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

1 2009 **(102)**

СОДЕРЖАНИЕ

Современные технологии сборки

Мишра А., Неверов А.Н. Применение продольных ультразвуковых колебаний для сборки резьбовых соединений . . . 3

Технологическая оснастка для сборки

Божкова Л.В., Вартанов М.В., Кольчугин Е.И. Экспериментальная установка для роботизированной сборки на основе пассивной адаптации и низкочастотных колебаний . . . 5

Сборка с использованием клея

Гончаров А.Б., Тулинов А.Б. Исследование свойств анаэробных материалов в жидкостных и агрессивных средах . . . 8

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Ломанова М.В. Состояние вопроса о влиянии наклепа на эксплуатационные свойства деталей . . . 11

Малышев Е.Н., Бысов С.А. Реализация комплекса операций обработки и сборки на одном станке . . . 14

Зайдес С.А., Протасов А.В. Повышение качества соединений с гарантированным натягом при сборке узлов крупнотоннажных кривошипных валов газовых компрессоров . . . 22

Матросов А.Е. Устройство автоматизированного неразрушающего контроля физико-механических свойств изделий из пористых материалов перед сборкой . . . 27

Дмитриев С.В., Хлюпин В.Б. Сборка стенда для исследования показателей дизеля при впрыскивании воды во впускной коллектор . . . 30

Разборка. Ремонт

Румянцева Н.В. Способ ремонта лопаток для обеспечения требуемых характеристик и надежности ГТД . . . 34

В порядке обсуждения

Медарь А.В. Точностной анализ в технологическом проектировании сборочных процессов . . . 37

Нормативная документация

Вибрация. Станки балансировочные. Характеристики и методы их проверки (по материалам ГОСТ 20076–2007) . . . 43

Гибкие производственные модули окрасочные. Нормы надежности и общие требования к методам их контроля (по материалам ГОСТ 28355 – 89) . . . 47

Информация

Указатель статей, опубликованных в 2008 году . . . 49

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индексы по каталогу “Роспечать” – **79748**, Объединенному каталогу “Пресса России” – **84967**, каталогу "Почта России" – **60257**) или непосредственно в издательстве
Тел.: (499) 268-38-42; тел./факс: 268-85-26. Факс: (499) 269-48-97.
E-mail: sborka@mashin.ru; tsmm@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.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

Председатель редакционного совета
Ф.М. МИТЕНКОВ, *академик РАН*

Редакционный совет

МОСКВА
А.С. ВАСИЛЬЕВ (главный редактор)
М.В. ВАРТАНОВ
А.А. ГУСЕВ
А.М. ДАЛЬСКИЙ
И.Н. ЖЕСТКОВА (зам. главного редактора)
И.Н. ЗИНИНА
Ю.Л. ИВАНОВ
Ю.Г. КОЗЫРЕВ
А.И. КУМЕНКО
А.В. МЕДАРЬ
Е.А. МИКРИН
Ю.Ф. НАЗАРОВ
В.В. ПОРОШИН
Б.В. ШАНДРОВ
А.А. ШАТИЛОВ
А.Г. ХОЛОДКОВА
Г.А. ЯРКОВ

Региональные редсоветы

АСТРАХАНЬ
В.В. МИКИТЯНСКИЙ
БЕЛГОРОД
Н.А. ПЕЛИПЕНКО
БРЯНСК
О.А. ГОРЛЕНКО
ВЛАДИВОСТОК
Ю.Н. КУЛЬЧИН
А.А. СУПОНЯ
В.М. КОРНИЕНКО
ВОЛГОГРАД
В.Г. КАРАБАНЬ
М.Г. КРИСТАЛЬ
В.И. ЛЫСАК
В.М. ТРУХАНОВ
ИЖЕВСК
И.В. АБРАМОВ
Б.А. ЯКИМОВИЧ
В.Г. ОСЕТРОВ
И.К. ПИЧУГИН
КАЗАНЬ
Р.И. АДГАМОВ
КОВРОВ
Ю.З. ЖИТНИКОВ
КОЛОМНА
Ю.Д. АМИРОВ
КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ
Б.Н. МАРЬИН
В.И. ШПОРТ
А.М. ШПИЛЕВ
НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ
С.В. ДМИТРИЕВ
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ
ОМСК
В.Н. КОСТЮКОВ
ОРЕЛ
Ю.С. СТЕПАНОВ
Г.А. ХАРЛАМОВ
ОРЕНБУРГ
А.Н. ПОЛЯКОВ
А.И. СЕРДЮК
А.П. ФОТ
РЫБИНСК
В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ
В.В. НЕПОМИЛУЕВ
А.Н. СЕМЕНОВ
САМАРА
М.В. ЕВДОКИМОВ
Ю.А. ВАШУКОВ
Г.А. КУЛАКОВ
В.А. НИКОЛАЕВ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
В.Ф. КУЗЬМИН
Е.В. ШАЛОБАЕВ
ТОЛЬЯТТИ
А.И. РЫЖКОВ
Б.Ф. ХАЗОВ
ХАБАРОВСК
В.А. ЛАШКО

Украина
КИЕВ
А.С. ЗЕНКИН
В.А. МАТВИЕНКО
ДОНЕЦК
А.И. МИХАЙЛОВ
СЕВАСТОПОЛЬ
Е.Л. ПЕРВУХИНА
ХАРЬКОВ
Б.М. АРПЕНТЬЕВ

Беларусь
МИНСК
В.Л. БАСИНЮК
ГОМЕЛЬ
В.Е. СТАРЖИНСКИЙ
ПОЛОЦК
М.Л. ХЕЙФЕЦ

Ответственные за подготовку и выпуск номера:
Н.М. КУЩ-ЖАРКО, Л.В. САВЕЛЬЕВА

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

© **Издательство “Машиностроение”, “Сборка в машиностроении, приборостроении”, 2009**

THE MONTHLY NEWSMAGAZINE FOR SCIENTISTS AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

THE MAGAZINE IS PUBLISHED UNDER THE PATRONAGE OF INTERNATIONAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERS

THE JOURNAL IS AMONG THOSE APPROVED BY AAC RF FOR DISSERTATION PUBLICATION

1 2009 (102)

CONTENTS

Modern technologies in assembly

Mishra A. Neverov A.N. The application of lengthway ultrasonic vibrations for an assembly of threaded joints 3

Technological equipment for assembly

Bozhkova L.V., Vartanov M.V., Kolchugin E.I. Experimental setup for robotic assembly on the basis of passive adaptation and low-frequency oscillations 5

Assembly with use glue

Goncharov A.B., Tulinov A.B. Analysis of anaerobic product properties in fluid and aggressive environments 8

Quality assurance. Testing. Monitoring

Lomanova M.V. Condition of question about cold-hardening influence on detail performance attributes 11

Malyshev E.N., Bysov S.A. Performing a complex of processing and assembly operations on one machine-tool 14

Zydes S.I., Protasov A.V. Improvement of quality of connections with a guaranteed tightness at assembly of units large-capacity crank shafts gas compressors 22

Matrosov A.E. Automatic device for the automated not destroying control of physical and mechanical properties of products executed from porous materials before assembly 27

Dmitriev S.V., Khlyupin V.B. Bench assembly for diesel engine tests with water injection in an inlet collector 30

The dismantling. Repair

Rumiantseva N.V. The creation of blades repair technologies for support of required characteristics and reliability of gas-turbine engine 34

Discussing

Medar' A.V. Accuracy analysis in technological designing assembly process 37

Command papers

Vibration. Balancing machines. Description and evaluation methods (on the GOST 20076–2007) 43

Flexible manufacturing painting modules. Standard of reliability and general requirements for metheds of their control (on the GOST 28355 – 89) 47

Information

The bibliography of published in 2008 papers 49

Journal is distributed on subscription, which can be issued in any post office (index on the catalogue of the "Rospechat" agency **79748**, the union catalogue "Pressa Rossii" **84967**, the catalogue "Pochta Rossii" **60257**) or directly in editorial of the journal.
Ph.: (499) 268-38-42; ph./fax: 268-85-26. Fax: (499) 269-48-97.
http://www.mashin.ru E-mail: sborka@mashin.ru; tsmm@mashin.ru
Labor Red Banner Order Public Corporation "Publishing House "Mashine Building"
107076, Moscow, Stromynsky per. 4
The reference to the Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making Journal during reprint of the materials is mandatory.
Advertisers are responsible for the content of their advertisements.

Chair of Editorial Advisory Board –
Member of Russian Academy of Science
F.M. MITENKOV

Editors

MOSCOW

VASIL'EV A.S. (Chief editor)
VARTANOV M.V.
DALSKY A.M.
GUSEV A.A.
ZHESTKOVA I.N. (Deputy chief editor)
ZININA I.N.
IVANOV YU.L.
KOZYREV YU.G.
KUMENKO A.I.
MEDAR' A.V.
MIKRIN E.A.
NAZAROV Yu.F.
POROSHIN V.V.
SHANDROV B.V.
SHATILOV A.A.
KHOLODKOVA A.G.
YARKOV G.A.

Regional editors

ASTRACHAN
MIKITIANSKI V.V.
BELGOROD
PELIPENKO N.A.
BRIANSK
GORLENKO O.A.
VLADIVOSTOK
KULSHIN Yu.N.
SUPONIA A.A.
KORNIENKO V.M.
VOLGOGRAD
KRISTAL M.G.
KARABAN' V.G.
LYSAK V.I.
TRUKHANOV V.M.
IZHEVSK
ABRAMOV I.V.
YAKIMOVICH B.A.
OSETROV V.G.
PITCHUGIN I.K.
KAZAN
ADGAMOV R.I.
KOVROV
ZHITNIKOV Yu.Z.
KOLOMNA
AMIROV Yu.D.
KOMSOMOLSK-ON-AMUR
MARJIN B.N.
SCHPORT V.I.
SHPILEV A.M.
NABEREZHNYE CHELNY
DMITRIEV S.V.
KHISAMUTDINOV R.M.
OMSK
KOSTIUKOV V.N.
OREL
STEPANOV Yu.S.
KHARLAMOV G.A.
ORENBURG
POLYAKOV A.N.
SERDUK A.I.
FOT A.P.
RYBINSK
BEZIAZYSHNY V.F.
NEPOMILUEV V.V.
SEMENOV A.N.
SAMARA
EVDOKIMOV M.V.
VASHUKOV Yu.A.
KULAKOV G.A.
NIKOLAEV V.A.
ST.-PETERSBURG
KUZMIN V.F.
SHALOBAEV E.V.
TOLIATI
KHAZOV B.F.
RYZHKOV A.I.
KHABAROVSK
LASHKO V.A.

Ukraine

KIEV
ZENKIN A.S.
MATVIENKO V.A.
DONETSK
MIKHAILOV A.I.
SEVASTOPOL
PERVUKHINA E.L.
KHARKOV
ARPENTIEV B.M.

Belarus

MINSK
BASINJUK V.L.
GOMEL
STARZHINSKI V.E.
POLOTSK
KHEIFETZ M.L.

Executive editors of current issue:
KUSH-ZHARKO N.M., SAVELIEVA L.V.

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-and Broadcasting and Mass Communications Media.
Registration certificate ПИ № 77-1747,

© "Mashinostroenie Publishers", "Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making", 2009

А. Мишра, А.Н. Неверов *(Московский автомобильно-дорожный институт, Государственный технический университет)*

Применение продольных ультразвуковых колебаний для сборки резьбовых соединений*

Представлены результаты исследования влияния продольных ультразвуковых колебаний на надежность затяжки резьбовых соединений. Показано, что колебания малой амплитуды улучшают качество соединений.

The conducted study of the influence on the longitudal ultrasonic oscillations on reliability tightens the threading joint. Results from the experiments shows oscillations at low amplitude increases the quality of joints.

Ключевые слова: ультразвуковые колебания, надежность затяжки, резьбовое соединение.

Key words: ultrasonic vibrations, reliability of gripping, threaded joint.

При сборке резьбовых соединений силы, создающие момент затяжки, идут в основном на преодоление силы трения между поверхностями контакта болта и гайки. Снижение момента затяжки сопровождается улучшением соосности резьбовой пары, поэтому задача уменьшения коэффициента трения весьма актуальна. Очень важно, что снижать коэффициент трения нужно только в момент затяжки винта: в затянутом виде винты удерживаются силой трения. Традиционные способы снижения силы трения (смазка, обработка поверхностей и др.) непригодны как снижающие надежность сборки [1].

При затяжке резьбового соединения на болт действует вращающий момент – в результате трения в соприкасающихся витках гайки и болта (шпильки).

Момент сборки резьбового соединения можно вычислить по приближенному соотношению, полученному из условия равновесия сил при движении тела по наклонной плоскости с углом наклона ψ [2]:

$$T_{\text{сб}} = 0{,}5F_{\text{o}}d_2\,\text{tg}(\psi+\rho) = 0{,}5F_{\text{o}}d_2\,\frac{P/(\pi d_2)+f_{\text{p}}}{1-f_{\text{p}}\,P/(\pi d_2)},$$

где F_{o} – осевая сила;

$\psi = \text{arctg}(P/\pi d_2)$ – угол подъема винтовой линии;

P и d_2 – шаг и средний диаметр резьбы соответственно;

$\rho = \text{arctg}\,f_{\text{p}}$ – угол трения;

f_{p} – коэффициент трения в витках резьбы:

$$f_{\text{p}} = f/\cos 0{,}5\alpha\,,$$

f – коэффициент трения фрикционной пары;

α – угол профиля резьбы.

Коэффициент f_{p} зависит от материала болта и гайки, состояния поверхности соприкосновения, числа затяжек, наличия и марки смазочного материала и т.д.

Введение ультразвука в зону обработки позволяет снизить величину коэффициента трения в 2–4 раза; кроме того, сухое трение в этом случае превращается в жидкое [3].

Целью настоящей работы является исследование влияния продольных ультразвуковых колебаний на надежность затяжки резьбовых соединений.

Экспериментальное исследование влияния ультразвуковых колебаний на силу сборки резьбовых соединений проводили на установке, схема которой приведена на рис. 1, *а*. На рис. 1, *б* изображены выходная полуволна колебательной системы и исследуемое резьбовое соединение.

Гармонический сигнал задающего генератора (ЗГ) усиливали усилителем (У). В качестве источника упругих колебаний использовали магнитострикционный преобразователь (МСП). К рабочему торцу преобразователя припаивали полуволновый волновод, к которому резьбовым соединением присоединяли винт. Винт стягивали с волноводом при помощи резьбового соединения М10×1.

Момент затяжки создавали и контролировали стандартным динамометром. Собственные частоты преобразователей и волновода составляли 22,45±0,25 кГц. Винт при расчете можно было аппроксимировать сосредоточенной массой. Волновод крепили к неподвижным частям экспериментальной установки в узле продольных смещений.

*По материалам 10-й Международной научно-практической конференции "Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки". С.-Петербург. 15–18 апреля, 2008.

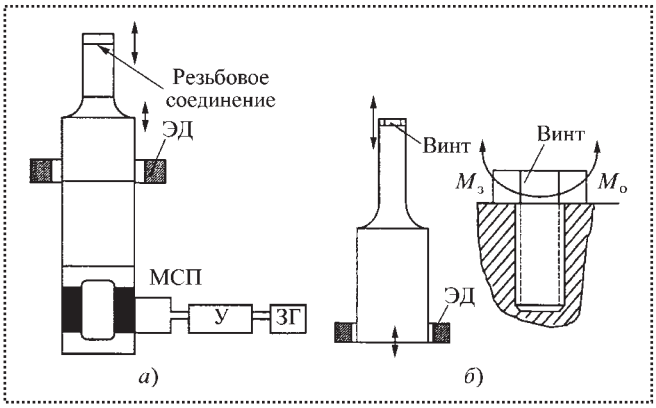


Рис. 1. Установка для экспериментального исследования влияния ультразвуковых колебаний на силу разборки резьбовых соединений:
а – схема; *б* – выходная полуволна колебательной системы и исследуемое резьбовое соединение; стрелками показаны движения элементов установки

Вся колебательная система располагалась вертикально.

Винт стягивали с волноводом определенным моментом $M_з$ при воздействии на гайку продольными колебаниями ультразвуковой частоты, после чего на резьбовое соединение воздействовали крутящим откручивающим моментом без ультразвука.

Колебательная система возбуждалась на резонансной частоте, определявшейся по максимуму выходного сигнала в отсутствие закручивающего момента. Амплитуду колебаний оценивали по сигналу электродинамического датчика (ЭД), предварительно проградуированного при помощи ультразвукового бесконтактного виброметра.

Влияние ультразвука оценивали по величине откручивающего момента $M_о$ и получаемого коэффициента натяга, который рассчитывали по формуле [4]

$$\Delta T = \pi / P(M_с - M_р),$$

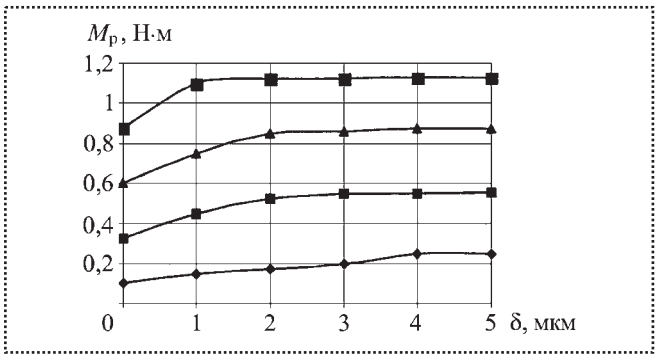


Рис. 2. Экспериментальные зависимости момента разборки от амплитуды δ колебаний для значений $M_с$, Н·м:
–◆– – 0,125; –▪– – 1; –▲– – 1,75; –■– – 2,5

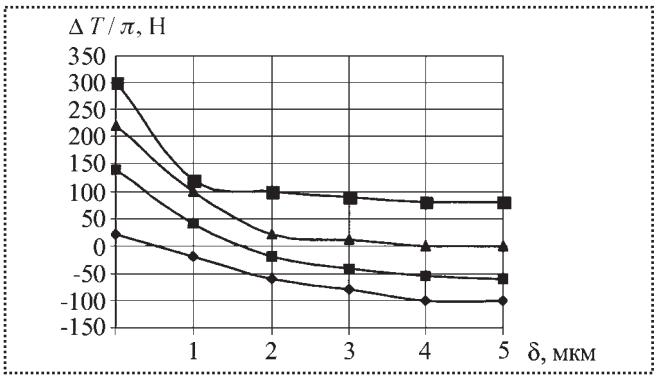


Рис. 3. Экспериментальные зависимости коэффициента Δ натяга от амплитуды δ колебаний для значений $M_с$, Н·м:
–◆– – 0,125; –▪– – 1; –▲– – 1,75; –■– – 2,5

где $M_с$ и $M_р$ – моменты сборки и разборки резьбового соединения соответственно.

На рис. 2 приведены экспериментальные зависимости момента разборки от амплитуды δ колебаний.

Лучше характеризует качество резьбового соединения коэффициент натяга, определяемый по экспериментальным данным.

На рис. 3 приведены экспериментальные зависимости натяга от амплитуды δ колебаний (по оси ординат отложен коэффициент натяга, деленный на π).

Выводы

1. Ультразвуковые колебания малой амплитуды повышают надежность затяжки резьбовых соединений.

2. Повышение амплитуды колебаний не приводит к существенному повышению надежности (увеличению момента разборки без воздействия ультразвука и снижению коэффициента натяга).

3. При относительно небольших силах сборки озвучивание соединения приводит к отрицательному натягу.

Библиографический список

1. **Беликов В.Г., Горбатюк А.Ф., Назаренко А.Ф. и др.** Влияние ультразвуковых колебаний на соосность шариковинтовой пары // Межд. конф. "Ультразвук в технологии машиностроения – 91", Архангельск. 1991. С. 185–189.

2. **Биргер И.А., Иосилевич Г.Б.** Резьбовые соединения. М.: Машиностроение, 1973. 256 с.

3. **Приходько В.М.** Ультразвуковые технологии при производстве, эксплуатации и ремонте транспортной техники. М.: Издательство "Техполиграфцентр", 2003. 253 с.

4. **Беликов В.Г., Гуцаленко П.С., Давиденко Л.А. и др.** Влияние ультразвуковых колебаний на коэффициент трения поверхностей контакта полугаек в шариковинтовой паре // Международная научно-техническая конференция "Ультразвук в технологии машиностроения – 91", Архангельск. 1991. С. 316–319.

Л.В. Божкова, *д-р техн. наук,* **М.В. Вартанов,** *д-р техн. наук,* **Е.И. Кольчугин** *(МГТУ "МАМИ")*

Экспериментальная установка для роботизированной сборки на основе пассивной адаптации и низкочастотных колебаний*

Представлена экспериментальная установка для роботизированной сборки на основе пассивной адаптации и низкочастотных колебаний.

The experimental facility for robotic assembly on the basis passive adaptive grip and lowfrequency oscillations is presented.

Ключевые слова: роботизированная сборка, пассивная адаптация, низкочастотные колебания.

Key words: robotic assembly, passive adaptation, low-frequency oscillations.

В настоящее время в роботизированной сборке для соединений типа "вал–втулка" с использованием манипуляторов с большой погрешностью позиционирования применяют **активную** и **пассивную адаптации** взаимного положения собираемых деталей.

Активная адаптация предполагает устранение ошибки за счет систем обратной связи, для создания которых требуется дорогостоящее оборудование. Также активную адаптацию трудно применять для массивных деталей.

Альтернативой являются методы **пассивной адаптации**, действие которых основано на наличии в кинематике процесса сборки элементов направленной жесткости, деформация которых приводит к возникновению упругих сил, компенсирующих погрешность взаимной ориентации собираемых деталей. Таким образом, *оборудование* на основе пассивной адаптации по сравнению с активной значительно *дешевле, легко переналаживается* и может *применяться для деталей большой массы*.

Предлагаемый метод роботизированной сборки относится к пассивной адаптации. Кинематическая схема метода представлена на рис. 1.

Вал базируется в схвате манипулятора и имеет возможность упругих перемещений в вертикальной плоскости по двум взаимно-перпендикулярным направлениям. Втулка установлена в ориентирующем диске, жестко связанном со вторым звеном вибрационного устройства. Вибрационное устройство представляет собой двухзвенный манипулятор, каждое звено которого приводится в движение от отдельного привода и совершает низкочастотные вибрационные колебания по гармоническим законам вокруг взаимно-перпендикулярных осей.

Было предложено, что данный метод сборки обеспечит направленный характер движения центра присоединяемой детали к центру базовой детали в плоскости, перпендикулярной оси базовой детали. Также ожидалось, что использование виброопоры позволит исключить влияние на процесс сопряжения взаимного перекоса осей деталей, что является причиной заклинивания.

В целях проверки этих предположений была построена математическая модель динамики относи-

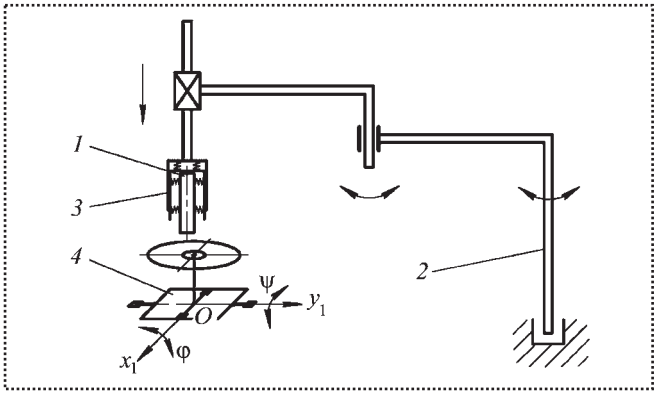


Рис.1. Кинематическая схема метода роботизированной сборки с применением пассивной адаптации и низкочастотных колебаний базовой детали:
1 – устанавливаемый вал; *2* – промышленный робот; *3* – пассивный адаптивный схват; *4* – вибрационное устройство с установленной в нем базовой деталью; φ, ψ – возможные перемещения элементов системы вокруг осей x_1 и y_1 соответственно; *O* – центр отверстия базовой детали

*Материалы международного научного симпозиума "Современные технологии сборки", 2008.

тельного движения центра масс устанавливаемой детали (вала) по отношению к базовой детали (втулке) для случая их одноточечного контакта.

Основой при построении указанной математической модели стало дифференциальное уравнение движения центра масс вала по отношению к неинерциальной системе координат, жестко связанной с вибрирующей базовой деталью [1]. Также был проведен численный эксперимент [2]. В результате была получена траектория движения центра масс вала относительно центра масс втулки в проекции на плоскость диска вибрационного устройства и исследовано влияние различных параметров на протекание процесса. Компьютерный эксперимент подтвердил наличие эффекта направленного движения вала к центру втулки в указанной плоскости и выделил области оптимальных значений параметров.

Задачей следующего этапа исследования является проведение физического эксперимента в целях проверки результатов численного эксперимента, а также выяснения степени влияния вибрации базовой детали на взаимный перекос осей собираемых деталей и их заклинивание.

Для этого была разработана лабораторная экспериментальная установка (рис. 2). В настоящее время она изготовлена (за исключением адаптивного схвата).

Компоновка экспериментальной установки представлена на рис. 3 (условно не показан второй датчик, установленный на оси, перпендикулярной первому).

Методика проведения эксперимента. Устанавливаемый вал *1* удерживается адаптивным схватом *9*, консольно закрепленным через механизм вертикальной подачи *10* на стойке *6*. Втулка *2* установлена в центре диска виброопоры *7*. Вибрации опоры обеспечиваются генератором низкочастотных колебаний *3*. Их частоту контролируют с помощью электронного частотомера *4*, а фактическую амплитуду колебаний второго звена виброопоры отслеживают бесконтактными лазерными датчиками *8*.

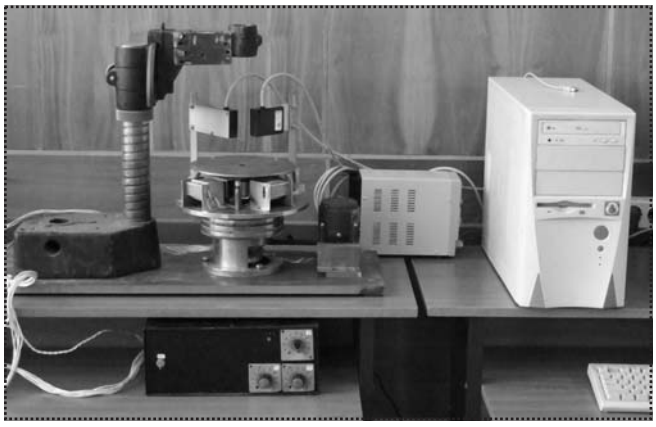


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

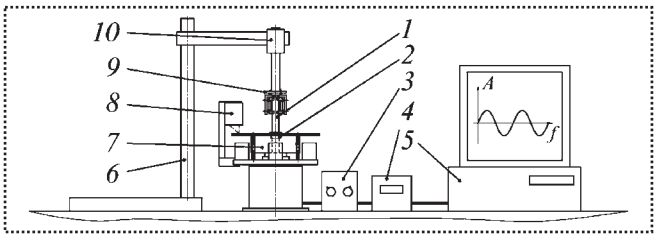


Рис. 3. Компоновка экспериментальной установки:
1 – устанавливаемая деталь (вал); *2* – базовая деталь (втулка); *3* – генератор низкочастотных колебаний; *4* – электронный частотомер; *5* – ЭВМ; *6* – стойка; *7* – виброопора базовой детали; *8* – лазерные датчики расстояния; *9* – адаптивный схват; *10* – механизм вертикальной подачи схвата

Все сигналы собираются и обрабатываются ЭВМ *5*. Вследствие этого на всем протяжении эксперимента обеспечивают непрерывный контроль и необходимую корректировку текущих значений технологических параметров.

