

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
ЖУРНАЛ

СБОРКА

В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ



ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ
ЖУРНАЛ ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ УТВЕРЖДЕННЫХ ВАК РФ ИЗДАНИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИЙ ТРУДОВ СОИСКАТЕЛЕЙ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ

6 2015
(179)

СОДЕРЖАНИЕ

Технологичность конструкции

Скворцова Д.А. Разработка дополнительных коэффициентов для оценки технологичности серийной сборки научноемких многокомпонентных изделий 3

Сборочное оборудование и его элементы

Авчинов И.А. Загрузочно-ориентирующие устройства для мелких деталей 8
Широкий А.В., Кристаль М.Г. Влияние структурной компоновки блоков технологической сист емы на произв одительность и надежность их функционирования 10

Современные технологии сборки

Божкова Л.В., Вар танов М.В., Зинина И.Н. Математическая модель роботизированной сборки с применением адапт ации и низк очастотных колебаний 16
Вашуков Ю.А. Исследование процессы постановки крепляющих элементов при обра зовании выс окоресурсных с оединений из деталей из композиционных материалов 21
Ковалёв В.Г., Ковалёв С.В., Скороходов Е.А. Электромонтаж методом прорезки изоляции 26
Кремлева Н.Г., Безрукова Т.В. Исследование процесса автоматической ротационной сборки цилиндрических деталей 29

Технологическая оснастка для сборки

Можегова Ю.Н., Князева И.А. Автоматизированное проектирование инструмента для изготовления изделий машиностроения 33

Сборка с использованием клеев

Есаулов В.В., Шишлов А.В., Ко лосков А.В., Рожко Т.Е. Исследование адгезионных свойств клея-герметика силиконового "Герсил-180" 38

В помощь конструктору, технологу

Спиридонов О.В. Технологические рас четы при сборке ре зьбовых соединений 43

Журнал распространяется по по дписке, к оторую можно оформить в любом почтовом отделении (индексы по каталогу "Роспечать" — 79748, Объединенному каталогу "Пресса Р оссии" — 84967, к каталогу "По чта Р оссии" — 60257) или непосредственно в издательстве

Тел.: (499) 269-54-98. Факс: (499) 269-48-97.

E-mail: sborka@mashin.ru

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Сборка в машиностроении, приборостроении", допускаются только с разрешения редакции и со ссылкой на источник информации.

Председатель
редакционного совета
Ф.М. МИТЕНКОВ, академик РАН

Редакционный совет

МОСКВА

А.С. ВАСИЛЬЕВ
(главный редактор), д.т.н., проф.
А.А. ГУСЕВ, д.т.н., проф.
М.В. ВАРТАНОВ, д.т.н., проф.
И.Н. ЗИНИНА, к.т.н., доц.
Ю.Л. ИВАНОВ, д.т.н.
Ю.Г. КОЗЫРЕВ, к.т.н.

А.И. КУМЕНКО, д.т.н., проф.
А.В. МЕДАРЬ, д.т.н.
Е.А. МИКРИН, д.т.н., акад. РАН
В.В. ПОРОШИН, д.т.н., проф.
Б.В. ШАНДРОВ, к.т.н., проф.
А.А. ШАТИЛОВ, к.т.н., доц.
А.Г. ХОЛОДКОВА, к.т.н., проф.
Г.А. ЯРКОВ, инж.

Региональные редсоветы

БЕЛГОРОД

Н.А. ПЕЛИПЕНКО, д.т.н.

БРЯНСК

О.А. ГОРЛЕНКО, д.т.н., проф.

ВЛАДИВОСТОК

Ю.Н. КУЛЬЧИН, д.т.н.,
чл.-кор. РАН

А.А. СУПОНИЯ, к.т.н.

ВОЛГогРАД

В.Г. КАРАБАНЬ, к.т.н., доц.
М.Г. КРИСТАЛЬ, д.т.н., проф.
В.И. ЛЫСАК, д.т.н., проф.,
чл.-кор. РАН

В.М. ТРУХАНОВ, д.т.н., проф.

ИЖЕВСК

И.В. АБРАМОВ, д.т.н., проф.
В.Г. ОСЕТРОВ, д.т.н., проф.

Б.А. ЯКИМОВИЧ, д.т.н., проф.

КАЗАНЬ

Р.И. АДГАМОВ, д.т.н., проф.

КОВРОВ

Ю.З. ЖИТНИКОВ, д.т.н., проф.

КОЛОМНА

Ю.Д. АМИРОВ, д.т.н., проф.

КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ

Б.Н. МАРЬИН, д.т.н.
А.М. ШПИЛЕВ, д.т.н., проф.

НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ

С.В. ДМИТРИЕВ, д.т.н.
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ, к.т.н.

НИЖНИЙ НОВГОРОД

С.В. ГОЛУБЕВ, инж.

ОМСК

В.Н. КОСТЮКОВ, д.т.н.

ОРЕЛ

Ю.С. СТЕПАНОВ, д.т.н., проф.
Г.А. ХАРЛАМОВ, д.т.н., проф.

ОРЕНБУРГ

А.Н. ПОЛЯКОВ, д.т.н., проф.
А.И. СЕРДЮК, д.т.н., проф.

Ответственные за подготовку и выпуск номера:

Ю.А. ЧИЧОВ, И.М. ГЛИКМАН

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ
по делам печати, телерадиовещания и средств массовых
коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ
№ 77-1747 от 25 февраля 2000 г.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ

УДК 004.38

Д.А. Скворцова

(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

E-mail: skvortsova.da@bmstu.ru

Разработка дополнительных коэффициентов для оценки технологичности серийной сборки научоемких многокомпонентных изделий

Разработаны дополнительные коэффициенты технологичности, позволяющие оценить эффективность технологических процессов серийной сборки на научоемких многокомпонентных изделиях. Проведен технологический анализ конструкции персонального компьютера и технологии его сборки с использованием этих коэффициентов.

Additional processability coefficients, allowing to estimate the efficiency of technological processes from the point of view of the assembly, are developed. Technological analysis of the PC design and technology of its assembly is carried out using these coefficients.

Ключевые слова: технология сборки приборов, коэффициент технологичности.

Keywords: assembly technology devices, processability coefficient.

Применительно к процессам сборки с использованием компонентного построения научоемких многокомпонентных изделий (НМКИ) и управления конфигурацией большое значение имеет обеспечение их технологичности, которая является ключевым параметром оценки эффективности разрабатываемой конструкции и операций технологических процессов сборки (ТПС) и может служить критерием оптимизации при проектировании.

На основании комплексного показателя технологичности проводят анализ слабых мест технологии, выбирают пути повышения качества с использованием всех основных взаимосвязанных параметров. Выбор окончательного варианта технологического маршрута будет основан на рассчитанных критериях оптимизации, в том числе коэффициентах технологичности.

Оценка технологичности при анализе сборочных единиц может осуществляться по показателям технологичности, разработанным в ГОСТ 14.201—83 — 14.204—83:

$$K_i = \frac{K_{\text{разр}}}{K_{\text{баз}}},$$

где K_i — комплексный показатель (коэффициент) технологичности;

$K_{\text{разр}}$ — показатель технологичности разрабатываемого изделия;

$K_{\text{баз}}$ — базовый показатель технологичности.

Для расчета K_i необходимо выделить те частные коэффициенты, которые будут отражать технологичность сборочного процесса. Комплексный коэффициент будет определяться, как произведение частных коэффициентов.

Итоговый коэффициент технологичности

$$k_{\text{техн}} = k_{\text{осв}} k_{\text{у.д}} k_{\text{у.м}} k_{\text{сб}} k_{\text{пов}} k_{\text{у.б}} k_{\text{o}} k_{\text{p}} k_{\text{и}}, \quad (1)$$

где $k_{\text{осв}}$ — коэффициент освоенности;

$k_{\text{у.д}}$ — коэффициент унификации деталей;



$k_{y,m}$ — коэффициент унификации материалов;

k_{cb} — коэффициент сборности;

k_{yb} — коэффициент установочных баз;

k_o — коэффициент обрабатываемости в сборе;

k_p — коэффициент регулируемости;

k_i — коэффициент испытаний.

Для оценки технологичности сборки НМКИ в условиях ГПС и роботизированных производств, включая установку программного обеспечения в потоке ГПС сборки, существующих коэффициентов, разработанных в ГОСТ 14.201—83 — 14.204—83, недостаточно, так как необходимо учитывать трудоемкость и структуру сборки с точки зрения выполнения этих операций сборщиками на рабочих местах и промышленными роботами. Оценку технологичности изделия и эффективности технологии сборки следует вести с использованием дополнительных коэффициентов, которые необходимо предварительно определить.

Определение дополнительных коэффициентов технологичности

Коэффициент сборочных координатных перемещений. Любая операция ТП автоматизированной сборки, особенно с применением промышленных роботов, должна быть разбита на элементарные переходы, которые, в свою очередь, состоят из элементарных координатных перемещений. Для моделирования элементарного перемещения необходимо составить его структурную, топологическую и математическую модели. Скорость выполнения технологического или вспомогательного перехода зависит от антропометрических и физиологических свойств операторов-сборщиков и параметров сборочных промышленных роботов. Траектория перемещения предмета труда будет основным фактором, оказывающим влияние на время выполнения переходов. Следовательно, важнейшим критерием оптимизации ТПС является коэффициент, учитывающий число координатных перемещений предмета труда в трехмерном технологическом пространстве с учетом трех угловых координат.

Очевидно, что при выполнении элементарного технологического или вспомогательного ходов путь завит от габаритов предмета труда. При этом оптимизации можно подвергнуть число координатных перемещений, необходи-

мых для выполнения действия. Таким образом, видно, что коэффициент $k_{cb,k,p}$ координатных перемещений для сборочной единицы должен учитывать число данных перемещений:

$$k_{cb,k,p} = \frac{n_{det}}{\sum_{i=1}^n m_{k,p_i}}, \quad (2)$$

где n_{det} — число деталей (собираемых компонентов) в сборочной единице;

m_{k,p_i} — число элементарных координатных перемещений при установке одного компонента сборочного комплекта;

i — число переходов в сборочных операциях.

Сумма, стоящая в знаменателе (2), показывает, сколько элементарных координатных перемещений необходимо осуществить для сборки изделия, например, при совершении ходов сборочного робота. В идеальном случае данный коэффициент должен быть равен единице, т. е. устанавливаемый элемент должен быть предварительно сориентирован, а сам процесс его установки состоять из единственного элементарного перемещения, совершающегося по одной или нескольким координатам одновременно.

Итоговый коэффициент $K_{cb,k,p}$ сборочных координатных перемещений для изделия в целом можно вычислить как среднее значение всех коэффициентов:

$$K_{cb,k,p} = \frac{\sum_{i=1}^j k_{cb,k,p_i}}{j}, \quad (3)$$

где j — число сборочных единиц.

Коэффициент технологичности электромонтажных соединений. Значительное увеличение штучного времени при сборке НМКИ, например персональных компьютеров, происходит из-за сложности выполнения электромонтажных операций: подключения сигнальных кабелей, кабелей питания для каждого отдельного элемента, присоединения плат в специальные разъемы с высокой точностью позиционирования и т. п. Многие из электромонтажных операций выполняют в условиях сложной доступности. При этом недостаточная точность выполнения может привести к отбраковке изделия.

Для оценки технологичности изделия с позиции выполнения такого рода операций следует ввести специальный коэффициент k_{em} технологичности электромонтажных соединений:



$$k_{\text{эм}} = \frac{n_{\text{б/к}}}{n_{\text{подкл}}} \left(1 - \frac{m_{\text{эм.оп}}}{m_{\text{оп}}} \right), \quad (4)$$

где $n_{\text{б/к}}$ — число беспроводных соединений; $n_{\text{подкл}}$ — общее число подключений; $m_{\text{эм.оп}}$ — число электромонтажных операций; $m_{\text{оп}}$ — общее число операций.

Из этого соотношения видно, что для повышения технологичности необходимо использовать беспроводные соединения и совместить операции по физическому и электрическому (сигнальному) соединениям.

Коэффициент технологичности установки и тестирования программного обеспечения. При установке и настройке программного обеспечения (ПО) временные затраты весьма значительны. Такого рода операции, как правило, осуществляются последовательно на полностью собранном изделии, и суммарное затраченное время будет зависеть от объема устанавливаемого ПО, быстродействия устанавливаемых физических компонентов выбранной конфигурации и квалификации рабочего. Однако, например, для персонального компьютера (ПК) установку ПО, настройку и тестирование комплекта материнской платы (МП), жесткого диска (ЖД), плат расширения (ПР) можно осуществлять до сборки этих элементов в корпус, на стенде, который позволяет осуществлять данные операции одновременно, например для 20 ЖД и 8 комплектов МП с ПР. Очевидно, что такая возможность повышает технологичность операции, которая должна выражаться с помощью специального коэффициента технологичности, связанного с установкой и тестированием ПО:

$$k_{\text{ПО}} = 1 - \frac{T'_{\text{уст}} + T'_{\text{тест}}}{T_{\text{уст}} + T_{\text{тест}}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{уст}}$ и $T_{\text{тест}}$ — время установки ПО и время тестирования и настройки для собранного экземпляра продукции;

$T'_{\text{уст}}$ и $T'_{\text{тест}}$ — время установки ПО и время тестирования при групповой обработке компонентов сборочного комплекта в приведении на одно изделие.

Полученные новые коэффициенты технологичности позволяют более эффективно оценить качество конструкции и эффективность ТП применительно к сборке НМКИ. Для обоснования выбора разработанного ТП необходимо провести оценку технологичности конструкции и ТП.

Расчет коэффициентов технологичности на примере ПК

Проведем расчет коэффициентов технологичности на примере сборки ПК для двух вариантов технологических процессов.

Конфигурация состоит из МП, процессора, устройства охлаждения процессора, вентилятора, плат расширения (3 шт.), оперативной памяти (2 шт.), шлейфов (4 шт.), ЖД (1 шт.), DVD диска (1 шт.), кабелей питания, корпуса, крышки корпуса, коробки, периферийского оборудования (мышь, клавиатура), документации, проводов питания, руководств, программ. Примем, что среднестатистическая конфигурация ПК состоит из 62 деталей, из них 30 стандартных деталей и 32 покупные.

При первом варианте ТП операции по сборке, настройке, тестированию и установке ПО происходят последовательно, за исключением копирования ПО, которое осуществляется одновременно на 20 ЖД. При втором варианте ТП установка ПО также ведется одновременно на 20 ЖД, а затем происходят настройка и тестирование одновременно восьми сборочных единиц (комплектов), состоящих из собранной МП и ЖД каждая, на одном рабочем месте.

Комплексный коэффициент технологичности $k_{\text{техн}}$ с учетом разработанных коэффициентов будет вычисляться по следующей формуле:

$$k_{\text{техн}} = k_{\text{осв}} k_{\text{у.д}} k_{\text{у.м}} k_{\text{сб}} k_{\text{у.б}} k_p k_i k_{\text{сб.к.п}} k_{\text{эм}} k_{\text{ПО}}, \quad (6)$$

где $k_{\text{осв}}$ — коэффициент освоенности компонентов;

$k_{\text{у.д}}$ — коэффициент их унификации;

$k_{\text{у.м}}$ — коэффициент унификации материалов;

$k_{\text{сб}}$ — коэффициент сборности;

$k_{\text{у.б}}$ — коэффициент установочных баз;

k_p — коэффициент регулируемости;

k_i — коэффициент испытаний;

$k_{\text{сб.к.п}}$ — коэффициент сборочных координатных перемещений;

$k_{\text{эм}}$ — коэффициент технологичности электромонтажных соединений;

$k_{\text{ПО}}$ — коэффициент групповой установки, тестирования и настройки ПО.

Для первого и второго вариантов ТП сборки персональных компьютеров коэффициенты $k_{\text{осв}} = 1$; $k_{\text{у.д}} = 1$; $k_{\text{у.м}} = 1$; $k_{\text{сб}} = 1$; $k_{\text{у.б}} = 1$; $k_p = 0,75$, так как для персональных компьютеров число сборочных единиц, подвергаемых регулировке и настройке, $N_p = 2$ шт., а общее число узлов в изделии $N = 8$; $k_i = 1$.



Для расчета коэффициента сборочных координатных перемещений необходимо привести его расчет для каждой операции (см. таблицу).

Итоговый коэффициент сборочных координатных перемещений согласно выражению (3)

$$K_{\text{сб.к.п}} = \frac{7,66}{23} = 0,33.$$

Коэффициент технологичности электромонтажных соединений определяют по формуле (4). Имеем число беспроводных соединений $n_{б/к} = 4$; общее число подключений $n_{\text{подкл}} = 12$; число электромонтажных переходов $m_{\text{эм.оп}} = 12$; общее число переходов ($m_{\text{оп}} = 25$). Тогда

$$k_{\text{эм}} = \frac{4}{12} \left(1 - \frac{12}{25} \right) = 0,17.$$

Коэффициент групповой установки, тестирования и настройки ПО $k_{\text{ПО}}$ находится по формуле (5). Для персональных компьютеров среднее время установки ПО на ЖД для еди-

ничного экземпляра $T_{\text{уст}} = 20$ мин; время тестирования и настройки ПО для единичного экземпляра продукции $T_{\text{тест}} = 40$ мин; время установки ПО на ЖД в приведении на один компонент при групповой обработке для стендов в 20 рабочих мест $T_{\text{уст}} = \frac{20}{20} = 1$ мин; удель-

ное время установки ПО и время тестирования в приведении на один компонент при групповой обработке 8 шт. — $T_{\text{тест}} = \frac{40}{8} = 5$ мин. Тогда для первого и второго вариантов ТП соответственно имеем: $k_{\text{ПО}}^1 = 1 - \frac{1+40}{20+40} = 0,31$; $k_{\text{ПО}}^2 = 1 - \frac{1+5}{20+40} = 0,9$.

Таким образом, согласно формуле (6) получим итоговый коэффициент технологичности:

Расчет коэффициента сборочных координатных перемещений ($k_{\text{сб.к.п}}$)

	Наименование операции	$n_{\text{дет}}$	$m_{\text{к.п.}}$	$k_{\text{сб.к.п}}$
Сборка комплекта	Соединение МП, процессора	2	3	0,67
	Установка устройства охлаждения для процессора	2	5	0,40
	Соединение устройства охлаждения и вентилятора	2	3	0,67
	Соединение МП и платы расширения	4	3·3	0,44
	Соединение МП и оперативной памяти	3	3·2	0,50
	Соединение МП и шлейфов	4	3·3	0,44
Подготовка корпуса	Соединение корпуса, вентилятора, винтов (2 шт.)	4	3 + 2·3	0,44
	Проделывание отверстий для интерфейсных и звуковых разъемов	3	3·6	0,17
	Вскрытие заглушки под платы расширения	3	3·6	0,17
	Вскрытие заглушки под дисководы	1	6	0,17
Сборка ПК	Установка DVD, фиксация четырьмя винтами	6	4 + 4·3	0,38
	Установка жесткого диска, фиксация четырьмя винтами	6	4 + 4·3	0,38
	Установка МП, фиксация девятью винтами	11	8 + 9·4	0,25
	Фиксация ПР на корпусе тремя винтами	7	3·4	0,58
	Подсоединение шлейфов	7	1 + 3·3·3	0,25
	Подключение кабеля питания	6 + 6	5·6	0,40
	Подключение дополнительных кабелей	6 + 2	6·5	0,26
Упаковка	Установка крышки корпуса и фиксация четырьмя винтами	7	2 + 2·6 + 4·3	0,27
	Сформирование коробки	1	20	0,05
	Укладка в коробку периферии, документации, проводов питания, руководств, учебников, программ и пр.	10	10·5	0,20
	Наклейка гарантийных стикеров, ярлыков на корпус	11	10·5	0,22
	Установка корпуса с заполнителем в коробку	6	8 + 4·4	0,25
	Заклейка коробки упаковочной лентой	2	20	0,10



для первого варианта ТП $k_{\text{техн}}^1 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \times 0,75 \cdot 1 \cdot 0,32 \cdot 0,17 \cdot 0,31 = 0,013$; для второго варианта ТП $k_{\text{техн}}^2 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 0,32 \cdot 0,17 \cdot 0,9 = 0,037$.

Выводы

По целому ряду показателей системный блок ПК имеет высокие показатели технологичности. В результате расчета установлено весьма высокое значение коэффициента групповой установки, тестирования и настройки ПО $k_{\text{по}} = 0,9$, что позволяет вести подобные операции в режиме общей конвейерной сборки. Особенности персональных компьютеров требуют определенных затрат времени на регулировку компонентов при $k_p = 0,75$. Особенно значительны резервы повышения технологичности посредством совершенствования конструкции корпуса по обобщенным показателям технологичности сборочных координатных перемещений ($K_{\text{сб.к.п}} = 0,32$) и выполнения электромонтажных соединений ($k_{\text{эм}} = 0,17$). Разработка новой более технологичной конструкции системного блока с показателями $k_{\text{сб.к.п}} \rightarrow 1$ и $k_{\text{эм}} \rightarrow 1$ позволит осуществить переход к роботизированной сборке персональных компьютеров.

Следовательно, для организации массового производства ПК необходимо провести оптимизацию в двух основных направлениях — усовершенствование конструкции и разработка более рационального ТПС — применительно к заданным условиям производства:

1) сборочные комплекты должны подаваться на рабочие места на одной паллете с использованием гибкого управляемого компьютером конвейера. При этом базовый компонент (корпус) должен быть зафиксирован в ориентированном положении;

2) сборку всех компонентов персонального компьютера целесообразно осуществлять при минимуме однотипных координатных перемещений, без поворота корпуса и компонентов. Для этого целесообразно разработать новый тип корпуса с целью максимально возможного использования сборочных роботов;

3) сборка малогабаритных компонентов должна осуществляться более технологично с минимальным числом координатных перемещений;

4) для установки высокотехнологичных компонентов со специальными разъемами

(процессор, платы расширения, оперативная память) в материнскую плату следует использовать приспособления, которые обеспечивают их точное взаимное позиционирование относительно базовой детали (МП), особенно при использовании сборочных ПР;

5) следует стремиться к использованию беспроводных электромонтажных соединений. Например, можно присоединять накопители и носители информации непосредственно к материнской плате. Питание всех элементов может осуществляться непосредственно через материнскую плату, для этого в ней необходимо предусмотреть специальную шину. В свою очередь, сама материнская плата подключается непосредственно к блоку питания;

6) совмещение операций сборки и электромонтажа;

7) оптимизация компоновки может осуществляться за счет уменьшения размеров комплектующих и, соответственно, самого персонального компьютера. Необходимо обеспечить эффективное использование внутреннего объема корпуса персонального компьютера при сохранении хорошей вентиляции и отвода тепловой энергии;

8) для уменьшения времени сборки необходимо разработать конструкцию с минимальным числом резьбовых соединений, при этом сами соединения должны быть равножесткими, разъемными и надежными. Например, вместо винтовых соединений следует использовать разъемные защелки, фиксаторы и другие упругие конструктивные элементы.

