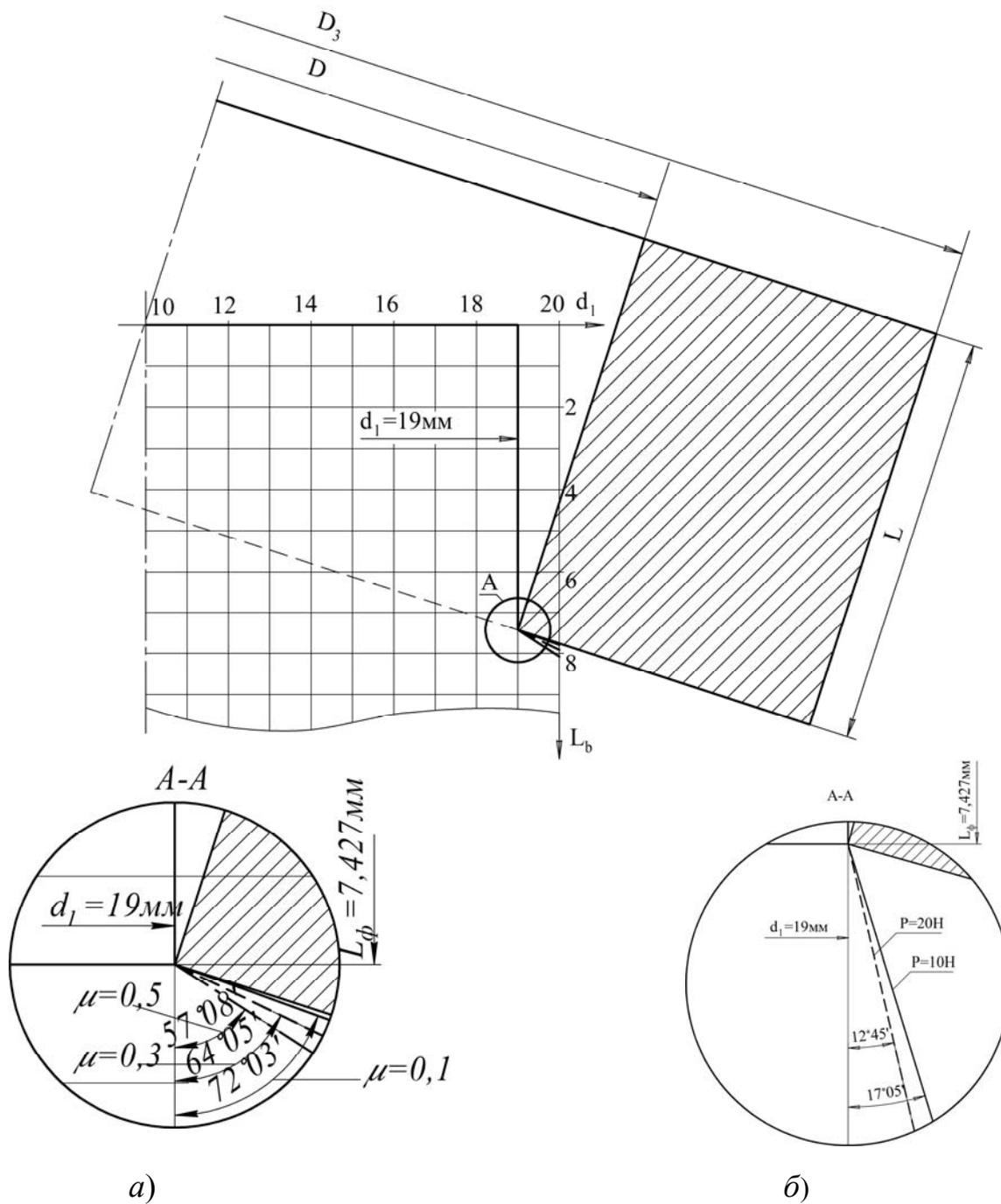


Рис. 7. Теоретическая зависимость формы фаски:

а) от принятого значения коэффициента трения μ ;

б) от величины и места приложения сборочного усилия P

На рис. 7 показана зависимость формы заходной фаски от некоторых параметров сборочного процесса. На рис. 7а показана зависимость формы заходной фаски от коэффициента трения μ . В расчетах задавались значения параметров сборочного процесса: $D = 20,4 \text{ мм}$, $L = 75 \text{ мм}$, $a = L/2$, $b = d/2$,

$P = 0H$, $G = 10H$, $d_2 = 20\text{ мм}$, $d_1 = 19\text{ мм}$ и $\mu = 0,1; 0,2; 0,3$. На рис. 7б показано изменения формы заходной фаски от значения сборочного усилия P . В расчетах задавались значения параметров сборочного процесса: $c = 3\text{ мм}$ и $e = 5\text{ мм}$ – параметры, характеризующие место приложения сборочного усилия; $\gamma = 90^\circ$ – параметр, характеризующий направление действия сборочной силы. Остальные параметры сборочного процесса: $D = 20,4\text{ мм}$, $L = 40\text{ мм}$, $G = 10H$, $d_1 = 19\text{ мм}$, $d_2 = 20\text{ мм}$ и $\mu = 0,3$.

Заходные фаски рациональнее располагать не на сопрягаемых поверхностях соединяемых деталей, а на направляющих элементах сборочной оснастки. Эффективность такого решения доказана научной школой МГТУ «СТАНКИН».

Если сборочная оснастка предназначена для соединения деталей нескольких типоразмеров, то заходная фаска на направляющих элементах должна обеспечивать соединение этих деталей без заклинивания. Направляющие элементы в этом случае могут быть изготовлены разжимными, расстояние между ними регулируется в зависимости от диаметров сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей.

Так, например, выполненные исследования показали, что для валов, показанных на рис. 8 в заштрихованной зоне (ниже линии $a-a$) обеспечивается условие $M_A > 0$, а, значит, эти валы могут быть установлены без заклинивания по фаске на охватывающей сопрягаемой поверхности, спроектированной для установки вала диаметром $d = 20\text{ мм}$ и $L/d = 6$ (форма направляющей фаски см. рис. 2).