После достижения вибрационной установкой требуемого режима колебаний осуществляют подачу вала в зону сборки с некоторой несоосностью относительно втулки и контакт его с плоскостью диска второго звена виброопоры. Предполагают, что под воздействием вибрации и за счет упругих элементов схвата оси деталей должны быть совмещены, и процесс сборки успешно завершен.

Вибрационная установка (рис. 4) представляет собой двухзвенный манипулятор. Базовая деталь *1* установлена в центре диска второго звена. Каждое

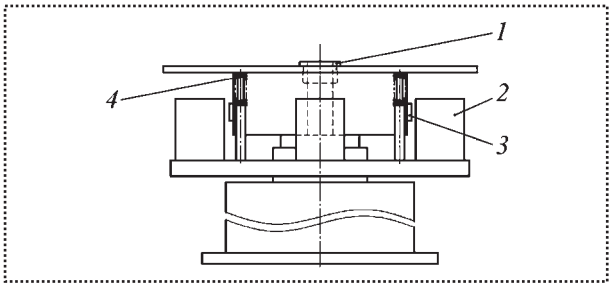


Рис. 4. Эскиз вибрационного устройства:
1 – базовая деталь (втулка); *2* – электромагнит; *3* – постоянный магнит; *4* – пружина сжатия

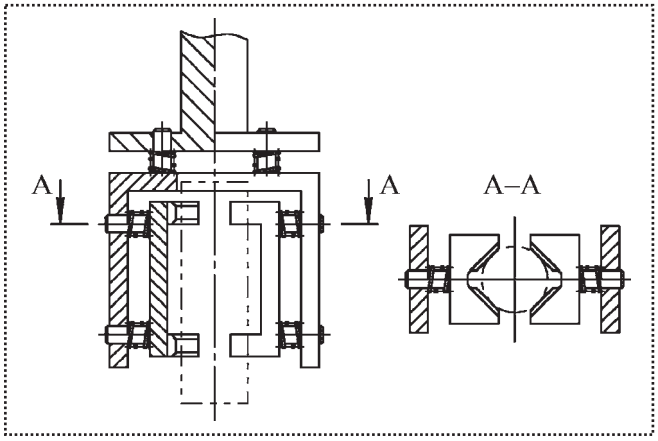


Рис. 5. Эскиз адаптивного схвата

звено имеет одну степень свободы – вращение. Оси вращения звеньев расположены в одной горизонтальной плоскости (в статике) и взаимно-перпендикулярны. Звенья приводят в движение четырьмя электромагнитами *2* (по два на каждое звено) за счет их взаимодействия с постоянными магнитами *3*, закрепленными на звеньях. Пружины *4* обеспечивают безударное протекание процесса.

Триангуляционные лазерные датчики применены для контроля текущей амплитуды колебаний второго звена виброопоры. *Выбор этого типа датчиков был обусловлен следующими факторами:*

• отсутствие воздействия на динамику процесса, т.е. бесконтактный способ измерения;

• точность измерения порядка 0,1 мм или выше;

• частота обновления данных не менее 1 кГц;

• неиндуктивный принцип работы датчика из-за наличия в приводе вибрационного устройства электромагнитов.

Адаптивный схват разрабатывался в соответствии с математической моделью, которая предполагала возможность упругих поступательных перемещений вала в вертикальной плоскости по двум взаимно-перпендикулярным направлениям. Упрощенный эскиз схвата представлен на рис. 5.

Вывод

После окончательного монтажа и настройки экспериментальной установки будет проведена серия опытов в целях проверки результатов численного эксперимента и дальнейшего исследования предложенного метода сборки.

Библиографический список

1. **Божкова Л.В., Вартанов М.В., Чуканова О.В., Кольчугин Е.И.** Метод роботизированной сборки с использованием вибрационных колебаний // Сборка в машиностроении, приборостроении. М., 2006. № 9. С. 62–67.

2. **Божкова Л.В., Вартанов М.В., Кольчугин Е.И.** Компьютерное моделирование метода роботизированной сборки на основе пассивной адаптации с использованием виброколебаний // Известия МГТУ "МАМИ". М., 2007. № 2(4). С. 147–152.

Методы обоснования ресурса оборудования ЯЭУ при эксплуатации / Ф.М. Митенков, В.Б. Кайдалов, Ю.Г. Коротких и др.; под общ. ред. Ф.М. Митенкова. 2007. – 448 с. тв. пер., 60×88 1/16

ISBN 978-5-217-03369-0

Цена с НДС 363 руб.

Рассмотрены теоретические основы, методология и средства контроля выработанного и остаточного ресурсов оборудования и систем эксплуатирующихся корабельных и судовых ядерных энергетических установок (ЯЭУ) с учетом развивающихся деградационных процессов в условиях нестанционарного нагружения. Показаны возможности применения эксплуатационного мониторинга ресурса по условиям прочности для проектируемых транспортных ЯЭУ. Приведены методы математического моделирования процессов деформирования конструкционных материалов, накопления повреждений, зарождения и развития дефектов.

Для специалистов, занимающихся вопросами повышения прочности и надежности ЯЭУ, может быть полезна аспирантам и студентам втузов.

Приобрести книгу можно непосредственно в издательстве "Машиностроение", прислав заявку в отдел подписки, маркетинга и рекламы по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru; по почте: 107076, Москва, Стромынский пер., 4. ООО "Издательство Машиностроение".
Справки по тел. (499) 269-66-00.
http://www.mashin.ru

А.Б. Гончаров, *канд. техн. наук,* **А.Б. Тулинов,** *д-р техн. наук (ММК "Мосинтраст", РГУТИС)*

Исследование свойств анаэробных материалов в жидкостных и агрессивных средах*

Рассмотрены результаты экспериментов по исследованию свойств некоторых отечественных и зарубежных анаэробных материалов в узлах и агрегатах, работающих в жидкостных и агрессивных средах. Установлены значения прочности и набухания анаэробных продуктов в морской воде, топливе и масле, подтверждены их антикоррозионные свойства. По результатам экспериментов отмечена высокая стойкость анаэробных продуктов к различным жидкостям и агрессивным средам, что обеспечивает возможность их применения в различных конструкциях, работающих в этих средах.

The article presents the results of investigation of properties of some domestic and foreign-made anaerobic materials in components and units operating in fluid and aggressive environments. These experiments determined the strength and swell values of anaerobic products in the sea water, fuel and oil, and confirmed their anticorrosion properties. The experiments demonstrated high resistance of anaerobic products to various fluids and aggressive environments, which makes them applicable in different installations operating in such conditions.

Ключевые слова: анаэробный материал, агрессивная среда, жидкостная среда, прочность, антикоррозионные свойства.

Key words: anaerobic product, aggressive environments, fluid, strength, anticorrosion properties.

Для широкого использования анаэробных клеев и герметиков в сборочных процессах, а также при восстановлении и модернизации оборудования необходимо четко представлять их поведение при эксплуатации собранных соединений, особенно в жидкостях и агрессивных средах.

Для правильного выбора необходимой марки анаэробного продукта применительно к различным условиям эксплуатации изделий необходимо знать срок службы этих продуктов в различных агрессивных средах: морской воде, топливе, смазочных маслах, кислотах, щелочах и т.д. Благодаря своему специфическому строению анаэробные продукты в полимеризованном состоянии имеют высокую стойкость в различных химически активных средах. Для подтверждения этого был проведен комплекс экспериментальных исследований.

Стойкость анаэробных продуктов к воздействию агрессивных сред определяли по набуханию и изменению предела прочности после выдержки образцов в течение 1, 3 и 6 мес. в морской воде, топливе ТС-1 и масле АМ-10. Испытания проводили на образцах, собранных как с применением активатора, так и без него. В качестве образцов использовали латунные шпильки и гайки, которые после сборки и отверждения анаэробных продуктов при нормальной температуре в течение 24 ч помещали в агрессивные среды. Результаты испытаний образцов по стойкости анаэробных продуктов к воздействию агрессивных сред приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, топливо и масло не оказывают заметного влияния на анаэробные продукты: разрушающее напряжение после трех месяцев выдержки в этих средах не изменяется, а набухание за 60 сут не превышает 1 %.

Кроме этого, были проведены исследования отечественных анаэробных продуктов АН-125У и УГ-1К в минеральном масле МГЕ-10А и рабочих жидкостях ТСЗП-8 и ПМС. Испытания по критерию прочности проведены на образцах "вал–втулка" с наружным диаметром $d = 10$ мм и отношением длины к диаметру $l/d = 1$. Образцы были собраны по типовому технологическому процессу с применением активатора.

Обезжиренные и взвешенные с точностью до 7...10 кг образцы помещали в стаканы с рабочей жидкостью, уровень которой был на 10...15 мм выше поверхности образцов. Образцы выдерживались в жидкости в течение 40 сут при комнатной температуре, затем проводилось 25 циклов, в каждом из которых образцы нагревались до 363 К, выдерживались 4 ч и охлаждались до комнатной температуры. После испытаний образцы обезжиривали бензином, сушили, взвешивали, определяли состав рабочей жидкости, образцы испытывали на прочность и проверяли наличие коррозии.

По результатам испытаний можно сделать вывод, что анаэробные продукты АН-125У и УГ-1К и

*Материалы международного симпозиума "Современные технологии сборки". 2008.

1. Стойкость анаэробных продуктов к воздействию агрессивных сред

Условия испытаний		$\sigma_р$, МПа			Набухание, %		
Среда	Продолжительность (сут)	Марка анаэробного продукта					
		А-36	В-12	С-80 (с активатором)	А-36	В-12	С-80 (с активатором)
Контрольные образцы		7,0	17,5	28,5	–	–	–
Морская вода	10	–	–	–	–	–	7,2
	15	6,5	17,6	29,6	–	–	–
	30	6,1	17,1	27,1	–	–	9,7
	60	–	–	–	–	–	9,8
	90	6,3	15,8	27,9	–	–	–
	180	6,1	15,6	29,1	–	–	–
Топливо ТС-1	10	–	–	–	–	–	0,09
	30	–	–	–	–	–	0,26
	60	–	–	–	–	–	0,27
	90	9,6	–	30,6	–	–	–
Масло АМ-10	10	–	–	–	–	–	0,27
	30	–	–	–	–	–	0,32
	60	–	–	–	–	–	0,44
	90	10,8	–	30,1	–	–	–

другие из их ряда не образуют коррозии на поверхности соединений, не изменяют предела прочности и параметров испытанных рабочих сред и могут быть использованы в системах, приборах и оборудовании, заполненных этими средами.

Влияние отвержденных анаэробных продуктов на смазочные материалы, масла и специальные жидкости определялось и на образцах в виде куба с размерами сторон 10 мм. Образцы помещались в бюксы с используемым материалом и выдерживались при температуре 333 или 393 К соответственно 2000 и 1000 ч.

Испытания показали:

■ смазки ВНИИНП-260, ВНИИНП-274, МС-70, ЦИАТИМ-201, масла МС-14, МП-601, специальные жидкости Б-1-11, Д-5-50 и ряд других испытанных материалов не изменяют содержания свободных щелочей и кислотных чисел;

■ при непосредственном контакте неотвержденных анаэробных продуктов с полистиролом, лакокрасочными покрытиями ЭП-51, ПФ-115, резинами ИРП-9106, ИРП-9102 и аналогичными неметаллическими материалами происходит набухание последних в пределах 1,5...9 % и в отдельных случаях не происходит отверждения анаэробных продуктов в контакте с этими материалами;

■ не изменяет своих свойств в контакте с жидкими анаэробными продуктами фторопласт, без изменений остаются и металлические покрытия: никель, цинк, кадмий и т.п.;

■ полностью отсутствует коррозия для отвержденного и неотвержденного продукта у всех металлов; наличие следов коррозии для неотвержденного продукта наблюдается только у латуни, магниевых сплавов, бериллия и его сплавов.

Многочисленные испытания и практическое применение анаэробных продуктов подтвердили, что применение всех марок отечественных и некоторых зарубежных (например, фирмы "Честер Молекуляр") практически не вызывает коррозии металлов и металлических покрытий в процессе их применения. Это связано со временем полного отверждения анаэробных продуктов, которое составляет 12...24 ч без применения активатора и 0,5...4 ч с использованием активатора. Первые признаки появления коррозии (потемнение поверхности под каплями неотвержденного продукта) появляются через 3...4 сут, например на стали 35 при использовании анатерма АН-1 и унигерма УГ-1, на латуни ЛС 52 незначительное потемнение поверхности наступает через 15 мин.

Для проверки химической стойкости отечественных анаэробных продуктов АН-1, АН-2, АН-4, АН-5 и УГ-1 по критерию герметичности образцов использовалась также морская вода с содержанием

0,2 г/л амила и 0,04 г/л гептила. Для испытания каждого продукта брали по 15 образцов-имитаторов:

• для продуктов АН-2, АН-5 и УГ-1 – образцы-имитаторы резьбовых соединений М27×1,5, материал – сталь 12Х18Н10Т;

• для продукта АН-4 – соединения с гладкими цилиндрическими поверхностями диаметром 12,7 мм, с соотношением l/d = 0,88, диаметральным зазором 0,05 мм, шероховатостью поверхности *Ra* 3,2...0,8, материал – сталь 12Х18Н10Т;

• для продукта АН-1 – образцы-имитаторы негерметичного сварного шва диаметром 60 мм, толщиной 3 мм, материал – алюминиевый сплав АМг6.

Определение герметичности производилось через 30, 90 и 180 сут испытаний на шести образцах каждый раз. Химическая стойкость анаэробных продуктов в течение испытаний оценивалась по сохранению герметичности образцов-имитаторов, которая определялась прибором ПТЧ-7 со скоростью натекания контрольного газа гелия не менее $1 \cdot 10^{-5}$ л·мкм/с.

Результаты испытаний показали, что продукты АН-4 и УГ-1 сохраняют герметичность образцов-имитаторов после выдержки в морской воде с добавлением амила и гептила в течение 180 сут. Снижение герметичности образцов-имитаторов у двух образцов через 90 сут и двух образцов через 180 сут испытаний для продукта АН-2 связано с некачественным нанесением продукта (отсутствие полноты заполнения резьбы образца анаэробным продуктом). Снижение герметичности у некоторых образцов, загерметизированных продуктом АН-1, произошло ввиду того, что первоначальная течь превышала $1 \cdot 10^{-1}$ л·мкм/с, т.е. имела место течь воздуха.

Исследования химической стойкости анаэробных продуктов АН-1 и УГ-1 к воздействию подогретого амила или его парами были проведены на образцах-имитаторах из стали Х18Н9Т и алюминиевого сплава АК6. Перед заполнением полости имитатора подогретым амином образцы имитатора были испытаны на прочность давлением воды до 65 МПа и проверены на герметичность воздушно-гелиевой смесью давлением 1 МПа. Испытания проводились методом сравнения с контрольной течью, за эталон которой бралась течь, равная $1{,}8 \cdot 10^{-4}$ л·мкм/с. Проверкой образцов на герметичность подогретым до 278...353 К амилом при давлении 5...60 МПа было установлено, что работоспособность сборочных единиц, пропитанных анаэробным продуктом, зависит от температуры агрессивной среды (амила), причем эта зависимость не имеет существенных изменений для различных марок анаэробных продуктов.

2. Химическая стойкость материалов фирмы "Честер Молекуляр"

Среда	Химическая стойкость
Бензин	+
Моторное масло	+
Тормозная жидкость	+
Гликоли	+
Парафин	+
Этанол	+
Азотная кислота 10 %	+
Оксипропионовая (молочная) кислота	+
Химический хлор	–
Фенол	+
Аммиак	–
Природный газ	+
Амины	+
Морская вода	+
Кислород	
Уксусная кислота	+

Обозначения: "+" – химически стойки; "–" – не рекомендуется.

Срок службы узлов, загерметизированных анаэробными продуктами АН-1 и УГ-1, при температуре агрессивной среды 308 К составляет 10 лет, при 323 К – 15 мес., а при 353 К – 2 мес. Исследования химической стойкости анаэробных продуктов к воздействию гептила аналогичны исследованиям в амиле. *Исследования показали*, что анаэробные продукты АН-1 и АН-2 обеспечивают герметичность после длительного воздействия гептила и хорошо защищают собранные поверхности от коррозии.

Поведение зарубежных аналогов анаэробных материалов фирмы "Честер Молекуляр" в жидкостных и агрессивных средах сходно с поведением отечественных рассмотренных выше "Анатермов" и "Унигермов".

Химическая стойкость материалов фирмы "Честер Молекуляр" представлена в табл. 2.

Вывод

На основании вышеизложенного следует отметить высокую стойкость исследуемых анаэробных продуктов к жидкостям и агрессивным средам, что обеспечивает их широкое применение в различных конструкциях, работающих в подобных средах.

Библиографический список

1. **Анаэробные** уплотняющие составы. Герметики: Каталог / НИИ Полимеров им. В.А. Карчина. М.: НИИТЭХИМ, 1987.

2. **Кардашов Д.А., Петрова А.П.** Полимерные клеи. М.: Химия, 1983.

УДК 621.391

М.В. Ломанова *(Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П.А. Соловьева)*

Состояние вопроса о влиянии наклепа на эксплуатационные свойства деталей*

Рассмотрены основные положения исследований в области поверхностного слоя деталей машин. Перечислены основные закономерности изменения качества поверхностного слоя под влиянием ряда факторов.

Mains regulations of researches in region of machinery surface have been considered. Mains rules of surface quality change under influence in a number of factors have been listed.

Ключевые слова: наклеп, эксплуатационные свойства, поверхностный слой, качество.

Key words: cold-hardening, performance attributes, surface, quality.

Как показывает практика эксплуатации машин и механизмов, одной из основных причин отказов в работе различного рода оборудования является разрушение его отдельных деталей или постепенное изменение их геометрической формы в результате износа. Начальным очагом разрушения деталей, как правило, является поверхностный слой, который находится в напряженном состоянии и под активным воздействием внешней среды. Поэтому естественно то большое значение, которое имеет состояние поверхностного слоя для надежной работы деталей. Следовательно, создание в процессе обработки поверхностного слоя деталей с требуемыми оптимальными для данных условий эксплуатации параметрами позволит повысить надежность, долговечность и качество изделия в целом.

Исследованиям поверхностного слоя при механической обработке посвящено немало работ, среди которых особую известность получили труды В.Ф. Безъязычного, В.С. Мухина, А.И. Исаева, А.М. Сулимы, М.О. Якобсона, Б.Е. Дьяченко, М.В. Касьяна, Б.Н. Костецкого, И.В. Крагельского, Б.А. Кравченко, М.И. Евстигнеева, И.В. Кудрявцева, Л.Г. Куклина, А.В. Подзея, В.Д. Кузнецова, А.Д. Макарова, А.А. Маталина, В.М. Смелянского и др., которыми достигнуты значительные успехи в области изучения качества поверхностного слоя, формируемого в ходе механической обработки.

В работах М.О. Якобсона, А.А. Маталина, А.И. Исаева сформулированы физические основы формирования поверхностного слоя и влияние технологических условий обработки на параметры поверхностного слоя. Результаты экспериментального исследования параметров поверхностного слоя на основе современных достижений науки отражены в работах А.Д. Макарова, В.С. Мухина, П.И. Ящерицына и др. Состояние технологического обеспечения эксплуатационных свойств деталей машин освещено в работах Э.В. Рыжова, А.Г. Суслова, А.М. Дальского, А.М. Сулимы и др. Вопросы теоретического определения параметров поверхностного слоя во взаимосвязи с технологическими условиями обработки рассмотрены в литературе А.В. Подзеем, А.В. Кравченко, В.Ф. Безъязычным, В.К. Старковым и др.

Благодаря фундаментальным работам этих и других ученых достигнуты существенные успехи в области изучения качества поверхностного слоя, формируемого в процессе механической обработки:

- ♦ установлены основные закономерности изменения параметров качества поверхностного слоя от условий обработки;
- ♦ созданы предпосылки и положено начало определению физической сущности явлений, происходящих при формировании поверхностного слоя;
- ♦ установлена взаимосвязь важнейших эксплуатационных свойств (износостойкости, усталостной прочности, коррозионной устойчивости и т.д.) с отдельными характеристиками поверхностного слоя, формируемыми в ходе обработки.

Однако все еще есть нерешенные задачи, которые требуют дальнейших глубоких теоретических и экспериментальных исследований. Среди них –

*Вестник РГАТА им. П.А. Соловьева. 2007. № 1 (11).

разработка расчетных методов определения характеристик качества, формируемого в процессе обработки поверхностного слоя с учетом технологических параметров (режимов обработки, параметров инструмента, физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов и т.д.) [1].

Сущность понятия "качество поверхностного слоя" составляют шероховатость обработанной поверхности, физическое состояние и напряженность металла поверхностного слоя.

Для многих деталей нередко требуется, исходя из условий эксплуатации, обеспечение заданных величин, характеризующих поверхностный слой, и, в частности, заданных глубины и степени наклепа. Это является следствием того, что наклеп поверхностного слоя может по-разному влиять на работоспособность детали.

Например, в работе А.М. Сулимы [2] установлено, что при работе деталей в области сравнительно низких температур и небольшом ресурсе эксплуатации наклеп повышает сопротивление разрушению, что связано с повышением сопротивления отрыву в результате структурных изменений под влиянием пластической деформации. С повышением рабочих температур и увеличением длительности эксплуатации наклеп способствует интенсификации процессов изменения состава материала в результате окисления, выгорания и испарения легирующих элементов, что приводит к охрупчиванию и потере жаропрочных свойств материала детали.

Также в работе А.М. Сулимы [2] установлено, что деформационное упрочнение поверхностного слоя после обработки резанием снижает сопротивление усталости жаропрочных сплавов при рабочих температурах, так как при этом деформация металла поверхностного слоя заведомо больше оптимальной. С увеличением глубины, степени наклепа и базы испытания влияние поверхностного наклепа на сопротивление усталости возрастает.

Для повышения прочностных свойств силовых деталей энергетических машин, поверхность которых обрабатывалась лезвийным или абразивным инструментом, целесообразно удалять наиболее деформированные наружные слои металла электрохимической обработкой или устранять наклеп термообработкой.

Предварительный наклеп активирует поверхностный слой, что приводит к росту скоростей диффузии и химических реакций. Если деталь работает в условиях нормального изнашивания, то это положительно сказывается на ее износостойкости, поскольку уменьшается время образования защитных "вторичных" структур и, соответственно, продолжительность приработки. Следует указать, что зависимость износостойкости от глубины h и степени u наклепа поверхностного слоя немонотонная: максимальное снижение износа достигается после обработки с определенными (оптимальными) по значению h и u.

Следует отметить, что *наклеп поверхностного слоя* материала *ведет к росту его свободной энергии* и, следовательно, *повышается склонность к коррозии.* Кроме того, наклеп *приводит к увеличению числа дефектов решетки* и, соответственно, *росту диффузионной подвижности атомов в металле.* Поэтому обычно наклеп интенсифицирует процесс коррозии [2].

Вредное влияние наклеп также *оказывает на прочность жаропрочных сплавов при циклических нагревах* (термоусталость) [3].

Характеристики наклепа, отражая свойства поверхностных слоев, влияют на контактное взаимодействие деталей, увеличивая при этом контактную жесткость сопряжения. Поэтому для улучшения условий контактного взаимодействия деталей их поверхности дополнительно подвергают упрочняющей обработке, тем самым предопределяя определенные характеристики деформационного упрочнения.

Исследования В.Ф. Балашова, А.Д. Макарова, В.С. Мухина, П.Л. Грузина, А.Д. Тютюнника, С.З. Бокштейна и др. свидетельствуют о том, что повышение пластической деформации поверхностного слоя приводит к росту диффузионной подвижности атомов металла, подвергнутого пластическому деформированию. При этом возрастание диффузионной подвижности атомов упрочненного поверхностного слоя увеличивается при повышении температуры [4].

На основе этих исследований установлено, что диффузия атомов жаропрочных материалов в условиях длительных высокотемпературных испытаний носит направленный характер: атомы одних элементов перемещаются к поверхности, других – в глубь металла. Так, например, было отмечено, что в процессе высокотемпературных испытаний поверхностного слоя жаропрочных сплавов на никелевой основе *обедняется основными легирующими*

элементами – титаном и хромом – при одновременном повышении содержания алюминия.

Кроме того, было установлено, что на изменение химического состава поверхностного слоя жаропрочных материалов, подвергнутых длительным высокотемпературным испытаниям, непосредственное влияние оказывает исходное состояние поверхности образцов, а именно: глубина и степень предварительного наклепа. При их повышении соответственно увеличиваются глубина и степень обеднения поверхностного слоя основными легирующими элементами [1].

Параллельно с изменением химического состава поверхностного слоя жаропрочных материалов, подвергнутых длительным высокотемпературным испытаниям, изменяются и физико-механические свойства металла этого слоя, в частности параметры кристаллической решетки. При этом, чем больше исходная глубина и степень наклепа, тем в большей степени изменяется химический состав, тем заметнее отличие параметров кристаллической решетки исходного и упрочненного в процессе механической обработки материала.

Изменение периода кристаллической решетки жаропрочных материалов, подвергнутых длительным высокотемпературным испытаниям, объясняется диффузионным переносом вещества (направленной диффузией легирующих элементов), выгоранием и испарением легирующих элементов с поверхности исследуемых материалов [3].

Экспериментальные исследования показывают, что микротвердость дефектного слоя, возникающего на предварительно упрочненных образцах, подвергнутых затем длительным высокотемпературным испытаниям, значительно снижается [4], а это ухудшает эксплуатационные характеристики деталей. Установлено, что при высоких температурах испытаний, превышающих определенный так называемый *температурный барьер,* увеличение глубины и степени пластической деформации исследуемых образцов приводит к соответствующему снижению таких эксплуатационных характеристик, как **длительная усталость, прочность, износо- и коррозионная стойкость,** независимо от того, каким видом обработки был создан наклеп поверхностного слоя исследуемых образцов. При этом, *чем больше длительность испытаний, тем ниже этот температурный барьер*. При кратковременных же испытаниях в условиях умеренных температур наклепанные образцы показывают более высокие значения предела длительной усталостной прочности и износостойкости по сравнению с неупрочненными образцами [1].

Вывод

Деформационное упрочнение является важной характеристикой, отражающей свойства поверхностного слоя металла и значительно влияющей на эксплуатационные свойства ответственных деталей.

Библиографический список

1. **Свойства** сплавов в экстремальном состоянии / Б.М. Драпкин, В.К. Кононенко, В.Ф. Безъязычный. М.: Машиностроение, 2004. 256 с.

2. **Поверхностный** слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин. М.: Машиностроение, 1998. 240 с.

3. **Макаров А.Д.** Оптимизация процессов резания.

Суслов А.Г. **Технология машиностроения**: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. 2-е изд., 2007. – 430 с., тв. пер., 70×100 1/16

ISBN 978-5-217-03371-3

Цена с НДС 440 руб.