Библиографический список

- Безъязычный В.Ф., Непомилуев В.В.** Некоторые проблемы современного сборочного производства и перспективы их преодоления // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 8. С. 18—25.
- Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф., Сумароков С.В.** Управление жизненным циклом продукции. М.: Анахарсис, 2002. 304 с.
- Григорьева Н.С.** Гибкие модульные сборочные технологии // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 4. С. 11—19.
- Журавлев А.Н.** Разработка методологии структурно упорядоченной сборки сложных механических систем на основе декомпозиции взаимодействий соединений // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 9. С. 21—27.
- Кабалдин Ю.Г.** Основные проблемы атомной сборкиnanoструктур // Вестник машиностроения. 2009. № 4. С. 53—58.

СБОРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЕГО ЭЛЕМЕНТЫ

УДК 621.867.229.6

И.А. Авцинов, д-р техн. наук
(Воронежский государственный университет инженерных технологий)
E-mail: igor.awtzinov@yandex.ru

Загрузочно-ориентирующие устройства для мелких деталей

Представлена классификация устройств для манипулирования разнообразными мелкими изделиями и характерные конструкции оборудования с газовой тонкой несущей прослойкой для сборки специфических деталей.

The classification of devices to manipulate a variety of small items and describes the characteristic design of the equipment with gas thin layer of carrier assembly for specific details.

Ключевые слова: загрузка, деталь машинной обработки, устройства для ориентирования деталей, вибробункер, воздушная подушка.

Keywords: feeding, machined parts, devices for ordered orientation, vibratory bowl feeder, air cushion.

Огромное многообразие деталей, узлов, изделий и т. п., требующих ориентированной подачи к основному и вспомогательному технологическому оборудованию, привело к созданию разнообразных загрузочно-ориентирующих устройств. В общем случае, учитывая специфику деталей, можно разделить загрузочно-ориентирующие устройства на несколько типов (табл. 1).

В работах [1, 2] подробно представлены характерные типы деталей и изделий различных отраслей промышленности, для которых нежелателен жесткий фрикционный контакт

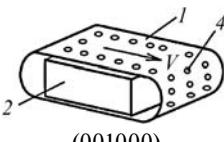
Таблица 1
Типы загрузочно-ориентирующих устройств

Особенности деталей	Тип загрузочно-ориентирующего устройства
Жесткие изделия с явно выраженным ключами ориентации	Бункерные и вибробункерные загрузочные устройства
Изделия, для которых жесткий фрикционный контакт недопустим	Устройства с газовой несущей прослойкой
Токопроводящие детали	Средства электромагнитного опознавания (ЭМАГО)
Легкие детали, обладающие способностью витания	Струйные ориентирующие устройства, пневмо- и гидробункеры
Непрозрачные детали	Системы технического зрения

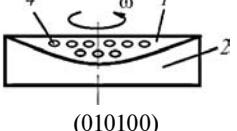
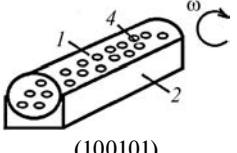
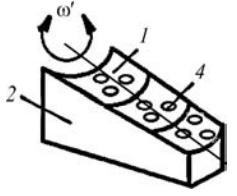
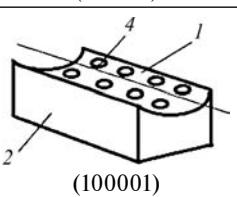
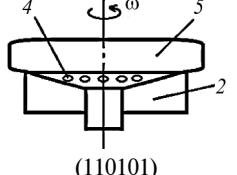
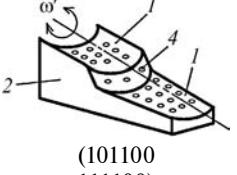
трущейся пары "изделие — несущая рабочая поверхность оборудования". Кроме того, в данных работах описаны основные конструктивные особенности устройств, использующих в своей работе эффекты тонкой газовой несущей прослойки, создаваемой между деталью и рабочей поверхностью ориентатора. Представленное там многофункциональное оборудование реализует операции загрузки и ориентирования.

С целью создания системы автоматизированного проектирования устройств, представ-

Таблица 2
Кодирование конструктивных особенностей устройств

Принципиальная схема устройства (код)	При-митивы кода	Форма и расположение рабочей поверхности	При-митивы кода	Движение рабочей поверхности	При-митивы кода	Реализуемые операции
 (001000)	00	Плоское ленточное полотно — горизонтальное	10	Горизонтальное поступательное	00	ПО, ККП, В, ТР, ТО, КМ

Продолжение табл. 2

Принципиальная схема устройства (код)	При-митивы кода	Форма и расположение рабочей поверхности	При-митивы кода	Движение рабочей поверхности	При-митивы кода	Реализуемые операции
 (010100)	01	Параболоид вращения — горизонтальное	01	Вращательное вокруг вертикальной оси	00	ПО, ККП, ЗОО, БП, В, СК, ТО
 (100101)	10	Полый круговой цилиндр — горизонтальное с наклоном	01	Вращательное вокруг горизонтальной наклонной оси	01	АО, ЗОО, ТР, ТО
 (111100)	11	Часть усеченного конуса — горизонтальное с наклоном	11	Колебательное вокруг горизонтальной наклонной оси	00	В, СК, ПО, АО, ТР, ТО
 (100001)	10	Часть полого горизонтального кругового цилиндра — горизонтальное	00	Без перемещения (при жестком соединении с камерой)	01	АО, ЗОО, ТО
 (110101)	11	Усеченный конус с кольцевой поверхностью — горизонтальное	01	Вращательное вокруг вертикальной оси	01	АО, ЗОО, ТР, ТО,
 (101100 111100)	10 11	Часть усеченного конуса с цилиндрической вставкой — горизонтальное с наклоном	11 11	Колебательное относительно наклонной горизонтальной оси	00 00	ПО, В, СК, ТР, ТО

Конструктивные особенности: 1 — рабочая поверхность; 2 — пневмокамера; 3 — сборочная головка; 4 — газоподводящие отверстия.

Вид движения рабочей поверхности: V — поступательное; ω — вращательное; ω' — колебательное.

Выполняемые операции манипулирования: ПО — пассивное ориентирование; АО — активное ориентирование; ККП — контроль качества поверхности; ЗОО — загрузка основного оборудования; БП — базирование, позиционирование; СК — сортировка, классификация; В — выбраковка; ТР — транспортировка; ТО — термообработка; КМ — контроль массы.

ленных в табл. 2, предлагается соответствующее кодирование.

Кодирование конструктивных особенностей устройств, представленных в табл. 2, а также специфических особенностей деталей и их геометрии позволит автоматизировать операцию выбора конкретного типа оборудования с необходимыми функциональными возможностями.

Библиографический список

1. Авчинов И.А., Битюков В.К., Маликов Д.Ю. Анализ специфических изделий и конструкций устройств для их манипулирования // Воронеж: Вестник ВГУИТ. 2013. № 4. С. 73–74.
2. Авчинов И.А., Кристаль М.Г., Маликов Д.Ю. Классификация устройств с газовой несущей прослойкой // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 2. С. 9–12.



**А.В. Широкий, канд. техн. наук (Волгоградский проектный филиал АО "Атомэнергопроект"),
М.Г. Кристаль, д-р техн. наук (Волгоградский государственный технический университет)
E-mail: shiroky_alex@mail.ru**

Влияние структурной компоновки блоков технологической системы на производительность и надежность их функционирования

Определены характеристики с ледующих структурных компоновок блоков технологической системы: с пос ледовательным соединением технологического оборудования без промежуточных накопителей; с параллельным функционированием единиц технологического оборудования; с параллельным резервированием. Для каждой структуры установлена зависимость коэффициента готовности от значений коэффициентов готовности составляющих единиц технологического оборудования. Указана область применения этих зависимостей.

It was determined the characteristics of these structural arrangements of blocks of technological systems: with series connection of manufacturing equipment without buffer storages; with parallel operation of manufacturing equipment units; with parallel reservation. For each structure it was determined the magnitude of its availability factor according to the component units of technological equipment availability factors. For these dependencies specified area of their application.

Ключевые слова: технологическое оборудование, предмет производства, интенсивность потока, степень последействия, коэффициент готовности, надежность функционирования.

Keywords: manufacturing equipment, main parts, rate of occurrence, degree of aftereffect, availability ratio, operational reliability.

Введение

В основе функционирования технологической системы (ТС) лежит технологический маршрут обработки, обеспечивающий последовательное выполнение технологических операций. В силу этого структура автоматической ТС, представляющая соединение единиц технологического оборудования (ETO_i) или их структурных блоков (BL_i) транспортными потоками предме-

тов производства (ПП), также последовательна (рис. 1). Здесь $i \in [1, 2, \dots, n]$. В асинхронных ТС между BL_i установлены межоперационные накопители ПП ($H_{(i-1)\dots i}$, $H_{i\dots(i+1)}$). В каждом i -м блоке находится k j -х единиц технологического оборудования ETO_{ij} ($j \in [1, 2, \dots, k]$). Внутри блока ETO_{ij} , в свою очередь, они также соединены транспортными потоками ПП в последовательные или параллельные структуры.

Одной из характеристик ТС является ее средняя производительность. Однако время выполнения той или иной операции каждым BL_i в ее составе и надежность их функционирования, как правило, отличаются друг от друга. Поэтому в ряде случаев для обеспечения заданной средней производительности объединяют параллельно k идентичных ETO_{ij} . Тогда входной поток ПП в BL_i разделяют на k входных потоков. Выходной поток ПП из BL_i формируется объединением k потоков, выходящих из ETO_{ij} . При низкой надежности отдельных ЕТО формируют блок BL_i , где предусмотрено параллельное резервирование основной ETO_i^{osc} резервной ETO_i^{rez} . При разработке последовательной линейной структуры ТС необходимо определить такую ее компоновку, которая обеспечивала бы заданную производительность с учетом отказов оборудования для различных схем резервирования.

Для этого следует оценить:

1) надежность функционирования BL_i для установления необходимости их резервирования или применения межоперационного накопления ПП для компенсации потерь в производительности при отказах и последующего восстановления оборудования;

2) возможность использования BL_i с параллельно работающими ETO_{ij} для случаев, когда частные производительности обработки ПП и

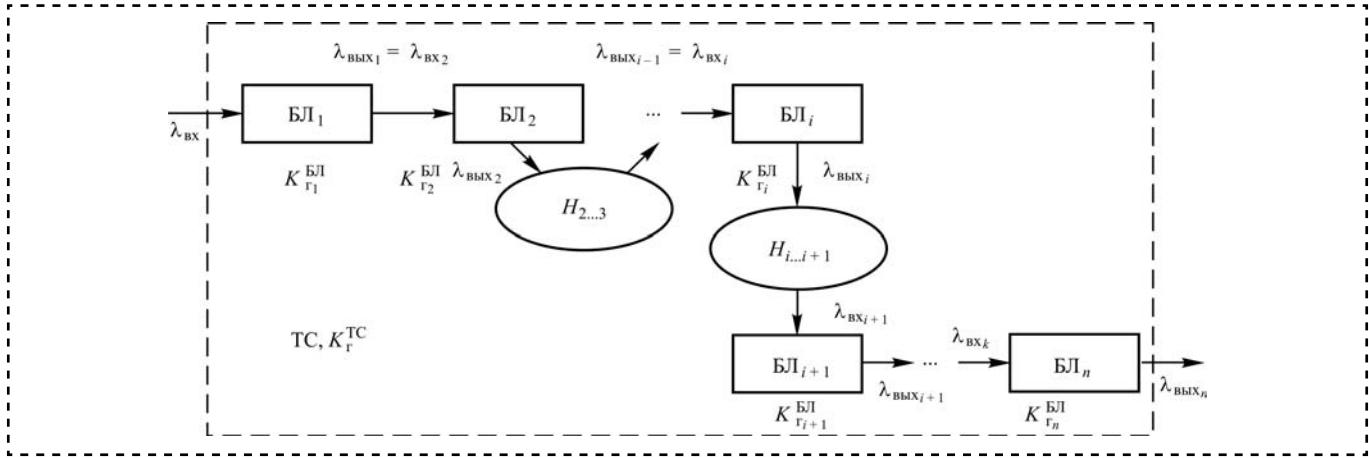


Рис. 1. Обобщенная структура технологической системы

надежности функционирования ETO_{ij} на соседних операциях технологического маршрута неодинаковы;

3) применимость в целом рассмотренной структуры ТС для достижения заданной средней производительности.

В перечисленных случаях речь идет об установлении и использовании взаимосвязей между производительностью, коэффициентом готовности K_g отдельных единиц оборудования и производительностью и коэффициентом готовности K_g^* i -го структурного блока БЛ $_i$ или ТС в целом ($i \in [1, n]$).

Рассмотрены следующие базовые структуры:

- БЛ $_i$, состоящий из k последовательно соединенных единиц оборудования, как идентичных, так и не идентичных, без устройств межоперационного накопления ПП;
- БЛ $_i$, состоящий из k соединенных и параллельно работающих ETO_{ij} , как идентичных, так и не идентичных. Здесь в каждый момент времени работает l из k ($l \leq k$) параллельно соединенных ETO_{ij} в зависимости от поступления или непоступления ПП от предыдущего оборудования;

• БЛ $_i$, состоящий из двух параллельных единиц идентичного оборудования: основной $ETO_{i1}^{осн}$ и резервной $ETO_{i2}^{рез}$ ($i \in [1, 2]$). При выходе из работоспособного состояния основной $ETO_{i1}^{осн}$ резервная вводится в эксплуатацию, подменяя неисправную основную, которая в это время восстанавливается. После чего цикл "работа—восстановление" повторяется.

Для установления взаимосвязи между параметрами структурных составляющих ТС и ее производительностью и надежностью в целом использована такая обобщенная характеристика надежности оборудования, как коэффициент готовности оборудования K_g , определяемый выражением [1]

$$K_g = T_p / (T_p + T_b), \quad (1)$$

где T_p — средний интервал времени безотказной работы оборудования;

T_b — средний интервал времени восстановления оборудования после отказов.

Технологический блок БЛ $_i$, состоящий из k последовательно соединенных единиц оборудования без устройств межоперационного накопления ПП

Основными характеристиками БЛ $_i$, состоящего из j последовательно соединенных ETO_{ij} без устройств межоперационного накопления деталей (рис. 2), являются надежность функционирования каждой j -й ETO_{ij} и ее производительность — $\lambda_{вых_{ij}}$ [2–8]. Надежность функционирования ETO_{ij} количественно оценивается коэффициентом готовности $K_{g_{ij}}$ (см. формулу (1)). В этом случае накопление в БЛ $_i$ потерь характеризуется величинами $T_{b_{ij}}$ таким образом, что доля потерь $T_{b_{ij}}/T_{p_{ij}}$ от каждой ETO_{ij} суммируется по всему интервалу значений k .

Это можно объяснить следующим образом. Простои каждой j -й ETO_{ij} состоят как из

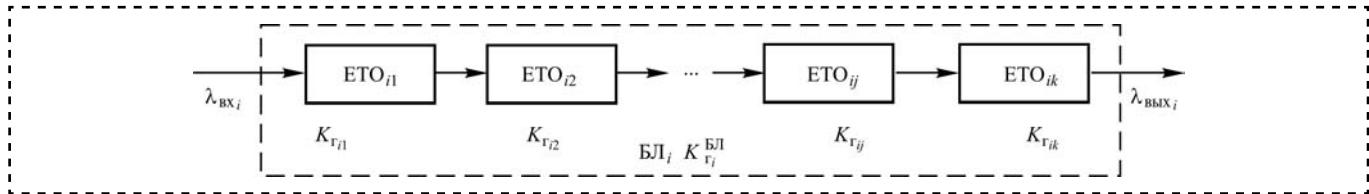


Рис. 2. Блок ТС, состоящий из k последовательно соединенных ЕТО

простоев вследствие собственной ненадежной работы, так и из-за наличия "жесткой" транспортной связи с предыдущей $\text{ETO}_{i(j-1)}$ и последующей $\text{ETO}_{i(j+1)}$. Из-за простоев предыдущей $\text{ETO}_{i(j-1)}$ ПП не поступают в рабочую зону ETO_{ij} . Это приводит к дополнительным ее простоям, а простои последующей $\text{ETO}_{i(j+1)}$ обуславливают невозможность освобождения рабочей зоны ETO_{ij} , что также приводит к дополнительным простоям.

В связи с этим авторами предложено определять коэффициент готовности $K_{\Gamma_i}^{\text{БЛ}}$ БЛ_{*i*}, состоящего из k последовательно соединенных единиц технологического оборудования без устройств межоперационного накопления деталей, по выражению

$$K_{\Gamma_i}^{\text{БЛ}} = \left(1 + \sum_{j=1}^k T_{B_{ij}} / T_{p_{ij}} \right)^{-1}. \quad (2)$$

Последовательное соединение k идентичных ETO_{ij} характеризуется равенством коэффициентов готовности: $K_{\Gamma_{i1}} = K_{\Gamma_{i2}} = K_{\Gamma_{ij}} = K_{\Gamma_k}$; $T_{p_{i1}} = T_{p_{i2}} = T_{p_{ij}} = T_{p_{ik}}$ и $T_{B_{i1}} = T_{B_{i2}} = T_{B_{ij}} = T_{B_{ik}}$. В этом случае выражение (2) приобретает следующий вид:

$$K_{\Gamma_i}^{\text{БЛ}} = \left(1 + k T_{B_{ij}} / T_{p_{ij}} \right)^{-1}. \quad (3)$$

Технический блок БЛ_{*j*}, состоящий из k единиц идентичного оборудования, соединенных и работающих параллельно

При определении характеристик БЛ_{*j*}, состоящего из k единиц оборудования, соединенных и работающих параллельно, принято, что в каждый момент времени в работе может одновременно находиться несколько ЕТО из k параллельно соединенных (или все вместе) в за-

висимости от степени их загрузки ПП от предыдущего оборудования ТС (см. рис. 2), а надежность функционирования каждой ETO_{ij} характеризуется коэффициентом готовности $K_{\Gamma_{ij}}$ (см. формулу (1)).

Параллельное соединение обусловливает компенсацию простоев, характерных для каждой ETO_{ij} , за счет ввода в работу другого оборудования, находящегося в данный момент времени в работоспособном состоянии. Компенсация простоев приводит к повышению коэффициента готовности $K_{\Gamma_i}^{\text{БЛ}}$. При этом на функционирование рассматриваемого блока оказывает влияние соотношение производительности λ_{vx_i} потока ПП, входящего в БЛ_{*i*}, и производительности обработки ПП $\lambda_{\text{vyix}_{ij}}$ в ETO_{ij} :

В случае, когда $\lambda_{\text{vx}_i} \geq \sum_{j=1}^k \lambda_{\text{vyix}_{ij}}$, что характеризует применение малопроизводительного (по сравнению с интенсивностью входящего в ТС потока ПП) оборудования, с ростом коэффициента готовности $K_{\Gamma_{ij}}$ каждого канала величина $K_{\Gamma_i}^{\text{БЛ}}$ будет иметь пропорциональное приращение вплоть до предельного значения $K_{\Gamma_i}^{\text{БЛ}} = 1$. Это соответствует отсутствию простоев каждой ETO_{ij} (при условии выполнения равенства $\lambda_{\text{vx}_i} = \sum_{j=1}^k \lambda_{\text{vyix}_{ij}}$).

В случае, когда $\lambda_{\text{vx}_i} < \sum_{j=1}^k \lambda_{\text{vyix}_{ij}}$, имеет место соответствие применения соизмеримого по производительности оборудования (по сравнению с интенсивностью входящего в ТС потока ПП), и с ростом коэффициента готовности $K_{\Gamma_{ij}}$ величина $K_{\Gamma_i}^{\text{БЛ}}$ не будет иметь пропорционального приращения в силу вынужденных простоев ETO_{ij} . С учетом этого установлено, что при $\lambda_{\text{vx}_i} < \sum_{j=1}^k \lambda_{\text{vyix}_{ij}}$ величина $K_{\Gamma_i}^{\text{БЛ}}$ стремится к предельному значению, равному единице, по

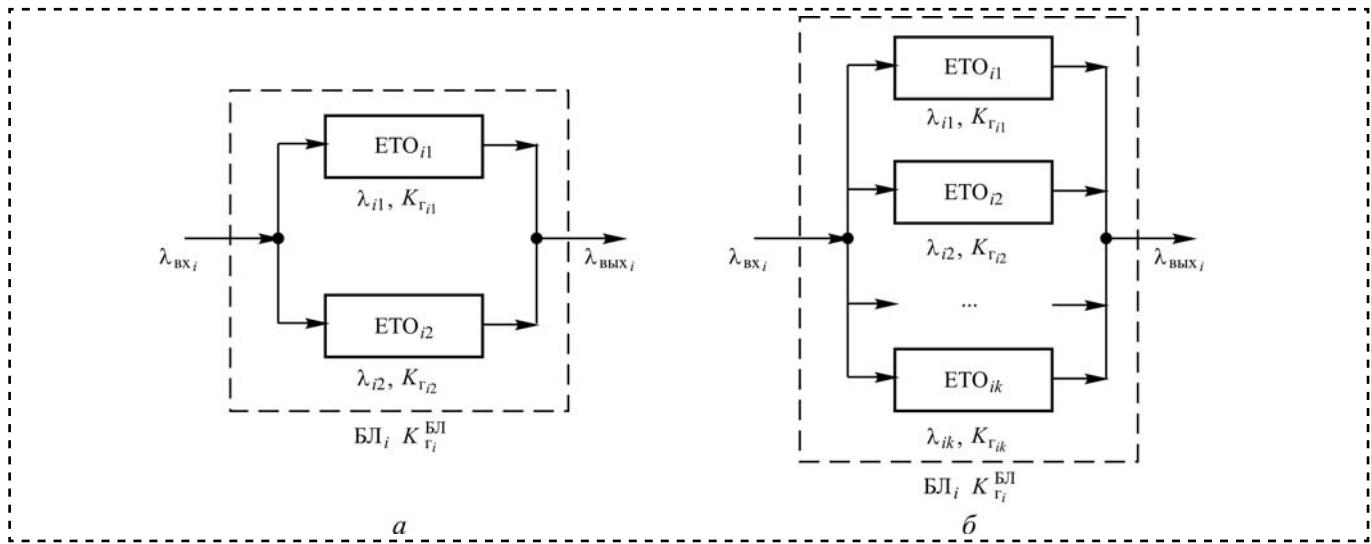


Рис. 3. Блок ТС, состоящий из k параллельно соединенных ЕТО:

a — $k = 2$; *б* — $k > 2$

некоторой нелинейной функции. Этим свойством обладает широкий диапазон разнообразных функций, например:

на основе экспонент

$$f(K_{r_{i1}}, K_{r_{i2}}, \dots, K_{r_k}) = a \left[1 - e^{-bf(K_{r_{i1}}, K_{r_{i2}}, \dots, K_{r_k})} \right];$$

$$f(K_{r_{i1}}, K_{r_{i2}}, \dots, K_{r_k}) = a / \left(1 + be^{-cf(K_{r_{i1}}, K_{r_{i2}}, \dots, K_{r_k})} \right);$$

на основе рациональных и степенных функций

$$f(K_{r_{ij}}) = \left[a + bf_1(K_{r_{ij}}) \right] / \left[1 + cf_2(K_{r_{ij}}) + df_3^2(K_{r_{ij}}) \right];$$

$$f(K_{r_{ij}}) = 1 / \left[a + bf_1(K_{r_{ij}}) + df_3^c(K_{r_{ij}}) \right],$$

где a, b, c, d — некоторые постоянные, определяемые величинами быстродействия и надежности ЕТО $_{ij}$, входящих в БЛ $_i$;

$f(K_{r_{ij}})$, $f_1(K_{r_{ij}})$, $f_2(K_{r_{ij}})$, $f_3(K_{r_{ij}})$ — функции от коэффициентов готовности ЕТО $_{ij}$;

$j \in (1, k)$ — номер ЕТО $_{ij}$, входящего в БЛ $_i$.