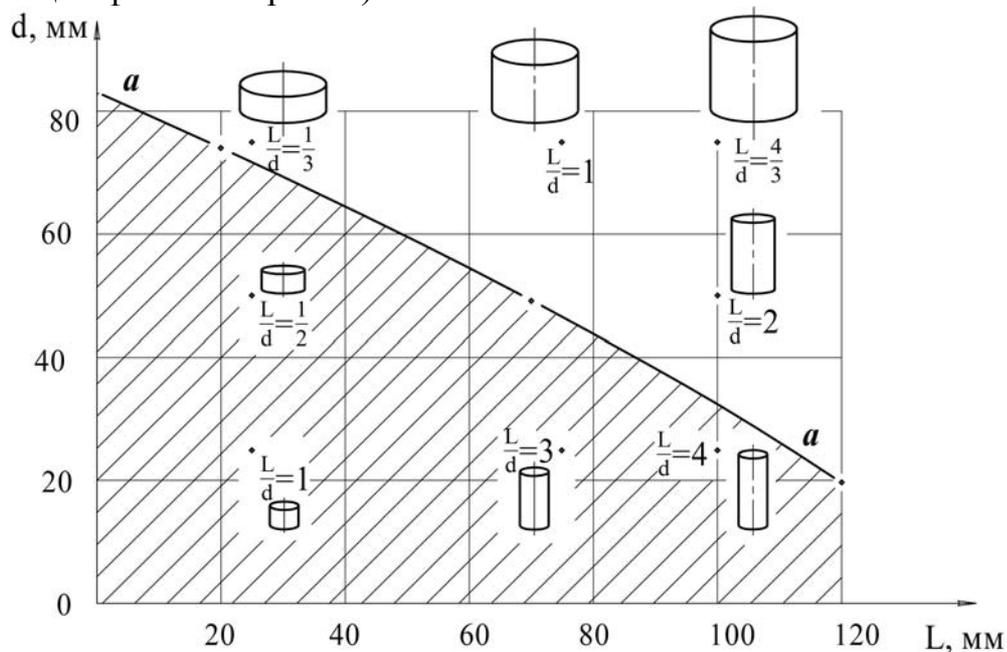


Рис. 8. Возможность использования заходной фаски на охватывающих поверхностях для установки нескольких типоразмеров валов

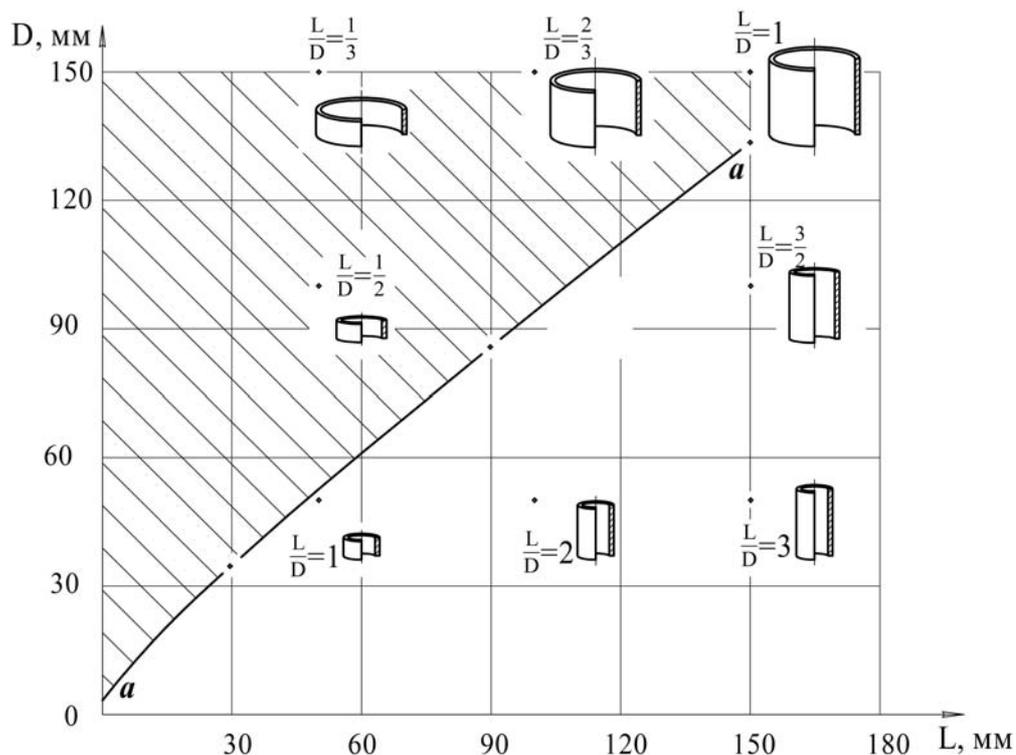


Рис. 9. Возможность использования заходной фаски на охватываемых поверхностях для установки нескольких типоразмеров втулок

Выполненные исследования показали, что для втулок, показанных на рис. 9 в заштрихованной зоне выше линии $a-a$, обеспечивается условие $M_A \geq 0$, и эти втулки могут быть установлены без заклинивания по фаске на охватываемой поверхности, спроектированной для установки втулки с диаметром $D = 20,4$ мм, длиной $L = 20$ мм, $\mu = 0,3$ и $G = 10$ Н.

В третьей главе выполнено экспериментальное исследование соединения деталей с фасонными заходными фасками.