Изложены основы и специальная часть технологии машиностроения. Основное внимание уделено обеспечению и повышению качества изделий машиностроения, снижению технологической себестоимости их изготовления, методологии разработки технологических процессов, технологии изготовления и сборки типовых деталей и соединений, оформлению технологической документации.

Второе издание (1-е изд. 2004 г.) исправлено и дополнено главой по технологии восстановления деталей машин.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» и направлению подготовки дипломированных специалистов «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Е.Н. Малышев, *канд. техн. наук,* **С.А. Бысов** *(Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана)*

Реализация комплекса операций обработки и сборки на одном станке

Предложена методика выявления сборочной составляющей формообразующей системы станка, позволяющая определить возможность реализации на нем комплекса обрабатывающих и сборочных операций в целях повышения эффективности использования современного обрабатывающего оборудования.

This article deals with the technique which allows to reveal an assembly component of form-building system of the machine-tool. This technique allows to determine an opportunity of performing a complex of processing and assembly operations on one machine-tool. It will allow to increase efficiency of use of modern processing equipment.

Ключевые слова: формообразующая система станка, комплекс обрабатываемых и сборочных операций, эффективность использования оборудования.

Key words: form-building system of the machine-tool, complex of processing and assembly operations, efficiency of use of equipmen.

Для современного машиностроения характерно значительное разнообразие выпускаемых изделий и средств технологического оснащения, низкий уровень использования оборудования и слабая приспособленность производства к быстрой и эффективной перестройке на выпуск новой продукции [1]. В результате постоянного обновления и определенной непредсказуемости номенклатуры деталей, изготовляемых на протяжении календарного года, многие предприятия вынуждены иметь заведомо избыточный набор технологических средств, часть которых зачастую оказывается невостребованной. Это влечет за собой дополнительные непроизводственные расходы, связанные с их приобретением, содержанием, увеличением производственных площадей и др. Отсюда очевидна необходимость поиска путей повышения эффективности использования имеющегося на предприятиях производственного оборудования. Одним из таких путей может быть *концентрация операций*.

Принцип концентрации операций все шире используют при проектировании современных технологических процессов. Там, где раньше применяли операционные станки с максимальной дифференциацией процесса обработки на отдельные операции, сейчас концентрируют большее количество операций на одном станке с тем, чтобы сократить производственные площади и количество используемого оборудования. Особенно это проявляется при использовании станков с ЧПУ, например, на токарных станках с ЧПУ выполняют формообразование деталей методами холодного пластического деформирования [2]. Такие процессы формообразования являются материалосберегающими; их можно эффективно использовать в автоматизированном производстве (особенно в условиях безлюдных или малолюдных производств) вследствие их высокой производительности, отсутствия стружкообразования и высокой стойкости используемого инструмента.

Наряду с формообразующими и обрабатывающими операциями **на заготовительном оборудовании и металлорежущих станках** в ряде случаев **осуществляют сборочные операции,** что является примером расширенного использования технологических возможностей указанного оборудования. Например, компания "Wirth&Gruffat" (Франция), поставляющая токарные горизонтальные многошпиндельные станки-автоматы с ЧПУ, реализует сборку изделий непосредственно на таком металлорежущем станке. Изготовление сборочной единицы, состоящей из втулки и стержня, включает следующие этапы:

- точение втулки на первых позициях токарного автомата;
- запрессовка стержня во втулку (с использованием промышленного робота "KLAIN") на одной из позиций станка без снятия втулки из патрона;
- совместная обработка втулки и стержня на следующих позициях станка [презентационные материалы компании "Wirth&Gruffat"].

В отечественном машиностроении существуют **примеры использования токарно-револьверных и других автоматов для автоматизации сборки** в условиях крупносерийного производства. В этом случае базовую деталь после обработки оставляют в

шпинделе станка, а сопрягаемые детали подают из магазинов или бункеров посредством суппортов либо револьверной головки. В частности, такие автоматы используют для завальцовки и запрессовки деталей. При этом штучное время на изготовление снижается в среднем на 23 % [3].

В то же время **область использования сборочного оборудования** может быть расширена путем **выполнения на нем ряда обрабатывающих операций.** Например, автоматы для завинчивания винтов осуществляют предварительное растачивание, развертывание и нарезание резьбы в отверстиях.

Подобная концентрация операций позволяет повысить не только производительность, но и точность изготовления сборочной единицы, исключив погрешность установки, вызванную многократной переустановкой сборочной единицы с обрабатывающего оборудования на сборочное и обратно.

Ограниченность средств на приобретение и содержание большого парка оборудования для обеспечения каждого вида выполняемых работ возникает, в том числе, у небольших машино- и приборостроительных предприятий. Это позволяет считать задачу определения основных принципов и методов принятия обоснованного решения выбора оборудования для выполнения конкретного вида работ актуальной. Выбор основывают не только на традиционных подходах, учитывающих специализацию оборудования, но и на рациональном использовании технологических возможностей уже имеющегося оборудования для концентрации операций производственного цикла в максимальном объеме.

При принятии технологом решения о выполнении на выбранном металлорежущем станке *комплекса* обрабатывающих и сборочных операций следует ответить на три вопроса:

1) какие виды поверхностей могут быть обработаны на рассматриваемом станке;

2) какие виды сопряжений могут быть реализованы на рассматриваемом станке;

3) можно ли сконцентрировать на станке операции обработки и сборки.

Для ответа на *первый вопрос* необходимо выявить формообразующие возможности станка; для ответа *на второй* – выявить сборочную составляющую формообразующей системы станка.

Выявление формообразующих возможностей станка [4]

Формообразующей системой (ФС) станка называют совокупность звеньев технологической системы, взаимное положение и перемещение которых обеспечивает заданную траекторию движения режущего инструмента относительно обрабатываемой заготовки.

Для аналитического описания процесса относительного перемещения звеньев ФС элементам системы придают движения со скоростями, равными по величине и противоположно направленными скоростям движений, которые совершает заготовка относительно инструмента в реальном процессе обработки. Неподвижной считается система координат S_0, связанная с заготовкой. Система координат S_i связана с i-м звеном и все подвижные звенья ФС пронумерованы последовательно, начиная от обрабатываемой заготовки $i = 0$ и заканчивая инструментом $i = 1$.

Относительное движение звеньев ФС может быть представлено в виде координатного кода ФС:

$$k = k_1 k_2 \ldots k_l, \qquad (1)$$

где k_i ($i = 1, ..., l$) – обозначение движения i-го звена ФС относительно $(i - 1)$-го;

l – число подвижных звеньев системы.

С каждым звеном ФС однозначно связывается одно из приведенных в табл. 1 обозначений.

Например, координатный код ФС токарно-винторезного станка представляет собой трехзначное число $k = 631$ (рис. 1). Нулевым звеном ($i = 0$) является обрабатываемая заготовка со шпинделем. Следующее звено $i = 1$ – станина. В относительном движении станина вращается вокруг оси z_0 в направлении, обратном направлению вращения шпинделя, этому движению соответствует символ 6, т.е. $k_1 = 6$. Аналогично поступательное движение продольного суппорта $i = 2$ относительно станины

1. Обозначение k_i относительного движения звеньев в координатном коде ФС

Ось	Движение звена относительно предыдущего	
	поступательное вдоль оси	вращательное вокруг оси
x	1	4
y	2	5
z	3	6

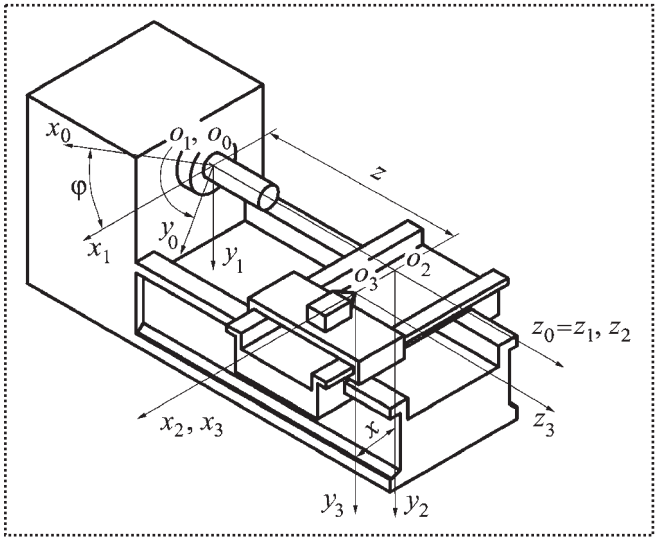


Рис. 1. Формообразующая система токарно-винторезного станка:
φ – угол поворота вокруг оси z; x, z – линейные смещения вдоль осей

совершается вдоль оси z_1, т.е. $k_2 = 3$ и, наконец, поперечный суппорт $i = 3$ поступательно движется вдоль оси x_2, т.е. $k_3 = 1$.

У расточного станка (при аналогичном положении осей координат) код будет иметь значение $k = 136$.

У токарного фасонно-отрезного – $k = 61$.

Для описания формообразующих возможностей оборудования может быть использован вариационный метод [4], который позволяет, используя в качестве исходных данных координатный код ФС станка, получить уравнения всех возможных обрабатываемых на нем поверхностей.

Одна и та же точка, принадлежащая обрабатываемой поверхности, имеет в системах координат заготовки S_0 и инструмента S_l разные координаты, за исключением случая, когда S_0 и S_l полностью совпадают. Радиус-векторы этой точки в двух системах координат r_0 и r_l связаны матричным соотношением

$$r_0 = \prod_{i=1}^{l} A^j_{i-1,\,i}\, r_l, \qquad (2)$$

где $\prod_{i=1}^{l} A^j_{i-1,\,i}$ – матрица преобразования ФС, представляющая собой произведение матриц $A^j_{i-1,\,i}$ в соответствии с кодом формообразующей системы;

$A^j_{i-1,\,i}$ ($j = 1, ..., 6$) — одна из матриц обобщенных перемещений (табл. 2), описывающих либо поступательное движение системы S_i вдоль одной из осей системы S_{i-1} (поступательным перемещениям соответствуют матрицы A^1, A^2 и A^3), либо вращение системы S_i относительно одной из осей системы S_{i-1} (вращениям соответствуют матрицы A^4, A^5 и A^6).

Например, модель ФС токарно-винторезного станка:

$$r_0 = A^6_{01} A^3_{12} A^1_{23} r_3,$$

где r_3 – радиус-вектор формообразующих точек инструмента.

Подставив значения матриц A^6, A^3 и A^1 в уравнение модели ФС токарно-винторезного станка из табл. 2, получим:

$$r_0 = \begin{pmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 & 0 \\ \sin\varphi & \cos\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} r_3,$$

2. Матрицы обобщенных перемещений

Вид движения	Матрицы, моделирующие движения относительно оси		
	x	y	z
Поступательное вдоль оси	$A^1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$A^2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$A^3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
Вращательное вокруг оси	$A^4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$A^5 = \begin{pmatrix} \cos\psi & 0 & -\sin\psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\psi & 0 & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$A^6 = \begin{pmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 & 0 \\ \sin\varphi & \cos\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
Обозначения: θ, ψ, φ – углы поворота относительно осей; x, y, z – линейные смещения вдоль осей; j – номер обобщенной координаты (символ координатного кода).			

3. Поверхности, формообразуемые на токарно-винторезном станке

Формообразуемая поверхность	Связь между переменными	Параметрическое уравнение обрабатываемой поверхности	Характеристика параметра
Цилиндр прямой круговой	$x = 0{,}5D$	$r_0 = \begin{pmatrix} 0{,}5D\cos\varphi \\ -0{,}5D\sin\varphi \\ z \end{pmatrix}$	D – диаметр цилиндра
Торцовая плоскость	$z = c$	$r_0 = \begin{pmatrix} x\cos\varphi \\ -x\sin\varphi \\ c \end{pmatrix}$	c – расстояние от торца до начала координат
Поверхность вращения с заданной образующей	$x = f(z)$	$r_0 = \begin{pmatrix} f(z)\cos\varphi \\ -f(z)\sin\varphi \\ z \end{pmatrix}$	$f(z)$ – текущий радиус поверхности вращения на расстоянии z от начала координат
Кулак с прямолинейной образующей	$x = \rho(\varphi)$	$r_0 = \begin{pmatrix} \rho(\varphi)\cos\varphi \\ -\rho(\varphi)\sin\varphi \\ z \end{pmatrix}$	$\rho(\varphi)$ – полярный радиус кулачка
Винтовая поверхность	$z = z(\varphi)$	$r_0 = \begin{pmatrix} x\cos\varphi \\ -x\sin\varphi \\ z(\varphi) \end{pmatrix}$	Если $z(\varphi) = p\varphi$, то p – винтовой параметр
Произвольная поверхность	$z = z(x, \varphi)$	$r_0 = \begin{pmatrix} x\cos\varphi \\ -x\sin\varphi \\ z(x,\ \varphi) \end{pmatrix}$	–

где x, z – координаты, фиксирующие положения соответственно продольного и поперечного суппортов относительно станины.

Приняв, например, что инструмент обрабатывает заготовку единственной точкой, расположенной в начале координат системы инструмента S_3, т.е. $x_3 = y_3 = z_3 = 0$ и $r_3 = (0, 0, 0, 1)^T$, и накладывая различные функциональные связи [4], можно получить шесть возможных схем обработки и соответствующие им параметрические уравнения обрабатываемой поверхности (табл. 3), выявив тем самым формообразующие возможности токарно-винторезного станка при обработке точечным инструментом.

Выявление сборочной составляющей формообразующей системы станка

Если использовать металлообрабатывающий станок для выполнения сборочной операции для соединения деталей, то *сборочной составляющей формообразующей системы* (ССФС) станка будем считать совокупность звеньев технологической системы, взаимное положение и перемещение которых обеспечивает заданную траекторию относительного движения сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей.

По аналогии с формализованным описанием ФС станка присвоим одной из сопрягаемых деталей (базовой детали) нулевой индекс (неподвижная система координат S_0). Пронумеруем подвижные звенья ССФС, начиная от базовой детали и заканчивая присоединяемой. С каждым подвижным i-м звеном ССФС станка свяжем систему координат S_i.

Задачей сборки является совмещение систем координат сопрягаемых деталей, т.е., например, для напрессовки втулки на вал, – обеспечение $r_{в_0} = r_{вт_0}$ в системе координат вала (рис. 2).

Рассмотрим реализацию сопряжения двух деталей по цилиндрическим поверхностям. Начало 0 и оси x, y и z систем координат каждой детали свяжем с сопрягаемыми поверхностями.

Геометрическая интерпретация обобщенного перемещения сопрягаемых поверхностей, необходимых для их сопряжений (совмещения их собственных систем координат), представлена на рис. 3.

На практике это означает реализацию комплекса поступательных движений элементов ССФС вдоль одной из осей (поступательным перемеще-

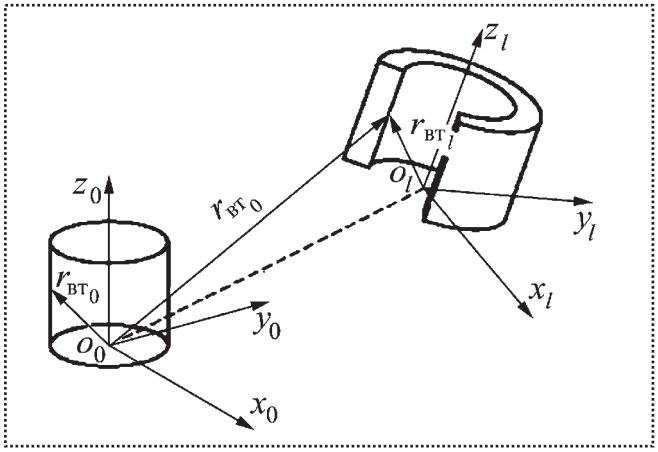


Рис. 2. Связь систем координат сопрягаемых поверхностей

ниям соответствуют матрицы A^1, A^2, A^3) и вращений относительно одной из осей (вращениям соответствуют матрицы A^4; A^5; A^6) (см. табл. 2).

Таким образом, движения, реализуемые элементами формообразующей системы станка, могут быть использованы для совмещения систем координат сопрягаемых поверхностей, в том числе для реализации сопряжения самих поверхностей.

В общем случае сопряжение поверхностей вдоль одного из направлений (поступательного или вращательного) возможно только в том случае, если производная функции (описывающей сопрягаемые поверхности) по переменной (обозначающей направление, вдоль которого предполагается сопряжение) не меняет знак на всей длине поверхности вдоль этого направления. Это значит, что вдоль этого направления образующая поверхности не имеет точек перегиба и является монотонно убывающей или монотонно растущей.

Сохраняя выбранную систему координат (см. рис. 2), уравнение цилиндрической поверхности с прямолинейной образующей и направляющей в форме окружности имеет вид

$$\begin{aligned} x &= 0{,}5D\cos\varphi, \\ y &= -0{,}5\sin\varphi, \\ z &= z; \end{aligned} \Leftrightarrow \begin{aligned} x^2 + y^2 &= (0{,}5D)^2, \\ z &= z. \end{aligned} \qquad (3)$$

Указанная функция является монотонной только вдоль оси z, т.е. сопряжение возможно только поступательно вдоль оси z. Сопряжение поступательное вдоль осей x и y или вращательное вокруг осей x, y и z в данной системе координат невозможно без нарушения целостности сопрягаемых поверхностей (например, наличия линии разъема у сопрягаемых деталей).

Поступательное перемещение вдоль оси z может быть реализовано на станке, если матрица преобразования ФС содержит матрицу обобщенных перемещений A^3, описывающую соответствующее поступательное движение (см. табл. 2).

Исходя из математической модели ФС токарно-винторезного станка $r_0 = A^6_{01} A^3_{12} A^1_{23} r_3$ (координатный код k = 631) можно выявить, что сопряжение деталей поступательным движением может быть реализовано на нем вдоль двух осей z и x; расточного станка – $r_0 = A^1_{01} A^3_{12} A^6_{23} r_3$ (k = = 136) – также вдоль двух осей x и

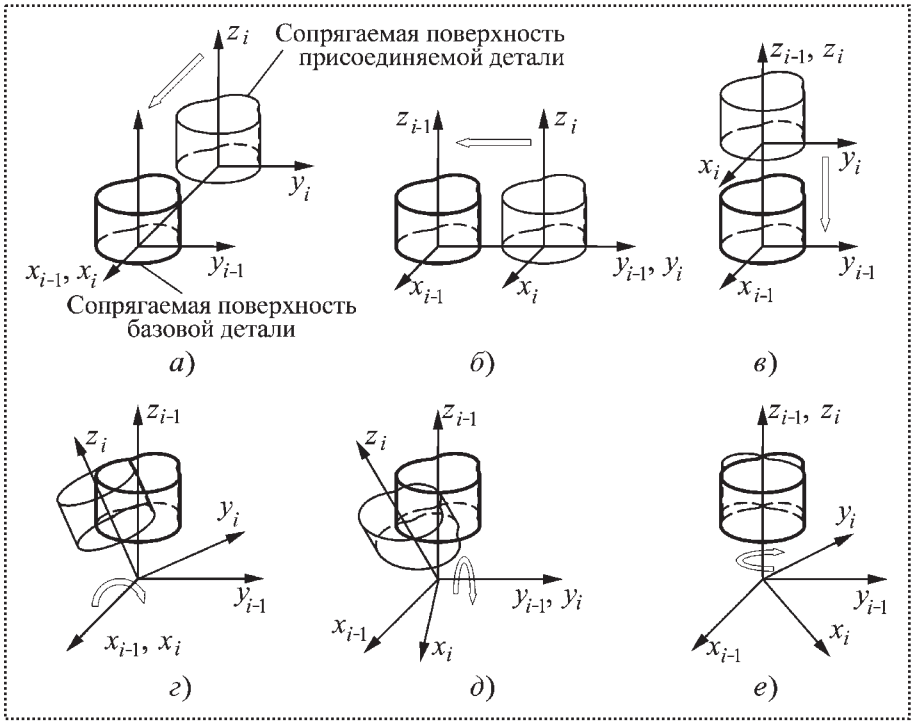


Рис. 3. Геометрическая интерпретация обобщенного перемещения сопрягаемых поверхностей, необходимых для их сопряжений (совмещения их собственных систем координат):

а, *б*, *в* – поступательные перемещения вдоль осей z, y и z соответственно; *г*, *д*, *е* – повороты вокруг осей x, y и z соответственно

z; фасонно-отрезного – $r_0 = A_{01}^6 A_{12}^1 r_2$ $(k = 61)$ – только вдоль одной оси x.

Таким образом, *к сборочной составляющей формообразующей системы* для реализации сопряжения деталей по номинально цилиндрическим поверхностям, например, токарно-винторезного станка следует отнести совокупность звеньев технологической системы, посредством которых может быть реализовано заданное перемещение сопрягаемых поверхностей вдоль оси z, а значит, обеспечена возможность соединения сопрягаемых деталей вдоль этой оси.

Определение возможности реализации комплекса обрабатывающих и сборочных операций на одном станке

Исходным фактором реализации *комплекса* обрабатывающих и сборочных операций на одном станке является кинематический. ФС станка должна реализовывать относительное положение и перемещение звеньев технологической системы в целях обеспечения заданной траектории движения режущего инструмента относительно заготовки в ходе ее обработки, а ССФС – реализовывать относительное перемещение звеньев технологической системы в целях обеспечения необходимой траектории относительного движения сопрягаемых деталей в процессе соединения.

Математическая модель ФС (2), построенная по координатному коду (1) станка, позволяет определить возможность обработки той или иной поверхности на этом станке. Анализ аналитической функции, описывающей сопрягаемые поверхности, позволяет выявить направления, вдоль которых возможно осуществить соединение сопрягаемых деталей. Анализ ФС станка позволяет выявить наличие ССФС, необходимой для реализации перемещения соединяемых деталей вдоль необходимых направлений.

Например, выше было показано, что наружная цилиндрическая поверхность может быть обработана на токарно-винторезном станке ($r_0 = A_{01}^6 A_{12}^3 A_{23}^1 r_3$). Аналогично можно показать возможность обработки такой поверхности и на расточном ($r_0 = A_{01}^1 A_{12}^3 A_{23}^6 r_3$), и на фасонно-отрезном ($r_0 = A_{01}^6 A_{12}^1 r_2$) станках.

Анализ аналитической функции, описывающей сопрягаемые цилиндрические поверхности (3), позволил выявить, что без нарушения целостности сопрягаемых поверхностей их соединение возможно только вдоль оси базовой детали (оси z при обработке цилиндрической поверхности точением на рассматриваемом станке), т.е. математическая модель ФС станка, на котором осуществляется *комплекс* обработки и сборки, должна включать матрицу обобщенных перемещений A^3.

Из трех рассмотренных станков только токарно-винторезный и расточной содержат необходимую сборочную составляющую A^3, следовательно, кинематика этих двух станков позволяет реализовать *комплекс* обработки наружной цилиндрической поверхности и сопряжения по этой поверхности.

Математические модели:

- токарно-винторезного станка

$$r_0 = A_{01}^6 [A_{12}^3] A_{23}^1 r_3;$$

- расточного станка

$$r_0 = A_{01}^1 [A_{12}^3] A_{23}^6 r_3.$$

В приведенных моделях в квадратных скобках выделена матрица обобщенных перемещений, соответствующая *сборочной составляющей формообразующей системы* станков. Остальные перемещения, реализуемые на этих станках, также могут быть использованы при выполнении на станке сборочных операций, например, для подачи сопрягаемых деталей в зону сборки и их предварительного ориентирования.

Фасонно-отрезной станок $r_0 = A_{01}^6 A_{12}^1 r_2$ не имеет необходимой "сборочной" составляющей (A^3), поэтому соединение на нем деталей по обработанным цилиндрическим поверхностям без извлечения обработанной детали из шпинделя станка или нарушения при этом целостности сопрягаемых поверхностей невозможно.

Выявив кинематическую возможность выполнения *комплекса* обработки и сборки, следует:

♦ определить наиболее рациональную схему обработки поверхности (количество и последовательность переходов, количество, вид и схему размещения режущего инструмента, режимы обработки и т.д.);

♦ определить наиболее рациональную схему размещения, базирования и закрепления присоединяемой детали на станке (в револьверной головке, на одном из суппортов, на столе и т.д.), а также

необходимой сборочной оснастки (упоры, пуансоны, отвертки, гайковерты и т.д.);

♦ выполнить исходя из характеристик станка проверку на точность относительного положения соединяемых деталей и оснастки перед началом, в процессе и по окончании сопряжения;

♦ выполнить исходя из характеристик станка проверку на способность приводов станка создавать необходимые сборочные силы без потери станком своих качественных характеристик;

♦ назначить способы контроля, уборки стружки и др.;

♦ выполнить необходимое технико-экономическое обоснование принятых решений.

Примеры реализации комплекса операций обработки и сборки на одном станке

Разработанная методика была реализована в условиях промышленного производства на ОАО "Калугатрансмаш" при подготовке производства и серийном изготовлении изделия "Крышка" (рис. 4), состоящего из алюминиевого корпуса и стальной втулки.

Базовый технологический процесс включал следующие операции (исключая контроль и транспортировку):

■ токарная: растачивание отверстий ∅20 и 26 мм в алюминиевом корпусе под запрессовку втулки;

■ запрессовка: запрессовка втулки на прессе;

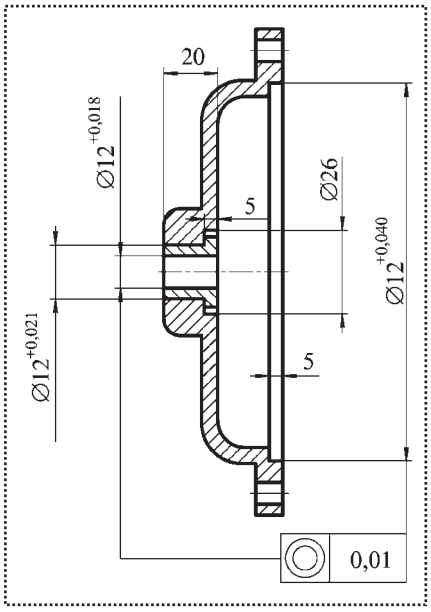


Рис. 4. Изделие, изготовляемое по разработанной методике

■ токарная: растачивание отверстий ∅12 мм во втулке и ∅140 мм в корпусе.

Закрепление заготовки корпуса, полученного литьем, на токарных операциях осуществлялось в трехкулачковом патроне по необработанной поверхности.

Исследование базового технологического процесса показало, что погрешность установки сборочной единицы в патроне токарного станка после операции запрессовки достигала величины 0,32 мм, что требовало увеличения припуска при растачивании отверстия во втулке в целях устранения указанной погрешности. Это, в свою очередь, приводило к необходимости обработки отверстия втулки за два прохода для уменьшения глубины и, соответственно, величины силы резания (чтобы исключить проворачивание запрессованной втулки в корпусе в процессе обработки) и увеличению времени обработки.