Параметры предложенных функций могут быть установлены по результатам наблюдения за работой БЛ $_i$ или имитационным моделированием его работы.

Технический блок БЛ $_i$, состоящий из идентичных основной ЕТО^{осн} и резервной ЕТО^{рез}

Резервирование ЕТО является распространенной практикой повышения величины $K_{r_i}^{БЛ}$

ТС при высокой вероятности отказов в системе (рис. 3). Непременным условием применения такой схемы является полная идентичность характеристик ЕТО^{осн} и ЕТО^{рез}.

Особенностью такой структуры БЛ $_i$ является то, что в каждый момент времени в работе находится только одна единица оборудования, параметры которой согласованы с параметрами потока ПП, входящего в БЛ $_i$, за исключением надежности функционирования. Такая схема организации применима не только в случае высокой вероятности отказов в системе, но и для БЛ $_i$, прекращение функционирования которой может привести к существенному экономическому, экологическому ущербу или ущербу жизни и здоровью обслуживающего персонала (населения). Применение резервирования в БЛ $_i$ позволяет сократить потери за счет перекрытия времени восстановления вышедшей из строя основной ЕТО^{осн} временем функционирования резервной ЕТО^{рез} и наоборот (рис. 4).

С использованием выражения (1) и схемы, представленной на рис. 5, можно записать:

$$K_{r_i}^{БЛ} = T_{p_i}^{БЛ} / (T_{p_i}^{БЛ} + T_{B_i}^{БЛ}),$$

где $T_{p_i}^{БЛ} = T_{p_i}^{\text{осн}} + T_{p_i}^{\text{рез}}$, $T_{p_i}^{БЛ} = T_{p_i}^{\text{осн}} - T_{p_i}^{\text{рез}}$, индексы "осн" и "рез" относятся, соответственно к основной и резервной ЕТО.

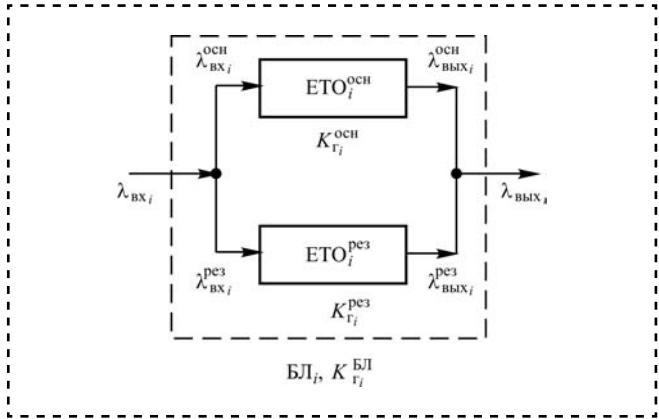


Рис. 4. Блок ТС, состоящий из двух идентичных ЕТО (основной и резервной)

Тогда:

$$K_{\Gamma_i}^{\text{БЛ}} = \left(T_{p_i}^{\text{осн}} + T_{p_i}^{\text{рез}} \right) / \left(T_{p_i}^{\text{осн}} + T_{B_i}^{\text{осн}} \right) = \\ = K_{\Gamma_i}^{\text{осн}} + T_{p_i}^{\text{рез}} / \left(T_{p_i}^{\text{осн}} + T_{B_i}^{\text{осн}} \right). \quad (4)$$

При идентичности характеристик $\text{ETO}_{\text{осн}}^i$ и $\text{ETO}_{\text{рез}}^i$ в выражении (4) можно заменить индексы в знаменателе второго слагаемого с "осн" на "рез", и в таком случае коэффициент $K_{\Gamma_i}^{\text{БЛ}}$ готовности БЛ_i с резервированием может быть описан элементарным выражением вида

$$K_{\Gamma_i}^{\text{БЛ}} = K_{\Gamma_i}^{\text{осн}} + K_{\Gamma_i}^{\text{рез}}, \quad K_{\Gamma_i}^{\text{БЛ}} \leq 1, \quad (5)$$

где $K_{\Gamma_i}^{\text{осн}}$ и $K_{\Gamma_i}^{\text{рез}}$ – коэффициенты готовности $\text{ETO}_{\text{осн}}^i$ и $\text{ETO}_{\text{рез}}^i$, а ограничение $K_{\Gamma_i}^{\text{БЛ}} \leq 1$ вводится исходя из определения этого параметра по выражению (1) и соотношения величин $T_{p_i}^{\text{рез}}$ и $T_{B_i}^{\text{осн}}$ в выражении (4). При $T_{p_i}^{\text{рез}} = T_{B_i}^{\text{осн}}$ перекрытие времени восстановления вышедшего из строя $\text{ETO}_{\text{осн}}^i$ временем функционирования $\text{ETO}_{\text{рез}}^i$ является полным, что соответствует максимальной величине $K_{\Gamma_i}^{\text{БЛ}} = 1$. Одновременно с этим равенство $T_{p_i}^{\text{рез}} = T_{B_i}^{\text{осн}}$ (при идентичности характеристик обеих ЕТО) позволяет говорить о том, что при значениях $K_{\Gamma_i}^{\text{осн}}$ и $K_{\Gamma_i}^{\text{рез}}$, начиная с 0,5 и более, максимальное значение $K_{\Gamma_i}^{\text{БЛ}} = 1$.

В случае, когда характеристики $\text{ETO}_{\text{осн}}^i$ идентичны характеристикам $\text{ETO}_{\text{рез}}^i$, т.е. при $K_{\Gamma_i}^{\text{осн}} = K_{\Gamma_i}^{\text{рез}} = K_{\Gamma_i}$, выражение (5) может быть переписано в виде

$$K_{\Gamma_i}^{\text{БЛ}} = 2K_{\Gamma_i}^{\text{осн}} = 2K_{\Gamma_i}^{\text{рез}} = 2K_{\Gamma_i}, \quad K_{\Gamma_i}^{\text{БЛ}} \leq 1. \quad (6)$$

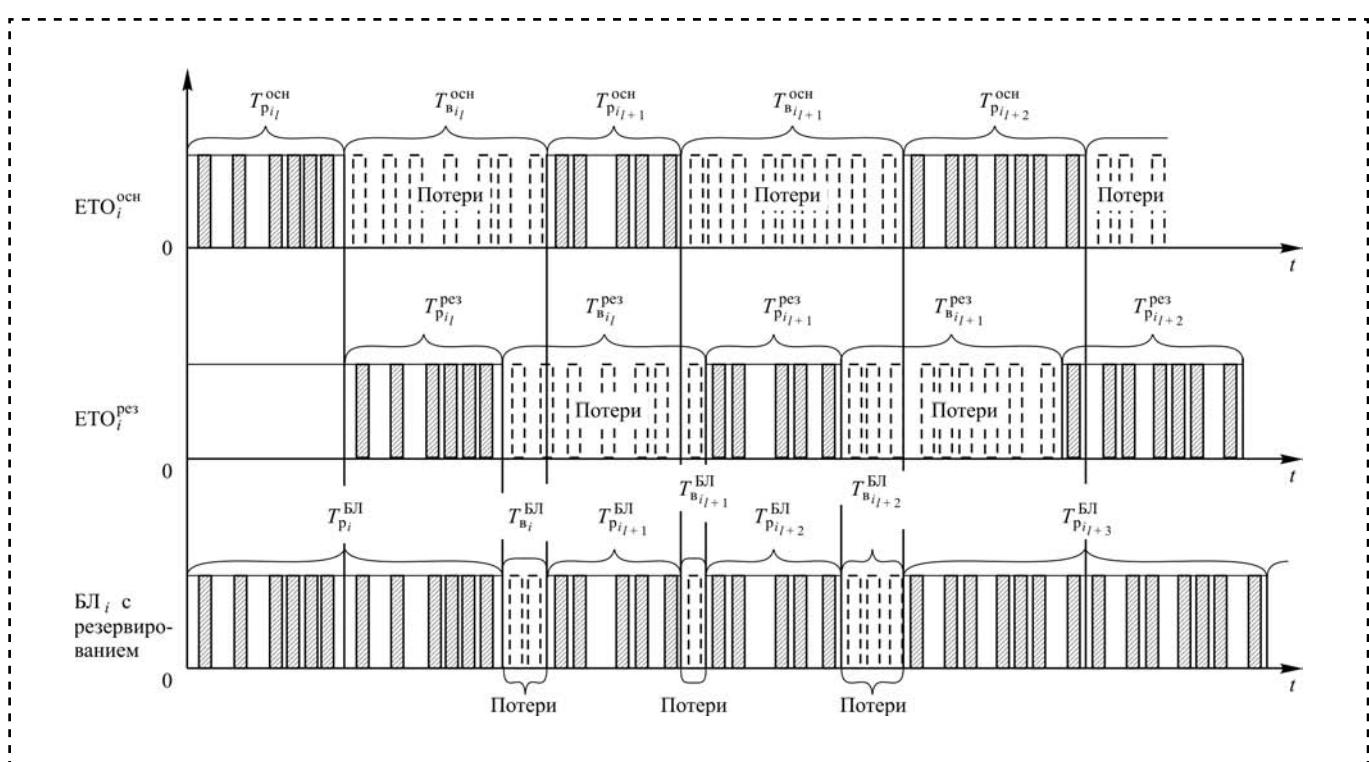


Рис. 5. Перекрытие времени восстановления основной ЕТО временем функционирования резервной ЕТО (здесь индекс i – номер очередного этапа перекрытия)



Выводы

1. Сформулированы основные требования, предъявляемые к структуре блока технологической системы, и основные приемы его построения для достижения заданной производительности и надежности функционирования.

2. Рассмотрена работа наиболее часто встречающихся в практике проектирования типов объединения ЕТО в структурные блоки (последовательное, параллельное, параллельное с резервированием). Предложены зависимости, связывающие коэффициенты готовности, составляющие соответствующий блок, и коэффициент готовности его в целом. Для случая параллельного объединения ЕТО с возможностью их одновременной работы установлено влияние соотношения производительности входящего в блок потока ПП и суммарной интенсивности обработки ПП в блоке на вид функциональной зависимости $f(K_{\Gamma_{i1}}, K_{\Gamma_{i2}}, \dots, K_{\Gamma_k})$.

3. Для определения вида функции $f(K_{\Gamma_{i1}}, K_{\Gamma_{i2}}, \dots, K_{\Gamma_k})$ требуется выполнить экспериментальную оценку функционирования блоков ТС, состоящей из к единиц идентичного оборудования, соединенных и работающих параллельно, и статистически обработать полученные данные по периодам работы и восстановления ЕТО, входящих в нее. При этом в условиях известных закономерностей (установленных более ранними исследованиями), которым подчинено функционирование ТС, выполнение имитационного моделирования ее работы представляется более предпочтительным, так как позволит выявить общие взаимосвязи, ха-

рактерные для функционирования такого типа систем без привязки к особенностям какого-либо технологического процесса.

4. Установлены ограничения для предложенных выражений коэффициентов готовности рассмотренных блоков ТС с указанием наиболее перспективных областей их применения.

Библиографический список

1. ГОСТ 2 7.002—89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 2002.
2. Технология автоматической сборки / А.Г. Холодкова и др.; под ред. А.Г. Холодковой. М.: Машиностроение, 2010. 560 с.
3. Кристаль М.Г., Широкий А.В. Имитационное моделирование потоков ПП в каналах питания технологического оборудования // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2004. № 11. С. 22—26.
4. Кристаль М.Г., Труханов В.М. Влияние характеристик потоков ПП на надежность функционирования автоматических сборочных устройств // Надежность сложных технических систем типа подвижных установок на этапах производства и эксплуатации. М., 2005. С. 120—128.
5. Кристаль М.Г., Широкий А.В., Чувилин И.А. Новый подход в определении объема накопителя ПП // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2007. № 12. С. 6—9.
6. Бабушкин М.Н., Кристаль М.Г. Перспективы повышения производительности автоматических сборочных систем // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2003. № 8. С. 22—29.
7. Кристаль М.Г. Производительность и надежность сборочных автоматов. Волгоград: Изд. ВолгГТУ, 2011. 159 с.
8. Широкий А.В., Кристаль М.Г. Модели распределения случайных интервалов времени между предметами производства в транспортных потоках сборочного оборудования // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 10. С. 28—32.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ

УДК 621.71

Л.В. Божкова, М.В. Вартанов, д-ра техн. наук, И.Н. Зинина, канд. техн. наук
(Московский государственный машиностроительный университет — МАМИ)
E-mail: iptm@mami.ru

Математическая модель роботизированной сборки с применением адаптации и низкочастотных колебаний

Модель позволяет определить силы реакции в точках контакта деталей и моменты изменения условий контакта в процессе соединения, следовательно, условия зажимивания деталей могут быть найдены в процессе сопряжения. Показано и спользование адаптивного схватом для сопряжения деталей.

Model allows to determine the reactions at the points of contact details and moments of changes conditions of contact during the time. Consequently, the conditions of jamming of parts can be found in the process of conjugation. Demonstrates the use of adaptive gripper for pairing details.

Ключевые слова: динамика сборки, роботизированная сборка, соединения вал—втулка, вибрационное устройство, адаптивный схват.

Keywords: dynamics of assembly, robotic assembly, shaft-bush, vibrating device, adaptive gripper.

Из теории автоматической сборки и промышленной практики известно, что обеспечение условий собираемости является технически сложным при жестком базировании деталей. Следствием жесткого базирования является возникновение заклинивания деталей и, значит, низкая технологическая надежность.

Ранее авторами была доказана возможность применения низкочастотных колебаний для роботизированной сборки цилиндрических и профильных валов [1, 2]. Теоретически процесс был описан только для относительного ориентирования деталей. Сопряжение деталей изучалось только на основе физического эксперимента.

Кинематика процесса такова. Базовая деталь расположена на виброустройстве, а уста-

навливаемая деталь — в адаптивном схвате робота (рис. 1). Базовая деталь совершает низкочастотные колебания относительно двух горизонтальных взаимно перпендикулярных осей. Схват робота совершает перемещения по оси сборки.

Для определенности введены три системы координат:

$Oxyz$ — неподвижная система координат;

$Ox_1y_1z_1$ и $O\xi\eta\zeta$ — координатные системы, жестко связанные с первым и вторым звеном виброустройства. Координатная система $c_2x_2y_2z_2$ жестко связана со схватом робота.

Вибрационное устройство совершает колебания относительно осей Oy и Oy_1 по гармоническим законам.

На первом этапе решения задачи авторы изучали одноточечный контакт. При этом возможны два случая:

1) контакт по образующей устанавливаемой детали (вала) (рис. 2, а);

2) контакт торца устанавливаемой детали с отверстием базовой детали (рис. 2, б).

Для каждого контакта соединяемых деталей необходимо написать дифференциальные уравнения движения центра масс (точка C) вала в неинерциальной системе координат $O\xi\eta\zeta$, которая жестко связана с базовой деталью.

Дифференциальные уравнения относительного движения центра масс вала в форме второго закона Ньютона имеют вид [3]

$$m\bar{a}_{cr} = m\bar{g} + \bar{N}_1 + \bar{F}_f^{(1)} + \bar{F}^{el} + \bar{F}_{ce}^{fict} + \bar{F}_{cC}^{fict} + \bar{F}, \quad (1)$$

где \bar{a}_{cr} — относительное ускорение центра масс вала;

$m\bar{g}$ — сила тяжести вала;

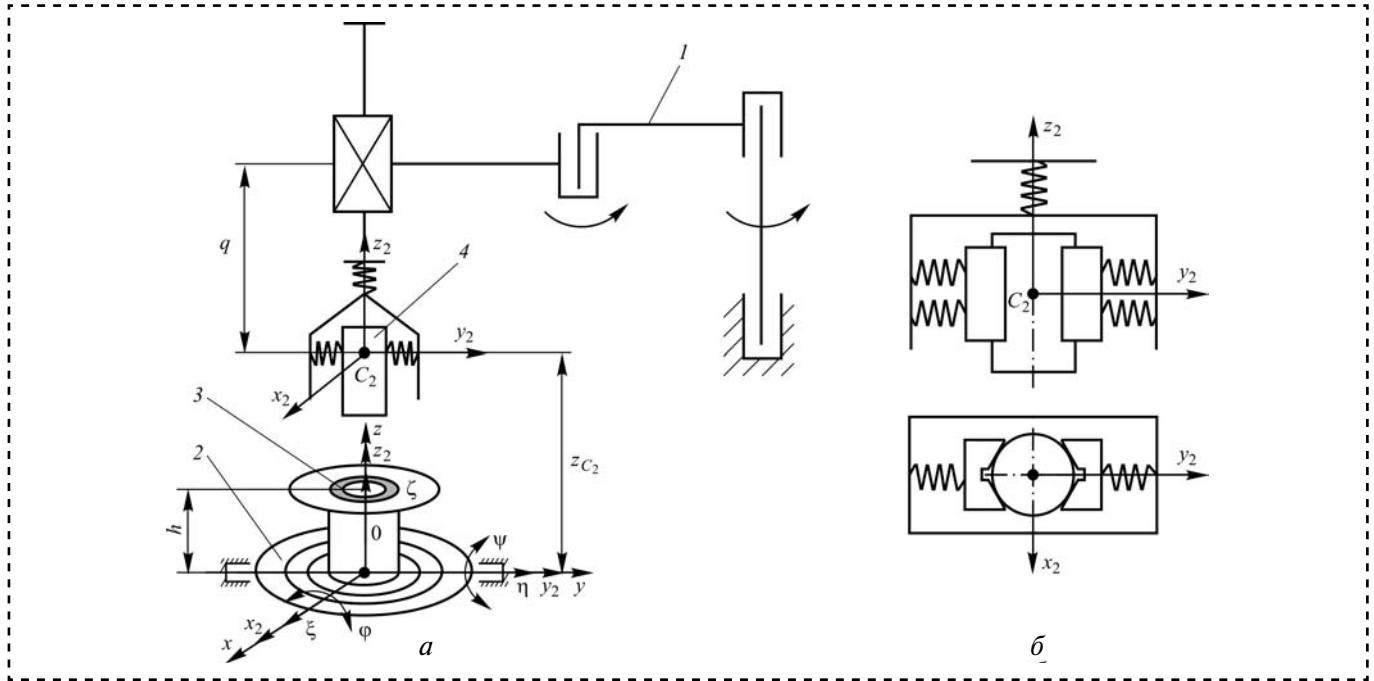


Рис. 1. Кинематическая схема роботизированной сборки с виброустройством:

a — кинематическая схема (*1* — робот; *2* — вибрационное устройство; *3* — базовая деталь (втулка); *4* — присоединяемая деталь (вал)); *b* — адаптивный хват

$\bar{N}_1, \bar{F}_f^{(1)}$ — соответственно нормальная сила реакции и сила трения в точке K_1 (рис. 2, *a*);

\bar{F}^{el} — результирующая сила упругости схваты;

$\bar{F}_{ce}^{fict}, \bar{F}_{cC}^{fict}$ — соответственно переносная сила и кориолисова сила инерции центра масс вала;

\bar{F} — сборочное усилие.

Дифференциальное уравнение (1) представлено в проекциях на оси координат системы $O\xi\eta\zeta$. В этом случае проекции сил определяются посредством аппарата матриц преобразования однородных координат [4]. В результате получены уравнения движения центра масс в неинерциальной системе координат.

С учетом работы [1] найдены проекции сил упругости \bar{F}^{el} , переносных и кориолисовых сил инерции центра масс вала $\bar{F}_{ce}^{fict}, \bar{F}_{cC}^{fict}$ и сборочной силы \bar{F} на оси системы координат $O\xi\eta\zeta$.

Созданные уравнения движения центра масс вала для одноточечного контакта необходимы для нахождения проекций нормальной силы реакции \bar{N}_1 и силы трения $\bar{F}_f^{(1)}$ (рис. 2, *a*) на оси координатной системы $O\xi\eta\zeta$.

Дифференциальные уравнения движения центра масс вала в проекциях на оси подвижной системы координат имеют следующий вид:

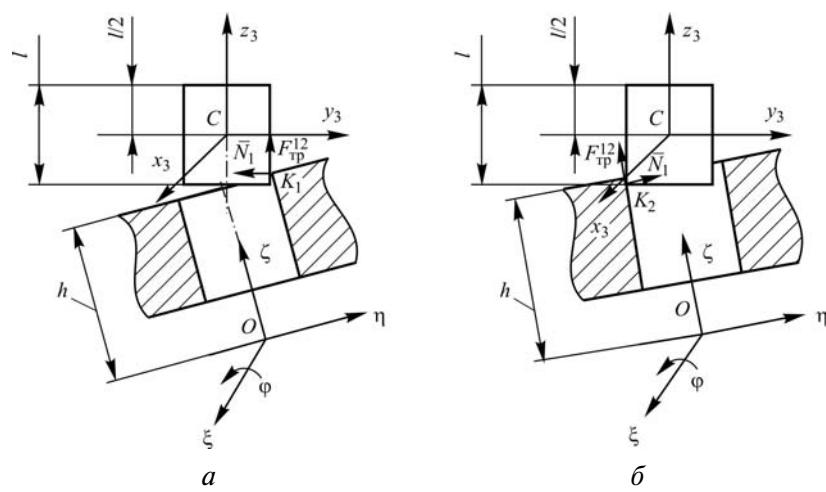


Рис. 2. Условия одноточечного контакта:

a — контакт по образующей вала с торцом отверстия базовой детали; *b* — контакт торца вала с отверстием базовой детали

$$\begin{aligned}
 m\ddot{\xi}_c &= -fN_1\psi - c(\xi_c + z_{c2}\psi) + m(\xi_c\dot{\psi}^2 - \\
 &- \eta_c\ddot{\psi}\varphi - 2\eta_c\dot{\psi}\dot{\varphi} - \zeta_c\ddot{\psi} + 2\zeta_c\dot{\psi}\dot{\varphi}\varphi) + \\
 &+ m(-2\dot{\psi}\zeta_c - 2\dot{\eta}_c\dot{\psi}\varphi) + F\psi; \\
 m\ddot{\eta}_c &= -N_1 + fN_1\varphi - c(\eta_c - z_{c2}\varphi) + \\
 &+ m(\xi_c\ddot{\psi}\varphi + \eta_c\dot{\varphi}^2 + \zeta_c\dot{\psi}^2\varphi + \zeta_c\ddot{\varphi}) + \\
 &+ m(2\dot{\xi}_c\dot{\psi}\varphi + 2\dot{\zeta}_c\dot{\varphi}) - F\varphi; \\
 m\ddot{\zeta}_c &= N_1\varphi + fN_1 - c(\zeta_c - z_{c2}) + \\
 &+ m(\xi_c\ddot{\psi} + \eta_c\dot{\psi}^2\varphi - \eta_c\ddot{\varphi} + \zeta_c\dot{\varphi}^2 + \zeta_c\dot{\psi}^2) + \\
 &+ m(-2\dot{\eta}_c\dot{\varphi} + 2\dot{\xi}_c\dot{\psi}) - F,
 \end{aligned} \tag{2}$$

где f — коэффициент трения; c — жесткость пружин; m — масса детали.