На рис. 10 показана схема экспериментальной установки, позволяющей моделировать фаску на охватывающей поверхности в предположении, что устанавливаемый вал 5 и поверхность фаски в процессе соединения контактируют в двух точках: A и B . Установка состоит из: 1 – плита, 2 – опора, 3 – направляющая планка и 4 – опоры.

На рис. 11 показана схема экспериментальной установки, позволяющей моделировать фаску на охватываемой поверхности также в предположении, что устанавливаемая втулка 1 и поверхность фаски (стержня 3 и ловителя 2) в процессе соединения контактируют в двух точках: A и B . Варьируемым параметром является также величина длины ловителя L_1 .

Определяемыми параметрами при выполнении экспериментов являлись координаты точки заклинивания (X_B, Y_B) , значения которых сравнивались с полученными теоретически.

Погрешность сходимости теоретических и экспериментальных результатов не превышает 12,4 % при принятом в расчетах значении

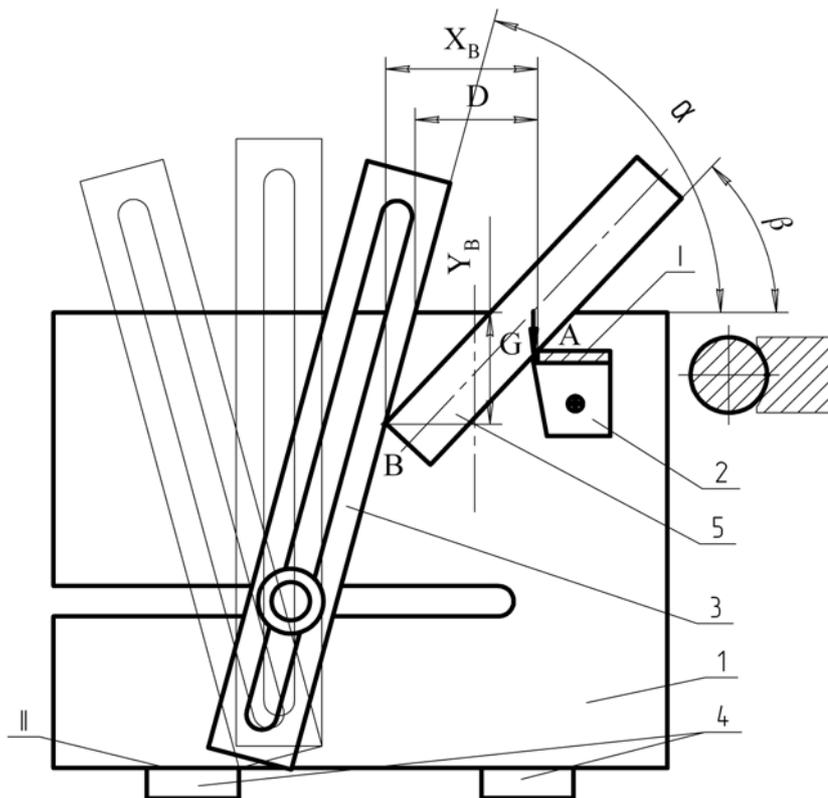


Рис. 10. Схема экспериментальной установки для моделирования заходных фасок на охватывающих поверхностях