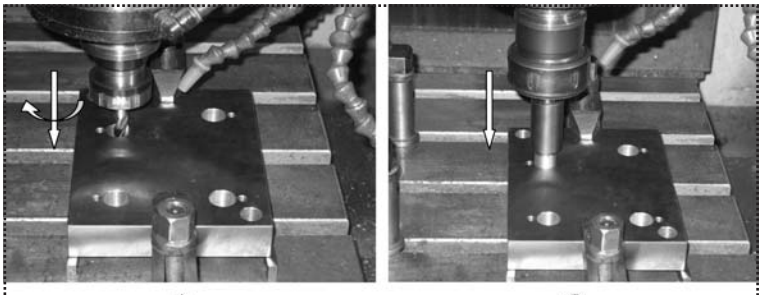
Анализ формообразующей системы токарного станка, выполненный в соответствии с предложенной методикой, позволил выявить возможность концентрации на нем операций обработки и сборки. Разработанный технологический процесс был реализован на токарном станке с ЧПУ модели DY-350×750. Обработка и сборка выполнялись на станке с одного установа. Втулка перед началом цикла обработки устанавливается на разжимную регулируемую оправку в одной из позиций револьверной головки станка. Конструкция оправки аналогична используемым в процессе установки подшипников скольжения в корпусных деталях [5]. Технологический процесс включает:

• растачивание отверстий ∅20 и 26 мм в алюминиевом корпусе под запрессовку втулки;

• запрессовку втулки посредством продольной подачи револьверной головки;

• растачивание отверстий ∅12 мм во втулке и ∅140 мм в корпусе.

Это позволило исключить погрешность установки, вызванную повторной установкой сборочной единицы на токарный станок для совместной обработки, и уменьшить количество переходов для обработки отверстия втулки. Суммарное время обработки и сборки сократилось на 57 % при обеспечении требуемой точности размеров и относительного положения исполнительных поверхностей ∅12 и 140 мм изготовляемого изделия.



а) *б*)

Рис. 5. Реализация комплекса обработки и сборки на вертикально-фрезерном станке:
а – расфрезеровывание отверстия в плите под кондукторные втулки; стрелками показаны *формообразующие* движения звеньев технологической системы; *б* – запрессовка кондукторных втулок в плиту; стрелкой показаны *сборочные* движения звеньев технологической системы

Примером успешной реализации разработанной методики является также изготовление кондукторных плит в условиях промышленного производства на инструментальном заводе ОАО "Инсэл" г. Калуги (рис. 5). Анализ формообразующей системы вертикально-фрезерного станка, выполненный в соответствии с предложенной методикой, позволил выявить возможность концентрации на нем операций обработки и сборки.

Базовый технологический процесс включал операции обработки плиты на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ, запрессовку кондукторных втулок на ручном прессе и последующее чистовое растачивание отверстия во втулке на том же станке после запрессовки.

Исследование базового технологического процесса показало, что погрешность установки сборочной единицы на столе станка после операции запрессовки достигала величины 0,03 мм, что требовало увеличения припуска при растачивании отверстия во втулке в целях устранения указанной погрешности.

Разработанный в соответствии с предложенной методикой технологический процесс осуществляется на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ модели MV-66. Весь цикл обработки и сборки выполняется на станке с одного установа.

Кондукторная втулка перед началом цикла обработки устанавливается на разжимную регулируемую оправку, которая находится в одной из позиций инструментального магазина станка. Конструкция оправки аналогична используемым в процессе установки подшипников скольжения в корпусных деталях [5]. Технологический процесс включает:

- сверление и расфрезеровывание отверстий в плите под запрессовку втулки (см. рис. 5, *а*);
- запрессовку втулок в отверстия плиты, находящейся на столе станка, посредством вертикальной подачи шпинделя с оправкой и установленной на нее втулкой (рис. 5, *б*);
- чистовое растачивание отверстий ∅12 мм во втулках в целях обеспечения межосевого расстояния между ними и требуемых значений их диаметральных размеров.

Это позволило исключить погрешность установки, вызванную переустановкой сборочной единицы на станок для совместной обработки, и уменьшить количество переходов для обработки отверстия втулки. Суммарное время обработки и сборки сократилось на 32 % при обеспечении требуемой точности размеров и относительного положения осей отверстий втулок.

Вывод

Предложенная методика выявления сборочной составляющей формообразующей системы станка позволяет определить возможность реализации на одном станке комплекса обрабатывающих и сборочных операций, принимать технологу научно-обоснованные решения при концентрации операций в целях повышения эффективности использования технологических возможностей современного обрабатывающего оборудования.

Библиографический список

1. **Базров Б.М.** Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 368 с.

2. **Могильный Н.И.** Ротационная вытяжка тонкостенных деталей на токарных станках с ЧПУ. М.: Станки и инструмент. 1992. № 8. С. 34–35.

3. **Научные** основы автоматизации сборки машин. Под ред. М.П. Новикова. М.: Машиностроение, 1976. 472 с.

4. **Решетов Д.Н., Портман В.Т.** Точность металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1986. 336 с.

5. **Новиков М.П.** Основы технологии сборки машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1980. 592 с.

УДК 621.824.32:620.192.7

С.А. Зайдес, *д-р техн. наук,* **А.В. Протасов,** *канд. техн. наук (ИрГТУ)*

Повышение качества соединений с гарантированным натягом при сборке узлов крупнотоннажных кривошипных валов газовых компрессоров

Статья посвящена вопросам повышения качества сборки прессовых соединений. Рассмотрено влияние способов термической сборки на напряженное состояние коренного вала газового компрессора. Представлены экспериментальные результаты влияния "термического удара" на качество соединения.

The article is devoted to questions of improvement of quality of assembly pressure connections. Influence of ways of thermal assembly on an intense condition of a radical shaft of the gas compressor is considered. Experimental results of influence of "Thermal impact" on quality of connection are submitted.

Ключевые слова: натяг, крупнотоннажный кривошипный вал, газовый компрессор.

Key words: tightness, large-capacity lever shaft, gas compressor.

На всех этапах развития техники усталость металлов всегда считают одной из главных причин аварийных разрушений и отказов оборудования различного назначения. Усталостные разрушения приносят значительный ущерб производству длительными неплановыми остановками, нарушениями технологического режима, угрозой безопасности обслуживающего персонала.

В тяжелом машиностроении усталостному разрушению достаточно широко подвержены крупногабаритные массивные соединения с гарантированным натягом. Так, на химических заводах известны случаи выхода из строя поршневых газовых компрессоров (рис. 1, см. 3-ю стр. обложки), которые происходят из-за усталостного разрушения крупнотоннажных кривошипных валов (рис. 2, см. 3-ю стр. обложки).

Кривошипный вал компрессора представляет собой цельнокованую цилиндрическую деталь (длина 6000 мм, масса 22400 кг), собранную с двумя кривошипами термическим способом. Анализ характера зон разрушения свидетельствует о недостаточной усталостной прочности валов в местах посадки кривошипов на вал, а также пальцев в кривошипы [3].

Уникальность сопрягаемых узлов таких изделий предъявляет особые требования как выбору технологических режимов сборки, так и к технологичности конструкций соединяемых деталей и самого прессового соединения, что в целом определяет надежность работы и долговечность оборудования.

Проблема усталостного разрушения изделий может быть достаточно успешно решена при разработке надежных методов прочностных расчетов, позволяющих прогнозировать зарождение усталостных трещин, описывать процессы их развития и предсказания момента окончательного разрушения деталей с учетом влияния технологических и эксплуатационных факторов.

Поэтому изучение напряженно-деформированного состояния (НДС) крупногабаритных тяжелых прессовых соединений в зависимости от способа и температурных режимов сборки, условий теплового взаимодействия сопрягаемых деталей при формировании натяга, а также выбора и расчета рациональных геометрических параметров сборочных узлов дает предпосылки для поиска эффективных путей повышения усталостной прочности соединения, а следовательно, и всего оборудования в целом.

В данной работе рассмотрено повышение качества соединения кривошипных узлов газовых компрессоров на основе моделирования технологии термической сборки прессовых соединений.

При моделировании сборочных узлов использованы физико-механические характеристики стали 40 (ГОСТ 1133–71), из которой изготовляют кривошипные валы и кривошипы газовых компрессо-

ров. Расчетная модель НДС прессового соединения основана на следующих допущениях:

♦ материал исследуемой модели изотропный;

♦ контакт деталей происходит по всем точкам сопрягаемых поверхностей кривошипного вала и кривошипа;

♦ реакция в узлах контакта направлена по нормали к поверхности;

♦ детали при сборке не имеют начальных остаточных напряжений.

При составлении расчетной модели тел вращения использовали цилиндрическую систему координат, в которой положение каждой точки определяют тремя координатами:

• r – радиусом;

• z – высотой точки;

• φ – углом относительно выбранного нулевого меридиана.

В точке тела напряженно-деформированное состояние определяют вектором напряжений:

$$\sigma = \{\sigma_r \sigma_z \sigma_\varphi \tau_{rz} \tau_{z\varphi} \tau_{\varphi r}\}^T$$

и вектором деформаций

$$\varepsilon = \{\varepsilon_r \varepsilon_z \varepsilon_\varphi \gamma_{rz} \gamma_{z\varphi} \gamma_{\varphi r}\}^T,$$

где σ_r, σ_z, σ_φ, τ_{rz}, $\tau_{z\varphi}$, $\tau_{\varphi r}$ – нормальные и касательные составляющие напряжений;

ε_r, ε_z, ε_φ – продольные деформации;

γ_{rz}, $\gamma_{z\varphi}$, $\gamma_{\varphi r}$ – угловые деформации в соответствующих плоскостях;

T – температура в соответствующей точке.

Задача термопрочности решена с учетом упругопластических свойств материала (свойства материала задавались диаграммой $\sigma - \varepsilon$) с использованием обобщенного закона Гука и температурных воздействий [2]:

$$\sigma = D(\varepsilon - \varepsilon_T) = D(\varepsilon - \alpha T), \quad (1)$$

где D – матрица упругих констант;

ε, ε_T – упругая деформация от действия силовых и температурных факторов;

α – коэффициент линейного расширения (сжатия) материала при нагревании (охлаждении).

Аппроксимация температурного поля в пределах конечного элемента выражена в виде

$$\{\varepsilon_T\} = \{\alpha\} \left\lfloor \{\Phi\}^T (\{T\} - \{T_0\}) \right\rfloor, \quad (2)$$

где $\{\Phi\}$ – матрица (вектор) функций формы элемента (величины функций форм элемента выражают связь между узловыми смещениями и перемещениями точки тела; в качестве функций форм элементов обычно используют полиномы; вне элемента данные функции равны нулю [5]);

$\{T\}$ – значение температуры в его k узлах, $\{T_0\}$ – начальная температура в k узлах элемента, при которой тепловые деформации отсутствуют, $k = 1, 2, 3, 4, ..., N$.

Для получения точных значений напряжений и деформаций в зоне контакта вал–втулка использован GAP-элемент. Это нелинейный элемент, имеющий различные жесткости на растяжение, сжатие и сдвиг [6].

Уравнение равновесия нагруженного тела имеет вид [5]

$$\int_V \bar{\sigma} \delta\varepsilon dV = \int_V \bar{q} \delta u dV + \int_S \bar{p} \delta u dS, \quad (3)$$

где σ – тензор напряжений;

δu – малое перемещение;

q – внешняя нагрузка, распределенная по объему V тела;

p – нагрузка, распределенная по его поверхности S.

После подстановки (1) в уравнение равновесия (3) и выполнения математических преобразований, получено выражение равновесия конечного элемента упругого тела при наличии температурного воздействия [6]

$$\{K\}\{\lambda\} = \{f\}, \quad (4)$$

где $\{K\}$ – матрица жесткости тела;

$\{\lambda\}$ – вектор узловых перемещений;

$\{f\}$ – вектор узловых перемещений с учетом температурного поля:

$$\{f\} = \int_V q\{\Phi\} dV + \int_S p\{\Phi\} dS + \int_V \{B\}\{D\}\{\varepsilon_T\} dV, \quad (5)$$

где $\{B\}$ – матрица, связывающая деформации с узловыми смещениями;

$\{D\}$ – матрица упругих констант;

$$\{B\} = \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \Phi_{ik}}{\partial x_j} + \frac{\partial \Phi_{jk}}{\partial x_i} \right) \right\},$$

где $i, j = 1, 2, 3. ..., N$.

Последнее слагаемое в (5) представляет собой узловую нагрузку, обусловленную полем температур, а $\{D\}\{\varepsilon_T\} = \sigma_T$ – температурное напряжение в узле. Такой же вид будут иметь уравнения равновесия для всей конечно-элементной модели конструкции. Таким образом, соотношения (2) и (5) дают решение задачи термопрочности при известных распределениях текущей и начальной температур тела.

Влияние НДС на прочностные характеристики тяжелого прессового соединения оценивали по эквивалентным напряжениям в соответствии четвертой теорией прочности, в которой критерием разрушения принимают энергию формоизменения [4]:

$$\sigma_{экв}^{(IV)} = \frac{1}{\sqrt{2}}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)]^{\frac{1}{2}}, \quad (6)$$

где σ_x, σ_y, σ_z – нормальные напряжения;

τ_{xy}, τ_{yz}, τ_{xz} – касательные напряжения.

С использованием программных продуктов MSC/NASTRAN и Ansys, основанных на методе конечных элементов (МКЭ), было исследовано напряженное состояние прессового соединения и выполнена оценка его усталостной долговечности.

Напряженное состояние в узле "вал – кривошип" рассмотрено при моделировании трех способов сборки.

1. Сборка с охлаждением вала.

2. Сборка с нагревом втулки.

3. Комбинированная сборка (одновременное охлаждение вала и нагрев втулки).

В зависимости от способа термической сборки и температурных режимов обработки деталей выполнено распределение эквивалентных напряжений по сечению вала. Установлено, что при комбинированном способе сборки наименьшие эквивалентные напряжения (в зоне концентрации напряжений $\sigma_{экв\,max}$ = 323 МПа) возникают при нагреве кривошипа до температуры +90 °С, с одновременным охлаждением вала до –175 °С (рис. 3).

Эти температурные режимы были рекомендованы для запрессовки кривошипного вала в кривошип при получении соединения с гарантированным натягом величиной 0,4 мм.

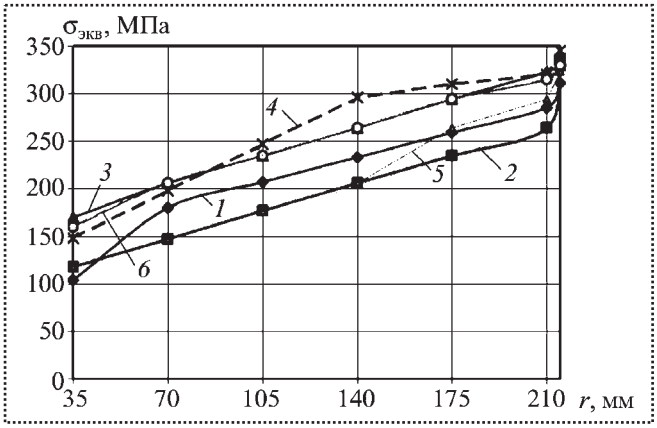


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{экв}$ по радиусу *r* вала:
1 – сборка с охлаждением (температура вала –210 °С); *2* – сборка с нагревом (температура втулки +170 °С); комбинированная сборка с температурой втулки +90 °С и с температурой вала: *3* – –190 °С; *4* – –125 °С; *5* – –175 °С; *6* – –140 °С

Производственная сборка крупнотоннажных изделий нередко происходит при начальном локальном контакте по образующей цилиндрических поверхностей. При исследовании влияния условий напрессовки на напряженное состояние деталей установлено, что в случае локального термического взаимодействия вала и втулки на поверхности вала формируются значительные термические эквивалентные напряжения, превышающие напряжения при конвективной сборке на 43 % (рис. 4). При локальном контакте возникает так называемый "термический удар", в результате которого на валу образуются значительные поверхностные остаточные температурные напряжения, вызывающие появление микродефектов ($\sigma_{экв}$ = 573 МПа, $\sigma_в$ = = 660 МПа).

В программном продукте ANSYS в результате комплексного расчета кривошипного вала была получена оценка долговечности, выраженная фактором надежности *K*. Его определяют как отношение предела прочности $\sigma_в$ материала к эквивалентным напряжениям $\sigma_{экв}$ на контактирующих поверхностях вала [7]:

$$K = \frac{\sigma_в}{\sigma_{экв}}. \quad (7)$$

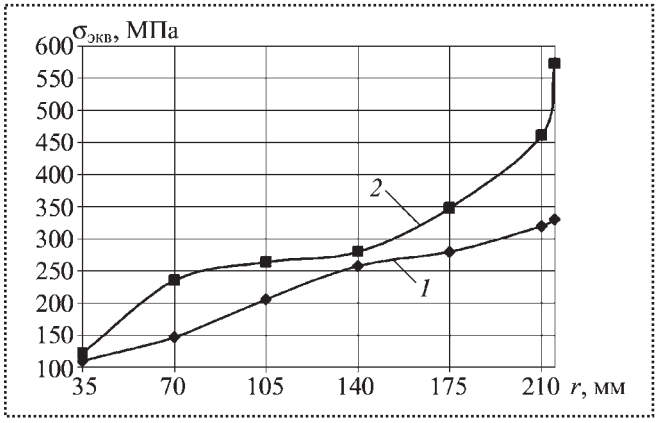


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{экв}$ по радиусу *r* вала:
1 – сборка с конвективным взаимодействием; *2* – сборка с локальным контактом

Эквивалентные напряжения, полученные в результате термических сборок, использовали при усталостном анализе для вычисления коэффициента усталостной долговечности *K* (фактора надежности) кривошипного вала. Кроме температурных напряжений при расчете учитывали напряжения от внешних нагрузок – крутящие моменты (рис. 5, см. 3-ю стр. обложки), возникающие в результате движения поршня через кривошипы.

Эквивалентные напряжения, возникающие при сборке тяжелого прессового соединения, а также реальные величины крутящих моментов, действующих на вал (см. рис. 5), были использованы для оценки усталостной долговечности кривошипных валов по фактору надежности.

Крутящие моменты, действующие на вал, подразделяют на ряд низкого давления (РНД) и на ряд высокого давления (РВД), и они соответственно равны 64 и 127 кН·м. Величину термических напряжений принимали в соответствии с методом сборки прессового соединения: с нагревом, с охлаждением или комбинированный. Так как при построении модели принимали действительные размеры изделий и задавали механические характеристики используемого материала, можно предполагать, что *данный анализ позволит дать объективную оценку усталостной прочности детали с учетом как остаточных эквивалентных напряжений в результате термической сборки, так и масштабного фактора.*

Значения фактора надежности *K* (рис. 6, см. 3-ю стр. обложки) показывают, что при сборке с охлаждением вала он выше по сравнению с соединением при нагреве кривошипа. Однако создать низкую температуру (–210 °С) в производственных условиях весьма сложно, поэтому целесообразно применять комбинированный способ сборки: охлаждение вала до –175 °С с одновременным нагревом кривошипа до +90 °С. В этом случае получился наибольший фактор надежности (K = 0,065).

Для оценки достоверности основных результатов, полученных при моделировании процесса сборки тяжелого прессового соединения, были проведены экспериментальные исследования. Адекватность экспериментальных исследований установлена на основе теории подобия сложных моделей. Были использованы уравнения, связывающие напряжения с деформациями, которые оцениваются двумя постоянными – модулем упругости E и коэффициентом Пуассона μ и основные критерии явления теплопроводности: критерий Био и число Фурье [1].

Для оценки условий термической сборки при формировании натяга были изготовлены образцы прессового соединения в масштабе 1:10 из стали 40 (ГОСТ 1133–71). Напрессовка выполнена комбинированным методом: нагрев втулки +90 °С с одновременным охлаждением вала до температуры –175 °С. Формирование натяга образцов проведено как с использованием конвективного теплообмена, так и в результате начального контактного взаимодействия сопрягаемых деталей ("термоудара").

Собранные образцы испытывали на усталостный изгиб с вращением при напряжении $\sigma_{исп} = 0{,}6\sigma_{0,2}$. Количество циклов нагружения для всех образцов составляло $12 \cdot 10^6$.

После усталостного испытания образцы распрессовывали и разрезали по поперечному сечению в местах возможных образований микротрещин (на выходе вала из втулки). Некоторые результаты микрофрактографического анализа (рис. 7), выполненного на электронном сканирующем микроскопе "Philips / SEM 525-M" приведены в таблице, из которой следует, что образование трещин, как и ожидалось, происходит на участке термического удара, в зонах действия значительных эквивалентных напряжений, превышающих предел текучести материала ($\sigma_{0,2}$ = 275 МПа). На всех образцах на глубине 1/4 D наблюдаются поры или скопления пор, что также подтверждается наличием больших внутренних напряжений.

Для выявления влияния условий напрессовки на наличие дефектов выполнена дополнительная

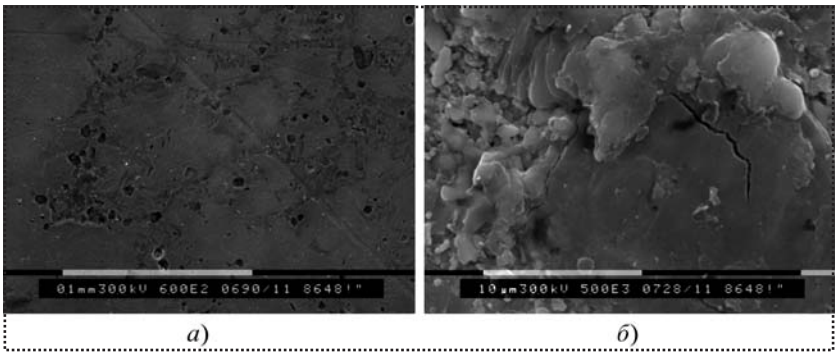


Рис. 7. Микроскопические особенности строения подповерхностного слоя поперечного сечения образцов после усталостного испытания:
а – сборка с конвективным взаимодействием (×1000); *б* – сборка с "термоударом" (×5000)

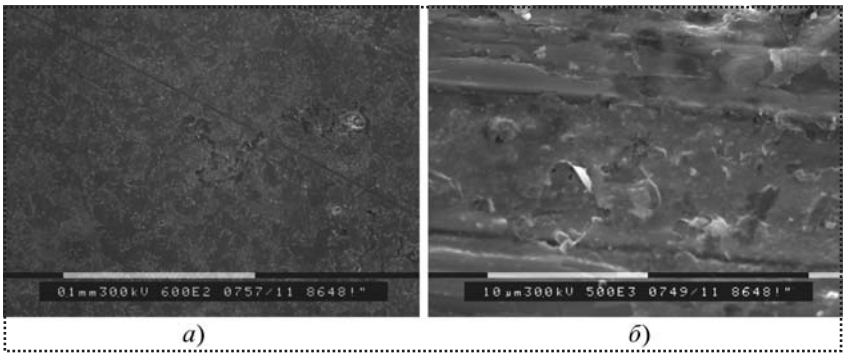


Рис. 8. Микроскопические особенности строения подповерхностного слоя поперечного сечения образцов:
а – сборка с конвективным взаимодействием (×6000); *б* – сборка с "термоударом" (×5000)

серия опытов. Исследуемые образцы напрессовывали с натягом по технологическим режимам, описанным выше, а затем распрессовывали и разрезали для исследования микроструктуры поперечного сечения валов. В результате микроскопического анализа установлено, что при сборке с "термоударом" в подверхностных слоях возникают микроскопические трещины, а на образцах, собранных с конвективным теплообменом, выявлены лишь отдельные поры (рис. 8).

Качественная оценка результатов конечно-элементного расчета с экспериментальными данными позволяет считать достоверной полученную при анализе тяжелых прессовых соединений информацию. Было установлено, что прессовые соединения, собранные с образованием "термического удара", имеют предрасположенность к образованию микротрещин, которые при эксплуатации соединения могут объединиться в магистральную трещину и явиться причиной усталостного разрушения деталей.

Вывод

• *На основе теории малых упругопластических деформаций и метода конечных элементов разработана математическая модель прессового соединения, обеспечивающая расчет напряженно-деформированного состояния сборочного узла с гарантированным натягом в зависимости от технологии термической сборки сопрягаемых деталей.*

• *По результатам численного анализа напряженного состояния сопряженных изделий установлено, что наиболее эффективные результаты по прочности соединения и экономичности процесса могут быть обеспечены при комбинированной терми-*

Оценка влияния условий напрессовки образцов на качество соединения после усталостных испытаний

Зона исследования	Эквивалентные напряжения, МПа	Номер группы образцов					
		конвективная сборка			сборка с "термоударом"		
		1	2	3	4	5	6
Подповерхностная	290	СП	СП	П	СП	Т, П	Т, П
1/4 *D*	200	П	–	П	П	П	П
1/2 *D* (возле отверстия)	160	П	–	–	–	П	–

Обозначения: *D* – диаметр образца; Т – трещина; П – отдельные поры; СП – скопление пор.
Примечание. Каждая группа представляет собой средние результаты исследований трех образцов.

ческой сборке, при которой для получения требуемого натяга (0,4 мм) вал необходимо охладить до температуры −175 °С, а кривошип нагреть до +90 °С.

• *Выполнена оценка на усталость тяжелого прессового соединения от совместного действия термических напряжений, возникающих в результате сборки и внешних нагрузок (крутящих моментов), возникающих при работе компрессора. Установлено, что предлагаемые температурные режимы комбинированной сборки обеспечивают максимальную величину фактора надежности.*

• *На основании численных и экспериментальных результатов исследования выявлено, что прессовые соединения, собираемые комбинированным термическим способом, при наличии "термического удара" имеют предрасположенность к образованию микротрещин, которые при эксплуатации оборудования могут объединяться в магистральную трещину и служить источником усталостного разрушения детали.*

Библиографический список

1. **Алабужев П.М.** Теории подобия и размерностей. Моделирование / П.М. Алабужев, В.В. Геронимус, Л.М. Минкевич, Б.А. Шеховцов. М.: Высшая школа, 1968. 208 с.

2. **Вигак В.М.** Управление температурными напряжениями и перемещениями / В.М. Вигак. Киев: Наук. думка, 1988. 312 с.

3. **Дудко Б.Н., Протасов А.В.** Анализ причин разрушения кривошипных валов поршневых компрессоров / Б.Н. Дудко, А.В. Протасов // Технологическая механика материалов: сб. науч. тр. Иркутск: Изд-во Иркутского гос. техн. Ун-та, 2004. С. 27–33.

4. **Трощенко В.Т.** Сопротивление усталости металлов и сплавов. В 2 т. / В.Т. Трощенко, Л.А. Сосновский. Киев: Наук. Думка, 1987. 1 т. 512 с.

5. **Шимкович Д.Г.** Расчет конструкций в MSC. Nastran for Windows / Д.Г. Шимкович. М.: ДМК Пресс, 2001. 448 с.

6. **Шимкович Д.Г.** Расчет тепловых воздействий в MSC. Nastran for Windows / Д.Г. Шимкович. М.: MSC .Software corporation, 2002. 78 с.

7. **Ibid. Ansys Analysis help.**

УДК 681.2-52

А.Е. Матросов, *канд. техн. наук (Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева)*

Устройство автоматизированного неразрушающего контроля физико-механических свойств изделий из пористых материалов перед сборкой

Представлено автоматизированное устройство для контроля физико-механических свойств материалов по параметрам их пористости.

An automatic device for the control of physical and mechanical properties of materials on parameters of porosity is presented.

Ключевые слова: пористые материалы, физико-механические свойства, автоматизированный неразрушающий контроль.

Key words: porous materials, physical and mechanical properties, automatic not destroying control.