Полученные дифференциальные уравнения определяют относительное движение центра масс вала в контактных точках.

В случае контакта в точках K_1 и K_2 центр масс вала имеет на одну степень свободы меньше. Принимая в расчет условия контакта, находим координату z_c :

$$z_c = h + l + r\varphi - vt, \tag{3}$$

где h — конструктивный параметр;

l — длина детали;

r — радиус вала;

φ — угол наклона вала;

v — скорость движения схвата;

t — время.

Основываясь на трех уравнениях системы (2) и контактных условиях, можно найти нормальную реакцию N_1 :

$$\frac{N_1}{m} = \frac{1}{(f + \varphi)} \times \\
 \times \left[\begin{array}{l} r\ddot{\varphi} + \frac{c}{m}(\zeta_c - z_{c2}) - \\
 - (\xi_c\ddot{\psi} + \eta_c\dot{\psi}^2\varphi - \eta_c\ddot{\varphi} + \zeta_c\dot{\varphi}^2 + \zeta_c\dot{\psi}^2) - \\
 - (-2\dot{\eta}_c\dot{\varphi} + 2\dot{\xi}_c\dot{\psi}) + \frac{F}{m} \end{array} \right]. \tag{4}$$

Согласно выражениям (3) и (4) в первых двух уравнениях системы (2) получаем два дифференциальных уравнения движения детали (вала) относительно базовой в случае одноточечного контакта (точка K_1 на рис. 2).

В случае контакта в точке K_2 похожими рассуждениями получены дифференциальные уравнения движения центра масс относитель-

но вибрационного диска и найдена координата η_c ($R - r$ — зазор в соединении):

$$\begin{cases} \ddot{\xi}_c = -f \frac{N_2}{m} \frac{l\dot{\psi} + \dot{\xi}_c}{\sqrt{(l\dot{\psi} + \dot{\xi}_c)^2 + (r\dot{\varphi} + \dot{\zeta}_c)^2}} - \\ - \frac{c}{m}(\xi_c + z_{c2}\psi) + \xi_c\dot{\psi}^2 - \eta_c\ddot{\psi}\varphi - 2\eta_c\dot{\psi}\dot{\varphi} - \\ - \zeta_c\ddot{\psi} + 2\zeta_c\dot{\psi}\dot{\varphi}\varphi - 2\dot{\psi}\zeta_c - 2\dot{\eta}_c\dot{\psi}\varphi + \frac{F}{m}\psi; \\ \ddot{\zeta}_c = -f \frac{N_2}{m} \frac{r\dot{\varphi} + \dot{\zeta}_c}{\sqrt{(l\dot{\psi} + \dot{\xi}_c)^2 + (r\dot{\varphi} + \dot{\zeta}_c)^2}} - \\ - \frac{c}{m}(\zeta_c - z_{c2}) + \xi_c\ddot{\psi} + \eta_c\dot{\psi}^2\varphi - \eta_c\ddot{\varphi} + \zeta_c\dot{\varphi}^2 + \\ + \zeta_c\dot{\psi}^2 - 2\dot{\eta}_c\dot{\varphi} + 2\dot{\xi}_c\dot{\psi} - \frac{F}{m}; \\ \frac{N_2}{m} = l\ddot{\varphi} + \frac{c}{m}(\eta_c - z_{c2}\varphi) - \\ - (\xi_c\ddot{\psi}\varphi + \eta_c\dot{\varphi}^2 + \zeta_c\dot{\psi}^2\varphi + \zeta_c\ddot{\varphi}) - \frac{F}{m}\varphi; \\ \eta_c = -(R - r) + l\varphi. \end{cases} \tag{5-6-7}$$

На основе математической модели выполнены компьютерное моделирование и экспериментальные исследования. Моделирование показало, что центр масс вала асимптотически приближается к оси отверстия базовой детали при определенных параметрах процесса.

Для проверки адекватности математической модели была создана экспериментальная установка (рис. 3).

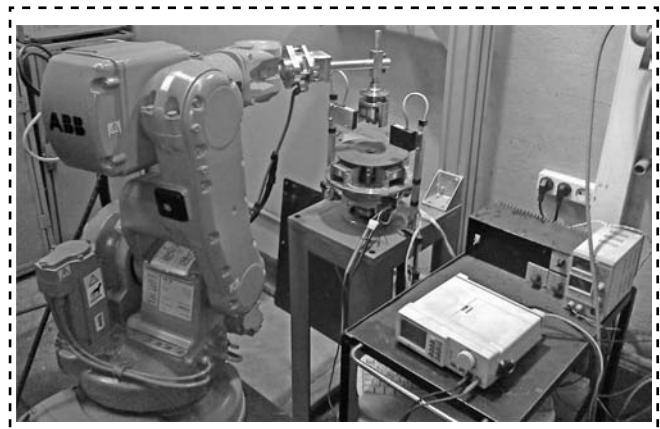


Рис. 3. Экспериментальная установка

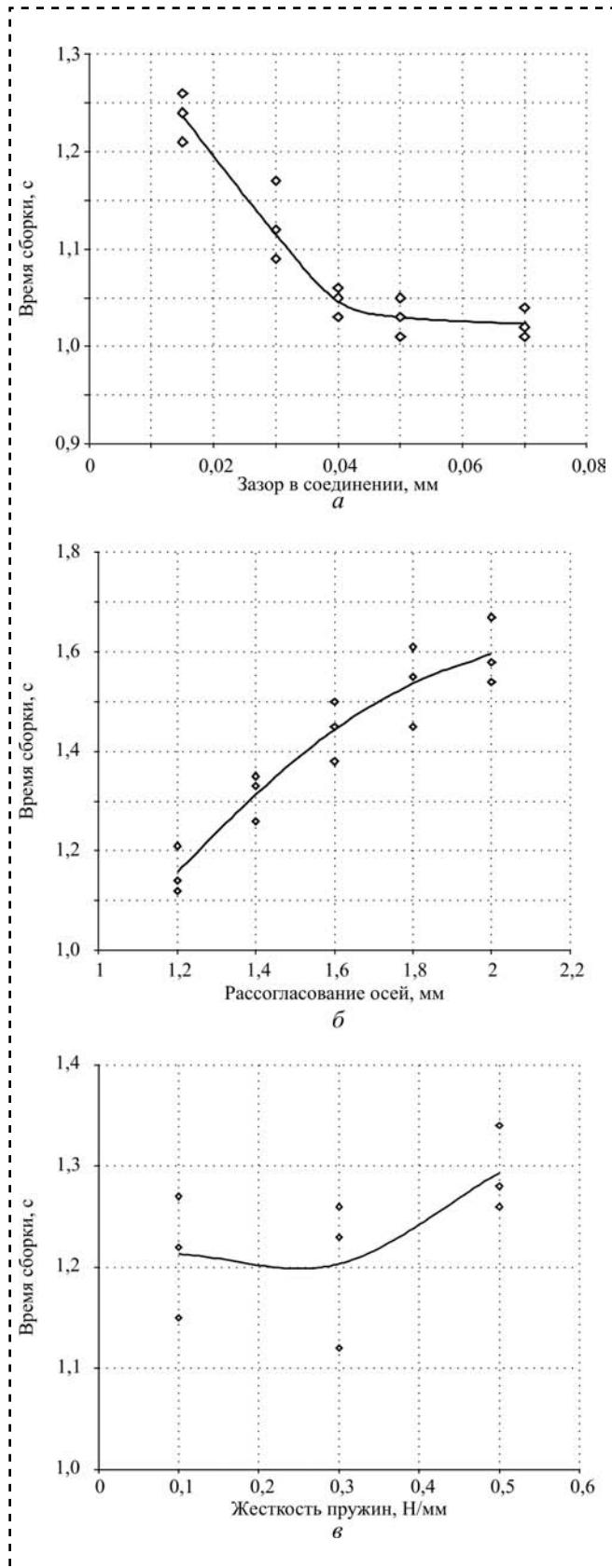


Рис. 4. Зависимость времени сборки от зазора в соединении (а), рассогласования осей деталей (б) и жесткости пружин схвата робота (в)

Установка включает промышленный робот ABB модели IRB-140, генератор низкочастотных колебаний, адаптивный схват, компьютер, лазерные триангуляционные датчики Riftek RF-603, электронный частотомер Master M98 03R ивиброустройство оригинальной конструкции. В качестве привода виброопоры использованы электромагниты. Колебания обеспечиваются генератором низкочастотных колебаний.

Адаптивный схват изготовлен в соответствии с кинематической схемой, которая обеспечивает упругое базирование вала в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Определение жесткости пружин схвата основано на результатах математического моделирования движения центра масс вала относительно базовой детали.

Для того чтобы оценить возможность применения предложенного метода для сборки точных бесфасочных цилиндрических и нецилиндрических соединений с зазором, были изготовлены образцы необходимой точности.

В качестве параметра оптимизации было выбрано время сборки. Результаты экспериментов показаны на рис. 4, 5. Рис. 4, а показывает зависимость времени сборки от зазора в соединении. Можно заметить, что при зазоре более 0,04 мм производительность не меняется. Зависимость времени сборки от первоначального рассогласования положения деталей представлена на рис. 4, б.

Рис. 4, в показывает зависимость времени сборки от жесткости пружин схвата робота. Было определено, что оптимальное значение жесткости равно 0,25 Н/мм. Увеличение времени сборки при недостаточной жесткости пружин связано с отклонением траектории движения центра масс вала от радиального направления, а повышенная жесткость пружин препятствует совмещению деталей.

Экспериментальное сравнение надежности процесса показывает, что отсутствие адаптации приводит к возникновению 13 случаев заклинивания на 100 испытаний. Предложенный метод автоматической сборки [5] демонстрирует высокую технологическую надежность и полное отсутствие заклиниваний.

На рис. 5 показаны экспериментальные области технологических режимов (амплитуд и ча-

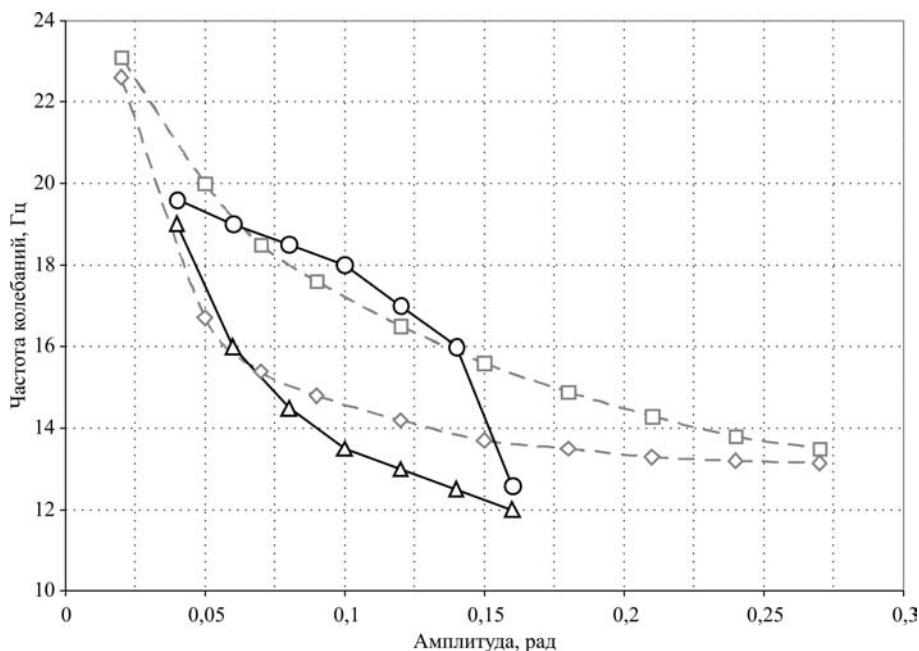


Рис. 5. Области оптимальных значений амплитуд и частот, полученные при математическом моделировании и в физическом эксперименте

стот), обеспечивающих условия сборки. Также показаны (штриховая линия) результаты математического моделирования процесса.

Представленная математическая модель позволяет аналитически определить силы реакции, возникающие в соединении, и на их основе определить момент возникновения заклинивания. Физические эксперименты показали хорошую сходимость с результатами компьютерного моделирования. Для бесфасочных цилиндрических соединений с зазором 0,01...0,07 мм были обеспечены условия сборки под действием вибраций и упругих элементов схвата. Также было подтверждено протекание процесса без заклинивания. Диапазон первоначального рассогласования деталей достигал 2 мм.

Таким образом, результаты экспериментов подтвердили адекватность математической модели динамики относительного движения центра масс вала в неинерциальной системе координат. Эксперименты показали целесообразность использования адаптивного схвата в комбинации с низкочастотными колебаниями. Наличие адаптивного схвата обеспечивает компенсацию линейного рассогласования, а угловые колебания исключают возникающие

перекосы. Одновременно расширяются технологические возможности роботизированной сборки бесфасочных соединений.

Дальнейшие исследования будут связаны с разработкой математической модели сборки профильных соединений, а также с исследованием роботизированной сборки с применением средств активной адаптации.

Библиографический список

1. Божкова Л.В., Вартанов М.В., Кольчугин Е.И. Метод роботизированной сборки с использованием вибраций / / Сборка в машиностроении, приборостроении. 2006. № 9. С. 19–24.
2. Вартанов М.В., Божкова Л.В., Бакена Мбуя Ж.К. Совершенствование технологии сборки цилиндрических профильных деталей с применением вибрационных колебаний и пассивной адаптации // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2010. № 7. С. 26–32.
3. Добронравов В.В., Никитин Н.Н. Курс теоретической механики. М.: Высш. шк., 1983.
4. Вартанов М.В., Божкова Л.В. Автоматизация сборки изделий с применением роботов и виброустройств. М.: Наука, 2013.
5. Метод сборки соединений типа "вал—втулка". Пат. РФ 2381095:С1/ М.В. Вартанов, Л.В. Божкова, Е.И. Кольчугин. 2010.



УДК 620.168

Ю.А. Ващуков, канд. техн. наук (Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (Национальный исследовательский университет))
E-mail: vashukov@ssau.ru

Исследование процесса постановки подкрепляющих элементов при образовании высокоресурсных соединений изделий из композиционных материалов

Разработана математическая модель для определения усилия и работы, необходимых для осадки подкрепляющего элемента при образовании соединений с подкреплением изделий из композиционных материалов.

Представлена последовательность определения напряженно-деформированного состояния по контуру отверстия при постановке подкрепляющего элемента.

The mathematical model is developed for definition effort and the works, necessary for deposits (precipitations) of a supporting element at formation (education) of connections with a reinforcement of products from composite materials.

The sequence of definition of the intense-deformed condition on an aperture contour is presented at statement of a supporting element.

Ключевые слова: композиционный материал, соединение, подкрепленное отверстие, усилие осадки, напряженно-деформированное состояние, математическая модель.

Keywords: composite material, connection, supported a perture, effort the deposits (precipitations), intense-deformed condition, mathematical model.

При проектировании и создании авиационных конструкций, выполненных из композиционных материалов, одной из ответственных задач является обеспечение прочности и надежности узлов механических точечных (болтовых и заклепочных) соединений, через которые передаются все нагрузки, воспринимаемые несущей конструкцией. Объясняется это тем, что отверстия под крепежные элементы в композиционных материалах являются концентратором напряжений, с поверхности которых, как правило, зарождаются усталостные трещины. Для композиционных матери-

алов (КМ) резкая анизотропия прочности, малое относительное удлинение при их разрушении и практическое отсутствие пластической деформации вызывают затруднение в применении традиционных соединений, при выполнении которых возникают деформации, превосходящие допустимые для данных материалов. Проведенные в работе [1] исследования показали, что максимальные локальные напряжения на контуре отверстия в несколько раз превышают напряжения в регулярных зонах (рис. 1).

Разработан способ постановки втулки, заключающийся в осевом пластическом сжатии подкрепляющего элемента с образованием на границе соединения переменного поля радиальных сжимающих напряжений (рис. 2). Это позволяет значительно снизить радиальные растягивающие напряжения на границе "подкрепляющий элемент — листовая заготовка" при эксплуатационных нагрузках и сохранить тем самым клеевую прослойку между стенкой отверстия в листовой заготовке и подкрепляющей втулкой. Для промышленного внедрении разработанного способа образования соединения "подкрепляющий элемент — листовая заготовка" нужно знать усилие и работу, необходимые для осадки крепежного элемента.

Для нахождения усилия, которое требуется для осадки подкрепляющей втулки с сегментами, был использован энергетический метод [3]. Работу A_σ внешних сил, нормальных к торцу сегмента, можно записать в виде

$$A_\sigma = \iint_F \sigma_z U dS = UP, \quad (1)$$

где U — деформирующий ход.

Из условия равенства работ внешних сил A_σ и сил деформирования втулки A_D получим

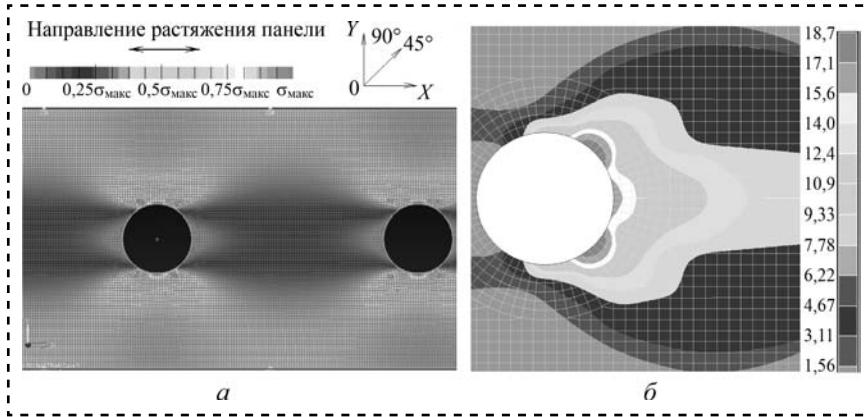


Рис. 1. Распределение напряжений в композиционных материалах:
 а — при растяжении образца с отверстиями; б — в зоне смятия под крепежным элементом

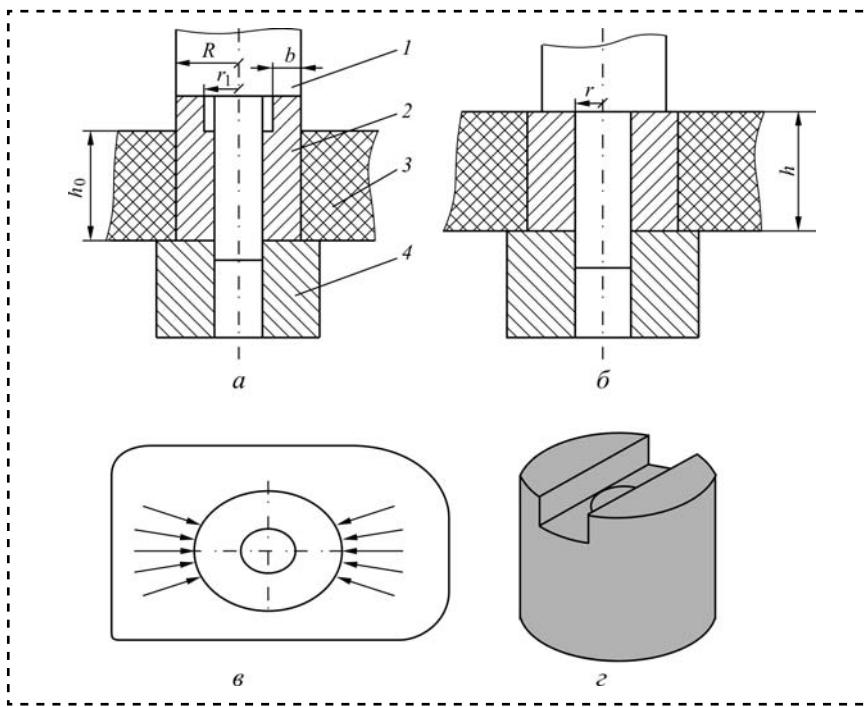


Рис. 2. Способ осадки подкрепляющего элемента:
 а, б — схемы осадки подкрепляющего элемента; в — поля радиальных сжимающих напряжений; г — подкрепляющий элемент; 1 — пuhanсон; 2 — подкрепляющий элемент; 3 — листовая заготовка; 4 — подпирающий элемент

$$P = A_D / U. \quad (2)$$

Для определения A_D зададим граничные условия на внешнем контуре втулки. На верхнем и нижнем (под сегментом) торцах втулки, а также по ее внешней поверхности действуют силы трения (рис. 3). В плоскости контакта пластической зоны А и жесткой зоны В возникают силы среза. Со стороны листовой заготовки действуют силы противодавления,

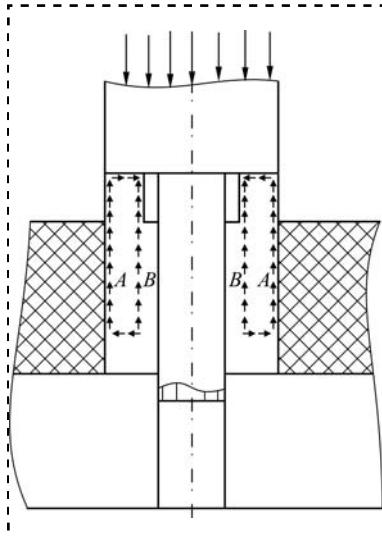


Рис. 3. Схема деформирования подкрепляющей втулки с учетом сил трения

которые по отношению к втулке являются внешними, однако работа этих сил может быть отнесена к работе сопротивлений.