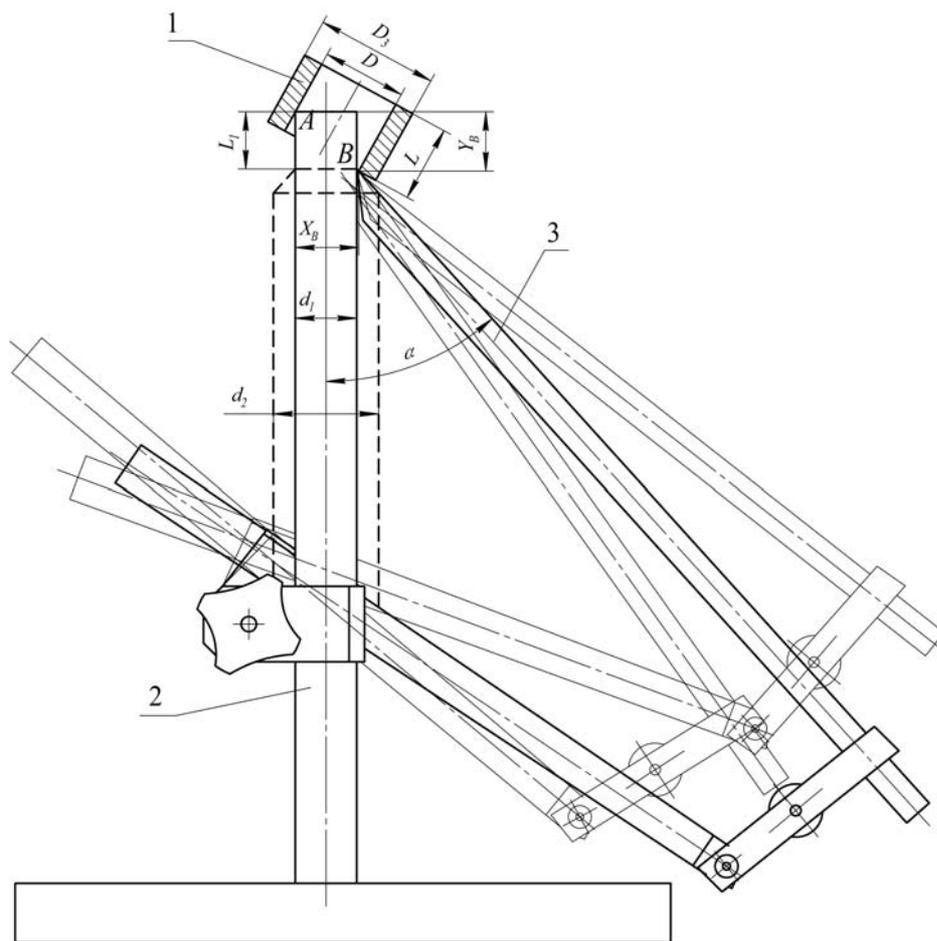


Рис. 11. Схема экспериментальной установки для моделирования заходных фасок на охватываемых поверхностях

приведенного коэффициента трения в местах контакта деталей $\mu = \mu_A = \mu_B = 0,3$. Выполненные эксперименты подтвердили адекватность принятых в теоретических исследованиях математических моделей.

В четвертой главе полученные расчетные модели реализованы при проектировании на основе параметров сборочного процесса заходных фасок на направляющих элементах технологической оснастки для установки ротора 1 в статор 2 электродвигателя (рис. 12).

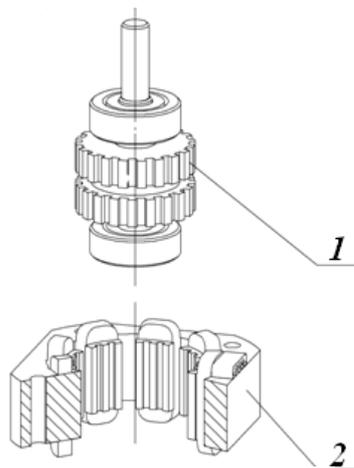


Рис.12. Ротор и статор электродвигателя

Наличие выраженных полюсов на статоре рассматриваемого электродвигателя позволяет разместить в пазах между полюсами направляющие элементы сборочной оснастки, обладающие достаточной жесткостью и позволяющие реализовать точностные требования к оснастке.

На рис. 13. показан один из направляющих элементов и основные геометрические параметры, характеризующие его конструкцию.