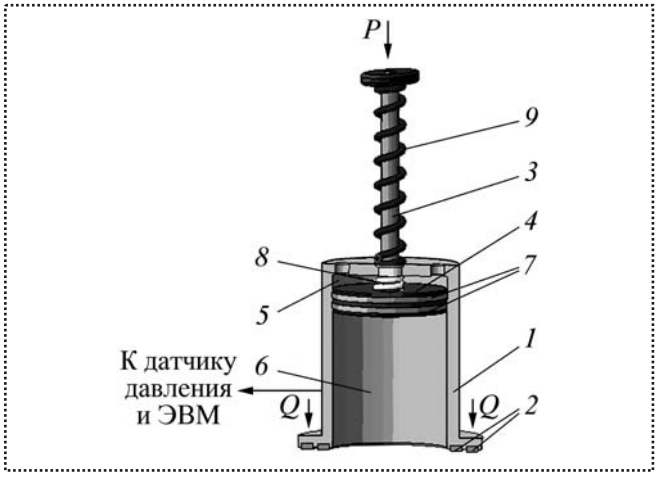
В процессе сборки изделий сложных конструкций процесс контроля прочностных характеристик соединяемых деталей занимает важное место. Наиболее оптимальным является *неразрушающий автоматизированный контроль*, позволяющий без разрушения деталей проконтролировать их физико-механические свойства, такие как прочность, твердость, теплопроводность и др., исключая тем самым необходимость дополнительных испытаний изделий в процессе сборки.

При этом желательно, чтобы контролирующие устройства имели небольшие габариты, не были привязаны к определенному месту контроля и позволяли произвести контроль в минимальные сроки.

Таким требованиям к процессу контроля удовлетворяет семейство устройств, основанных на газодинамическом автоматизированном неразрушающем контроле физико-механических свойств материалов по оценке их пористости.

Модель измерительного приспособления одного из таких устройств представлена на рисунке.

Измерительное приспособление состоит из стакана *1*, который устанавливают на контролируемое



Модель измерительного приспособления для определения физико-механических свойств материалов изделий по параметрам пористости

изделие и прижимают к нему с начальной силой Q. Герметизацию соединения дна стакана *1* и поверхности контролируемого материала обеспечивают кольцами *2* из вакуумной резины. При этом на качество контролируемой поверхности налагают ряд требований: поверхность изделия должна быть плоской, а контролируемая поверхность не должна иметь ярко выраженных зазубрин, забоев и других дефектов.

В момент прижатия стакана *1* к поверхности контролируемого материала уплотнительные кольца *2* из вакуумной резины поджимаются и деформируются по периметру, образуя герметичную газовую полость, глубина которой определяется глубиной стакана *1*. В стакане установлен шток *3* с поршнем *4*, при этом поршень *4* разделяет стакан на 2 камеры: верхнюю *5* и нижнюю *6*. Для исключения перетекания газа из одной камеры в другую на поршне *4* установлены уплотнения *7*. Для обеспечения быстрой откачки воздуха из камеры *6* и равномерности хода поршня *4* со штоком *3* предусмотрены пружины *8* и *9*. Нижняя камера *6* соединена с датчиком давления газа, информация с которого подается на ЭВМ (условно не показаны).

После установки измерительного приспособления на контролируемое изделие необходимо сообщить силу P штоку *3*, что приведет поршень *4* в крайнее нижнее положение. Затем необходимо создать внешнюю нагрузку Q, действующую на стакан *1*. После снятия нагрузки P со штока *3* под действием силы упругости пружины *9* произойдет отвод поршня *4* со штоком *3* в крайнее верхнее положение, что приведет к вакуумированию газовой полости *6*.

Текущее значение давления газа $p_т$ в камере *6* начнет медленно возрастать вследствие проникновения воздуха из атмосферы через контролируемый материал во фронтальном направлении. При этом будут наблюдаться как фильтрационный, так и диффузионный потоки воздуха. Информация об изменении давления газа в камере *6* с течением времени с датчика давления подается на ЭВМ. В процессе измерения на ЭВМ строится графическая зависимость изменения давления газа в камере *6* с течением времени, определяются значения давления газа и времени, соответствующие кнудсеновскому и ламинарному режимам течения газа. Параметры пористости контролируемого материала определяются на ЭВМ из следующих выражений [1]:

♦ коэффициент растворимости (константа Генри):

$$K_г = \frac{2\mu V_т l t_п}{F^2 \nu p_а^2} \frac{(p_т - p_п)}{(t_т - t_п)}, \qquad (1)$$

где l – линейный размер изделия в направлении фильтрации, м;

μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с;

$p_а$ – атмосферное давление, Па;

F – площадь материала, м^2;

$V_т$ –текущий объем газовой полости *6* приспособления, м^3;

$p_п$, $t_п$ – соответственно давление (Па) и время (с) в камере *6*, соответствующие переходу от кнудсеновского к ламинарному режиму течения газа;

$p_т$, $t_т$ – соответственно текущее значение давления (Па) и времени (с), $t_т > t_п$;

ν – коэффициент кинематической вязкости, м^2/с;

♦ коэффициент фильтрации:

$$K_ф = \frac{2\mu V_т l}{F\nu P_а^2} \frac{(p_т - p_п)}{(t_т - t_п)}; \qquad (2)$$

♦ коэффициент пористости:

$$П = \frac{2V_т l t_п}{F^2 p_а} \frac{(p_т - p_п)}{(t_т - t_п)}; \qquad (3)$$

♦ коэффициент газопроницаемости:

$$K_0 = \frac{2\mu V_т l}{F p_a^2} \frac{(p_т - p_п)}{(t_т - t_п)}; \qquad (4)$$

♦ коэффициент диффузии газа:

$$D = \frac{V_т l}{F P_a} \frac{(p_т - p_п)}{(t_т - t_п)}, \quad (5)$$

в которых время перехода от кнудсеновского режима течения газа к ламинарному имеет вид

$$t_п = \frac{dh}{2D} = \frac{d^2}{2D} \text{ или } t_п = \frac{4}{11} \frac{dh\Pi\mu}{K_0 p_а} = \frac{4}{11} \frac{d^2\Pi\mu}{K_0 p_а}, \quad (6)$$

где d – диаметр поперечного сечения полости *6* приспособления, м;

b, h – соответственно ширина и длина поперечного сечения полости *6* приспособления при изготовлении его с прямоугольным поперечным сечением, м.

По полученным параметрам пористости на ЭВМ определяются физико-механические свойства материалов:

• предел прочности пористого материала на растяжение [2]:

$$\sigma_в = \sigma_{вk} \frac{1 - 1{,}5\Pi}{1 + 1{,}5\beta\Pi}, \quad (7)$$

где $\sigma_{вk}$ – предел прочности непористого материала;

β – параметр, определяющий неоднородность распределения напряжений по сечению, обусловленную неравномерным распределением пор в площади сечения;

• коэффициент теплопроводности [3]:

$$\lambda = \lambda_к (1 - 1{,}7\Pi), \quad (8)$$

где $\lambda_к$ – коэффициент теплопроводности непористого материала;

• модуль упругости [4]:

$$E = E_k (1 - \Pi)^{m_1}, \quad (9)$$

где E_k – модуль упругости непористого материала;

m_1 – константа.

Вывод

Предлагаемое устройство для автоматизированного неразрушающего контроля физико-механических свойств пористых материалов, таких как металлокерамика, стекло, сложные керамические системы и др., позволяет осуществить процесс контроля свойств изделий перед сборкой.

Библиографический список

1. **Способ** определения параметров пористости материалов: Патент РФ № 2305820, МКИ[3] G01N15/08 // Ю.З. Житников, А.Н. Иванов, Ю.Н. Матросова, А.Е. Матросов. Б.И. № 25, 2007.

2. **Ермаков С.С., Вязников Н.Ф.** Металлокерамические детали в машиностроении. Ленинград, "Машиностроение" (Ленингр. отд-ние), 1975. 232 с.

3. **Белов С.В.** Пористые проницаемые материалы. Справ. изд. / под ред. С.В. Белова. М.: Металлургия, 1987. 335 с.

4. **Вязников Н.Ф., Ермаков С.С.** Металлокерамические материалы и изделия. Ленинград. "Машиностроение", 1967. 224 с.

Рожков В.Н. **Контроль качества при производстве летательных аппаратов**: учебное пособие. 2007. – 416 с., тв. пер., 60×88 1/16

ISBN 978-5-217-03372-0

Цена с НДС 396 руб.

Приведены необходимые сведения о технологии и значении контроля в структуре систем управления качеством ЛА; представлены терминология, принципы управления качеством в соответствии с требованиями международных стандартов ИСО 9000-2000, даны информационные модели процесса контроля, классификация видов и параметров контроля, а также направления его оптимизации.

Изложены специальные методы и типовые технологические процессы контроля гидрогазовых систем ЛА: монтажных напряжений, промышленной чистоты, герметичности, прочности, функционирования и др. Описаны особенности сертификации авиационной техники, даны примеры построения моделей, алгоритмов диагностирования и планирования эксперимента при контроле систем ЛА. Приведены сведения о применении программных продуктов для планирования и оценки качества процессов контроля.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров "Авиа- и ракетостроение", полезно специалистам в области контроля и управления качеством машиностроительной продукции.

Приобрести книгу можно непосредственно в издательстве "Машиностроение", прислав заявку в отдел подписки, маркетинга и рекламы по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru; по почте: 107076, Москва, Стромынский пер., 4. ООО "Издательство Машиностроение". Справки по тел. (499) 269-66-00. http://www.mashin.ru

С.В. Дмитриев, *д-р техн. наук,* **В.Б. Хлюпин** *(Камская государственная инженерно-экономическая академия (ИНЭКА))*

Сборка стенда для исследования показателей дизеля при впрыскивании воды во впускной коллектор*

Описана сборка моторного стенда для испытания дизельного двигателя на токсичность, экономичность и мощность, оценки теплового баланса при впрыскивании воды во впускной коллектор. Даны рекомендации по выбору приборов для измерения этих показателей.

The paper describes the assembly of the motor bench for toxicity, profitability and capacity tests of diesel engine. The authors estimate the thermal balance at water injection in an inlet collector. Recommendations for the choice of devices for measurement of these parameters are given.

Ключевые слова: дизель, впускной коллектор, токсичность, экономичность, мощность, тепловой баланс.

Key words: diesel, inlet collector, toxicity, profitability, capacity, thermal balance.

При исследовании дизельных двигателей внутреннего сгорания ДВС на токсичность, основное внимание обычно уделяют выбросам с отработавшими газами (ОГ) окислов азота и твердых частиц (дымность). Эти компоненты считают наиболее вредными для человека и окружающей среды. Одним из решений по снижению выбросов окислов азота с отработавшими газами является впрыскивание воды в цилиндры [1]. Как и насколько при этом изменится содержание твердых частиц, неизвестно.

Для проведения экспериментальных исследований был собран моторный стенд, приведенный на рис. 1.

Объектом испытаний является дизельный двигатель 1Ч8,5/11, закрепленный на швеллерах 22. Выбор номера швеллеров осуществлялся по их прочностному расчету. Для снижения вибраций дизель устанавливают на резиновых подушках *20*. Пуск дизеля и создание для него нагрузки осуществляется генератором постоянного тока, выполненным в виде балансировочной машины *3*. Для этого вместо штатных торцовых крышек генератора вытачивают и устанавливают специальные фланцы. На фланцы надевают подшипники 0-209 с посадкой k6. В отверстия стоек 21 эти подшипники вставлены с посадкой К7.

Работоспособность и надежность крепления подшипников зависят от характера соединения колец подшипников с валом и корпусом. Поэтому важно правильно выбрать посадку подшипников исходя из условий их эксплуатации [2]. Стойки *21* закрепляют на швеллерах *22*. Таким образом, статор машины может поворачиваться относительно оси вращения якоря. Вал якоря генератора соединен с коленчатым валом двигателя при помощи кулачково-дисковой муфты *19*. Выбор машины постоянного тока обусловлен ее обратимостью и широким диапазоном эксплуатационных характеристик.

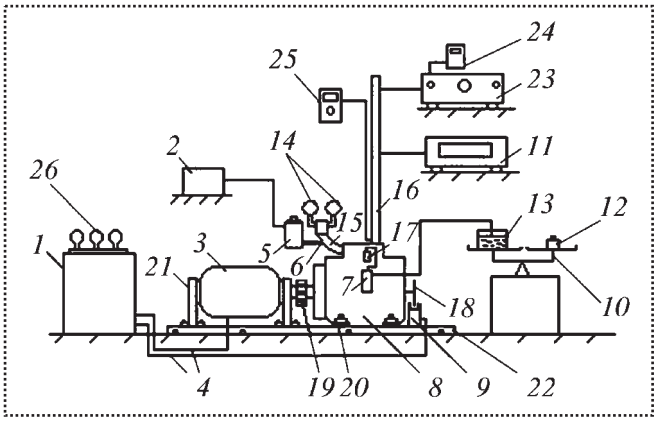


Рис. 1. Моторный стенд:
1 – пульт управления; *2* – компрессор; *3* – балансирная машина (генератор постоянного тока); *4* – электрические провода; *5* – резервуар с водой; *6* – распылитель; *7* – топливный насос высокого давления; *8* – дизель; *9* – датчик частоты вращения коленчатого вала; *10* – весы; *11* – газоанализатор; *12* – гиря; *13* – емкость с топливом; *14* – счетчики расхода воздуха; *15* – впускной коллектор; *16* – выпускная труба; *17* – топливная форсунка; *18* – диск; *19* – муфта; *20* – резиновая подушка; *21* – стойка; *22* – швеллер; *23* – дымомер; *24* – пульт дымомера; *25* – цифровой мультитестер с термопарой; *26* – лампа накаливания

*Материалы международного научного симпозиума "Современные технологии сборки", 2008.

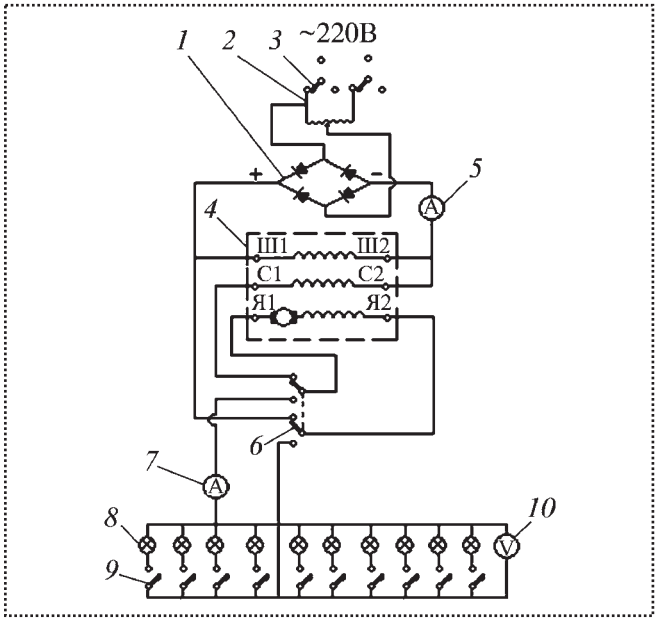


Рис. 2. Электрическая схема управления стендом:
1 – диодный мост (выпрямитель); *2* – автотрансформатор; *3* – рубильник; *4* – генератор; *5* – амперметр; *6* – пакетный переключатель; *7* – амперметр; *8* – лампы накаливания; *9* – выключатели; *10* – вольтметр; Ш1–Ш2, С1–С2, Я1–Я2 – цепи возбуждения

При запуске дизеля, электропитание генератора осуществляется постоянным током от выпрямителя *1* (рис. 2), подключенного в лабораторную электросеть через рубильник *3* и автотрансформатор *2*, где напряжение можно регулировать в пределах 5...220 В.

В данном режиме регулирование необходимо для плавной раскрутки двигателя и обеспечения пусковых токов. После запуска дизеля генератор переводят в тормозной режим переключателем *6*. Возбуждение генератора независимое, осуществляется через шунтовую обмотку из электросети. Ток возбуждения измеряется по амперметру *5*.

В тормозном режиме в обмотке якоря возникает ЭДС, которая вызывает ток в цепи якоря. Ток своим магнитным полем противодействует вращению якоря, а следовательно, и вращению вала дизеля. Электрический эффективный момент противодействия вращению якоря передается на статор в виде реактивного $M_р$ момента, действующего в сторону, противоположную направлению вращения якоря. Момент $M_р$, удерживающий статор от поворота, создается силой P противодействия измерительного весового устройства *1* на плече L (рис. 3). Потери на трение в подшипниках учитываются моментом

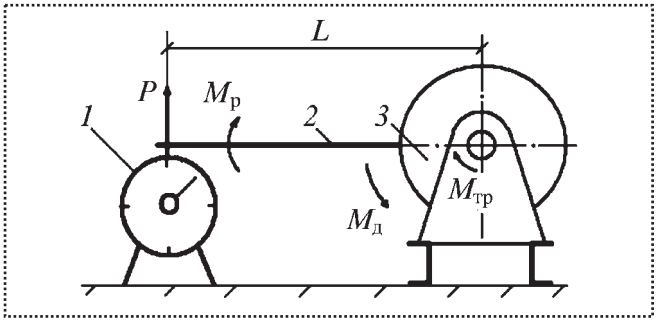


Рис. 3. Устройство для измерения крутящего момента двигателя:
1 – весы; *2* – плечо; *3* – балансирная машина (генератор)

трения $M_{тр}$. Тогда крутящий момент дизеля $M_д$ определится как сумма этих моментов:

$$M_д = M_р + M_{тр}.$$

Изменение нагрузки в режиме торможения обеспечивается воздействием на цепь параллельного возбуждения Ш1–Ш2 статора (см. рис. 2), регулированием напряжения в автотрансформаторе либо за счет изменения сопротивления электрической цепи якоря. Последнее осуществляется изменением силы тока в цепи якоря последовательным включением (выключением) ламп накаливания *8* выключателями *9*. При этом напряжение определяют вольтметром *10*, а силу тока – амперметром *7*.

Для определения мощности, развиваемой двигателем, кроме крутящего момента необходимо знать частоту вращения коленчатого вала. Последняя измеряется с помощью электронного счетчика оборотов ЦАТ-3М. На носке коленчатого вала установлен непрозрачный диск *18* с прорезями, количество оборотов которого считывает фотодатчик *9* (см. рис. 1). В качестве светочувствительного элемента используют германиевый фотодиод ФД-3А.

Для впрыскивания воды в цилиндр используют резервуар *5* с распылителем *6*. Распылитель *6* устанавливают во впускной коллектор *15*. При работе дизеля на расчетном режиме подача воды происходит сплошным потоком через распылитель *6*. Поскольку разрежение, создаваемое во впускном трубопроводе, недостаточно для забора воды из резервуара, то вода находится в резервуаре под избыточным давлением. Это давление создается при помощи компрессора *2*. Регулирование количества подаваемой воды осуществляют изменением избыточного давления от 0,01 до 0,05 МПа, измерение –

мензуркой при сравнении залитой в резервуар *5* воды до начала эксперимента и слитой после.

Исследование отработавших газов (ОГ) осуществляется пятикомпонентным газоанализатором *11* "Автотест 02 CO-CO_2-CH-O_2-NOx-λ-T". Дымность ОГ определяют прибором ИДС-3С, который состоит из дымомера *23* (первичный измерительный преобразователь) и пульта управления *24* (электронный блок). Приемные устройства газоанализатора и измерителя дымности установлены в выпускной трубе *16*.

Измерение температуры отработавших газов дизеля проводят цифровым мультитестером ДТ-838 с термопарой. Термопара установлена в выпускной трубе *16* рядом с выпускным клапаном. Значения температур ОГ используют при оценке теплового баланса двигателя.

Расходы топлива и воздуха, потребляемые дизелем, определяются интегрально. Обусловлено это тем, что при подаче воды изменение количества токсичных веществ в ОГ происходит не мгновенно, а за определенный промежуток времени. Поэтому рассчитывают осредненные значения этих показателей.

Измерение расхода топлива проводят весовым методом. Топливо из емкости *13* в топливный насос высокого давления *7* подается самотеком. Расход воздуха определяют роторными счетчиками газа *14* (см. рис. 1).

Для регистрации относительной влажности, давления и температуры атмосферного воздуха используют барометр и термометр.

На пульт управления выведены следующие приборы: амперметры, вольтметр, электронный счетчик (рис. 4). Там же установлены лампы накаливания.

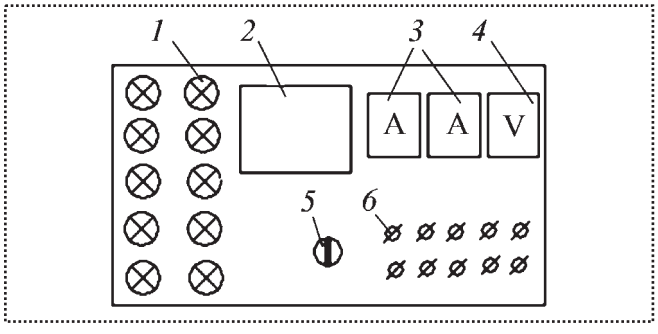


Рис. 4. Пульт управления (верхняя часть):
1 – лампы накаливания; *2* – электронный счетчик оборотов ЦАТ-3М; *3* – амперметры; *4* – вольтметр; *5* – пакетный переключатель; *6* – выключатели ламп

Длительность проведения каждого эксперимента и наблюдение за показаниями всех приборов, задают временем расходования топлива. В будущем планируется совершенствование моторного стенда с автоматизацией измерений с использованием ЭВМ и применение электронной системы управления дизелем.

Оценим инструментальные погрешности измерения основных параметров.

Весовое устройство для измерения крутящего момента двигателя

Цена одного деления весового устройства – 20 г. Погрешность $\Delta = \pm 10$ г.

Весы с гирями для измерения расхода топлива

Погрешности набора гирь 4-го класса точности составляют следующие значения гирь массой:

- *100 г*

$\Delta = \pm 40$ мг;

- *50 г*

$\Delta = \pm 30$ мг;

- *20 г*

$\Delta = \pm 20$ мг;

- *10 г*

$\Delta = \pm 12$ мг;

- *5 г*

$\Delta = \pm 8$ мг;

- 2 г

$\Delta = \pm 6$ мг.

Мензурка для измерения количества воды в резервуаре

Вместимость мензурки – 250 мл. Цена деления – 2 мл. Погрешность мензурки, мл:

$$\Delta = \pm\frac{\delta(x_в - x_н)}{100} = \frac{\pm 0{,}5(250-20)}{100} = \pm 1{,}15,$$

где δ – погрешность для класса точности 0,5;

$x_в$, $x_н$ – верхний и нижний пределы измерений, мл.

Амперметры

Верхний предел измерений амперметров 50 А. Класс точности 2. Абсолютная погрешность измерения тока амперметром, А:

$$\Delta = \pm\frac{\delta(x_в - x_н)}{100} = \frac{\pm 2(50-0)}{100} = \pm 1.$$

Вольтметр

Верхний предел измерений вольтметра равен 220 В. Нижний предел равен 50 В. Класс точ-

ности 2. Абсолютная погрешность измерения напряжения вольтметром, В:

$$\Delta = \pm\frac{\delta(x_в - x_н)}{100} = \frac{\pm 2(220-50)}{100} = \pm 3{,}4.$$

Электронный счетчик оборотов

Абсолютная погрешность прибора $\Delta = \pm$ 10 об/мин.

Газоанализатор

Абсолютная погрешность измерения компонентов: углеводородов $\Delta = \pm$ 50 ppm; оксида углерода $\Delta = \pm 0{,}25$ %; диоксида углерода $\Delta = \pm 0{,}5$ %; кислорода $\Delta = \pm 0{,}5$ %; окислов азота $\Delta = \pm 50$ ppm. Приведенная погрешность измерения для всех компонентов составляет ± 5 %.

Термопара

Относительная погрешность измерения при температуре выше 150 °С составляет ± 3 %.

Счетчики расхода воздуха

Относительная погрешность составляет ± 3 %.

Измеритель дымности

Предел допускаемой абсолютной погрешности ± 2 %.

Вывод

Выбор приборов и методов измерения параметров, необходимых для определения мощностных, экономических, токсических показателей дизеля, оценки теплового баланса, обусловлен их простотой, удовлетворительными для проведения исследований показателями погрешностей измерения и экономической целесообразностью [4]. На стенде проводятся экспериментальные исследования и лабораторные работы по учебным дисциплинам, связанным с изучением ДВС.

Библиографический список

1. **Кульчицкий А.Р.** Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие / Владим. гос. ун-т. Владимир, 2000. 256 с.

2. **Перель Л.Я.** Подшипники качения: Расчет, проектирование и обслуживание опор: Справочник. М.: Машиностроение, 1983. 543 с.

3. **Райков И.Я.** Испытания двигателей внутреннего сгорания. М.: Высш. шк., 1975. 320 с.

4. **Хлюпин В.Б.** Стенд для исследования показателей дизеля при впрыскивании воды // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики "АНТЭ-07": Материалы международ. научн.-тех. конф. Казань. 2007. С. 191–194.

Подураев Ю.В. **Мехатроника: основы, методы, применение**: учебное пособие для студентов вузов. 2-е изд., 2007. – 256 с., тв. пер., 60×88 1/16

ISBN 978-5-217-03388-1

Цена с НДС 264 руб.

Рассмотрена тенденция перехода от механики к мехатронике в построении машин нового поколения. Даны основы мехатроники – базовые понятия и терминология, предметная область, новые гибридные технологии, области применения современных мехатронных машин; методы построения и анализа интегрированных мехатронных модулей и систем. Приведены примеры современных мехатронных модулей и систем, аспекты математического моделирования и оптимизации движений многомерных мехатронных систем, система управления мобильным роботом на основе Интернет-технологий в реальном времени.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности "Мехатроника" направления подготовки "Мехатроника и робототехника", а также "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств", "Автоматизированные технологии и производства". Может быть полезно специалистам, занимающимся разработкой и исследованием современных машин.

Гриф Минобрнауки

Приобрести книгу можно непосредственно в издательстве "Машиностроение", прислав заявку в отдел подписки, маркетинга и рекламы по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru; по почте: 107076, Москва, Стромынский пер., 4. ООО "Издательство Машиностроение". Справки по тел. (499) 269-66-00. http://www.mashin.ru

УДК 621.438

Н.В. Румянцева *(Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П.А. Соловьева)*

Способ ремонта лопаток для обеспечения требуемых характеристик и надежности ГТД*

Перечислены факторы, влияющие на надежность лопаток компрессора и турбины газотурбинных двигателей. Рассмотрены методы повышения коррозионной стойкости поверхности лопаток.

Factors influence on reliability of compressor blades and gas-turbine engines have been listed. Methods of corrosion resistance increase of blades surface.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, ремонт, коррозионная стойкость, поверхность лопаток.

Key words: gas-turbine engine, repair, corrosion resistance, blades surface.

Ремонт авиационных газотурбинных двигателей ГТД требует постоянного совершенствования технологических процессов и внедрения качественно новых методов и средств для восстановления деталей и обеспечения необходимых эксплуатационных характеристик, обеспечивающих постоянно растущие требования по качеству и надежности. Ремонт деталей и узлов двигателя определяет ресурс изделия, его трудоемкость и себестоимость. Создание новых технологий ремонта, способных обеспечить необходимое качество восстановленных деталей, удовлетворяющих высоким техническим требованиям, дает возможность для конструктивного совершенствования ГТД.