Подкрепляющую втулку представим в виде пластического тела с нелинейным упрочнением, а листовую заготовку — анизотропной средой, подчиняющейся обобщенному закону Гука.

Полная работа деформации A_D складывается из работы внутренних сил $A_{\text{вн}}$, идущих на изменение формы втулки, работы сил трения $A_{\text{трт}}$ по торцам сегмента, работы сил среза $A_{\text{ср}}$ между пластической и жесткой зонами, а также работы сил сопротивления листовой заготовки $A_{\text{сопр}}$:

$$A_D = A_{\text{вн}} + A_{\text{трт}} + A_{\text{ср}} + A_{\text{сопр}}. \quad (3)$$

Работу внутренних сил для материала втулки, подчиняющегося уравнению состояния пластической среды с нелинейным упрочнением, представим в виде

$$A_{\text{вн}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{\sqrt{3(1-\varepsilon_t)}(\sqrt{3})^n(1+n)} \iiint_V \Gamma^{1+n} dV, \quad (4)$$



где σ_B — предел прочности материала втулки; ε_t — относительное сужение, отвечающее образованию устойчивости шейки;

$$n = \varepsilon_t(1 - \varepsilon_t);$$

Γ — интенсивность деформации сдвига.

Для случая плоского напряженного состояния и равномерной раздачи втулки интенсивность деформации сдвига определяется из выражения

$$\Gamma = \sqrt{3}\varepsilon_z, \quad (5)$$

где $\varepsilon_z = (h_0 - h)/h_0$; h_0 — первоначальная высота втулки с сегментами; h — высота втулки после деформации.

Подставляя пределы интегрирования в формулу (4) и учитывая выражение (5), получим

$$\begin{aligned} A_{\text{вн}} \frac{2\sigma_B}{\sqrt{3}(1-\varepsilon_t)(\sqrt{3}\varepsilon_t)^n(1+n)} \times \\ \times \int_0^{\frac{\pi}{t}h_x} \int_0^R \Gamma^{1+n} r dr d\varphi dz = \quad (6) \\ = \frac{\sigma_B u^{1+n} R^2 D_1}{(1-E_t)(E_t^n) h_x^n (1+n)}, \end{aligned}$$

где $t = 180^\circ/\varphi$ (φ — половина угла охвата сегмента);

h_x — длина зоны распространения пластической деформации в осевом направлении;

R — внешний радиус втулки;

r_1 — минимальное расстояние от центра втулки до внутренней стенки сегмента (см. рис. 2):

$$D_1 = \left(\frac{\pi}{t} f^2 \operatorname{tg} \frac{\pi}{t} \right); \quad f = \frac{r_1}{r}.$$

Работу сил трения на торцах сегмента находили, используя принцип Сен-Венана, который позволяет принять систему приложенных сил, в частности сил трения, равномерно распределенными по поверхности тела. В связи с этим среднее значение сил трения определяли из формулы

$$\tau = \Psi \left(\sqrt{\tau_{rz}^2 + \tau_{\varphi r}^2} \right) = \Psi T(\Gamma), \quad (7)$$

где Ψ — эмпирический коэффициент, учитывающий состояние трущихся поверхностей и форму очага деформации:

$$\Psi = \mu + \frac{1}{8} \frac{b}{h_0} (1 - \mu) \sqrt{\mu};$$

μ — коэффициент трения; $b = R - r_1$;

$T(\Gamma)$ — интенсивность касательных напряжений:

$$T(\Gamma) = \sigma_B \Gamma^n \sqrt{3} (1 - \varepsilon_t) (\sqrt{3} \varepsilon_t)^n.$$

Таким образом, работу сил трения по торцам сегментов можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} A_{\text{тр}_t} &= 2\Psi \int_0^{\frac{\pi}{t}h_x} \int_{\frac{r_1}{\cos\varphi}}^R T(\Gamma) U_r r dr d\varphi = \\ &= \frac{2\Psi \sigma_B u^{1+n} R^3 D_2}{\sqrt{3}(1-\varepsilon_t)\varepsilon_t^n h_x^{1+n}}, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{где } U_r = \frac{1}{2} \varepsilon_z r \left(1 - \frac{r^2}{r^2 \cos^2 \varphi} \right);$$

$$D_2 = \frac{\pi}{3t} + \frac{f^3 \sin \frac{\pi}{t}}{3 \cos^2 \frac{\pi}{t}} + \frac{f^3}{3} \ln \left| \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2k} \right) \right| - f^2 \operatorname{tg} \frac{\pi}{k}.$$

Работу сил среза определяли из выражения

$$\begin{aligned} A_{\text{ср}} &= \int_0^{\frac{\pi}{t}h_x} T(\Gamma) (U_{Z_A} - U_{Z_B}) r d\varphi r dz = \\ &= \frac{\sigma_B U^{1+n} h_x^{1-n} R D_3}{\sqrt{3}(1-\varepsilon_t)\varepsilon_t^n}, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{где } D_3 = \frac{\pi}{t} - f \ln \left| \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2k} \right) \right|.$$

Работу сил сопротивления листовой заготовки находили, заменив работу внутренних сил листовой заготовки эквивалентной работой внешних сил. Тогда $A_{\text{сопр}} = A_1 + A_2$, где A_1 — работа нормальных сил к поверхности отверстия; A_2 — работа сил трения по поверхности контакта втулка—листовая заготовка.

Работу нормальных сил определяли из соотношения

$$A_1 = \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{t}h_x} \int_0^R \sigma_r U_r R d\varphi dz, \quad (10)$$

где σ_r — радиальные напряжения на контуре отверстия в заготовке:



$$\sigma_r = \left[k - v_{12} + N \left(\sin^2 \varphi + k \cos^2 \varphi \right) \right] \frac{Ur}{Rg}; \quad (1)$$

$$k = \sqrt{\frac{E_1}{E_2}}; \quad N = \sqrt{2(k - v_{12}) + (E_1/G_{12})};$$

$$g = (1 - v_{12}v_{21})/E_2 + k/G_{12};$$

E_1 и E_2 — соответственно модули упругости материала листовой заготовки во взаимно перпендикулярных направлениях;

v_{12} и v_{21} — коэффициенты Пуассона;

G — модуль сдвига.

Учитывая формулу (11), получим

$$A_l = \frac{U_2 R_2 D_4}{4gh_x} \left[k - v_{12} + N(k+1)/2 + \frac{N}{\pi}(k-1) \right], \quad (12)$$

$$\text{где } D_4 = \frac{\pi}{t} - 2f^2 \operatorname{tg} \frac{\pi}{t} + f^4 \left(\operatorname{tg} \frac{\pi}{t} + \frac{\operatorname{tg}^3 \frac{\pi}{t}}{3} \right).$$

Работу сил трения, возникающую при раздаче отверстия, определяли по формуле

$$\begin{aligned} A_2 &= \psi_2 \int_0^{\frac{\pi}{t} h_x} \int_0^{h_x} \sigma_r U_z R d\varphi dz = \\ &= \frac{\psi_2 U^2 R D_1}{4g} \left[k - v_{12} + \frac{N}{2}(k+1) + \frac{N}{\pi}(k-1) \right], \end{aligned} \quad (13)$$

$$\text{где } \psi_2 = \mu_2 + \frac{1}{8} \frac{R}{h} (1 - \mu_2) \sqrt{\mu_2};$$

μ_2 — коэффициент трения в контакте между втулкой и стенкой отверстия листовой заготовки. Учитывая формулы (3), (6), (8), (9), (12), (13), окончательно запишем работу осадки сегмента:

$$\begin{aligned} A_D &= \frac{\sigma_B U^{1+n} R}{(1-\varepsilon_t) \varepsilon_t^n} \left[\frac{R D_1}{h_x^n (1+h)} + \frac{2\psi R^2 D_2}{\sqrt{3} h_x^{1+n}} + \frac{h_x^{1-n} D_3}{\sqrt{3}} \right] + \\ &+ \frac{U^2 R \left[k - v_{12} + \frac{N}{2}(k+1) + \frac{N}{\pi}(k-1) \right]}{4g} \times \\ &\times \left[\frac{R D_4}{h_x} + \psi_2 D_1 \right]. \end{aligned} \quad (14)$$

Если подкрепляющая втулка состоит из нескольких сегментов, то общая работа деформации будет складываться из работы деформации отдельных сегментов. В случае, если сегменты имеют одинаковые геометрические размеры, то значение работы деформирования одного сегмента, полученное из уравнения (14),

умножается на число сегментов. Из уравнения (14) с учетом формулы (2) определяют усилие, необходимое для осадки втулки.

При нахождении работы и усилия осадки необходимо знать размер распространения очага пластической деформации h_x . Физический смысл этой величины заключается в следующем. Если сообщить кинематически возможное увеличение величины h_x , то работа внутренних сил $A_{\text{вн}}$, как видно из уравнения (14), незначительно уменьшается. С увеличением h_x будет уменьшаться также работа сил трения на торцах сегмента $A_{\text{трт}}$ и работа нормальных сил на поверхности отверстия A_1 .

Работа сил среза $A_{\text{ср}}$ между пластической и жесткой зонами будет возрастать с увеличением h_x вследствие увеличения поверхности среза. Поэтому для принятой схемы деформации можно найти такое значение h_x , при котором сумма всех работ на кинематически возможных перемещениях около состояния равновесия будет равна нулю.

Применяя принцип минимума полной энергии деформации для жесткопластической среды, получим значение h_x , при котором полная энергия деформации окажется минимальной. Следовательно, значение h_x находилось из условия $dA_D/dh_x = 0$. После дифференцирования уравнения (14) получаем:

$$\begin{aligned} &\frac{(1-n)D_3}{\sqrt{3}Rh_x^n} - \frac{nD_1}{(1+n)h_x^{1+n}} - \frac{2\psi RD_2(1+n)}{\sqrt{3}h_x^{2+n}} - \\ &- \frac{U^{1-n} \left[k - v_{12} + \frac{N}{2}(k+1) + \frac{N}{\pi}(k-1) \right] LD_4}{4g\sigma_B h_x^2} = 0, \end{aligned} \quad (15)$$

где $L = E_t^n (-\varepsilon_t)$.

Для определения напряженно-деформированного состояния по контуру отверстия при постановке подкрепляющего элемента использовали аналитические соотношения, полученные в работе [2]. Радиальные перемещения по внешнему контуру подкрепляющей втулки определяли из соотношения

$$U_r = \frac{1}{2} a R \left(1 - \frac{r^2}{R^2 \cos(\varphi)^2} \right), \quad (1) \quad (6)$$

где a — варьируемый параметр, зависящий от геометрических и физико-механических характеристик листовой заготовки и подкрепляющей втулки;

r — радиус подкрепляющей втулки,

R — внешний диаметр втулки.

Соотношения (16) позволяют определить влияние конструктивных параметров процесса образования отверстий с подкрепленными стенками на деформированное состояние подкрепляющего элемента по внешнему контуру и на границе отверстия листовой анизотропной детали. Для определения напряженного состояния в "полевых" точках подкрепляющего элемента и пластины использовались аналитические соотношения, полученные в работе [4].

Для экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния по контуру соединения с подкреплением пластинки из КМ использовали систему MSC/NASTRAN [5]. Толщина пластинки составляла 1,0 мм. При этом наружный диаметр втулки был равен 5,0 мм, внутренний — 3,0 мм. Материал пластинки имел следующие характеристики: $E_1 = 120\,000$ МПа, $E_2 = 8000$ МПа, $G_{12} = 4000$ МПа, $\nu_{12} = 0,3$, $\nu_{21} = 0,02$. Материал втулки — алюминиевый сплав с характеристиками $E = 70\,000$ МПа, $\nu = 0,3$.

В процессе установки втулки в пластинку внешнюю поверхность втулки покрывали клеем, затем втулку вставляли в отверстие пластины и запрессовывали. При запрессовке клей находился в жидкой фазе.

Заданные отклонения внешней поверхности втулки от круговой показаны на рис. 4. В результате запрессовки в пластинке и втулке возникают монтажные напряжения, которые определялись с помощью системы MSC/NASTRAN (рис. 5).

Следует отметить, что значение радиальной раздачи отверстия в листовой заготовке должно быть строго ограничено и не превышать максимального натяга для данного КМ. В работе [2] разработана методика определения мак-

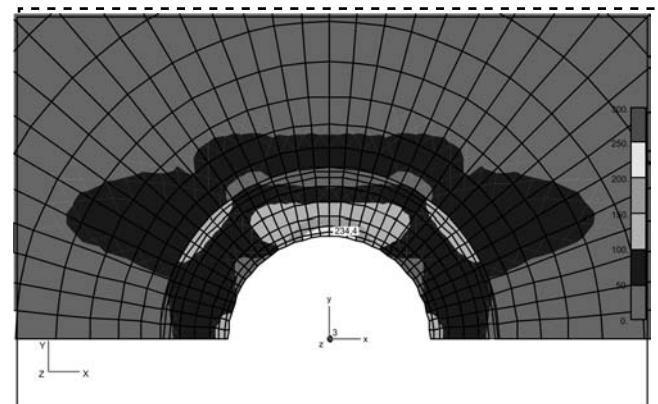


Рис. 5 . Монтажные напряжения, появляющиеся в результате запрессовки втулки

симального радиального натяга для листовых заготовок из КМ на основе использования критерия прочности Дж. Марина.

Выводы

1. Полученные аналитические соотношения можно использовать при проектировании технологического оборудования для постановки подкрепляющего элемента как в условиях стапельной сборки, так и в условиях пресса.

2. Использование разработанного способа позволяет получить более равномерное распределение напряжений в пластине за счет введения переменного натяга. Это дает возможность управлять напряженно-деформированным состоянием в пластине из КМ по контуру отверстия при эксплуатационных нагрузках.

Библиографический список

1. Ендогур А.И., Кравцов В.А., Солошенко В.Н. Принципы рационального проектирования авиационных конструкций с применением композиционных материалов // Электронный журнал "Труды МАИ". Вып. № 72. 2014.

2. Ващуков Ю.А. Исследование напряженно-деформированного состояния соединения изделий из композиционных материалов // Изв. Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 11. № 3. С. 414–419.

3. Барвинок В.А., Ващуков Ю.А., Поникарова Н.Ю., Ломовский О.В. Разработка математической модели технологического процесса постановки резьбового вкладыша в отверстие трехслойной панели // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2001. № 2. С. 26–29.

4. Ващуков Ю.А. Напряженно-деформированное состояние изотропной пластиинки с подкрепленным отверстием при растяжении // Материалы и доклады Международной научн.-техн. конф. "Инновационные материалы и технологии: достижения, проблемы, решения". Ч. 2. 21–22 июня 2013 г. Комсомольск-на-Амуре. 2013. С. 278–282.

5. MSC/NASTRAN for Windows users guide. Файл документации MSC/N4W.

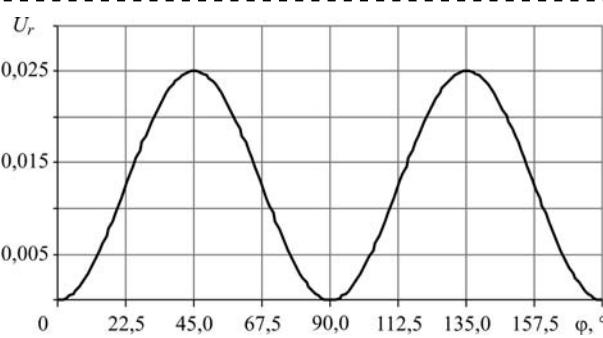


Рис. 4 . Отклонения внешней цилиндрической поверхности втулки от круговой



УДК 608.3.04

В.Г. Ковалёв, д-р техн. наук, С.В. Ковалёв, канд. филос. наук, Е.А. Скороходов, канд. техн. наук
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)
E-mail: ksv.gov@mail.ru

Электромонтаж методом прорезки изоляции

Представлены с обрывами на ос нове о бзора опубликованных работ материалы по прогрессивному электромонтажу ме тодом прорезки и изоляции. Это первая часть ис следования. Ме тод обе спечивает, как и ме тод электромон тажа на акруткой, до лговечность со единения, а также в ысокие показатели качества по производственно-экономическим параметрам (производительности, себестоимости).

Presents collected through review of published works of materials in the progressive wiring method of grooving isolation. This is the first part of the study. The method provides, as a method of electro-wire wrapping, high quality for durability, high quality of production and economic parameters (productivity, cost).

Ключевые слова: электромонтаж, изоляция, прорезка, качество, силовые параметры, контакты-вилки.

Keywords: wiring, insulation, recess, quality, silo-high settings, contacts-plug.

Электромонтаж методом прорезки изоляции (МПИ) — это электрическое соединение провода с контактами-вилками соединителя, получаемое запрессовкой в специальные пазы-прорези контактов-вилок, сопровождающееся прорезкой изоляции провода и незначительным врезанием контакта-вилки в провод. При электромонтаже МПИ используют одиночные и спаренные контакты-вилки. Спаренные контакты-вилки — это контакты соединителя МПИ, обеспечивающие получение одновременно двух соединений на одном проводе за счет наличия двух пазов в его конструкции.

Электромонтаж соединения МПИ выполняют на специальных контактах соединителей, конструкция которых обеспечивает присоединение проводов и кабелей к соединителям МПИ. Электромонтаж МПИ выполняют на ленточных проводах и контактах соединителей.

Преимущественно электромонтаж МПИ находит применение в аппаратуре стационарного назначения, особенно в телефонии.

На рис. 1 показаны конструктивные схемы соединений МПИ.

Технические требования к процессам электромонтажа методом прорезки изоляции касаются следующего:

- 1) выводов и контактов-выводов соединений МПИ;
- 2) монтажных проводов;
- 3) электромонтажного соединения МПИ;
- 4) прокладки проводов;
- 5) автоматизированного электромонтажа.

Требования к выводам и контактам соединений МПИ состоят в следующем:

- конструкция вывода должна быть специальной, обеспечивающей присоединение проводов и кабелей к соединителям МПИ;
- конструкция должна обеспечивать удобство монтажа, эксплуатации и ремонта изделий, не допускать повреждения проводов кабелей.

Контакты следует изготавливать из медных сплавов или материалов с аналогичными механическими и электрическими свойствами. Они должны иметь антикоррозионные токопроводящие покрытия.

Контакты-вилки для соединителей МПИ должны иметь U-образную форму с острыми кромками по прямолинейной части U-образного паза. Электромонтаж МПИ выполняют одиночными и спаренными контактами. В особо ответственных и слаботочных цепях при соединении одиночных проводов рекомендуется использование спаренных контактов. Минимальный шаг контактов-вилок соединителей в соединителе принимают равным 2,5 мм. Точность на установку контактов соединителями не должна превышать $\pm 0,1$ мм.

Для электромонтажных соединений применяют монтажные провода и кабели с многопроводолочной токопроводящей жилой из медных сплавов, покрытой оловянно-свинцовым

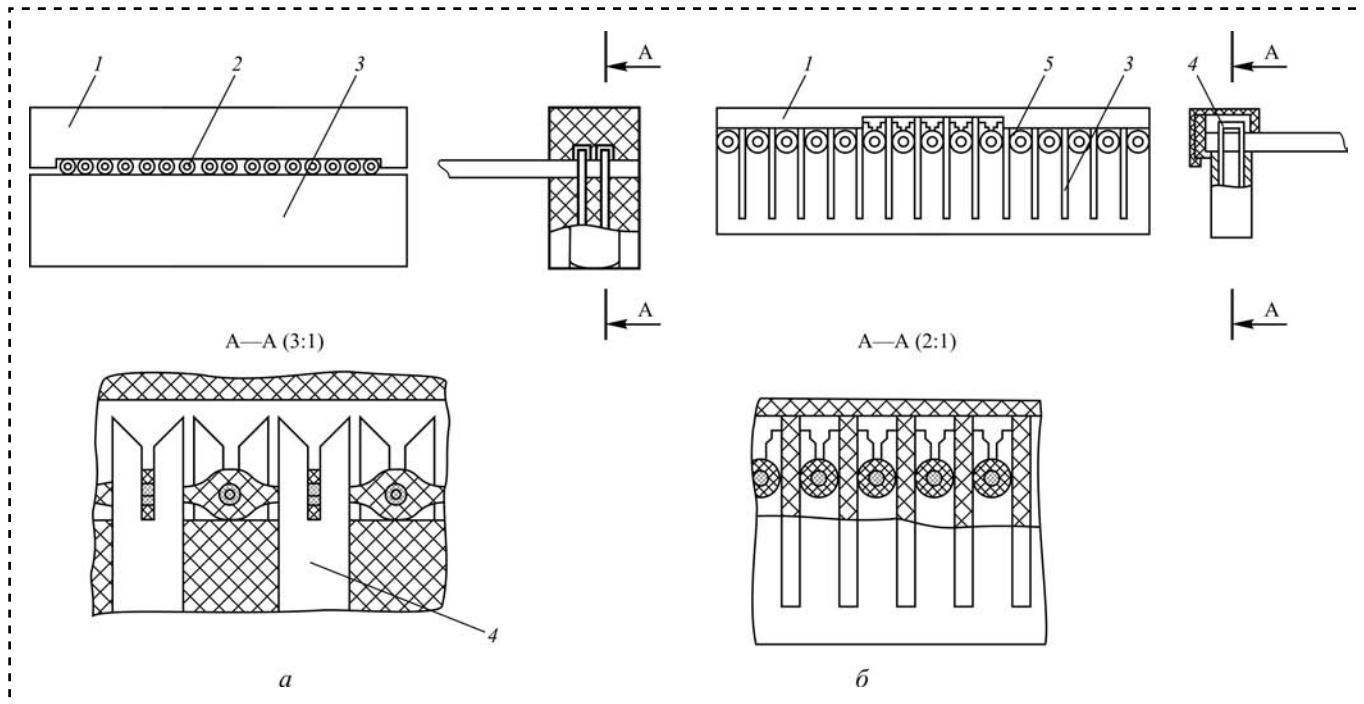


Рис. 1. Электромонтажное соединение ленточного (а) и обычных (б) проводов с контактами соединителя методом прорезки изоляции:

1 — крышка соединителя; 2 — ленточный провод; 3 — корпус соединителя; 4 — контакт-вилка соединителя; 5 — обычные провода

сплавом, никелем или материалами, имеющими аналогичные защитные и токопроводящие свойства. Изоляция проводов должна быть из поливинилхлорида или полиэтилена. Ленточные провода должны иметь срез, перпендикулярный оси провода. Значение переходного контактного электромонтажного сопротивления, выполненного методом МПИ, в зависимости от типа соединителя должно находиться в пределах от 0,002 до 0,02 Ом.

При электромонтаже обязательно предусматривают резервную длину проводов (до 10 % от общей длины).