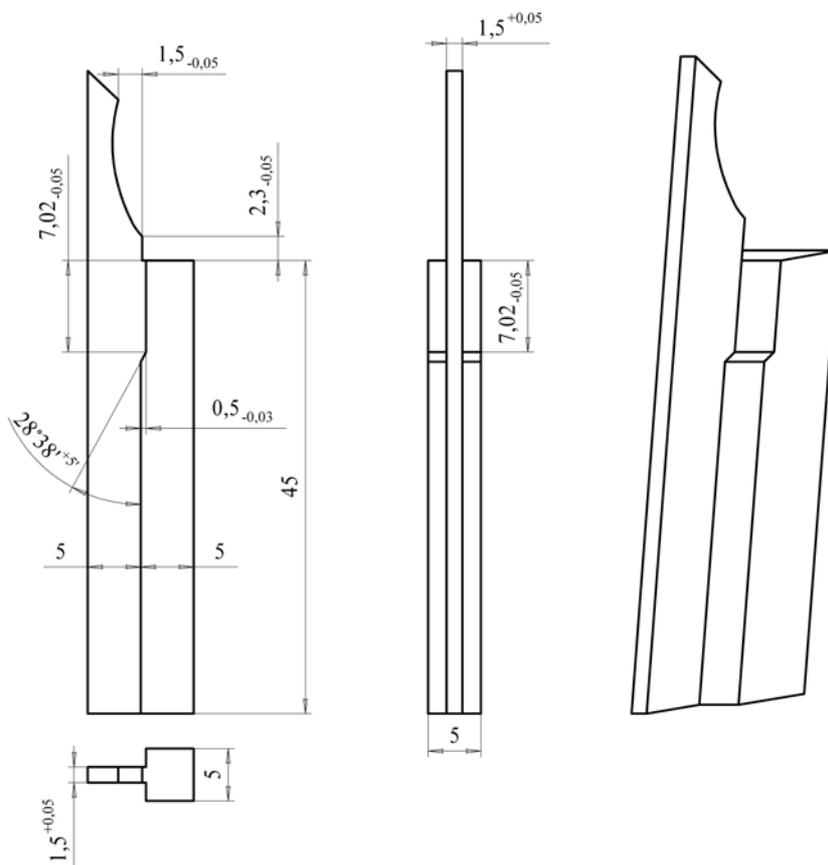


Рис. 13. Основные параметры направляющих элементов сборочного приспособления

На рис. 14 показана фотография изготовленного приспособления перед началом сборки, последовательность работы приспособления показана на рис. 15. На рис. 15а показано положение установленного статора на направляющих элементах. На рис. 15б показан начальный момент установки ротора в статор посредством направляющих элементов.

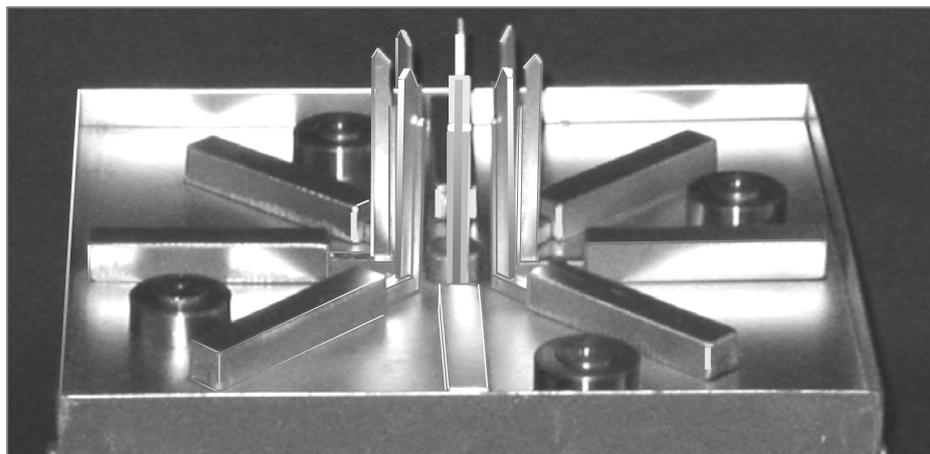


Рис. 14. Сборочное приспособление для автоматической установки ротора в статор

Исследования, выполненные посредством представленной сборочной оснастки, подтвердили возможность ее рационального использования для установки без заклинивания ротора в статор при сборке четырех типоразмеров электродвигателей.