Современные двигатели эксплуатируются в различных атмосферных и климатических условиях. Поэтому при проектировании, производстве и ремонте надо учитывать влияние на долговечность деталей и машин влаги, тепла, холода, света, пыли, песка, пониженного и высокого давления и других факторов.

Действие эксплуатационных факторов связано с режимом хранения или активной эксплуатацией. В двигателях, подвергающихся длительному хранению перед активной эксплуатацией, постепенное изменение свойств и характеристик изделий при хранении может иметь доминирующее значение, особенно для деталей, чувствительных к влиянию таких внешних факторов, как влажность, атмосферное давление, состав и загрязнение атмосферы, окружающая температура. Влияние факторов, действующих при активной эксплуатации, зависит от режима активной эксплуатации: от того, является ли этот режим непрерывным, циклическим, случайным повторно-прерывистым или одноразовым, установившимся или переходным.

Рабочие лопатки компрессора и турбины являются наиболее нагруженными деталями, определяющими ресурс ГТД. Профильная часть пера и хвостовик лопаток, помимо растяжения и изгиба от центробежных сил, изгиба и кручения от газового потока, испытывают переменные напряжения от вибрационных нагрузок, амплитуда и частота которых изменяются в широких пределах. Многократное изменение тепловых режимов работы двигателя (быстрый нагрев в момент запуска и быстрое охлаждение при остановке двигателя) вызывает циклическое изменение термических напряжений, характеризуемое как тепловая усталость. Надежность работы лопаток зависит не только от их конструктивной прочности, сопротивления циклическим и длительным статическим нагрузкам, но и от технологии их ремонта, которая непосредственно влияет на качество поверхностного слоя пера и полок лопаток.

В поверхностном слое образуются конструктивные и технологические концентраторы напряжений, он испытывает влияние наклепа и внутренних остаточных напряжений при механической обработке. Кроме того, поверхностный слой подвергается воздействию внешних нагрузок при основных видах напряженного состояния (изгибе, растяжении, кручении) и внешней среды. *Основными факторами, определяющими качество поверхностного слоя* (шероховатость, глубину и степень наклепа, величину и характер распределения остаточных напряжений), являются физико-механические

*Вестник РГАТА им. П.А. Соловьева. 2007. № 1 (11).

свойства обрабатываемого материала, методы и режимы механической обработки.

При ремонте двигателей Д-30КУ/КП/КУ-154 и их модификаций отмечается коррозионное повреждение рабочих лопаток второй и третьей ступеней ротора и 1–3 ступеней лопаток статора компрессора низкого давления.

Целенаправленное исследование процессов коррозии и разработка эффективных средств защиты металлов, предусматривающие изыскание новых методов ремонта и рациональные использование имеющихся материалов, входят в перечень *наиболее важных задач восстановительного ремонта двигателей.*

Влага, постоянно содержащаяся в атмосфере, ускоряет коррозию металлов, способствует гидролизу и, вследствие этого, вызывает различные физико-механические повреждения машин. Периодические изменения влажности воздуха вызывают изменения свойств материала.

Существующий метод ремонта заключается в *полировании пера и полок лопатки* в целях удаления продуктов коррозии с последующим анодированием для обеспечения коррозионной стойкости.

В настоящее время удаление коррозионных повреждений осуществляют вручную (без всяких средств механизации) полированием профиля пера и полок лопаток на полировальных бабках войлочными кругами с накатанным абразивным зерном, анодированием, контролем капиллярным методом на отсутствие коррозионных раковин. При этом увеличенный слой снимаемого материала на обрабатываемой детали при полировании увеличивает возможность нарушения структуры поверхностного слоя.

При выведении коррозионных повреждений полированием по существующему техпроцессу происходит отбраковка части лопаток из-за уменьшения толщины профиля пера и хорды, что приводит к уменьшению ремонтопригодности деталей.

Анализ статистики отбраковки лопаток показал, что занижение толщины пера при полировании достигает 0,3 мм, а хорда уменьшается до 3 мм сверх допуска на серийный размер, съем метала осуществляется с криволинейного профиля, в результате чего уменьшается точность обрабатываемых поверхностей, и лопатка, пришедшая в третий и последующие ремонты, оказывается неремонтопригодной.

Анализ результатов испытаний по оценке изменения собственной частоты колебаний при утонении профиля пера лопаток в надполочных сечениях, вследствие удаления полированием коррозионных повреждений показал, что лопатки, отремонтированные таким способом, имеют значительное изменение собственной частоты колебаний, а увеличение съема металла увеличивает возможность нарушения структуры поверхностного слоя на обрабатываемой детали при полировании.

Назначение лопаток ротора компрессора низкого давления – это сжатие атмосферного воздуха и направление его в разделительный корпус. Необходимо выбрать эксплуатационный показатель, на основании которого будут рассчитываться технологические условия обработки пера лопатки при ремонте. Таковыми являются шероховатость обрабатываемых поверхностей и геометрические параметры лопатки.

На основании анализа проведенных испытаний, дающих полную характеристику дефектности и разрушений рабочих поверхностей детали в процессе эксплуатации, можно сделать вывод о необходимой прочности материала ВД-17, из которого изготовлена лопатка. Предел выносливости является одним из основных эксплуатационных показателей деталей ГТД, который связан с показателем качества. В свою очередь показатель качества – это параметр шероховатости, глубина и степень наклепа, остаточные напряжения.

При ремонте лопаток коррозионную стойкость можно обеспечивать технологическими методами в результате создания определенного качества поверхностного слоя при механической и термической обработках или использовании ингибиторов коррозии и различных защитных покрытий: металлических и неметаллических.

После механической обработки коррозионная стойкость деталей изменяется, в большинстве случаев снижается. С точки зрения протекания химических реакций, причиной этого является увеличение внутренней энергии материала в процессе механической обработки, которое можно рассматривать как процесс передачи затрачиваемой на процесс обработки энергии материалу обрабатываемой детали. В результате передаваемая энергия частично выделяется в виде тепловой в окружающую среду, а частично накапливается материалом поверхностного слоя в виде поверхностной энергии и скрытой энергией деформирования.

В связи с неравномерным распределением напряжений по сечению деталей, а также в силу того, что наружный слой металла является ослабленным, так как несет большое количество различных дефектов механического и металлургического происхождения, усталостное разрушение деталей в большинстве случаев начинается с наружного слоя. По-

этому наиболее эффективными и рациональными способами повышения сопротивления усталости следует признать процессы, связанные с поверхностным упрочнением деталей.

Широкими возможностями в обеспечении и повышении эксплуатационных свойств деталей обладает обработка пластическим деформированием.

Для реализации поставленных задач необходимо изменить существующий технологический процесс, т.е. коррозионные повреждения пера и полок лопаток удалять гидропескоструйной обдувкой с последующим покрытием эмалью ЭП-140 для обеспечения требуемой шероховатости лопаток. Механические методы очистки позволяют создать шероховатую поверхность, обеспечивающую надежную адгезию покрытия с металлом. Методы отличаются сравнительной простотой, невысокой стоимостью и универсальностью. Обработка криволинейных, фасонных поверхностей в целях удаления коррозии обычными методами связана с большими технологическими трудностями. Она требует использования сложных кинематических схем станков и дорогого режущего инструмента.

Были проведены опытные работы по отработке технологии удаления продуктов коррозии с поверхности пера лопаток в зависимости от:

- ♦ состава рабочей жидкости;
- ♦ времени воздействия рабочей смеси на обрабатываемую поверхность;
- ♦ величины давления воздуха.

Для определения съема металла при обдувке половина обдуваемой поверхности закрывалась. Величина съема металла определялась путем замера и сравнения шероховатости на границе между обдутой и необдутой поверхностью на приборе "Talysurf". Контроль качества обдувки на отсутствие продуктов коррозии проводился визуально с помощью лупы 4-кратного увеличения.

Метод гидропескоструйной обработки позволяет решить задачу сравнительно просто. Смесь формовочного песка, воды и воздуха ударяется о поверхность лопатки и сглаживает микронеровности, создавая эффект полирования. Интенсивность съема материала обрабатываемой заготовки регулируют зернистостью формовочного песка, давлением струи и углом. Изменяя скорость полета и размер свободных песчинок, можно также увеличить или уменьшить степень пластической деформации и шероховатость поверхности.

Результаты проведения опытных работ

Рабочая среда	Величина давления, МПа	Шероховатость поверхности *Ra* до/после обработки	Величина съема металла, мм
24А12	0,2	1,83/2,15	+0,0025
$2K_2O_2016$	0,4	1,7/1,42	–0,002
Стеклянные шарики ∅, мм:	0,2		
0,18		2,12/2,3	+0,003
0,5...0,9		1,99/5	+0,015

О б о з н а ч е н и я: знак "+" – обдутая поверхность увеличилась на данную величину, знак "–" – уменьшилась.

П р и м е ч а н и е. Время обработки деталей 2 мин.

Одновременно с получением необходимого микрорельефа этот способ обработки создает полезное поверхностное упрочнение. Воздушная пленка, покрывающая обрабатываемую поверхность, играет очень важную роль. Формовочный песок, попадающий на микровыступы, легко преодолевает его сопротивление и ударяет материал. Те же зерна, которые попадают на впадины, встречают большее сопротивление воздуха; съем материала замедляется, что уменьшает шероховатость поверхности. При гидропескоструйной обдувке обрабатываемая лопатка перемещается в камере так, чтобы все ее участки подвергались обработке. Деталь может совершать вращательное и поступательное движения в зависимости от профиля обрабатываемой поверхности.

Обработка деталей гидропескоструйной обдувкой не повышает точность размеров и формы, и изменяет шероховатость поверхности, удаляя коррозионные повреждения и продукты коррозии (см. таблицу).

Библиографический список

1. **Петросов В.В.** Гидродробеструйное упрочнение деталей и инструмента. М., 1977.

2. **Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С.** Резание металлов. М., 2001.

3. **Дрозд М.С., Матлин М.М., Сидянин Ю.И.** Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации. М., 1986.

4. **Анурьев В.И.** Справочник конструктора-машиностроителя. М., 1979.

5. **Бобров В.Ф.** Основы теории резания металлов. М., 1975.

6. **Дальский А.М.** Механическая обработка материалов. М., 1981.

7. **Федонин О.Н.** Инженерия поверхности детали с позиции ее коррозионной стойкости. Инженерный журнал. № 10, 2001.

А.В. Медарь, *канд. техн. наук (ФГУП "НПО "Техномаш")*

Точностной анализ в технологическом проектировании сборочных процессов

Даны основные понятия и определения, показаны роль и место точностного анализа в технологическом проектировании сборочных процессов. Приведена последовательность операций, отражающая общий методологический подход при его практической реализации в производстве. Приведено описание трех основных разделов точностного анализа: организационно-технического анализа исходных данных, размерного анализа вариантов технологических процессов сборки и контроля выходных параметров точности изделий, расчетно-точностного анализа окончательно собранного изделия.

In this work produsedbasic consepts and definitions, showed role and place accuracy analysis in technological designing assembly process. Produsedsuccession activitys, reproduced common methodological approach of its practical realization for manufacture. Site make a description three basic categories of accuracy analysis: logistical analysis initial data, dimensional analysis variation technological process junction assembling and control exit parameter of product, formulaic accuracy analysis finally assembled product.

Ключевые слова: точностной анализ, унифицированные геометрические параметры, выходные параметры точности, выходные геометрические параметры, масс-инерционные характеристики, проектный расчет, проверочный расчет.

Key words: accuracy analysis, unified geometrics, output parameters of accuracy, output geometrics, mass-inertial characteristics, design calculation, checking calculation.

Разработка технологии сборки и проектирование средств технологического оснащения сборочных процессов базируется на расчетных исследованиях, теоретической основой которых является точностной анализ. Последний в свою очередь, как метод научного исследования, базируется на выявлении закономерностей формирования параметров качества изделий в производстве, математическом моделировании этих процессов, целенаправленном формировании управляющих воздействий через средства технологического оснащения сборки и контроля для решения своей основной задачи.

Основная задача точностного анализа – повышение эффективности производства в части достижения заданных количественных норм выходных параметров точности изделий с меньшими трудовыми и материальными затратами [8]. Решение данной задачи предопределяет, в общем случае, необходимость выполнения последовательных этапов работ, включающих:

• перевод предписанных техническими условиями качественных показателей изделия в количественные нормы точности (выходные параметры точности – ВПТ);

• определение номенклатуры факторов, формирующих ВПТ и их унифицированное описание;

• разработку математических моделей формирования ВПТ в процессе производства;

• проверку разработанных моделей на адекватность реальному процессу формирования ВПТ;

• выбор критериев оптимизации;

• определение рациональных допусков на конструктивно-технологические параметры элементов изделия и синтез наиболее эффективных конструктивно-технологических решений последних;

• синтез рациональных технологических схем сборки и контроля ВПТ изделий, а также формирование точностных требований к средствам технологического оснащения сборки и контроля и проработку их конструктивно-технологических решений;

• прогнозирование характеристик изделий и оценку технологических возможностей оборудования [7].

Приведенные этапы отражают общий методологический подход при реализации трех основных компонентов **точностного анализа** в процессе технологического проектирования в сборочном производстве:

♦ *организационно-технический анализ исходных данных*;

♦ *размерный анализ вариантов технологического процесса*;

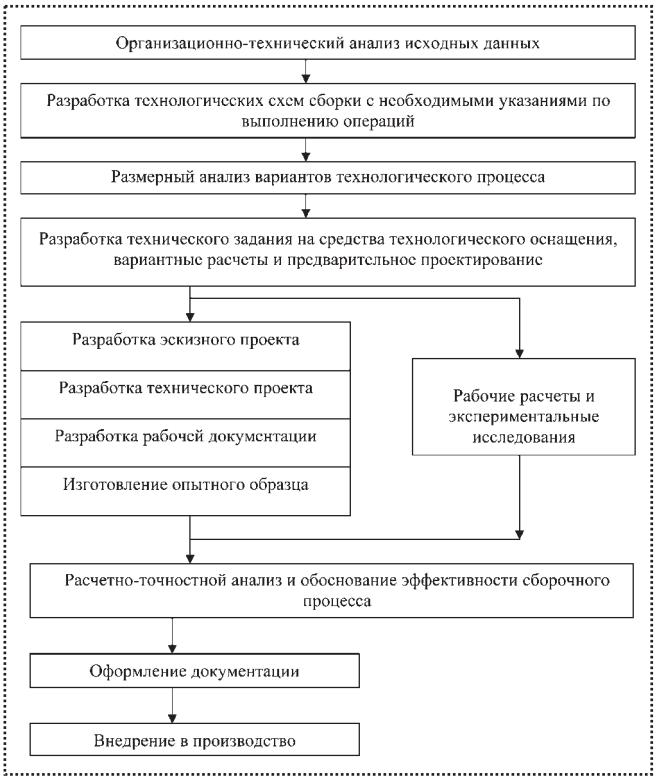


Рис. 1. Последовательность технологического проектирования в единичном и мелкосерийном сборочном производстве

♦ *расчетно-точностной анализ окончательно собранного изделия*.

Место перечисленных разделов точностного анализа в общей последовательности операций технологического проектирования в единичном и мелкосерийном сборочном производстве современных изделий показано на рис. 1.

Компоненты точностного анализа оказывают непосредственное влияние на количественные и качественные показатели процесса проектирования и, в частности, позволяют более обоснованно, с научной точки зрения, решать следующие задачи:

♦ технико-экономическое обоснование целесообразности разработки конструкторско-технологической документации на основании анализа технического задания заказчика и различных вариантов возможных решений технологии и средств технологического оснащения сборки изделий;

♦ сравнительная оценка вариантов технологических и конструктивных решений процессов и оборудования с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого образца и существующих аналогов;

♦ обеспечение рационального выбора и увязки допусков на входные и выходные параметры точности изделия, технологических процессов их сборки и контроля, а также средств технологического оснащения, реализующих их в производстве;

♦ синтез принципиальных конструктивно-технологических решений средств технологического оснащения и определение их габаритно-весовых и точностных характеристик;

♦ выбор наиболее рациональных конструктивно-технологических решений составляющих элементов и средств технологического оснащения в целом для конкретных типов изделий и конкретных условий производства.

Точностной анализ позволяет перейти на новый качественный уровень проектирования, существенно сократив цикл проектирования, и повысить вероятность достижения заданных количественных норм выходных параметров точности изделий, уменьшить трудовые и материальные затраты на их производство.

В соответствии с изложенным, можно дать следующее определение.

Точностной анализ – метод научного исследования, являющийся теоретической основой инженерного метода технологического проектирования сборочных процессов. Основная задача точностного анализа – повышение эффективности производства в части достижения заданных количественных норм выходных параметров точности собираемых изделий с меньшими трудовыми и материальными затратами. Точностной анализ в общем случае включает следующие разделы:

• организационно-технический анализ исходных данных;

• размерный анализ вариантов технологического процесса;

• расчетно-точностной анализ окончательно собранного изделия.

Организационно-технический анализ исходных данных – часть точностного анализа, включающая комплекс работ по переводу предписанных техническими условиями качественных показателей изделия в количественные нормы его точности (ВПТ), определению номенклатуры факторов, формирующих ВПТ и их унифицированному описанию, разработке математических моделей формирования ВПТ в процессе производства и эксплуатации и проверке разработанных моделей на адекватность.

В соответствии с уравнениями движения изделия в различных средах, теорией управления и ре-

гулирования исполнительных органов, показатели качества, определяющие эффективность функционирования изделия, непосредственно связаны с геометрическими и масс-инерционными характеристиками. Используя данную взаимосвязь, можно получить их численные значения номинальных и допустимых значений, т.е. определить ВПТ. В общем виде зависимость между этими параметрами определяют следующим образом:

$$\dot{V}_k = \frac{1}{(m+\Delta m)_k} f_k(P, \alpha, \Delta P, \Delta\alpha),$$
$$\dot{\omega}_k = \frac{1}{(J+\Delta J)_k} \phi_k(P, r, \Delta P, \Delta r), \quad (1)$$

где P, α, r, m, J – параметры изделия, характеризующие силовые воздействия, геометрические (линейные и угловые) и масс-инерционные соответственно;

$\dot{\omega}_k$ – угловое ускорение k-го блока;

k – номер стыковочной поверхности.

Подставляя в уравнение (1) численные значения заданных технических характеристик изделия, получим номинальные и допустимые численные значения ВПТ, подлежащие технологическому обеспечению в процессе производства. К основным геометрическим (α, r) и масс-инерционным (m, J) параметрам относят: отклонение от прямолинейности H действительной продольной оси; погрешность значения массы Δm_i и положения центра масс; закрутку координатных осей κ_i (осей стабилизации) торцов блоков (стыковочных поверхностей) изделия относительно базовой продольной оси; погрешность моментов инерции ΔJ_i (i – номер поперечного сечения изделия) и др.

Выходные параметры точности каждого конкретного изделия формируются в результате последовательного накопления технологических погрешностей изготовления деталей и сборки изделия. Для математического описания их взаимосвязи с ВПТ необходимо уменьшить их разнородность и номенклатуру.

Используя понятие промежуточных геометрических параметров, позволяющих свести влияние всех факторов к геометрическим и массовым погрешностям и рассматривать влияние динамических факторов в квазистатическом состоянии, возможно описание связей ВПТ с составляющими погрешностями в фиксированный момент времени при помощи аппарата пространственных размерных цепей.

В соответствии с этим подходом погрешности, возникающие при изготовлении составляющих блоков (рис. 2) (сборочных единиц и деталей) изделия, определяют неперпендикулярностями α_i стыковочных поверхностей и углами β_i их ориентации (см. рис. 2, *а*), а также закрутками κ_i осей стабилизации (см. рис. 2, *б*). Погрешности величины массы и положения центра масс блока определяют величинами отклонения Δm_i массы и положения центра масс Δx_i, Δy_i, Δz_i от номинальных значений (см. рис. 2, *в*). Погрешности базирования и фиксации блоков изделия при сборке определяют эксцентриситетами ε_c центров стыкуемых торцов (посадочных стыковочных поверхностей) блоков и углами η_c их ориентации, закрутками κ_c осей стабилизации

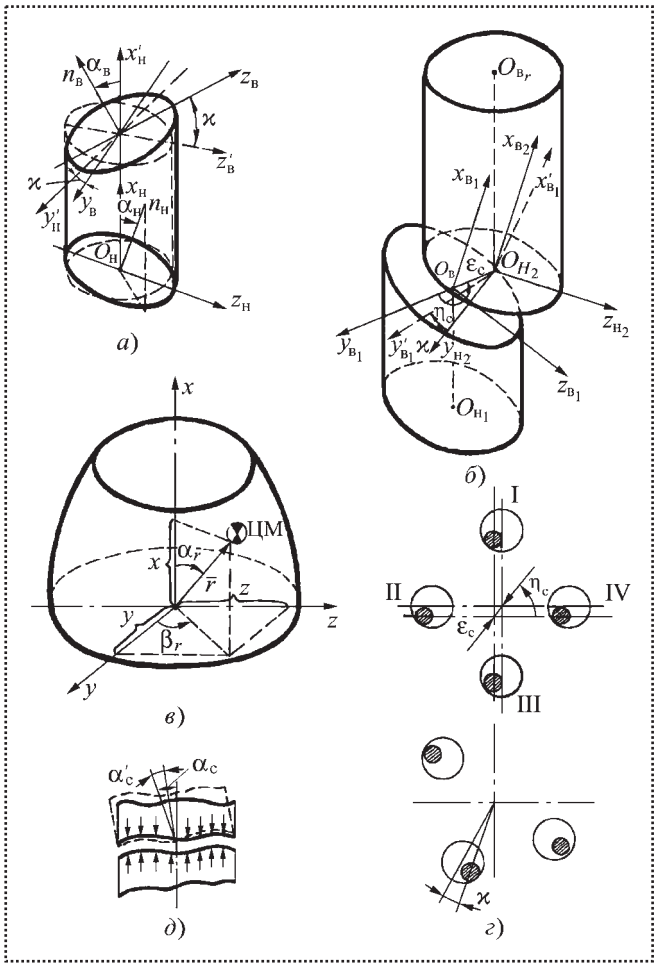


Рис. 2. Технологические погрешности изготовления и сборки составляющих блоков изделия:

$n_{в,н}$ – нормаль к верхнему и нижнему торцам соответственно

(см. рис. 2, *г*) и дополнительными перекосами продольных осей блоков, определяемых углами α_c, β_c (см. рис. 2, *д*). Погрешности силового замыкания стыков блоков изделий при сборке создают дополнительные перекосы осей, характеризуемые углами ($\alpha'_c, \beta'_c, \kappa'_c$) и т.д.

Сущность унифицированного описания составляющих технологических погрешностей заключается в придании одинаковой смысловой характеристики геометрическим параметрам и их одинаковом обозначении и преследует цель дополнительного сокращения их номенклатуры и уменьшения разнородности. В соответствии с принципом унификации, все угловые погрешности, несмотря на различие в причинах их возникновения, характеризуют модулями отклонений $|\alpha_i|$ векторов (линий, прямых) от базовых осей координат и их ориентаций $|\beta_i|$.

Относительная закрутка систем координат, привязанных к различным стыковочным торцам блоков изделия, независимо от вызвавших ее причин, определяют углом κ_i. Смещения центров стыковочных торцов и других характерных точек определяются их модулями $|\varepsilon_i|$ и ориентациями $|\eta_i|$. Модули векторов, длины осей, смещения и расстояния до центра масс, являясь в конечном счете отрезками, могут иметь одно обозначение, например, L_i (r_i). Также можно одинаково обозначать ориентацию отклонений и смещений ввиду общности их смысловой нагрузки. В результате все многообразие погрешностей, формирующих действительные значения ВПТ изделия, удается описать с помощью ограниченной номенклатуры унифицированных параметров L_i, α_i, β_i, κ_c, Δm_i [7, 8].

Геометрическая интерпретация процесса формирования ВПТ представляет собой последовательное построение пространственной размерной цепи, составляющими звеньями которой являются погрешности, описываемые приведенными выше геометрическими параметрами (рис. 3). При этом каждое последующее звено размерной цепи задают относительно системы координат, связанной с предыдущими линейными и угловыми звеньями.

Размерные структуры подобного вида являются пространственными размерными цепями с переменными базами, которые можно представить как результат сложного движения подвижной системы координат с привязанным к ней вектором. Положение вектора относительно неподвижной системы координат определяет действительное значение

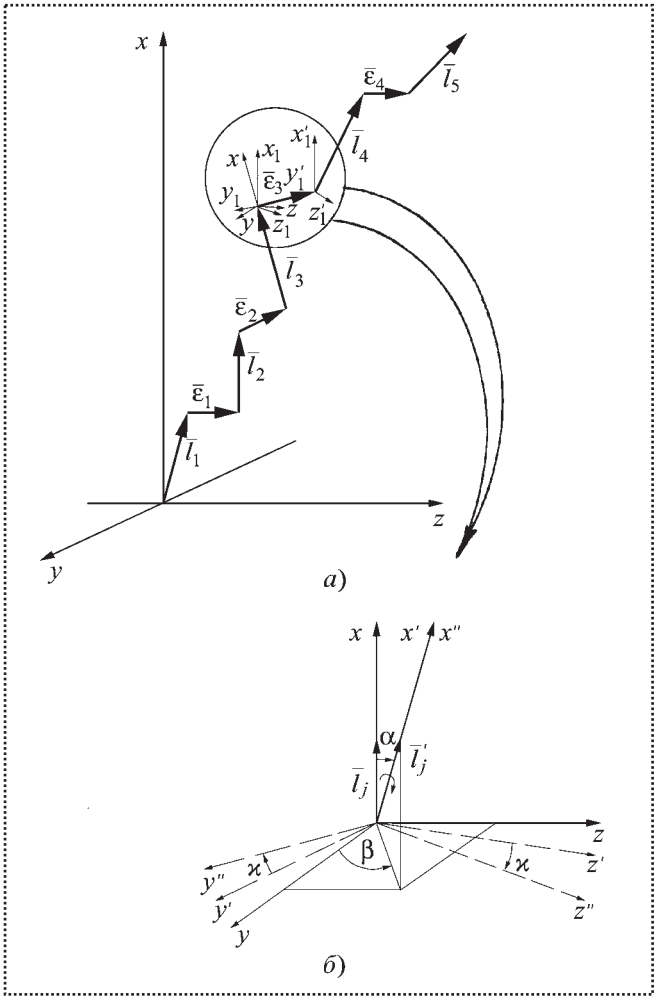


Рис. 3. Формирование выходных параметров точности изделия:

а – пространственная размерная цепь; *б* – пространственный поворот единичного вектора l_j, заданного унифицированными геометрическими параметрами α, β, κ; *Ox′y′z′* – система координат при повороте на угол α; *Ox″y″z″* – система координат при повороте на угол κ

ВПТ изделия. При этом последовательный переход подвижной системы координат от одного фиксированного положения к другому задают соответствующими унифицированными параметрами L_i, α_i, β_i, κ_c.

Конструктивно-компоновочная схема любого изделия, с точки зрения построения геометрической модели формирования его ВПТ, может быть представлена совокупностью двух типов пространственных размерных структур (рис. 4).