При прокладке проводов при монтаже МПИ сначала прокладывают одножильные и затем многожильные провода. Прокладку ведут по кратчайшему пути. Прокладку многожильных витых проводов следует вести в свободных местах монтажного поля — на дорожках между соединителями, по краям монтажного поля и других (серединных) свободных местах. Прокладываемые провода должны лежать как можно ближе к монтажной плоскости без натяжения и запаса на перемонтаж с равномерным заполнением монтажного поля. Высота выступания проводов над верхними торцами

контактных выводов не должна превышать общей высоты монтажного поля.

При автоматизированном электромонтаже радиоэлектронный модуль должен иметь базовые элементы — обычно это отверстия, используемые для фиксирования модуля в позиционном поле монтажа, точность расположения этих отверстий не должна превышать $\pm 0,1$ мм; число базовых отверстий должно быть не менее двух. Радиоэлектронные модули, состоящие из нескольких плат, должны иметь базовые отверстия на каждой плате.

Взаимодействие провода с контактом-вилкой. При монтаже вывод совершают относительно провода два движения — вдоль и перпендикулярно оси провода. Вследствие этого в зоне контакта возникают силы трения в основном направлении врезания μP и силы трения $\mu_2 P$, направленные перпендикулярно оси проводника (μ , μ_2 — коэффициенты трения в соответствующем направлении).

Для определения силовых и геометрических параметров используем эскиз (рис. 2) взаимодействия вывода-вилки с одиночным проводом. Здесь вывод-вилка острыми кромками U-образного внутреннего контура врезается на

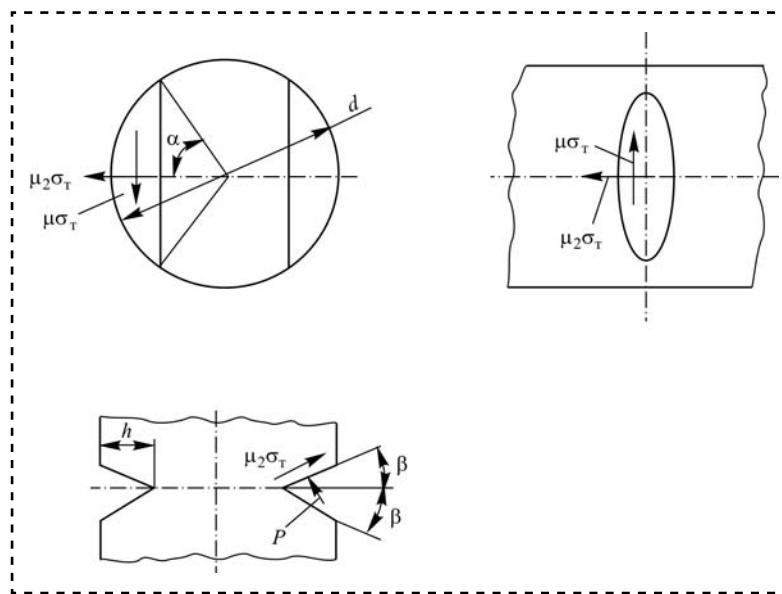


Рис. 2. Схема контактных поверхностей электрического соединения при монтаже методом прорезки изоляции

некоторую глубину h и образует сегмент со стрелкой h и хордой, определяемой углом α . Как и при накрутке, в этом случае получаем герметичный газонепроницаемый контакт, в котором из-за высокой плотности контакта поверхностей с течением времени возникают диффузионные процессы. Эти процессы улучшают показатели качества (проводимость и прочность) соединения.

Силовые параметры образования контакта выполняют работу прорезания изоляции и врезания вывода-вилки в провод ($\mu\sigma_t$ и $\mu_2\sigma_t$) с двух противоположных сторон. Коэффициенты трения в этом случае принимаем различными в продольном и поперечном направлениях. Для определения необходимых значений параметров процесса электромонтажа примем целесообразное допущение и теоретические предпосылки. Таким положением может быть условие наличия минимального значения переходного электрического сопротивления в месте контакта вывода-вилки с проводом, которое может быть обеспечено при минимальной деформации материалов контакта-вилки и провода. Такие требования практически выполняются и при электромонтаже методом накрутки. При этом принимают, что на контактной поверхности возникают напряжения, не большие, чем предел текучести σ_t . В таких условиях на контактную поверхность F действует нормальное усилие, равное

$$P = \sigma_t F,$$

а вертикальная составляющая этого усилия, определяемая значением сил трения и определяющая монтажное усилие на одной поверхности контакта,

$$P_{\text{монтаж}} = \mu\sigma_t F_{\text{конт}}, \quad (1)$$

μ — коэффициент трения.

Поверхность контакта вывода-вилки с проводом определим как наклоненную к круговому сегменту под углом α поверхность сегмента; при этом поверхность сегмента

$$F_{\text{сег}} = 0,5r^2[(\pi\alpha/180^\circ) - \sin\alpha],$$

а поверхность контакта

$$F_{\text{конт}} = 0,5r^2[(\pi\alpha/180^\circ) - \sin\alpha]/\cos\beta. \quad (2)$$

Здесь r — радиус провода; α — угол контакта провода с контактом-вилкой соединителя; β — угол при вершине режущей кромки вывода-вилки.

В соединителе обычно используют несколько контактов-вилок (пусть их число равно N). С учетом того, что каждый контакт-вилка имеет четыре рабочих поверхности, это усилие будет в четыре раза больше. Тогда общее усилие электромонтажа методом МПИ имеет вид

$$P_{\Sigma} = \frac{2\mu r^2 N}{\cos\beta} \sigma_t \left(\frac{\pi\alpha}{180^\circ} - \sin\alpha \right). \quad (3)$$

Это и есть формула для определения усилия прорезки изоляции. Глубину врезания контакта-вилки в провод, необходимую для проектирования ее рабочего размера, определим из очевидного соотношения

$$h = \frac{\sigma_t}{E} d, \quad (4)$$

где d — диаметр провода.

Выводы

На основе допущений, не противоречащих физической сущности процесса — величине допустимого переходного электрического сопротивления — получено выражение для определения силы прорезки. Впервые предложена формула для определения усилия электромонтажа методом прорезки изоляции и врезания контакта-вилки в провод.



УДК 621.002.72.72+65.011

Н.Г. Кремлева, Т.В. Безрукова

(Волгоградский государственный технический университет)

E-mail: ng84kreml@rambler.ru

Исследование процесса автоматической ротационной сборки цилиндрических деталей

Рассмотрены конструкция и принцип действия ротационного сборочного устройства. Приведена методика проведения лабораторного исследования в линиях и предварительного угла перекоса сопрягаемых поверхностей, динамических характеристик охватываемой детали на быстродействие сборочного процесса и предельную угловую скорость вращения деталей.

Construction and operating principle of the rotary assembly device have been considered. Laboratory study technique has been described to define influence of mating surfaces' skew angle and preliminary part's dynamic characteristics on the performance of the assembly process and the value of the extreme angular velocity of rotation of parts.

Ключевые слова: ротационная сборка, угол перекоса сопрягаемых поверхностей, угловая скорость вращения, гироскопический момент, радиус инерции.

Keywords: rotary assembly, skew angle of mating surfaces, angular velocity of rotation, gyroscopic moment, radius of gyration.

В лаборатории Волгоградского государственного технического университета проведены исследования процесса автоматической ротационной сборки цилиндрических сопрягаемых деталей с использованием компенсации суммарной погрешности относительного расположения сопрягаемых поверхностей за счет создаваемого гироскопического момента при их совместном вращении.

Цели исследования — изучить конструкцию и принцип действия ротационного сборочного устройства, экспериментально определить влияние размерных, технологических параметров сборочной системы и динамических параметров охватываемой детали на быстродействие сборочного процесса.

Общие положения

При автоматической сборке сопрягаемые цилиндрические детали на сборочной позиции располагают под некоторым углом друг к другу. Это вызвано либо погрешностью их взаимного расположения, либо использованием эффекта наклона осей сопрягаемых деталей для компенсации этой погрешности. Придерживаясь принципа свободного взаимодействия деталей на сборочной позиции, следует создать некоторые дополнительные условия, обеспечивающие совмещение сопрягаемых поверхностей. Поскольку охватываемая деталь (валик) расположена наклонно в поле сил тяжести (рис. 1), то для ее подъема и поворота вокруг некоторой оси требуется подведение дополнительной энергии.

За счет придания деталям 1 и 2 совместного вращения с угловой скоростью $\omega = \dot{\gamma}$ (γ — угол прецессии) вокруг оси Oz_1 в механическую систему добавляется дополнительная энергия. Это приводит к возникновению гироскопического момента L_g , действующего в плоскости расположения векторов $\bar{\omega}$ и $\bar{\omega}_g$. Он поворачивает деталь 2 вокруг неподвижной оси O . С использованием динамических уравнений Эйлера движения охватываемой детали 2 в проекции на подвижные оси координат Ox_2z_2 , скрепленные с ней, было вычислено значение этого гироскопического момента:

$$L_g = J_x \omega_z \omega \sin \theta \left(1 + \frac{J_x - J_z}{J_x} \frac{\omega}{\omega_z} \cos \theta \right),$$

где J_x — момент инерции детали 2 относительно точки поворота, $J_x = J_x^0 + mr_c^2$ (J_x^0 — центральный момент инерции детали 2 относительно оси Ox подвижной системы координат);

m — масса детали 2;

r_c — модуль радиус-вектора \bar{r}_c движения центра масс детали 2 вокруг приведенной точки поворота;

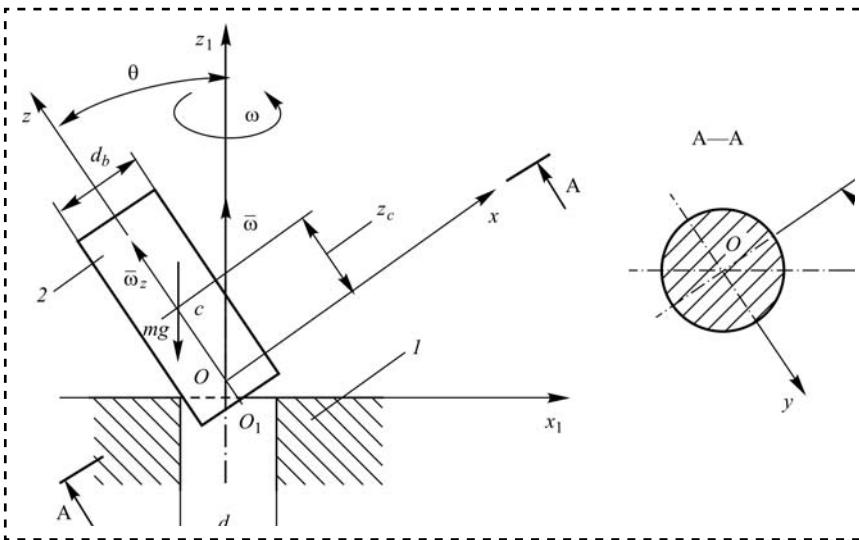


Рис. 1. Относительное расположение сопрягаемых деталей в подвижной и неподвижной системах координат

$r_c = l_c - l^*$, $\dot{t} = \frac{d_a^{\min} - d_b^{\max} \cos \theta}{2 \sin \theta}$ — уравнения

связи согласно рис. 1;

J_z — момент инерции валика относительно оси собственного вращения;

$\omega_z = \dot{\phi}$ — проекция угловой скорости $\bar{\omega}$ на ось Oz ;

θ — угол нутации.

Так как $\omega_z = \omega \cos \theta$, то

$$L_T = J_x \omega^2 \cos \theta \sin \theta \left(1 + \frac{J_x - J_z}{J_x} \right).$$

Движение гироскопа является устойчивым при собственном вращении его вокруг большой или малой осей эллипсоида инерции, а вращение вокруг средней оси этого эллипсоида неустойчиво. Поэтому, если начальный угол θ_0 нутации (он же начальный угол относительного расположения осей сопрягаемых поверхностей) будет меньше угла θ_{kp}^* между средней и большой осью эллипсоида инерции, то при достижении некоторого значения угловой скорости $\omega = \omega_{kp}$ охватываемая деталь начнет поворот (в соответствии с правилом Жуковского) до совмещения осей сопрягаемых деталей.

Угол θ_{kp}^* вычисляется по формуле

$$\theta_{kp}^*(\varepsilon) \leq \operatorname{arctg} \left[\varepsilon \sqrt{\frac{3\varepsilon^{-1} - \varepsilon - 2}{2 + \varepsilon^{-1} - 3\varepsilon}} \right],$$

$$\text{где } \varepsilon = \sqrt{\frac{J_x}{J_z}},$$

Вместе с тем угол θ_{kp} ограничен условием относительного расположения сопрягаемых поверхностей под углом между осями:

$$\theta_{kp}(v) = \arccos \left[v / \left(\sqrt{1 - v^2} + 1 \right) \right],$$

где $v = d_b^{\max} / d_a^{\min}$; d_b^{\max} — наибольший диаметр охватываемой поверхности; d_a^{\min} — наименьший диаметр охватывающей поверхности.

Движение, описанное ранее, начинается после того, как гироскопический момент превысит момент сил трения:

$$\begin{aligned} J_x \omega^2 \cos \theta \sin \theta \left(1 + \frac{J_x - J_z}{J_x} \right) (1 - f) &\geq \\ &\geq mgf |\vec{r}_c| \cos \theta, \end{aligned}$$

где f — коэффициент трения скольжения материалов сопрягаемых деталей.

Тогда величину ω_{kp} критической угловой скорости, при которой начинается поворот охватываемой детали к совмещению осей сопрягаемых поверхностей, можно вычислить по выражению

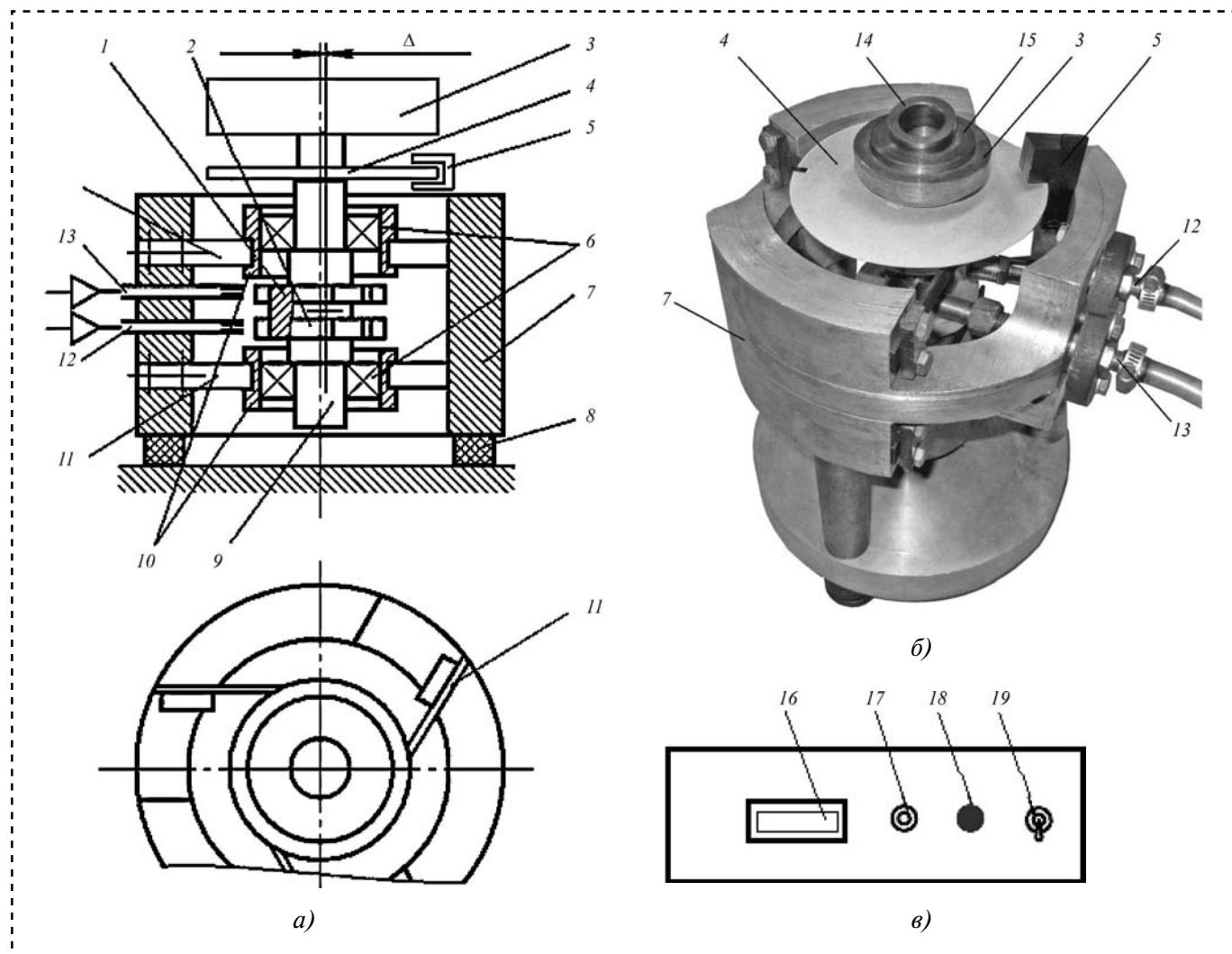
$$\omega_{kp} = \sqrt{\frac{mgf^* |\vec{r}_c|}{(2J_x - J_z)(1 - f^*) \sin \theta_0}},$$

где f^* — приведенный коэффициент трения; $\theta_0 < \theta_{kp}$ — допустимый угол наклона осей сопрягаемых деталей, который выбирается меньшим из θ_{kp}^* и θ_{kp} .

При достижении двухточечного контакта полученные выражения сохраняют свой вид. Вычисление заканчивается к моменту времени t_2 при достижении углом θ значений, близких к $\theta = \operatorname{arctg} [(d_a^{\min} - d_b^{\max}) / l_c]$.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 2, а) состоит из корпуса 7, который установлен на амортизаторах 8 (см. также рис. 1). Сборочный столик 3 закреплен на валу 9 с размещенными на нем пневматическими турбинами разгона 1 и торможения 2, вращающимся в опорах вра-

**Рис. 2. Лабораторная установка:***а — схема; б — общий вид; в — панель*

щения 10 с подшипниками 6, которые установлены на упругих пружинных подвесах 11 относительно корпуса 7. Сжатый воздух подается через штуцеры 12 и 13, закрепленные на корпусе 7, что обеспечивает либо разгон, либо торможение вала турбины. На сборочном столике 3 выполнены базирующие поверхности под охватывающую деталь 15 (см. рис. 2, б). Для определения частоты вращения вала, при которой будет наблюдаться сопряжение детали 15 и охватываемой детали 14, к сборочному столику прикреплен диск 4 с прорезью. При вращении диска фотодатчик 5 посылает через микроконтроллер сигнал значения частоты вращения на ЖК-дисплей 16 (рис. 2, в), установленный на панели лабораторной установки.

Порядок выполнения исследований

Перед началом работы производят расчет моментов инерции J_{xc} , J_{yc} , J_{zc} детали 14 (см. рис. 2, а, б) в соответствии с исходными данными (табл. 1). Далее в сборочном столике 3 устанавливают сопрягаемую деталь 15, которая имеет только одну степень подвижности — вращение вокруг своей оси. В ее отверстие под определенным начальным углом θ_0 наклона осей сопрягаемых поверхностей помещают деталь 14. Пневматической кнопкой 18 (см. рис. 2, в) подключают питание сжатым воздухом вала привода установки. Включением выключателя 19 подключают питание измерителя угловой скорости вращения (фотодатчик, контроллер, ЖК-дисплей) ротора



Таблица 1

Геометрические параметры охватываемой детали

Параметр, мм	Номер детали								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D_1	30,0								
D_2	27,0								
d_i	18,0			20,0			22,0		
l_j	8,0	10,0	12,0	8,0	10,0	12,0	8,0	10,0	12,0

Таблица 2

Результаты выполненных опытов (время процесса сборки t_i , с; частота вращения в момент сборки n , с^{-1})

Номер детали	1		2		3		...	9	
Номер опыта	t_{1i}	n_{1i}	t_{2i}	n_{2i}	t_{3i}	n_{3i}	...	t_{9i}	n_{9i}
1	t_{11}	n_{11}	t_{21}	n_{21}	t_{31}	n_{31}	...	t_{91}	n_{91}
2	t_{12}	n_{12}	t_{22}	n_{22}	t_{32}	n_{32}	...	t_{92}	n_{92}
...
5	t_{15}	n_{15}	t_{25}	n_{25}	t_{35}	n_{35}	...	t_{95}	n_{95}
Среднее значение	t_{1cp}	n_{1cp}	t_{2cp}	n_{2cp}	t_{3cp}	n_{3cp}	...	t_{9cp}	n_{9cp}

установки. Время t процесса сборки измеряется по секундомеру.

Затем при помощи регулятора давления 17 (см. рис. 2, в) увеличивают давление сжатого воздуха, питающего установку, что приводит к увеличению частоты ω вращения ротора до тех пор, пока не будет наблюдаться сопряжение деталей.

Опыт выполнен 5 раз для каждой j -й охватываемой детали. Результаты экспериментов приведены в табл. 2. По результатам опытов можно построить зависимости влияния моментов инерции на частоту вращения $n = f(J)$ в момент сборки и время $t = f(J)$ процесса сборки.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ СБОРКИ

УДК 681.31

Ю.Н. Можегова, канд. техн. наук, И.А. Князева

(Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева)

E-mail: kandy2701@mail.ru

Автоматизированное проектирование инструмента для изготовления изделий машиностроения

Разработано программное обеспечение для автоматизированного проектирования фасонной затылованной фрезы, позволяющее в автоматизированном режиме осуществлять расчет параметров, построение трехмеральной модели и чертежа фрезы.

The software for computer-aided relieved cutter is developed. The software automatically is leading payment options. The software automatically is building a solid model and drawing cutter.

Ключевые слова: фреза, проектирование, программное обеспечение.

Keywords: cutter, design, software.

В современном машиностроении автоматизация затрагивает все этапы проектирования и производства изделий, включая и инструментальное производство. Среди многообразия типов и форм режущих инструментов значительную часть составляют инструменты со сложными рабочими поверхностями: сверла, зенкера, развертки, фрезы, метчики. Проектирование и изготовление режущих инструментов для обработки этих поверхностей являются одними из наиболее важных задач инструментального производства.

Специфика проектирования режущих инструментов, предназначенных для обработки фасонных поверхностей, обуславливает необходимость учета многочисленных связей между параметрами обрабатываемой детали, требованиями к ее производству и эксплуата-

ции, рассмотрения большого числа конструктивных и технологических вариантов.

Комплексное решение поставленных задач возможно только на базе широкого применения вычислительной техники и создания систем автоматизированного проектирования режущих инструментов.

Традиционный способ обработки фасонных поверхностей предусматривает в качестве режущего инструмента использование фасонных фрез. В ряде случаев фасонная фреза является единственным инструментом, которым можно обработать сложный профиль изделия.