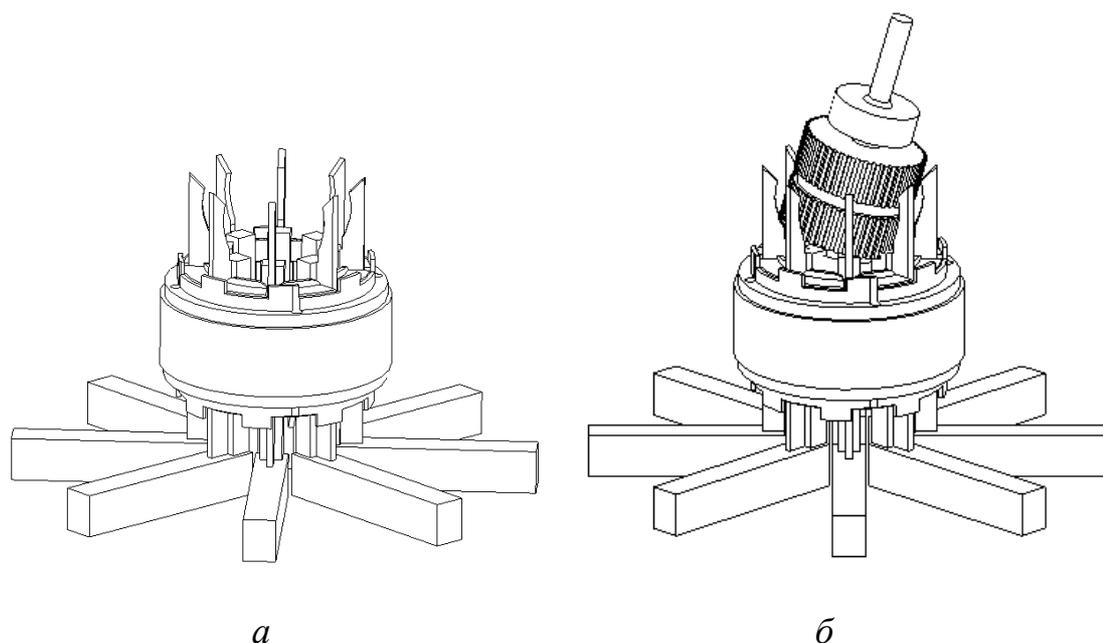


Рис. 15. Последовательность установки ротора в статор посредством направляющих элементов

Заключение и общие выводы:

1. Установлена и формализована технологическая взаимосвязь между геометрическими и физико-механическими параметрами сборочного процесса и формой заходных фасок на сопрягаемых поверхностях соединяемых деталей и направляющих элементов сборочной оснастки. Выявлены соответствующие геометрические и сило-моментные зависимости.

2. Формализовано решение задачи определения формы заходной фаски, исключая заклинивание деталей, соединяемых по цилиндрическим поверхностям, на основе заданных значений параметров сборочного процесса. Разработаны алгоритмы и программы для определения формы заходной фаски на ЭВМ. Это позволило спроектировать заходные фаски на охватывающих поверхностях, которые позволяют, используя поверхность фаски как двойную направляющую базу, устанавливать без заклинивания валы, например:

- диаметром 20 мм и длиной 80 мм в отверстие втулки с зазором 0,2 мм, при этом наружный диаметр фаски – 22 мм и допустимый начальный угол между осями сопрягаемых поверхностей – $24^{\circ}37'$;

- диаметром 20 мм и длиной 160 мм в отверстие втулки с зазором 0,2 мм, при этом наружный диаметр фаски – 50 мм и допустимый начальный угол между осями сопрягаемых поверхностей – $66^{\circ}25'$ и др.