Пространственная размерная структура первого типа является геометрической интерпретацией изделия с последовательным соединением состав-

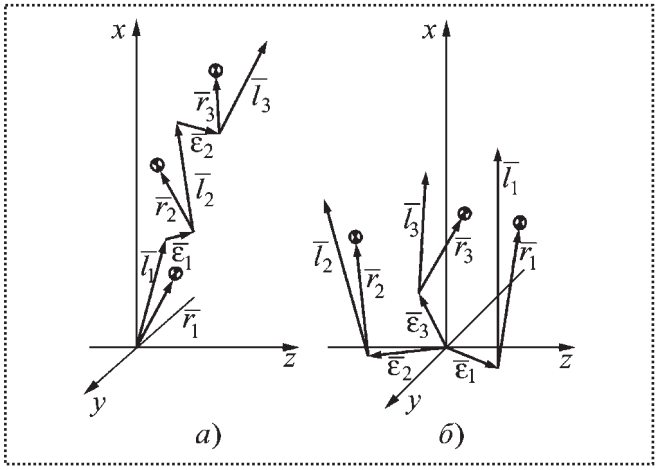


Рис. 4. Пространственные размерные структуры соединения блоков (сборочных единиц):
а – первый тип; *б* – второй тип

ляющих его блоков. Она строится в исходной системе координат *Oxyz*, привязанной к прилегающей плоскости нижнего торца нижнего блока изделия таким образом, что начало координат совпадает с центром нижнего торца. Ось *x* направлена по нормали вверх, ось *y* – по оси стабилизации, а ось *z* дополняет систему до правой. В такой системе координат структура первого типа будет представлять собой пространственную размерную цепь, состоящую из взаимосвязанных векторов $\bar{l}_i$ (оси блоков изделия), $\bar{\varepsilon}_i$ (смещения центров стыкуемых торцов) и $\bar{r}_i$ (радиус-векторы положений центров масс блоков в собственных системах координат).

Базовый блок, лежащий в основе *пространственной размерной структуры второго типа*, в общем случае может иметь несколько посадочных мест, расположенных в разных частях его конструкции, к которым крепят остальные блоки, входящие в данный модуль. К каждому из этих посадочных мест могут присоединяться как один, так и несколько блоков.

Когда к одному посадочному месту базового блока присоединяют один последующий блок – это тип соединения со структурой первого типа. Когда к одной базовой поверхности блока крепят несколько последующих блоков изделия – это структура второго типа. В базовой системе координат *Oxyz* она представляет собой пространственную размерную цепь, состоящую из взаимосвязанных векторов $\bar{\varepsilon}_i$ и $\bar{r}_i$.

Математическое описание геометрической модели формирования ВПТ в общем виде в базовой системе координат изделия выглядит следующим образом:

$$A_{\text{в}} = A_{\text{ф}} - A_{\text{ном}}, \qquad (2)$$

где $A_{\text{в}}$, $A_{\text{ф}}$, $A_{\text{ном}}$ – значения выходного, фактического и номинального параметров точности соответственно.

Для определения $A_{\text{ном}}$ используют выражение (1). $A_{\text{в}}$ определяют по зависимостям:

$$A_{m_0} = \sum_{k=1}^{n} m_k^0 = \sum_{k=1}^{n} (m_k + \Delta m_k);$$

$$A_{\text{цм}} = \frac{\sum_{k=1}^{n} m_k^0 \left\{ \sum_{i=j=k}^{h,m} L_i \cos[f_{\text{цм}}(\alpha_j, \beta_j, \kappa_j)] \right\}}{\sum_{k=1}^{n} (m_k + \Delta m_k)};$$

$$A_{\kappa_0} = \sum_{k=1}^{n} \kappa_k^0 = \sum_{k=1}^{n} (\kappa_k + \Delta\kappa_k); \qquad (3)$$

$$A_{h_0} = \sum_{i=j=1}^{n,m} L_i \cos[f_{h_0}(\alpha_j, \beta_j, \kappa_j)];$$

$$A_{J_0} = \sum_{k=1}^{n} m_k^0 \left\{ \sum_{i=j=k}^{n,m} L_i \cos[f_{J_0}(\alpha_j, \beta_j, \kappa_j)] \right\},$$

где индекс 0 указывает на значение параметра для всего изделия.

Для использования представленных зависимостей в практических расчетах необходимо раскрытие функциональных зависимостей *f*, что связано с аналитическим представлением результатов суммирования пространственных поворотов, задаваемых унифицированными параметрами α_j, β_j, κ_j. В качестве примера практической реализации данного, достаточно трудоемкого процесса, в табл. 1 представлены зависимости, входящие в математическую модель формирования отклонения от прямолинейности действительной оси и положения центра масс изделия с последовательным соединением входящих в него блоков.

Проверку созданной математической модели на адекватность, как правило, проводят путем сопоставления результатов математического и физического моделирования процесса формирования ВПТ изделия. При этом состав измеряемых и расчетных параметров определяют ВПТ изделия и составляющих его блоков, а также технологическими погрешностями (факторами) производственного процесса, формирующими их численные значения (номинальные и фактические). Удовлетворительная сходимость результатов моделирования опре-

1. Математические зависимости для практических расчетов

Отклонение от прямолинейности действительной продольной оси	Положение центра масс
$H_{в_k} = (h_{в_k}^{т} h_{в_k})^{1/2} \quad H_{н_k} = (h_{н_k}^{т} h_{н_k})^{1/2}$	$M_{цм} = \frac{1}{m_0}(m_1 M_1 + \sum_{k=2}^{n} m_k M_k)$
$h_{в_k} = J_0 N_{в_k} \quad h_{в_k} = J_0 N_{в_k}$	$m_0 = \sum_{k=1}^{n} (m_{н_k} + \Delta m_k)$
$N_{в_k} = \begin{vmatrix} x_{в_k} \\ y_{в_k} \\ z_{в_k} \end{vmatrix} \quad N_{н_k} = \begin{vmatrix} x_{н_k} \\ y_{н_k} \\ z_{н_k} \end{vmatrix} \quad J_0 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$	$M_{цм} = \begin{vmatrix} x_{цм} \\ y_{цм} \\ z_{цм} \end{vmatrix} \quad M_k = \begin{vmatrix} x_{цм\,k} \\ y_{цм\,k} \\ z_{цм\,k} \end{vmatrix} \quad M_1 = \begin{vmatrix} x_{цм\,1} \\ y_{цм\,1} \\ z_{цм\,1} \end{vmatrix}$
$N_{в_k} = \sum_{j=0}^{j=k} B_{l_j}^{т} L_j + \sum_{j=0}^{j=k-1} B_{\varepsilon_j}^{т} E_j \quad N_{н_k} = \sum_{j=0}^{j=k} B_{l_j}^{т} L_j + \sum_{j=0}^{j=k} B_{\varepsilon_j}^{т} E_j$	$M_k = \sum_{j=0}^{j=k-1} B_{l_j}^{т} L_j + \sum_{j=0}^{j=k-1} B_{\varepsilon_j}^{т} E_j + B_{r_k}^{т} R_k$
$L_j = \begin{vmatrix} l_j \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \quad E_j = \begin{vmatrix} 0 \\ \varepsilon_j \cos\eta_j \\ \varepsilon_j \sin\eta_j \end{vmatrix} \quad B_{l_j}^{т} = \prod_{i=1}^{j=3j-2} A_i^{т} \quad B_{\varepsilon_j}^{т} = \prod_{i=1}^{j=3j-1} A_i^{т} \quad R_k = \begin{vmatrix} x_k \\ y_k \\ z_k \end{vmatrix}$	
$A_i^{т} = \begin{vmatrix} [\cos\alpha]_i & [-\sin\alpha\cos(\beta-\kappa)]_i & [-\sin\alpha\sin(\beta-\kappa)]_i \\ [\sin\alpha\cos\beta]_i & \left[\begin{matrix}\sin\beta\sin(\beta-\kappa)+ \\ +\cos\alpha\cos\beta\cos(\beta-\kappa)\end{matrix}\right]_i & \left[\begin{matrix}-\sin\beta\cos(\beta-\kappa)+ \\ +\cos\beta\cos\alpha\sin(\beta-\kappa)\end{matrix}\right]_i \\ [\sin\alpha\sin\beta]_i & \left[\begin{matrix}-\cos\beta\sin(\beta-\kappa)+ \\ +\sin\beta\cos\alpha\cos(\beta-\kappa)\end{matrix}\right]_i & \left[\begin{matrix}\cos\beta\cos(\beta-\kappa)+ \\ +\sin\beta\cos\alpha\sin(\beta-\kappa)\end{matrix}\right]_i \end{vmatrix}$	

Обозначения:

$H_{в_k}$, $H_{н_k}$ – величины отклонения от прямолинейности действительной продольной оси сборочной единицы – расстояния от центров контролируемых сечений до базовой оси изделия;

$N_{в_k}$, $N_{н_k}$ – матрицы-столбцы, определяющие соответствующие координаты центров стыковочных поверхностей в k-м контролируемом сечении;

$M_{цм}$, M_1, M_k – матрицы-столбцы, определяющие координаты центров масс изделия, первой и k-й сборочных единиц;

m_0, $m_{ном}$, m_k – масса изделия общая, номинальная и k-й сборочной единицы;

$h_{в_k}$, $h_{н_k}$, J_0 – промежуточные операторы преобразования;

L_j, E_j – матрицы-столбцы, определяющие оси и смещения центров стыковочных поверхностей в собственной системе координат сборочной единицы;

$B_{l_j}^{т}$, $B_{\varepsilon_j}^{т}$ – операторы, преобразующие компоненты осей сборочных единиц и смещений центров торцов стыковочных поверхностей из промежуточных систем координат в базовую;

$A_i^{т}$ – трансформированная матрица направляющих косинусов составляющих поворотов промежуточных систем координат.

деляет пригодность математической модели для дальнейших точностных исследований, в соответствии с общей методологией проведения точностного анализа.

(Продолжение следует.)

Библиографический список

1. **Бородачев Н.А.** Анализ качества и точности производства. М.: Машгиз, 1946. 252 с.

2. **Бородачев Н.А.** Основные вопросы теории точности производства. М.: АН СССР, 1950. 416 с.

3. **Иванов В.Б.** Автоматизация расчетов размерных цепей на ЭВМ. Механизация и автоматизация производства, №11. 1985. С. 24–26.

4. **Карпов Л.И., Соломатин А.Г.** Теория и практика расчета размерных цепей. МАДИ, 1984. 78 с.

5. **Комиссаров В.И., Леонтьев В.И.** Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов. М.: Машиностроение, 1985. 224 с.

6. **Корсаков В.С.** Основы технологии машиностроения. М.: Высшая школа, 1974. 335 с.

7. **Медарь А.В.** Обеспечение качества изделий в сборочном производстве. М.: ГОНТИ-2, 1988. 58 с.

8. **Медарь А.В.** Технологическое обеспечение качества изделий машиностроения. Федерация космонавтики России. Наукоемкие технологии производства. Сборник научных трудов, вып. 2, 2004. С. 101–105.

9. **Медарь А.В.** Размерно-точностной анализ в проектировании технологических процессов. М.: ГОНТИ-2, 1987. 46 с.

Вибрация. Станки балансировочные. Характеристики и методы их проверки

(по материалам ГОСТ 20076–2007)

Представлены технические требования к контрольным роторам и контрольным грузам. Приведены требования к проведению испытаний и порядок их проведения.

Technical requirements for reference rotors and reference weights have been presented. Requirements to implementation of tests and their implementation order have been considered.

Ключевые слова: контрольный ротор, контрольный груз, испытания.

Key words: reference rotor, reference weight, tests.

Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 19534–74, а также следующие термины с соответствующими определениями.

Центр масс – точка, связанная с физическим телом и обладающая таким свойством, что воображаемый точечный объект массой, равной массе этого физического тела, будучи помещен в эту точку, имел бы тот же момент инерции относительно произвольной оси, что и данное физическое тело.

Контрольная плоскость – плоскость, перпендикулярная оси ротора, в которой размещают контрольные грузы.

Коэффициент влияния моментной неуравновешенности I_{SC} – величина, определяемая отношением изменения показания U_S индикатора дисбаланса балансировочного станка для статической балансировки при внесении кососимметричных масс к значению U_c дисбаланса, создаваемого этими массами.

Коэффициент уменьшения дисбаланса *URR* – величина, представляющая собой отношение уменьшения значения дисбаланса за одну корректировку масс к значению начального дисбаланса.

Примечания:

1. Значение *URR* определяют по формуле

$$URR = \frac{U_1 - U_2}{U_1} = 1 - \frac{U_2}{U_1},$$

где U_1 – значение начального дисбаланса;

U_2 – значение дисбаланса после одной корректировки масс в той же плоскости.

2. Данную величину обычно выражают в процентах.

Минимально достижимый остаточный дисбаланс – наименьшее значение остаточного дисбаланса, которое может быть достигнуто в результате балансировки на данном балансировочном станке.

1. Контрольные роторы и контрольные грузы

1.1. Общие положения

В настоящем разделе определены технические требования к контрольным роторам, используемым при проверке балансировочных станков. Эти требования включают в себя требования к массе, материалу, размерам, резьбовым отверстиям, качеству балансировки контрольных роторов, а также к контрольным грузам. Продолжительность и стоимость испытаний так же, как и размер(ы) ротора, могут быть предметом соглашения между изготовителем и заказчиком.

1.2. Контрольные роторы

1.2.1. Контрольные роторы могут быть трех типов: A, B и C (рис. 1).

Примечание. Для роторов типов A и B центр масс расположен между опорами, для ротора типа C – на консольной части ротора.

Эти роторы соответствуют типичным объектам балансировки, которые характеризуют следующим.

Тип A. Роторы без цапф, уравновешиваемые на вертикальных балансировочных станках в одной или двух плоскостях коррекции.

Такие роторы могут быть уравновешены и на горизонтальных балансировочных станках со встроенным валом.

Опоры, используемые на месте эксплуатации таких роторов, могут быть расположены произвольно: по одну или по обе стороны от основной массы ротора. При испытаниях предполагают, что опоры расположены по обеим сторонам ротора.

Тип B. Межопорные роторы с цапфами, уравновешиваемые на горизонтальных балансировочных станках, как правило, с двумя плоскостями коррекции между опорами.

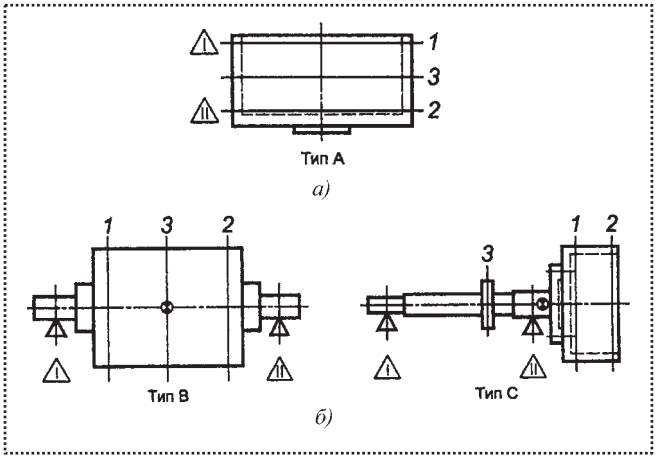


Рис. 1. Контрольные роторы типов А, В, С:
а – вертикальный балансировочный станок; *б* – горизонтальный балансировочный станок; *1, 2, 3* – контрольные плоскости; ⚠I, ⚠II – предполагаемые плоскости опор

Опоры на месте эксплуатации ротора должны быть расположены по обе его стороны.

Тип С. Консольные роторы с цапфами, уравновешиваемые на горизонтальных балансировочных станках с двумя плоскостями коррекции на консольной части ротора.

Расположение опор на месте эксплуатации должно быть аналогично расположению опор балансировочного станка при испытаниях с использованием контрольного ротора типа С.

Примечания:

1. Ротор типа С представляет собой совокупность вала и ротора типа А.

2. Расчеты минимально достижимого остаточного дисбаланса U_{mar} для контрольных роторов типа С основаны на общей массе этого ротора (вала и ротора типа А).

Контрольный ротор каждого типа имеет по три контрольные плоскости для размещения контрольных грузов.

Одни и те же контрольные роторы и контрольные грузы используют для испытаний как в одной плоскости, так и в двух плоскостях.

1.2.2. Изготовитель должен указывать, входит ли контрольный ротор в комплект поставки балансировочного станка.

1.2.3. Контрольный ротор изготовляют из стали; общий вид контрольного ротора и его размеры указаны, соответственно, на рис. 2 и в табл. 1 для вертикальных станков, на рис. 3 и в табл. 2 для горизонтальных станков (межопорный ротор), на рис. 4 и в табл. 3 для горизонтальных станков (консольный ротор) – см. 1.2.5.

1.2.4. Изготовитель должен иметь возможность использовать соответствующие контрольные роторы всякий раз, как только необходимо провести испытания для подтверждения характеристик балансировочных станков перед их отгрузкой с предприятия.

1.2.5. Для горизонтальных машин, применяемых в целях балансировки консольных роторов или межопорных роторов с плоскостями коррекции по одну сторону от основной массы ротора, должны быть согласованы дополнительные испытания (см. 2.1). Такие испытания проводят с контрольными роторами типа С.

Примечание. Поставка контрольных роторов заказчику является предметом отдельного соглашения.

1.2.6. На каждом контрольном роторе через каждые 10° должны быть проставлены четкие нестирае-

1. Размеры, массы, допустимые частоты вращения для роторов типа А

Номер ротора	Масса M, кг	Большой диаметр D, мм	Малый диаметр $d = 0{,}9D$, мм	Высота $H = 0{,}5D$, мм	$X = 0{,}075D$, мм	$Y^a = 0{,}175D$, мм	$Z^a = 0{,}175D$, мм	$F = 0{,}06D$, мм	G	I, мм	J^b, мм	K^b, мм	R, мм	O, мм	Максимальная частота вращения, $мин^{-1}$
1	1,1	110	99	55	8	20	20	6,5	M3	50,8	0,4×45°	4,2	76,2	6,6	20 000
2	3,5	160	144	80	12	30	30	9,5	M4						14 000
3	11	230	206	127	19	45	45	13	M5					10,3	10 000
4	35	345	310	170	25	60	60	20	M6						6000
5	110	510	460	255	38	90	90	30	M8						4000

Примечания: 1. Значения индексов: *a* – все размеры, за исключением *Y* и *Z*, могут быть изменены; *b* – предельная частота вращения для ротора может быть ограничена конструкцией применяемых контрольных грузов.

2. Геометрические допуски и остаточные дисбалансы соответствуют целям испытаний.

2. Размеры, массы и допустимые частоты вращения для роторов типа В

Номер ротора	Масса M, кг	Большой диаметр D, мм	Общая длина $L = 2{,}5D$, мм	Диаметр вала $d = 0{,}3D^b$, мм	Пролет ротора $(A + B + C) = 2D$, мм	$A(C)^a = 0{,}5D$, мм	$B^a = D$, мм	$E = 0{,}25D$, мм	$F = 0{,}5D$, мм	P_1, мм	H^b, мм	K^b, мм	P_2^b, мм	N	Критическая частота вращения^c, мин$^{-1}$	Максимальная частота вращения^d, мин$^{-1}$
1	0,5	38	95	11	76	19	38	9,5	19	31	–	–	–	M2	200 000	20 000
2	1,6	56	140	17	112	28	56	14	28	46	–	–	–	M3	140 000	14 000
3	5	82	205	25	164	41	82	20,5	41	72	–	–	–	M4	95 000	9500
4	16	120	300	36	240	60	120	30	60	108	4	7	30	M5	65 000	6500
5	50	176	440	58	352	88	176	44	88	160	1,4	30	47	M6	45 000	4500
6	160	260	650	78	520	130	260	65	130	240	1,8	42	62	M8	30 000	3000
7	500	380	950	114	760	190	380	95	190	350	2,2	57	84	M10	20 000	2000

Примечания: 1. Значения индексов: *a* – размеры *A, B* и *C* могут быть изменены при условии сохранения соотношений $A = C = B/2$; *b* – геометрические размеры ротора в области связи с приводом согласованы с типичными размерами приводных валов; *c* – критическая частота вращения рассчитана для ротора на жестких опорах, в десять раз превосходит максимальную скорость вращения ротора и находится как $7600000/D$; *d* – предельная частота вращения ротора может быть ограничена конструкцией применяемых контрольных грузов.

2. Геометрические допуски и остаточные дисбалансы соответствуют целям испытаний.

3. Геометрические размеры ротора в области связи с приводом согласованы с типичными размерами приводных валов.

3. Размеры, массы и допустимые частоты вращения для роторов типа С

Номера вала	Номер ротора типа А	Сборка														
		Номер ротора типа С	Масса M, кг	Сила на ротор		Y^a, мм	d_1^b, мм	d_2, мм	d_4, мм	N^a	Большой диаметр d_6, мм	Пролет ротора L, мм	A, мм	B, мм	Критическая частота вращения^c, мин$^{-1}$	Максимальная частота вращения^d, мин$^{-1}$
				A, Н	B, Н											
1	1	1	2,2	–3	24	20	17	21	50	M3	110	164	41	40	25 000	4000
2	2	2	6,2	–8	70	30	25	30	72	M4	160	240	60	60	17 000	2800
3	3	3	19,5	–25	220	45	36	45	106	M5	230	352	90	90	14 500	1900
4	4	4	60	–75	700	65	58	65	156	M6	345	520	140	120	8000	1300
5	5	5	190	–230	2100	95	78	95	230	M8	510	760	203	180	5500	900

Примечания: 1. Значения индексов: *a* – размеры могут быть изменены при условии, что центр масс остается на консольной части ротора и сохранены положения отверстий *N* между опорами; *b* – геометрические размеры ротора в области связи с приводом для номеров с 3-го по 5-й те же, что и для номеров с 4-го по 6-й контрольного ротора типа В; *c* – критическая частота вращения рассчитана для ротора на жестких опорах; *d* – предельная частота вращения для ротора может быть ограничена конструкцией применяемых контрольных грузов.

2. Геометрические допуски и остаточные дисбалансы соответствуют целям испытаний.

3. Геометрические размеры вала в месте соединения соответствуют геометрическим размерам контрольного ротора типа А.

4. Геометрические размеры ротора в области связи с приводом для номеров с 3-го по 5-й те же, что и для номеров с 4-го по 6-й контрольного ротора типа В.

мые отметки, пронумерованные с интервалом 30°. Допускается двойная шкала с нумерацией по часовой стрелке и в противоположном направлении.

Для балансировочных станков, где измерение дисбаланса осуществляют с помощью стробоскопической лампы, в комплект поставки должна входить стандартная лента с нанесенными на нее оцифрованными делениями. Эту ленту надевают на контрольный ротор таким образом, чтобы первое деление совпало с серединами резьбовых отверстий одного из рядов вдоль оси ротора. По отметкам на этой ленте определяют угловое положение ротора.

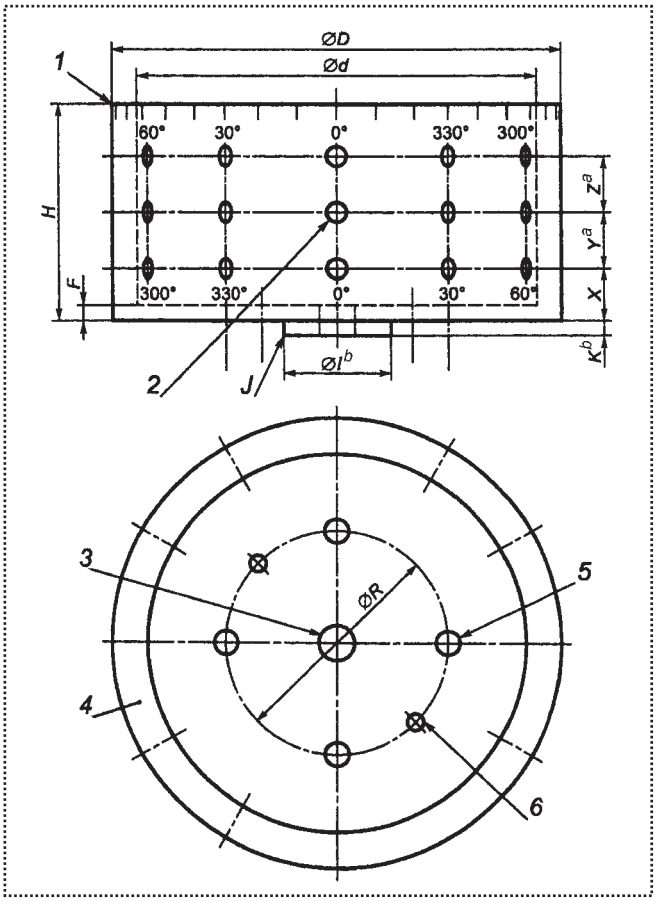


Рис. 2. Контрольный ротор типа А для испытаний на вертикальном балансировочном станке:
1 – разметка шкал (36 отметок через каждые 10°, пронумерованные через каждые 30° по часовой стрелке и против часовой стрелки); *2* – резьбовые отверстия *G* (всего 36 – по 12 эквидистантных отверстий в каждой из трех контрольных плоскостей); *3* – резьбовое отверстие для подъема и установки ротора; *4* – место возможной установки корректирующих масс для балансировки ротора; *5* – четыре сквозных равномерно расположенных отверстия *O*; *6* – два резьбовых отверстия *G*

1.2.7. Для универсальных балансировочных станков используют контрольный ротор, масса которого находится в нижней трети диапазона допустимых масс уравновешиваемых роторов.

1.2.8. Если балансировочный станок предназначен для уравновешивания роторов, масса которых близка к нижнему пределу диапазона, рекомендуется проведение дополнительных испытаний с контрольным ротором, масса которого также близка к нижнему пределу допустимых масс уравновешиваемых роторов.

1.2.9. Для балансировочных станков специального назначения или поставляемых на заказ испытания могут быть проведены с ротором заказчика

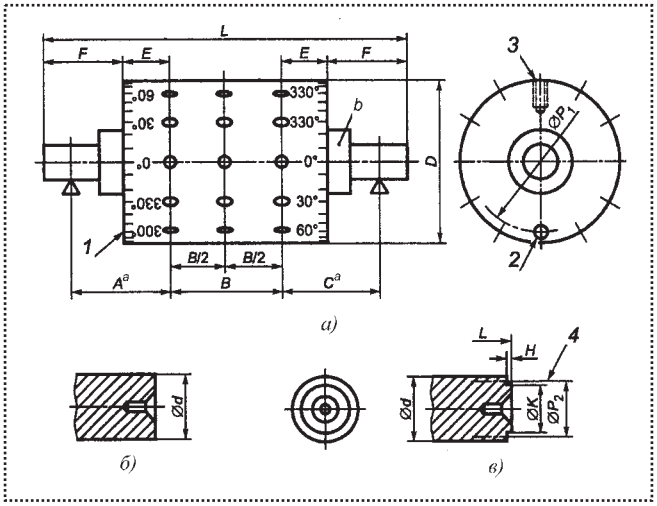


Рис. 3. Контрольный ротор типа В для испытаний на горизонтальном балансировочном станке:
а – размеры ротора в месте соединения с приводом; *б* – привод через ременную передачу; *в* – привод, соединяемый с концом вала; *1* – разметка шкал (36 отметок через каждые 10°, пронумерованные через каждые 30° по часовой стрелке и против часовой стрелки); *2* – резьбовые отверстия *N* (по 12 эквидистантных отверстий в каждой торцовой плоскости для точной балансировки); *3* – резьбовые отверстия *N* (по 12 эквидистантных отверстий в каждой контрольной плоскости); *4* – размер и длина резьбы конца ротора зависят от используемого привода; [a] – размеры *A, B* и *C* могут быть изменены при условии сохранения соотношений *A* = = *C* = *B*/2; [b] – если вал используют для насаживания на него подшипника качения, заплечик вала должен обеспечивать посадку подшипника таким образом, чтобы его плоскость была перпендикулярна к оси ротора, а ось совпадала с осью ротора

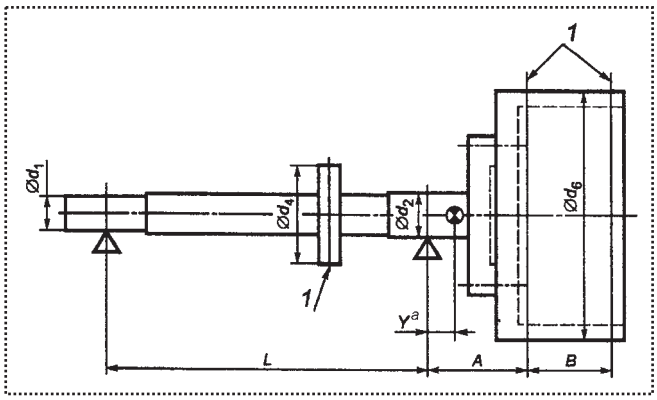


Рис. 4. Контрольный ротор типа С для испытаний на горизонтальном балансировочном станке:
1 – резьбовые отверстия *N* (по 12 эквидистантных отверстий в каждой плоскости); [a] – размеры могут быть изменены при условии, что центр масс остается на консольной части ротора и сохранены положения отверстий *N* между опорами

при условии, что погрешности балансировки, вносимые этим ротором, незначительны.