Наибольшее распространение получили фасонные фрезы при обработке винтовых и цилиндрических поверхностей (прямых фасонных канавок), при изготовлении прямых и винтовых стружечных канавок всевозможных инструментов.

Процесс проектирования фасонной фрезы трудоемок и продолжителен, так как необходимо провести расчет сложной фасонной поверхности инструмента, который позволит получить требуемые форму и качество поверхности. Поэтому автоматизация процесса проектирования инструмента является актуальной задачей для инструментального производства [1].

Предлагается программное обеспечение для автоматизированного расчета параметров фасонной затылованной фрезы и проектирования 3D-модели и чертежа фасонной фрезы в графической системе КОМПАС-3Д.

Структурная схема проектирования фасонной фрезы представлена на рис. 1.

Исходными данными для расчета являются сведения об обрабатываемом материале, такие



Рис. 1 . Структурная схема процесса проектирования фасонной затылованной фрезы

как марка стали и ее прочность, размеры профиля обрабатываемой детали.

В результате расчета определяют наружный диаметр фрезы, диаметр отверстия под оправку, высоту зуба фрезы, ширину фрезы, число зубьев фрезы, угол впадины между зубьями, радиус впадины, величину затылования.

На основе построенной структурной схемы был разработан алгоритм программного обеспечения для автоматизированного проектирования фасонной фрезы, включающий расчет конструктивных и геометрических параметров (рис. 2), построение трехмерной модели (рис. 3) и построение чертежа (рис. 4).

На основе полученного алгоритма разработано программное обеспечение в среде разработки Delphi с использованием API-функций системы КОМПАС-3Д. Для расчета использованы стандартные библиотеки среды Delphi, включающие математические, визуальные средства, компоненты GroupBox, ComboBox, RadioButton, MainMenu. Разработанное программное обеспечение представляет собой



Рис. 2. Алгоритм расчета конструктивных и геометрических параметров фасонной фрезы

проект, состоящий из модулей расчета, построения трехмерной модели и чертежа.

Общий вид программы, в которой в качестве исходных данных для проектирования принимают марку стали, ее прочность, радиус и ширину профиля обрабатываемой детали, представлен на рис. 5.

После выбора начальных условий при нажатии на вкладку "Поворот профиля" определяется угол наклона профиля детали (рис. 6), а при нажатии на вкладку "Параметры фрезы" (рис. 7) на экран выводятся параметры фрезы, рассчитанные по заданным исходным данным.



Рис. 3. Алгоритм построения трехмерной модели



Рис. 4. Алгоритм построения чертежа

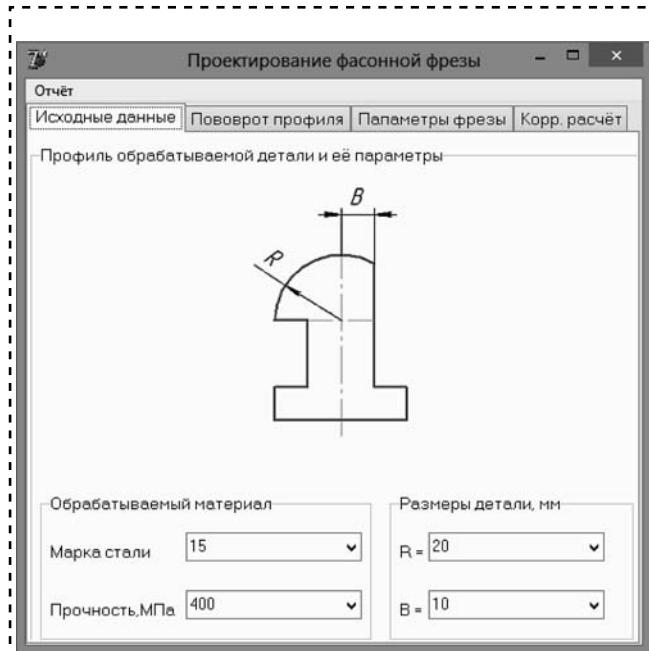


Рис. 5. Исходные данные



Проектирование фасонной фрезы

Отчёт

Исходные данные | Поворот профиля | Параметры фрезы | Корр. расчёт

1. Материал режущей части и корпуса фрезы Р6М5

2. Выбор геометрических параметров режущей части, градус
Альфа = 10 Гамма = 10

Поворот профиля

xi	yi	a1	b1	a2	b2	x0	y0
2,6795	10	5	2,321	8,66	1,34	7,321	7,32
10	17,321	8,661	8,66	15	5	17,32	10
20	20	10	17,32	17,32	10	27,32	7,32
30	17,321	8,661	25,98	15	15	34,64	0

Поворот оси на угол 30 градусов

Рис. 6. Поворот профиля

Проектирование фасонной фрезы

Отчёт

Исходные данные | Поворот профиля | Параметры фрезы | Корр. расчёт

Коррекционный расчет профилей фрезы, затыловочного резца и круга

1. Расчет в осевой плоскости и плоскости передней поверхности.

№ точки	hp, мм	hfpp, мм
1	7,054	7,449
2	9,616	10,19
3	7,054	7,449

2. Расчет в нормальном сечении (профиль шлифовального круга)

№ точки	R, мм	L, мм	Rkr, мм	hkr, мм
1	50,18	111,5	61,91	0,5898
2	47,5	108,7	59,71	2,793
3	50,18	111,5	61,91	0,5898

Построение 3D-модели и 2D-чертежа фасонной фрезы

3D-модель | 2D-чертёж

Рис. 8. Коррекционный расчет

Проектирование фасонной фрезы

Отчёт

Исходные данные | Поворот профиля | Параметры фрезы | Корр. расчёт

Глубина профиля (макс) ho = 10 мм
Ширина фрезерования Bo = 34,64 мм
Диаметр посадочного отверстия d = 32 мм
Диаметр фрезы D = 115 мм
Число зубьев Z = 10 мм
Чтобы впадины между зубьями фрезы Ok = 22 градуса
Радиус дна канавки R = 3,5 мм
Высота зуба H = 21 мм
Ширина фрезы B = 35 мм
Длина выточки L = 11,6666666666667 мм
Диаметр выточки d2 = 34 мм
Диаметр шлифовального круга Dkr = 125 мм

Рис. 7. Параметры фрезы

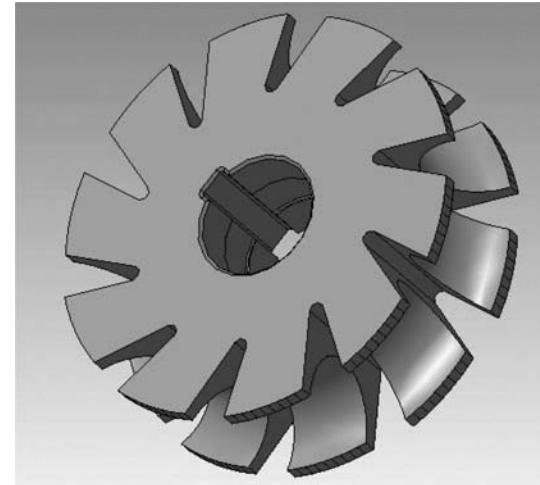


Рис. 9. Трехмерная модель фасонной фрезы

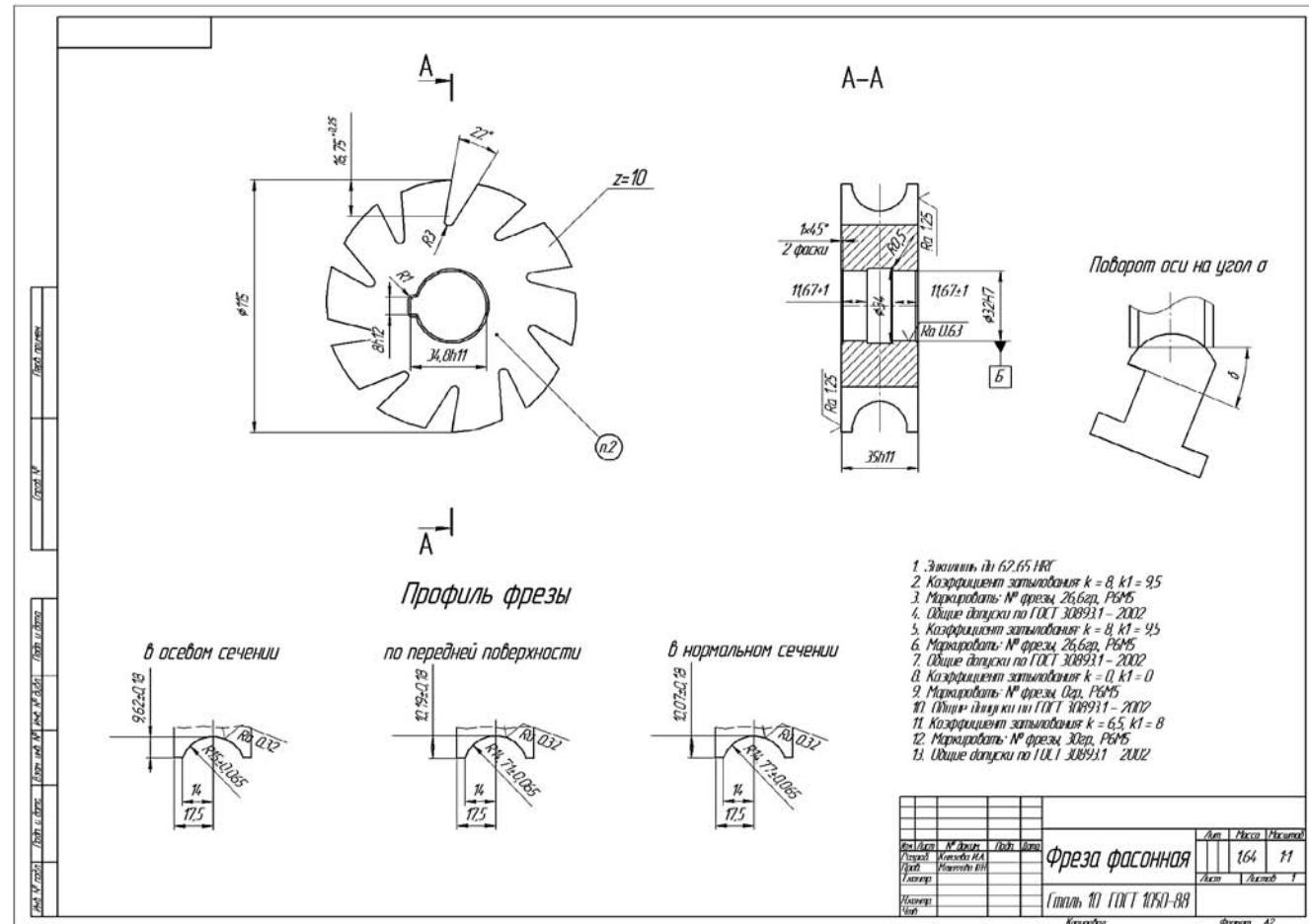


Рис. 10. Чертеж фасонной фрезы

Автоматически программа осуществляет коррекционный расчет профиля фрезы (рис. 8), построение трехмерной модели (рис. 9) и чертежа инструмента (рис. 10).

Разработанное программное обеспечение позволяет автоматизировать процесс формирования конструкторско-технологической документации для инструментального производства. Построенная в программе 3D-модель служит исходной для разработки управляющей программы шлифовки профиля для станка с ЧПУ.

Таким образом, разработанное программное обеспечение позволяет значительно ускорить процесс проектирования инструмента и формирования конструкторско-технологической документации инструментального производства машиностроительных предприятий.

Библиографический список

1. Матросова Ю.Н., Малова Е.С. Программное обеспечение для автоматизированного проектирования фрез // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 1 С. 44—46.

СБОРКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛЕЕВ

УДК 620.162

В.В. Есаулов, канд. техн. наук, А.В. Шишлов, А.В. Колосков, Т.Е. Рожко

(Научно-исследовательский институт прикладной механики имени академика В.И. Кузнецова — филиал Центра эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры, Москва)
E-mail: 073@niipm.ru

Исследование адгезионных свойств клея-герметика силиконового "Герсил-180"

Приведены результаты исследования влияния вибрации, линейных ускорений и ударных воздействий на адгезионные свойства клея-герметика силиконового "Герсил-180". Показана возможность применения клея-герметика силиконового "Герсил-180" для фиксации защитных трубок световодов в приборе.

In article results of research of influence of vibration, linear accelerations and shock impacts on the adhesive properties of the adhesive-sealant silicone "Gercel-180". The possibility of application of the adhesive-sealant silicone "Gercel-180" for fixing the protective tube fiber optic cable in the device.

Ключевые слова: клей-герметик силиконовый "Герсил-180", адгезия, испытания на отрыв, механические испытания, фиксация защитных трубок.

Keywords: adhesive sealant silicone "Gercel-180", adhesion, pull-out test, mechanical test, the fixation of the protective tubes.

Предмет исследования. Целью исследования является расширение области применения клея-герметика силиконового "Герсил-180", в частности подтверждение возможности его применения для фиксации (приклейки) защитных трубок световодов в приборе. Для этого было исследовано влияние вибрации, линейных ускорений и ударных воздействий на адгезионные свойства "Герсил-180" при различных режимах сушки.

Клей-герметик силиконовый "Герсил-180" [1] представляет собой однокомпонентную композицию, вулканизующуюся при температуре окружающей среды с образованием эластич-

ного резиноподобного материала. По внешнему виду он является однородной массой от бесцветной до светло-желтого цвета без механических примесей. Разработан в лаборатории ООО НТФ "Полисил-М" в 2001 г. Предназначен для склеивания и герметизации оптических систем, для поверхностной герметизации тензочувствительных элементов электронных приборов, а также деталей из органического и силикатного стекла, керамики, алюминия и других материалов.

Оптимальные показатели "Герсил-180" достигаются при вулканизации в условиях относительной влажности (60 + 10) % и температуре (20 + 5) °C в течение 3...5 сут. Вулканизация происходит под действием влаги воздуха.

"Герсил-180" выпускается в виде двух марок: О и П. Для фиксации защитных трубок в приборе применен "Герсил-180" марки П. Это быстровулканизующаяся композиция, предназначенная для изоляции, заливки и покрытия тонким слоем электронных печатных плат и полупроводников.

Гарантийный срок хранения "Герсил-180" в таре изготовителя составляет 3 месяца. "Герсил-180" относится к 4-му классу опасности — вещества малоопасные.

Группа горючести — трудногорючие материалы.

Температуры вспышки — 275 °C, воспламенения — 200 °C, самовоспламенения — 455 °C.

Основные физико-механические свойства "Герсил-180" приведены в табл. 1.

Методика исследований состояла из следующих этапов:

- Проектирование и изготовление оснастки для виброиспытаний, ударных воздей-

Таблица 1
Физико-механические свойства клея-герметика силиконового "Герсил-180" марки П

Наименование показателей	Значение показателей
Время высыхания поверхностной пленки при $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ до степени 3, ч	Не более 3
Прочность при растяжении, кгс/см ²	Не менее 1
Относительное удлинение при разрыве, %	Не менее 80
Температура эксплуатации, $^\circ\text{C}$	От -50 до +200

ствий, а также комплекта подложек для испытаний клея на отрыв. Поверхности, предназначенные для фиксации защитных трубок, имели различную шероховатость $Rz20$, $Rz40$, $Rz80$.

2. Фиксация клеем "Герсил-180" силиконовых трубок к поверхностям технологиче-

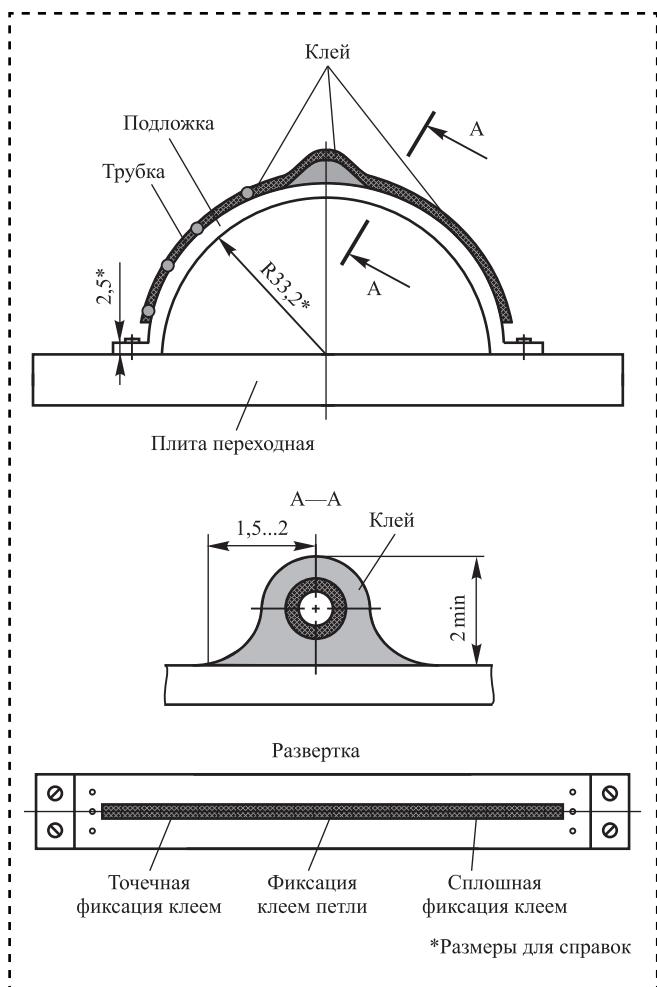


Рис. 1. Фиксация клеем трубы силиконовой на подложке для проведения виброиспытаний

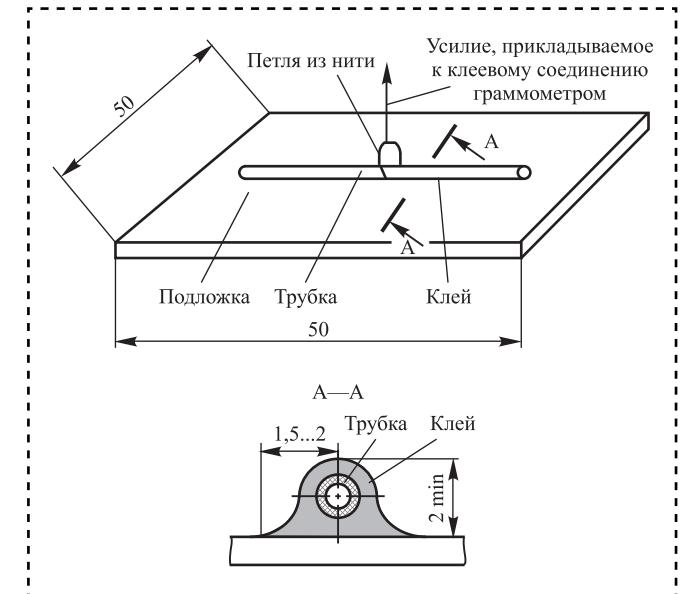


Рис. 2. Фиксация трубы силиконовой на подложке для проведения испытаний на отрыв

ских подложек, имеющим разную шероховатость.

Способы фиксации трубок на подложках для виброиспытаний и ударных воздействий показаны на рис. 1; способы фиксации трубок на подложках для испытаний на отрыв — на рис. 2.

3. Сушка клея-герметика "Герсил-180" на трех образцах для виброиспытаний и на трех образцах для испытаний на отрыв по режимам:

режим 1 — вулканизация в течение 24 ч на воздухе;

режим 2 — вулканизация в течение 3 сут на воздухе.

4. Проведение различных испытаний на изготовленных образцах после сушки по режимам 1 и 2:

испытания образцов на отрыв клея-герметика "Герсил-180" от поверхности технологической подложки;

виброиспытания;

ударные испытания;

испытания на стойкость при воздействии линейных ускорений.

Результаты исследований. Исследования проводили в два этапа: сначала по режиму 1, затем по режиму 2.

На первом этапе на образцах для виброиспытаний и на трех образцах для испытаний на отрыв проведена сушка клея-герметика



"Герсил-180" по режиму 1: вулканизация в течение 24 ч на воздухе. Поверхности образцов предварительно тщательно обезжирили и высушили. Перед приклейкой была проведена предварительная выдержка клея на воздухе в течение 20 мин.

Проведены визуальные наблюдения за процессом отверждения. При соприкосновении с герметиком трубка быстро "утопала" в его массе, демонстрируя хорошую смачиваемость. Видимое нарастание упругих свойств герметика происходило в течение первых 4 ч выдержки с образованием поверхностной пленки. Внешний вид подготовленных образцов после полимеризации показан на рис. 3, 4 (см. стр. 3 обложки).

После сушки по режиму 1 (вулканизация 24 ч) проведены испытания на отрыв трех соответствующих образцов (см. рис. 3).

Усилие к приклеенным трубкам прикладывали через граммометр (рис. 5 на стр. 3 обложки).

Результаты испытаний отражены в табл. 2.

Внешний вид образцов с шероховатостью $Rz20$, $Rz40$, $Rz80$ после испытания на отрыв показан на рис. 6 (см. стр. 4 обложки).

После сушки по режиму 1 (вулканизация 24 ч) образцов, показанных на рис. 3, были проведены следующие виды испытаний:

виброиспытания;
ударные;

Таблица 2

Результаты испытаний на отрыв образцов с шероховатостью $Rz 20$, $Rz 40$, $Rz 80$ (режим сушки 1)

Усилие отрыва, г	Состояние после испытаний образца с параметром шероховатости		
	Rz 20	Rz 40	Rz 80
50	Без изменений	—	—
75	То же	Без изменений	—
100	— " —	То же	Без изменений
125	Начало видимой деформации kleевого слоя	— " —	То же
135	Небольшое увеличение площади видимой деформации	Начало видимой деформации kleевого слоя	— " —
145	То же	Начало отрыва	— " —
150	Полный отрыв трубки после нескольких покачиваний	Отрыв, меньший по площади, чем у образца Rz 20	— " —
155	—	Полный отрыв	— " —
165	—	—	— " —
170	—	—	Начало видимой деформации kleевого слоя
190	—	—	Небольшое увеличение площади видимой деформации
200	—	—	То же
220	—	—	Полный отрыв



Таблица 5

**Режимы механических ударов
при испытаниях на ударном стенде**

Ускорение g	Длительность импульса, мс	Количество ударов
±40	1...3	По семь ударов в каждом направлении и по каждой оси
±100	1...2	По два удара в каждом направлении и по каждой оси
±40	3...5	По три удара в каждом направлении и по каждой оси
±40	1...3	По два удара в каждом направлении и по каждой оси
±20	1...3	По семь ударов в каждом направлении и по каждой оси

Таблица 6

**Режимы линейных ускорений
при испытаниях на центрифуге**

Направление	Перегрузка	Длительность воздействия, с
X, Y, Z	10	600
X	19,5	5
	-9	2
Y, Z	±17	30
X	9	20
Y, Z	±1,5	20
X	35	9
Y, Z	±6,5	13
X, Y, Z	15	25

Выводы. Результаты исследований показывают возможность применения клея-герметика силиконового "Герсил-180" для фиксации защитных трубок световодов в приборе.