Это позволило также спроектировать заходные фаски на охватываемых поверхностях, которые позволяют, используя поверхность фаски как двойную направляющую базу, устанавливать без заклинивания втулки с параметрами, например:

- диаметром отверстия во втулке 20,4 мм и длиной 53 мм на вал с зазором 0,2 мм, при этом допустимый начальный угол между осями сопрягаемых поверхностей – $16^{\circ}20'$;

- диаметром отверстия во втулке 60 мм и длиной 59 мм на вал с зазором 0,2 мм, при этом допустимый начальный угол между осями сопрягаемых поверхностей – $14^{\circ}35'$.

3. Установлено влияние параметров сборочного процесса (геометрических параметров соединяемых деталей, места приложения, направления и величины сборочной силы, значения коэффициента контактного трения и др.) на форму и размеры проектируемой заходной фаски, исключая заклинивание соединяемых посредством ее деталей. Например, при установке вала диаметром 20 мм и длиной 80 мм в отверстие втулки с зазором 0,2 мм при наружном диаметре фаски 22 мм и допустимом начальном угле между осями сопрягаемых поверхностей $24^{\circ}37'$ изменение принятого значения коэффициента трения в местах контакта сопрягаемых поверхностей с 0,1 до 0,2 и 0,3 приводит к увеличению длины фаски с 11 мм до 14 мм и 18 мм соответственно.

4. Обоснована возможность проектирования заходной фаски на направляющих элементах сборочной оснастки, обеспечивающей соединение деталей заданной номенклатуры без заклинивания. Так, например, были спроектированы направляющие элементы для сборочной оснастки с фаской на охватывающей поверхности, позволяющей устанавливать с ее помощью валы с

параметрами: диаметр 20 мм и длина 120 мм, диаметр 25 мм и длина 100 мм, диаметр 40 мм и длина 40 мм без изменения формы фаски на направляющих элементах оснастки. Также, например, были спроектированы направляющие элементы для сборочной оснастки с фаской на охватываемой поверхности, позволяющей устанавливать с ее помощью втулки с параметрами: диаметр отверстия 60 мм и длиной 59 мм, диаметром отверстия 90 мм и длиной 93 мм, диаметром 120 мм и длиной 124 мм без изменения формы фаски на направляющих элементах.

5. Спроектированы и изготовлены две экспериментальные установки, позволяющие моделировать форму заходных фасок на охватывающих и охватываемых поверхностях соответственно. В результате выполненных экспериментальных исследований на спроектированных установках подтверждена адекватность математических моделей, принятых в теоретических расчетах. Погрешность сходимости теоретических и экспериментальных результатов не превышает 12,4 %.

6. На основе выполненных исследований спроектированы заходные фаски на направляющих элементах сборочной оснастки для операции автоматической установки ротора в статор электродвигателя. Практические исследования, выполненные с помощью спроектированной оснастки, подтвердили возможность автоматизированного соединения четырех типоразмеров роторов и статоров электродвигателей (размеры сопрягаемых поверхностей наибольшего и наименьшего из которых отличаются на 27 %) без заклинивания и без изменения формы заходной фаски, что подтвердило эффективность принятых конструкторско-технологических решений.

Основное содержание диссертации отражено в следующих **опубликованных работах:**

1. Тин Сан. Анализ существующих методов и средств относительного ориентирования деталей при автоматической сборке соединения типа «вал-втулка» // Научные технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: Сб. статей. – М., 2006. – Т. 3. – С. 10-11.
2. Тин Сан. Проектирование формы заходных фасок на сопрягаемых поверхностях соединяемых деталей на основе параметров сборочного процесса // Научные технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: Сб. статей. – М., 2007. – Т. 4. – С. 10-12.
3. Малышев Е.Н., Тин Сан. Проектирование направляющих элементов сборочного процесса // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2007. – №12. – С. 38-41.
4. Тин Сан. Проектирование направляющих элементов для автоматической сборки электродвигателей // Научные технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: Сб. статей. – М., 2008. – Т. 3. – С. 14-16.