Таким образом, клей-герметик силиконовый "Герсил-180" марки П может быть применен не только для склеивания и герметизации

оптических систем, как заявлено в ТУ, но и для силовой фиксации некоторых конструктивных элементов, что существенно расширяет область его применения.

Библиографический список

1. Клей-герметик силиконовый " Герсил-180". ТУ2252-004-40233984—2001.



**ООО "Издательство Машиностроение"
продолжает подписку на журнал**

"СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ"

- За наличный и безналичный расчет.
- С любого номера и на любой срок.
- Без почтовых наценок.

**Присылайте заказ и обращайтесь за дополнительной информацией
в отдел продаж, маркетинга и рекламы:**

107076, г. Москва, Стромынский пер., д. 4,
тел.: (499) 269-66-00, 269-52-98, факс: (499) 269-48-97
e-mail: realiz@mashin.ru, www.mashin.ru

В помощь конструктору, технологу

УДК 621.71

О.В. Спиридонов, канд. техн. наук

(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

E-mail: Sp2000@mail.ru

Технологические расчеты при сборке резьбовых соединений

Рассмотрены вопросы обеспечения качества при проектировании технологических операций сборки резьбовых соединений. Представлены методики расчета при реализации основных способов обеспечения силы затяжки.

Is considered to ensuring the quality of the design process of assembly of threaded connections. Presents the methodology for calculating the implementation of the main ways to ensuring tightening force.

Ключевые слова: сборка, технологическая операция, резьба, резьбовое соединение, винт, шпилька, болт, гайка, сила затяжки, момент затяжки, угол поворота, удлинение.

Keywords: assembly, technological operation, thread, threaded joint, screw, stud, bolt, nut, tightening force, tightening torque, rotation angle, elongation.

Введение

Резьбовые соединения — самый распространенный вид разъемных соединений деталей машин. Они характеризуются простотой конструкции, удобством сборки и разборки, универсальностью и высокой надежностью.

Среди резьбовых деталей наиболее распространены крепежные болты, винты, шпильки, гайки. Под болтом (рис. 1, а) или винтом (рис. 1, б) понимают стержень с головкой и одним резьбовым концом. Шпилька (рис. 1, в) имеет два резьбовых конца.

Независимо от вида резьбовое соединение характеризуется наружным диаметром (d и D для наружной и

внутренней резьбы соответственно) и шагом P . Для выполнения технологических расчетов, как правило, необходимо знать и другие параметры (рис. 2).

С точки зрения конструктора различают резьбовые соединения с предварительной затяжкой и без предварительной затяжки. В первом случае гайку заворачивают, но не затягивают. Во втором — гайку (винт) затягивают, создавая в теле болта (шпильки, винта) растягивающие напряжения, обеспечивающие прочность соединения деталей. Так как все стандартные болты, винты и шпильки изготавливают равнопрочными на разрыв стержня по резьбе, на срез резьбы и на отрыв головки, то их рассчитывают по основному критерию работоспособности — прочности нарезной части стержня. Из расчета стержня на прочность определяют внутренний диаметр резьбы d_1 , а остальные размеры болта, винта, шпильки и гайки принимают

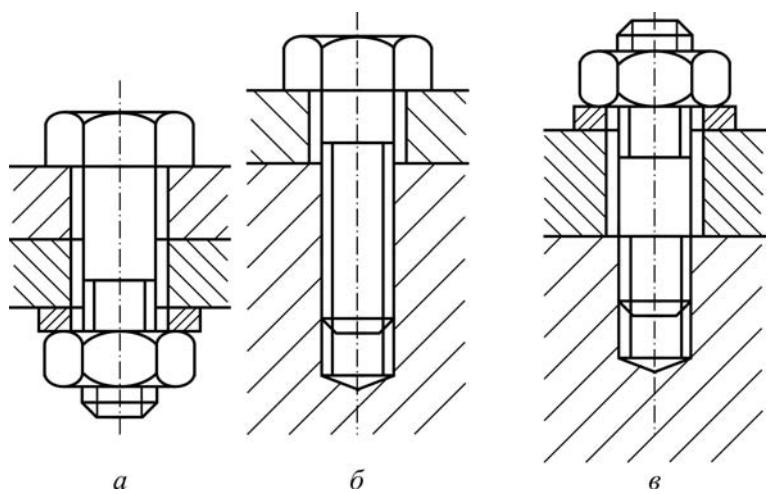


Рис. 1. Основные виды резьбовых соединений:
а — болт; б — винт; в — шпилька

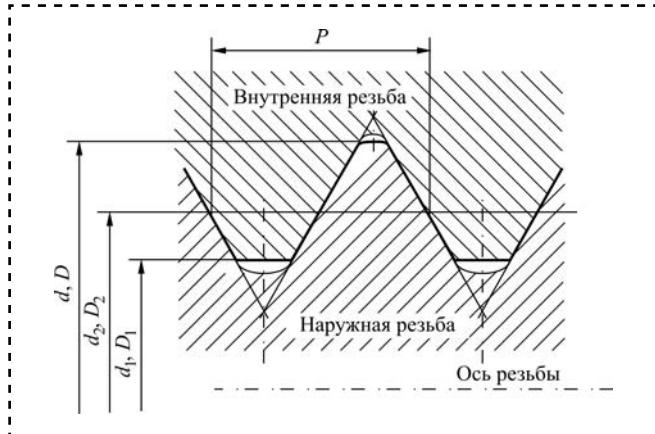


Рис. 2. Основные параметры резьбовых соединений

в зависимости от диаметра резьбы в соответствии с рекомендациями стандартов.

Основные технологические расчеты, выполняемые при проектировании сборочных операций, относятся к обеспечению силы затяжки резьбового соединения, а также к установке шпилек в корпус.

Расчеты при обеспечении силы затяжки

Расчет силы затяжки. При проектировании сборочных операций нельзя в содержании операции записывать "затянуть до упора". В резьбовых соединениях необходимо обеспечивать заданную силу затяжки, так как недостаточная затяжка не обеспечит прочность соединения, а чрезмерная может привести к поломкам резьбовых и/или соединяемых деталей. Например, болт M6 разрушается при приложении к стандартному гаечному ключу силы всего 45 Н, а болт M12 — при силе 180 Н [1].

Анализ технических требований [2] показывает, что в конструкторской документации требуемая сила затяжки резьбового соединения почти никогда не указана. В лучшем случае конструктор указывает момент, с которым требуется затянуть гайку (винт).

Таким образом, при проектировании операции сборки резьбового соединения технолог вынужден самостоятельно рассчитывать силу затяжки. Это можно сделать на основе выражения, используемого конструктором при проектировании соединения:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4nF_p}{\pi[\sigma_p]}}, \quad (1)$$

где d_1 — внутренний диаметр резьбы болта¹, м; F_p — растягивающая сила, Н; n — коэффициент запаса прочности; $[\sigma_p]$ — допускаемое напряжение при растяжении материала болта, Па.

На основе выражения (1) конструктор выбирает размеры болта. Следовательно, можно решить и обратную задачу: зная внутренний диаметр резьбы и предел прочности материала болта, определить силу затяжки:

$$F = \frac{\pi d_1^2 [\sigma_p]}{4n}. \quad (2)$$

Значение внутреннего диаметра резьбы берут по ГОСТ 24705—2004. Допускаемое напряжение материала болта устанавливается по справочникам, например [3], или в соответствии с классом прочности болтов (ГОСТ 1759.4—87), если таковой указан в спецификации. Первая цифра в обозначении класса прочности соответствует 1/100 номинального значения временного сопротивления разрыву в паскалях, вторая соответствует 1/10 отношения номинального значения предела текучести к временному сопротивлению в процентах.

Способы обеспечения силы. Требуемая сила затяжки может быть обеспечена и проконтролирована одним из четырех способов.

1. *По моменту затяжки.* Это самый простой и удобный способ. Может быть использован при сборке любых резьбовых соединений: болтовых, винтовых, шпилечных. Реализуют его с использованием динамометрических и предельных ключей, пневмо- и электрогайковертов. Отличается самой низкой по сравнению с другими способами точностью: примерно $\pm 25\%$.

2. *По углу поворота.* Способ заключается в том, что сначала гайку навинчивают до соприкосновения со стягиваемой деталью, а затем выполняется дополнительный поворот ее на определенный угол. Затяжку производят обычными ключами, а угол поворота измеряют с помощью стрелки, установленной на

¹ Здесь и далее для удобства болтом будет называться любая деталь с наружной резьбой: собственно болт, а также винт и шпилька.



ключе, и лимба (транспортира), неподвижно установленного на детали. Для повышения точности затяжки рекомендуется два—три раза произвести предварительную сборку—разборку резьбового соединения с целью устранения зазоров и перекосов собираемых деталей, пластической деформации микронеровностей на поверхностяхстыка. Способ может быть использован при сборке болтовых, винтовых и шпилечных соединений, но малоэффективен для коротких деталей ($l/d < 4$). Точность обеспечения заданной силы затяжки не превышает $\pm 15\%$.

3. По моменту затяжки и углу поворота. Данный способ объединяет два предыдущих. Сначала для выборки всех зазоров и устранения перекосов собираемых деталей резьбовое соединение затягивают с приложением момента, обеспечивающего 10 % требуемого значения силы затяжки. После этого гайку поворачивают на определенный угол, обеспечивающий остальные 90 % силы затяжки. Как и предыдущие, способ может быть использован при сборке любых резьбовых соединений. Точность обеспечения заданной силы затяжки при использовании данного способа составляет примерно $\pm 10\%$.

4. По удлинению. Сущность способа заключается в том, что в процессе сборки резьбового соединения измеряется удлинение болта, вызванное приложением силы затяжки. Удлинение измеряют предварительно установленной индикаторной головкой (для шпилек) или микрометром (для болтов). Способ может быть использован при сборке болтовых и шпилечных соединений, но практически не применим для винтовых соединений. Наиболее эффективен для длинных деталей ($l/d > 10$). Способ трудозатратный, но обеспечивающий точность заданной силы затяжки примерно $\pm 5\%$.

Расчет момента затяжки. Требуется рассчитать момент, необходимый для обеспечения заданной силы затяжки. Это делают по следующей формуле [4]:

$$M = F \left(\frac{d_2}{2} f_p + \frac{D_{\text{пр}}}{2} f_t \right), \quad (3)$$

где d_2 — средний диаметр резьбы, м;

f_p и f_t — коэффициенты трения в резьбе и под торцом гайки или головки винта;

$D_{\text{пр}}$ — приведенный диаметр головки винта или гайки, м.

Приведенный диаметр головки винта или гайки рассчитывают по выражению

$$D_{\text{пр}} = \frac{D^3 - d_{\text{отв}}^3}{3(D^2 - d_{\text{отв}}^2)}, \quad (4)$$

где D — наружный диаметр гайки или головки винта, м;

$d_{\text{отв}}$ — диаметр отверстия соединяемых деталей, м.

Значение среднего диаметра резьбы берут по ГОСТ 24705—2004. Размеры гайки или головки винта берут в соответствующих стандартах. Диаметр отверстия в соединяемых деталях определяют по рабочим чертежам деталей.

Коэффициенты трения в резьбе и под торцом устанавливают в зависимости от качества поверхности поверхностей, наличия/отсутствия покрытий, наличия/отсутствия смазки и т. д. Можно воспользоваться справочными данными, например [5].

Расчет угла поворота. Угол поворота, необходимый для обеспечения заданной силы затяжки, рассчитывается по формуле [5]

$$\varphi = 360 \frac{F}{P(\lambda_1 + \lambda_2)}, \quad (5)$$

где F — сила затяжки, Н;

P — шаг резьбы, м;

λ_1 и λ_2 — коэффициенты податливости болта и собираемых деталей соответственно, м/Н.

Коэффициент податливости болта рассчитывают по формуле

$$\lambda_1 = \frac{l_1}{E_1 S_1}, \quad (6)$$

где l_1 — длина деформируемой (растягивающейся) части болта, м;

E_1 — модуль упругости материала болта, Па;

S_1 — площадь поперечного сечения растягиваемой части болта, м².

Площадь поперечного сечения болта рассчитывают по внутреннему диаметру резьбы:

$$S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}, \quad (7)$$

где d_1 — внутренний диаметр резьбы болта, Па;

Для большей точности расчета можно отдельно учитывать податливость резьбовой и гладкой части болта:

$$\lambda_1 = \frac{1}{E_1} \left(\frac{l'_1}{S'_1} + \frac{l''_1}{S''_1} \right), \quad (8)$$

где l'_1 и l''_1 — длина деформируемых резьбовой и гладкой частей болта, м;

$S'_1 - S''_1$ — площадь поперечного сечения растягиваемой резьбовой и гладкой частей болта, м².

Коэффициент податливости стягиваемых (собираемых) деталей рассчитывают по формуле

$$\lambda_2 = \frac{l_2}{E_2 S_2}, \quad (9)$$

где l_2 — толщина стягиваемых деталей, м;

E_2 — модуль упругости материала стягиваемых деталей, Па;

S_2 — площадь сечения стягиваемых деталей, м².

Площадью сечения стягиваемых деталей считают часть поперечного сечения деталей, деформируемую от затяжки болта (рис. 3).

Приняв, что деформация распространяется вглубь деталей под углом 30°, можно найти площадь сечения:

$$S_2 = \frac{\pi(a_1^2 - d_{\text{отв}}^2)}{4}, \quad (10)$$

где a_1 — диаметр условного цилиндра, м.

Диаметр условного цилиндра определяется из выражения

$$a_1 \approx a + \frac{(l'_1 + l''_1)}{4}, \quad (11)$$

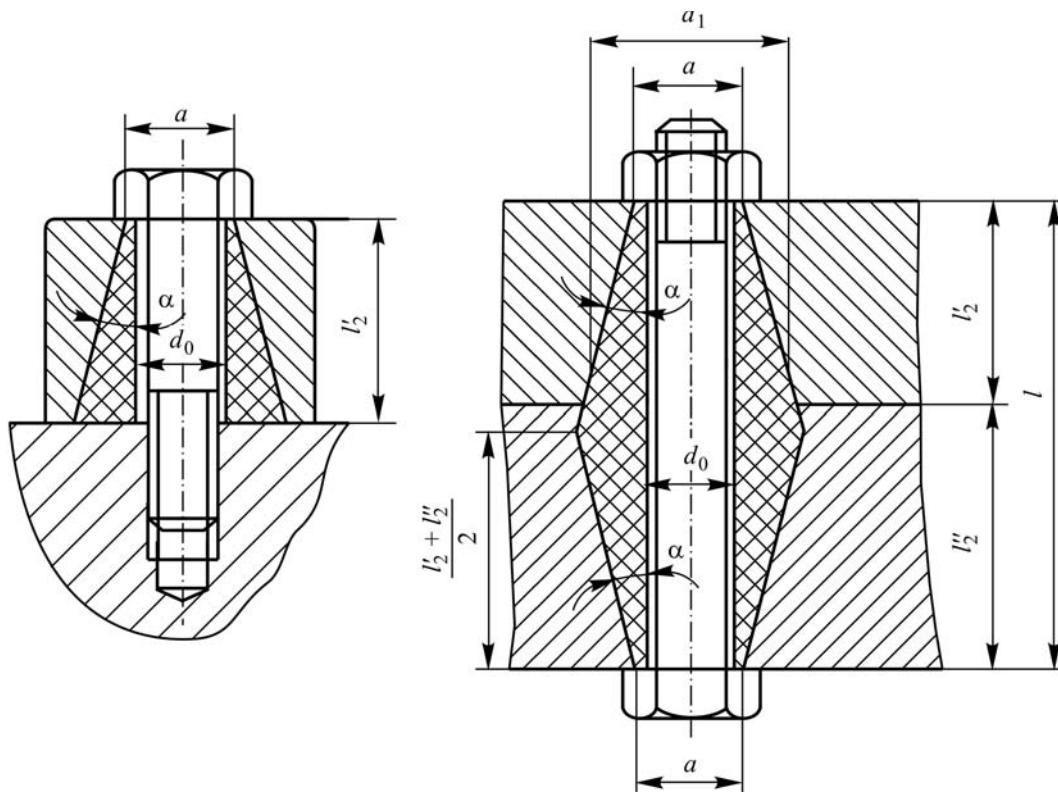


Рис. 3. Деформация соединяемых деталей



где a — наружный диаметр опорного торца гайки (головки винта), м.

Расчет момента затяжки и угла поворота. Требуется выполнить два расчета.

Сначала по выражениям (3) и (4) рассчитывают момент, необходимый для силы затяжки, равной $0,1F$. Затем по выражениям (7)–(11) рассчитывают угол поворота, обеспечивающий силу затяжки, равную $0,9F$.

Расчет удлинения. Удлинение болта, которое будет при достижении заданной силы затяжки, составит

$$\delta l = F\lambda_1, \quad (12)$$

где λ_1 — коэффициент податливости болта, м/Н.

Коэффициент податливости болта рассчитывают по выражению (6) или (8).

Расчеты при установке шпилек. Используют различные способы обеспечения неподвижности шпилек, ввернутых в корпус, но в любом случае требуется рассчитать момент завинчивания шпильки.

Независимо от используемого способа из условия отсутствия пластических деформаций шпильки должен быть рассчитан максимальный допустимый момент завинчивания:

$$M_{\max} = \frac{(\pi d_3^3)}{16} [\tau], \quad (3)$$

где d_3 — номинальный внутренний диаметр наружной резьбы по дну впадины (для расчета напряжений), м;

$[\tau]$ — допускаемое напряжение при кручении материала шпильки, Па.

Значение номинального внутреннего диаметра резьбы берут по ГОСТ 24705—2004. Допускаемое напряжение при кручении материала шпильки устанавливается по справочникам, например [3].

Самым распространенным способом является стопорение шпилек посадкой на сбег резьбы. Если прочность материала корпуса выше прочности материала шпильки, момент завинчивания рассчитывают по формуле (13). Если же прочность материала корпуса ниже прочности материала шпильки, используют выражение

прочности материала шпильки, используют выражение

$$M_{\max} = 2,7dnP[\tau'_{cp}] \times \left[\frac{d_2}{2} \left(\frac{P}{\pi d_2} + f_p \right) + 0,97f_c \left(\frac{d_c^3 - d_1^3}{d_c^2 - d_1^2} \right) \right], \quad (14)$$

где d — диаметр резьбы, м;

n — число витков резьбы в отверстии корпуса;

P — шаг резьбы, м;

$[\tau'_{cp}]$ — допускаемое напряжение на срез материала корпуса, Па;

d_2 — средний диаметр резьбы, м;

f_p — коэффициенты трения в резьбе;

f_c — коэффициенты трения на конусном сбеге;

d_c — диаметр сопряжения, м;

d_1 — внутренний диаметр резьбы, м.

Значение внутреннего диаметра резьбы берут по ГОСТ 24705—2004. Допускаемое напряжение на срез материала корпуса устанавливается по справочникам, например [3]. Диаметр сопряжения d_c при первичном сопряжении принимают равным d , а при повторном — d_2 .

При стопорении шпилек упором бурта или в дно резьбового отверстия корпуса максимальный момент завинчивания рассчитывают по формуле (13), если прочность материала корпуса выше прочности материала шпильки. Если же прочность материала корпуса ниже прочности материала шпильки, используют выражение

$$M_{\max} = 2,73dnP[\tau'_{cp}] \times \left[\frac{d_2}{2} \left(\frac{P}{\pi d_2} + f_p \right) + 0,33f_6 \frac{d_c^3 - d_1^3}{d_c^2 - d_1^2} \right], \quad (15)$$

или

$$M_{\max} = 2,73dnP[\tau'_{cp}] \times \left[\frac{d_2}{2} \left(\frac{P}{\pi d_2} + f_p \right) + 0,97f_\Phi \frac{d_c^3 - d_1^3}{d_c^2 - d_1^2} \right], \quad (16)$$

где f_6 — коэффициент трения на опорном торце бурта шпильки;

f_Φ — коэффициент трения на фаске конца шпильки.



Если неподвижность шпильки обеспечивается натягом по среднему диаметру резьбы, момент завинчивания рассчитывают по следующей зависимости [6]:

$$M = 3,1 \Delta f_p l d_{\text{отв}} \frac{E_2}{1,3 + 0,7 \frac{E_2}{E_1}}, \quad (1) \quad 7)$$

где Δ — эффективный натяг по среднему диаметру резьбы, м;

E_1 и E_2 — модули упругости материала шпильки и корпуса соответственно, Па;

l — длина завинчиваемой части шпильки, м.

Значение эффективного натяга можно рассчитать по формуле

$$\Delta = \Delta_0 - 1,2(R_{\max 1} + R_{\max 2}), \quad (18)$$

где Δ_0 — номинальный натяг по среднему диаметру резьбы, м;

$R_{\max 1}$ и $R_{\max 2}$ — максимальная высота микронеровностей поверхности резьбы шпильки и корпуса, м.

Обычно номинальный натяг для стальных шпилек при установке в стальной кор-

пус составляет 0,02...0,06 мм, в чугунный — 0,04 мм, в алюминиевый — 0,12 мм [7]. Максимальную шероховатость резьбы в отверстии корпуса берут из конструкторской документации, а шпильки — из соответствующих стандартов.

Библиографический список

1. **Иванов М.Н.** Детали машин: учеб. для студентов вузов / под ред. В.А. Финигенова. М.: Высш. шк., 2000. 36 с.
2. **Спиридонова О.В.** Анализ соединений деталей при разработке технологических процессов сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 1. С. 30—33.
3. **Анурьев В.И.** Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. / под ред. И.Н. Жестковой. М.: Машиностроение, 2001. Т. 1. С. 61—67.
4. **Кондаков А.И.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учеб. пособие. М.: Кнорус, 2012. 60 с.
5. **Замятин В.К.** Технология и оснащение сборочного производства машиноприборостроения: справочник. М.: Машиностроение, 1995. 608 с.
6. **Новиков М.П.** Основы технологии сборки машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1980. 120 с.
7. **Новиков М.П.** Основы технологии сборки машин и механизмов. 118 с.

ООО "Издательство Машиностроение", 107076, Москва, Стромынский пер., 4

Учредитель ООО "Издательство Машиностроение".

Адрес электронной почты издательства: mashpubl@mashin.ru;

редакции журнала: sborka@mashin.ru, <http://www.mashin.ru>

Телефон редакции журнала: (499) 269-54-98, факс 268-48-97.

Технический редактор Патрушева Е.М. Корректор Сажина Л.И.

Сдано в набор 27.04.2015. Подписано в печать 08.06.2015. Формат 60 × 88 1/8.

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Свободная цена.

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Адвансед солюшнз". Сайт: www.aov.ru

Отпечатано в ООО "Канцлер", 150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.