(Продолжение следует.)

Гибкие производственные модули окрасочные. Нормы надежности и общие требования к методам их контроля (по материалам ГОСТ 28355–89)

Настоящий стандарт распространяется на гибкие производственные модули окрасочные (ГПМ), встраиваемые в гибкие производственные системы (ГПС), и устанавливает нормы надежности ГПМ и общие требования к методам их контроля.

Настоящий стандарт распространяется на вновь проектируемые ГПМ, планируемые к серийному изготовлению.

Стандарт не распространяется на ГПМ единичного производства.

The standard is extended on flexible manufacturing painting modules (FMM) which have been build in to flexible manufacturing systems (FMS). It adjust reliability regulation of FMM and general requisitions to methods of their control.

The standard is extended on the newly projected FMM for repetition work.

The standard isn't extended on FMM of individual production.

Ключевые слова: гибкие производственные модули окрасочные, гибкие производственные системы, нормы надежности.

Key words: painting flexible manufacturing module, flexible manufacturing systems reliability regulations.

1. Общие положения

1.1. Методы контроля ГПМ на надежность устанавливают с целью определения фактических значений показателей на стадии постановки на производство или проверки соответствия ГПМ заданным требованиям к надежности на стадии производства и эксплуатации.

1.2. При разработке ГПМ конкретные требования к надежности должны быть обоснованы заказчиком.

1.3. Порядок выбора показателей надежности в соответствии с ГОСТ 27.003–83.

1.4. Испытания конкретных ГПМ должны проводиться в соответствии с программами и методиками испытаний, утвержденными и (или) аттестованными в установленном порядке.

2. Нормы надежности ГПМ

2.1. Нормы надежности ГПМ должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 1.

2.2. Указанные в табл. 1 показатели надежности включают в техническое задание на опытно-конструкторские работы и технические условия на ГПМ.

1. Нормы надежности ГПМ

Показатель	Обозначение	Значение показателя	Характеризуемое свойство
1. Установленная безотказная наработка в сутки, ч, не менее	$T_{у.с}$	16	Безотказность
2. Установленная безотказная наработка в неделю, ч, не менее	$T_{у.н}$	80	"
3. Установленная безотказная наработка, ч, не менее	$T_{у}$	500	"
4. Средняя наработка на отказ, ч, не менее	$T_{о}$	1000	"
5. Средний срок службы до капитального ремонта, лет, не менее	$T_{к}$	3	Долговечность
6. Средний срок службы, лет, не менее	$T_{с.л}$	6	"
7. Среднее время восстановления работоспособного состояния, ч, не более	$T_{в}$	4	Ремонтопригодность
8. Коэффициент технического использования	–	0,92	–

Примечания: 1. Значения показателей надежности, приведенные в табл. 1, соответствуют двухсменному режиму работы ГПМ.

2. Среднее время на регламентное обслуживание должно быть не более одного часа в сутки.

2.3. При испытании на безотказность учитываемым событием является отказ, при испытании на долговечность – наступление предельного состояния.

2.4. Все отказы, зафиксированные при испытании ГПМ на надежность, подразделяют на учитываемые и неучитываемые. *Учитываемыми отказами* являются прекращение (полное или частичное) выполнения ГПМ заданных функций, отклонение показателей качества за пределы установленных норм, возникновение процессов, препятствующих функционированию ГПМ, а также отказы сбойного характера систем управления.

Критерием предельного состояния ГПМ является невозможность дальнейшего использования по одной из причин: неустраняемое нарушение требований безопасности, неустраняемый выход заданных параметров за допустимые пределы.

Не учитывают отказы:

■ вызванные воздействием внешних факторов, не предусмотренных в технических условиях на изделие;

■ вызванные нарушением обслуживающим персоналом инструкций по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту;

■ устраняемые оператором или наладчиком с использованием индивидуального ЗИП при условии, что суммарное время их устранения не превышает 30 мин в сутки. Это условие относится к ГПМ, не предусмотренным для работы в безлюдном режиме;

■ обусловленные необходимостью подналадки ГПМ, предусмотренной руководством по эксплуатации, а также сменой или подналадкой распыляющего устройства;

■ не приводящие к прекращению функционирования, но усложняющие процесс управления ГПМ, которые должны устраняться при регламентированном ежесуточном обслуживании.

Критерии отказов и предельных состояний устанавливают в технических условиях на конкретные ГПМ.

3. Методы контроля показателей надежности

3.1. Методы контроля показателей надежности, методы испытаний, план испытаний, содержание программы и методики испытаний и оформление результатов испытаний в соответствии с ГОСТ 27.410–87.

3.2. Методы контроля и виды испытаний, при которых контролируют показатели надежности ГПМ, приведены в табл. 2.

3.3. Испытания ГПМ на надежность проводят по планам испытаний [NMT] или [NMr] при законе нормального распределения наработок между отказами с коэффициентом вариации 0,3 в соответствии с ГОСТ 27.410–87.

2. Методы контроля и виды испытаний

Контролируемое свойство надежности	Показатели	Контроль при испытаниях				
		приемочных	квалификационных	приемо-сдаточных	периодических	типовых
Безотказность	$T_{у.с}$	Э	–	Э, РЭ	–	–
	$T_{у.н}$	ЭР	Э	–	–	–
	$T_{у}$	Р	–	–	Э	Э
	$T_{о}$	–	–	–	Э	Э
Ремонтопригодность	$T_{в}$	Э	–	–	Э	Э
Долговечность	$T_{к}$	Р, РЭ	–	–	Р, Э, РЭ	Р, Э, РЭ
	$T_{с.л}$	Р	–	–	Р, Э	Р, Э

Примечания: 1. Р – расчетный метод; Э – экспериментальный метод; РЭ – расчетно-экспериментальный метод.

2. Контроль показателей надежности проводят одним из указанных в таблице методом.

3. При определении показателя долговечности допускается использование данных подконтрольной эксплуатации.

ИНФОРМАЦИЯ

Указатель статей, опубликованных в 2008 году

Поздравления

Арпентьеву Борису Михайловичу 70 лет . . . . . № 4

Козыреву Юрию Григорьевичу 70 лет. . . . . № 6

Кульчину Юрию Николаевичу 55 лет . . . . . № 4

Марьину Борису Николаевичу 60 лет. . . . . № 4

Семенову Александру Николаевичу 55 лет . . . . № 5

Степанову Юрию Сергеевичу 60 лет. . . . . № 1

Экономика и организация сборочного производства

Камакин В.А. Оценка экономической эффективности внедрения средств автоматизированной информационной поддержки процессов управления. . . . . № 1

Ларин С.Н. Информационное сопровождение процессов сборки приборных комплексов . . . № 1

Технологичность конструкции

Бондалетов В.П., Быкова Т.Е. Влияние параметров сборки на работоспособность импульсной механической передачи . . . . . № 4

Лустенков М.Е. Определение основных геометрических параметров планетарных шариковых передач . . . . . № 1

Шишкарев М.П. Повышение надежности адаптивных фрикционных муфт 1-го поколения . . . . . № 4

Шишкарев М.П. Условие и возможность реализации высокой точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт. . . . . № 5

Современные технологии сборки

Абрамов К.Н. Вопросы обеспечения точности изделий вспомогательного производства на основе анализа сборочных размерных цепей . . . . . № 5

Абрамов К.Н. К вопросу использования метода вероятностного моделирования при расчете размерных цепей . . . . . № 7

Аввакумов В.Д. Методы расчета массово-геометрических характеристик 3D-мерных объектов и сборок с учетом разброса размеров в поле допуска. *Продолжение* . . . . . № 5, 6

Барабанов А.Б. Обоснование наилучшего варианта сборки комплектов инструмента для станков с ЧПУ . . . . . № 9

Белобородов С.М., Козинов А.М. Коррекция монтажных дисбалансов. . . . . № 10

Вартанов М.В., Власов А.И. Влияние толщины клеевой прослойки на прочность соединений кузовных панелей автомобилей . . . . . № 12

Верещагин П.В., Чеканов М.А., Титов И.А. Соединение листовых деталей заклепками без предварительного получения отверстий под заклепки. . . . . № 4

Виноградов В.М., Шандров Б.В. Особенности сборки и контроля сложного зуборезного инструмента для обработки зубчатых колес автомобильных трансмиссий . . . . . № 6

Воячек И.И., Евстифеева Е.А. Совершенствование технологии сборки и проектирования соединений с натягом с применением анаэробных материалов . . . . . № 7

Волков Г.Ю., Ратманов Э.В., Курасов Д.А. Условия сборки зубчатых эксцентриковых подшипников . . . . . № 8

Давыдова Н.С., Симаков А.Л. Анализ поисковых траекторий перемещения деталей в средствах адаптации для автоматизированной сборки. . . . . № 12

Житников Ю.З., Золотарева О.В. Обоснование предельных режимов работы элеваторного устройства самоориентации деталей типа вилки . . . . . № 4

Журавлев А.Н., Толоконников С.В. Моделирование работы алмазного долота, собранного по методу структурно упорядоченной сборки . . . . . № 5

Журавлев А.Н. Анализ технологических связей структурно упорядоченной сборки резьбосварных соединений . . . . . № 7

Журавлев А.Н. Исследование влияния силового фактора на геометрическую точность резьботорцевых соединений при структурно упорядоченной сборке . . . . . № 8

Ильицкий В.Б., Ерохин В.В. Погрешности базирования и положения деталей в призмах . . . . . № 3

Илюхин А.Ю., Ямников А.С. Специфика сборки соединений с избыточными связями . . . . . № 4

Ковалёв В.Г., Ковалёв С.В., Коновалов В.А. Электрический монтаж накруткой . . . . . № 9

Кристаль М.Г., Чувилин И.А. Исследование динамики вибрационного сопряжения с нижней опорой торца охватываемой детали . . . . . № 4

Кристаль М.Г., Чувилин И.А. Модель динамики ротационной сборки цилиндрических деталей . . . . . № 8

Кузин И.В. Способы закрепления лопаток газотурбинных двигателей с помощью быстротвердеющей массы . . . . . № 4

Кузнецов М.В., Симаков А.Л. Сравнительный анализ регуляторов в средствах активной адаптации для автоматизированной сборки . . № 3

Назаров Ю.Ф., Соловьева М.В., Сорокина И.В., Точилин П.В. Оценка эффективности при внедрении высоких наукоемких технологий . . . . . № 3

Непомилуев В.В., Дюпин И.В. Повышение качества сборки путем обеспечения статистической управляемости технологических процессов изготовления деталей . . . . . № 2

Самсонов О.С., Сосунов Д.В., Толстопятов И.И., Шенаев М.О. Проектирование технологии сборки изделий авиационной техники в цифровой информационно-программной среде . . . . . № 6

Семенов А.Н., Наумова С.А. Влияние закономерностей базирования деталей на функциональное качество и надежность машин . . № 12

Скуратов Д.Л. Сидоров С.Ю. Прогрессивные конструкции и способ сборки шлифовальных кругов с прерывистой режущей поверхностью . . . . . № 12

Спиридонов А.В., Рябов Г.К. Модернизация конструкции и настройка автоматических клиноременных вариаторов . . . . . № 10

Татаркин Е.Ю., Хоменко В.В. Формообразование узлов крепления в тонкостенных деталях методом пластического сверления . . . . . № 7

Толоконников С.В., Журавлев А.Н. Упорядоченная сборка опор скольжения буровых шарошечных долот . . . . . № 6

Феофилов Н.Д., Колобаев А.В. Сборные червячные фрезы на основе эвольвентного червяка . . . . . № 4

Хейфец М.Л. Технологическое и эксплуатационное наследование показателей качества в жизненном цикле изделий машиностроения . . . . . № 3

Холодкова А.Г. Методика оценки технологичности конструкции изделия для условий автоматической сборки . . . . . № 11

Чумаков Р.Е. Исследование силовых показателей при монтаже резьбообразующих винтов в листовой материал . . . . . № 12

Шишкарев М.П. Влияние точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт на массу привода машины . . . . . № 3

Шишкин В.Н., Виноградова О.В. Адаптационная оптимизация качества сборки серийного газотурбинного двигателя . . . . . № 10

Сборочное оборудование и его элементы

Антонец И.В. Децентрализованные электромагнитные устройства автоматического адресования штучных грузов для конвейерных систем . . . . . № 7

Архипова В.А. Моделирование режимов работы манипулятора . . . . . № 2

Божкова Л.В., Чуканова О.В., Акульшина Т.В., Воловов М.В. Разработка алгоритмов программного управления сборочных промышленных роботов . . . . . № 2

Золотарева О.В. Предельные режимы работы трубчатого устройства самоориентации деталей . . . . . № 8

Князев Д.В. Автоматизация сборки клеетепловых цилиндрических соединений с натягом . . . . . № 8

Кристаль М.Г., Лохман Б.В., Стегачёв Е.В. Струйное устройство для ориентирования деталей . . . . . № 1

Кристаль М.Г., Харькин О.С., Дроботов А.В. Оценка производительности струйного разделения потоков деталей . . . . . № 9

Малышев К.В., Шашурин В.Д., Башков В.М., Шалаев В.А. Инерциальный нанопозиционер для сборки нанонитей на базе сканирующего туннельного микроскопа . . . . . № 4

Расторгуев Г.А. Надежность технологических систем в сборочном производстве. . . . . № 10

Тарабарин В.Б. Промышленные роботы и манипуляторы . . . . . № 5, 6

Шиляев С.А. Разработка устройства ротационного ленточного шлифования для обеспечения точности деталей в сборочном производстве. . . . . № 3

Шуваев В.Г. Повышение эффективности введения ультразвуковых колебаний при сборке деталей с натягом . . . . . № 5

Технологическая оснастка

Аксенов С.Н., Елфимов С.А. Повышение эффективности струйных захватных устройств . . . . . № 2

Воркуев Д.С. Предельные режимы механизмов свободного хода храпового типа с учетом ударов. . . . . № 12

Дерли А.Н., Евсеев Д.Д., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. Особенности конструкции фрезы для обработки поверхностей с переменными профилем и твердостью. . . . . № 5

Кристаль М.Г., Стегачев Е.В. Применение пневмовихревых захватных устройств для вибрационной сборки . . . . . № 7

Микитянский В.В., Микитянская Л.М. К вопросу об общей теории точности станочных приспособлений . . . . . № 5

Микитянский В.В., Микитянская Л.М. Оценка влияния массы приспособления на динамические характеристики технологической системы . . . . . № 8

Микитянский В.В., Микитянская Л.М. Эффективность применения приспособлений. . . . . № 7

Федотов М.В. Автоматизированный расчет параметров податливого крепления сборочного устройства. . . . . № 10

Сборочно-сварочные работы. Пайка

Коротков А.Н., Дубинкин Д.М. Анализ методов обработки сварных швов . . . . . № 3

Коротков А.Н., Дубинкин Д.М. Повышение работоспособности обдирочных кругов на операциях обработки сварных швов путем использования шлифовальных зерен с контролируемой формой . . . . . № 1

Поправка Д.Л., Инякин Д.А. Параметры движения электрода при сварке продольногофрированных пластырей в процессе ремонта обсадных колонн. . . . . № 7

Рыльцев И.К., Журавлев А.Н., Абдуллов Р.В. Обеспечение точности тонкостенных сварных конструкций рам электротехнических изделий. . . . . № 10

Сараев Ю.Н., Безбородов В.П., Селиванов Ю.В., Никонова И.В. Влияние режимов наплавки покрытий на коррозионную стойкость в кислых средах сварных соединений аустенитных сталей. . . . . № 5

Сборка с использованием клея

Вартанов М.В., Шкурко Л.С., Власов А.И. Влияние клеевой прослойки на вибродемпфирование конструкции . . . . . № 7

Мурзаева И.В., Гуляев В.А. Упрочняющий расчет физико-механических свойств клея для стекла методом конечных элементов (МКЭ) . . . . . № 3

Мурзаева И.В., Дружинин В.Ю., Клочкова Т.Н., Павлихин С.Е., Гуляев В.А. Исследование прочности клеевого соединения автомобильных стекол . . . . . № 2

Триботехнологии

Мишин А.В., Зернин М.В. Конечно-элементная методика расчета динамически нагруженных подшипников скольжения с учетом отклонений формы рабочей поверхности от цилиндрической . . . . . № 2

Соединения деталей машин

Крайнев А.Ф. Подвижные соединения и уплотнения (функциональная целесообразность и технологичность) . . . . . № 3, 5, 7, 9, 11

Питание сборочных линий. Комплектация. Складирование. Упаковка

Трусов В.И., Кузинова Т.М., Гармашова И.В. Новые технологии "временной" противокоррозионной защиты . . . . . № 12

Обеспечение качества. Испытания. Контроль.

Анферов А.А., Шардакова М.А. Получение информации о превышениях допустимых значений режимов работы гидромашин . . . . № 11

Васин В.А., Ивашов Е.Н., Степанчиков С.В. Повышение производительности линии сборки электровакуумных приборов . . . . . № 11

Безъязычный В.Ф., Козлов В.А., Пудов А.В. Обеспечение качества поверхностного слоя и точности деталей при токарной обработке на станках с ЧПУ путем научно обоснованного динамического изменения режимов резания . . . . . № 11

Емельянов А.А. Импульсное кондиционирование пленочных электродов фотоэлектронных приборов . . . . . № 3

Карабань В.Г., Митина Е.И. Коррекция допусков деталей клиновых механизмов свободного хода механических импульсных передач при воздействии температуры . . . . . № 10

Караченков Д.Л., Марьин Б.Н., Феоктистов С.И., Фролов Д.Н., Ханов В.А. Особенности технологического контроля производства сборочных деталей из эластомеров . . . . . № 5

Кузин Ю.Б., Куменко А.И., Зиле А.З. Запуск в эксплуатацию системы удаленного доступа ОАО "ОГК-5" к системе АСКВМД ОАО "ВТИ" на базе аппаратуры НТЦ "Виконт" и ЗАО "Энергоприбор" . . . . . № 6

Кутузов В.К., Воронов С.А., Сергеев Ю.В. Исследование влияние режимов нагружения аксиально-поршневых гидромашин на продолжительность их испытаний . . . . . № 6

Куменко А.И. Перспективы развития систем диагностики технического состояния генерирующего оборудования ТЭС. Состояние и развитие отечественных систем виброконтроля и диагностики . . . . . № 2

Кучеров В.Г., Шалыгина Е.В. Обеспечение стабильности работы демпфирующих устройств рабочих органов промышленных роботов . . . . . № 11

Ломаев В.И., Сагателян Г.Р. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей из композиционных материалов, изготовляемых намоткой . . . . . № 10

Марголит Р.Б., Терехов О.А. Снижение вынужденных колебаний в приводах станков . . . . . № 5

Матросова Ю.Н., Матросов А.Е., Клычева Е.В., Данилов М.М., Федотов М.В. Автоматизированная система определения пористости и физико-механических свойств материалов деталей перед сборкой . . . . . № 1

Матросова Ю.Н., Потапова Н.Г. Методы автоматизированного неразрушающего контроля пористости материалов изделий перед сборкой . . . . . № 12

Островский Ю.А. Мониторинг формирования отклонений поверхностей от прямолинейности машиностроительных деталей и узлов в системах удаленного доступа . . . . . № 4

Пашаев А.М., Джанахмедов А.Х., Алиев М.И. Разработка критерия по определению зазора между цилиндром и поршнем компрессорных машин . . . . . № 11

Рябов Г.К., Андреев С.А. О регулировке автоматических клиноременных вариаторов . . . . . № 4

Степанов Ю.С., Кобяков Е.Т., Поляков А.И. Аналитическое решение задачи о колебаниях физического маятника на упругом подвесе . . . № 8

Сутягин А.Н. Проблема обеспечения износостойкости поверхностного слоя деталей узлов трения. . . . . № 12

Хейфец М.Л., Кусакин Н.А., Точило В.С. Технологическое и эксплуатационное наследование параметров качества при восстановлении деталей двигателей внутреннего сгорания . . . . . № 11

Чебанов В.С., Башуров Б.П. Методы диагностирования, оценка технического состояния оборудования систем судовых дизелей при эксплуатации и средства мониторинга отказов . . . . . № 9

Шеховцева Е.В. Сопоставление качества поверхностного слоя зубьев зубчатых колес после электроэрозионной обработки и обработки резанием . . . . . № 12

Шуваев В.Г., Папшев В.А. Оценка качества соединений методами вибрационной диагностики в процессе автоматизированной сборки деталей типа вал–втулка . . . . . № 7

Разборка. Ремонт

Бирюков В.П., Михайлин Б.Н., Прищепов С.Д. Восстановление и упрочнение поверхностей трения лазерным излучением . . . . . № 11

Годунов Н.Б. Расчет перемещаемого объема металла при восстановлении профилирующей накаткой втулок карданных передач . . . . . № 12

Квагинидзе В.С., Водолазский А.А. Совершенствование методов ремонта бульдозеров в условиях россыпных месторождений Севера . . . . . № 7

Квагинидзе В.С., Корецкий В.Б. Основные методы восстановления металлоконструкций большегрузных карьерных автосамосвалов, эксплуатируемых в условиях Севера. . . . . № 8

Коган Б.И. Создание научных основ технологического обеспечения качества ремонта машин . . . . . № 7

Корниенко В.М., Макарова Н.В., Маслов А.М., Мурашкин Е.В. Перспективный инструмент высокоскоростной разделки утилизируемых металлических конструкций . . . . . № 2

Коротков В.А., Михайлов И.Д., Веснин А.М., Зотов А.С. Опыт внедрения технологий восстановления на ведущих предприятиях Урала . . . . . № 8

Мамонтов В.А., Чеботарев Ю.В., Куличкин Н.В. Восстановление деформированных судовых валов термомеханической правкой на основе ползучести . . . . . № 12

Сергеев В.В., Куликов П.Р. Восстановление коленчатых валов дизельных двигателей сверхзвуковой электродуговой металлизацией . . . . . № 8

Тарасенко Ю.П., Царева И.Н., Бердник О.Б., Фель Я.А. Ремонтно-восстановительная технология с применением плазменных покрытий для лопаток газотурбинных двигателей газоперекачивающих агрегатов . . . . . № 9

Техническое обслуживание оборудования . . . . . № 4, 5, 7, 8, 9

Хусаинов Я.В. Восстановление изношенных деталей машин напылением . . . . . № 8

Шуваев В.Г., Шуваев И.В. Повышение эффективности разборки резьбовых соединений с применением ультразвуковых колебаний. . . . . № 6

В помощь конструктору, технологу

Аввакумов В.Д. Система автоматизированного расчета массово-геометрических характеристик объектов . . . . . № 11

Войнов К.Н., Алексеев А.А., Балесный Ю.В. Разработка методов повышения надежности карданных валов и упрощения их ремонта . . . . . № 10

Черенков С.Я. Нестандартный технологический прием в решении монтажных проблем . . . . . № 1

Штенников В.Н. Опыт ФГУП УЭМЗ по пайке электронных приборов в контексте международных стандартов IPC . . . . . № 8

Подготовка специалистов

Ольштынский П.В., Мартыненко О.В. Практическое обучение на среднетехническом факультете в условиях многоуровневого профессионального образования . . . . . № 7

Расторгуев Г.А. Расчет и анализ сборочной размерной цепи . . . . . № 11

Стольников С.П., Подлеснов В.Н. Подготовка специалистов в области технологии ремонта оборудования . . . . . № 9

В порядке обсуждения

Григорьев В.С. Выявление взаимосвязей между элементами в соединениях систем при их образовании и изнашивании . . . . . № 5

Григорьев В.С. О взаимосвязи сборки и самосборки при образовании соединений . . . . . № 7

Григорьев В.С. Ресурсные цепи и аксиоматика их описания . . . . . № 6

Тополянский П.А. Техническая политика в области внедрений процессов восстановления и упрочнения . . . . . № 11

Изобретения и патенты

Земляков Н.В. Стопорение болта в глухом отверстии корпуса . . . . . № 9

Земляков Н.В. Стопорные гаечные соединения . . . . . № 11

Зарубежный опыт

Андреев А.Г. Новости техники . . . . . № 8

Андреев А.Г. Новости техники и технологии . . № 7

Музыкант Я.А. Новые конструкции сборных фрез ISCAR и рекомендации по их применению . . . . . № 8

Информация

Болтрукевич В. 5S: Как улучшить свое рабочее место . . . . . № 3

Вартанов М.В., Гусев А.А. Международный научно-технический семинар "Современные технологии сборки" . . . . . № 12

Коротков А.Н., Шатько Д.Б. Повышение эксплуатационных возможностей лепестковых шлифовальных кругов . . . . . № 10

Кулиш Е.В., Турыгин Ю.В., Мага Душан. Решение контактной задачи прессовых полисоединений . . . . . № 1

Лапидус В.А. Уход от массового производства . . . . . № 3

Международные промышленные выставки 24–27 ноября 2008 г. . . . . № 10

Научно-технический семинар "Современные технологии сборки" . . . . . № 6, 7, 8

Новиков В.В., Рябов И.М., Колмаков В.И., Чернышов К.В. Универсальный стенд для испытания подвесок и колес автотранспортных средств . . . . . № 3

Светлаков Ю.А. Разработка технологий механической обработки деталей из твердых хрупких неметаллических материалов . . . № 1

Тулина Л.И., Гладышева М.П., Сергеев В.Е. Технология изготовления многоуровневых микроплат . . . . . № 1

Холодкова А.Г. Международная научно-техническая конференция "Машиностроение и техносфера XXI века" . . . . . № 11

Черепахин А.А., Виноградов В.М., Смирнова Э.Е. Выбор СОЖ для высокоскоростного протягивания наружных фасонных поверхностей . . . . . № 9

10-я юбилейная Международная научно-практическая конференция "Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки" . . . № 3

14-я Международная промышленная выставка "Металл-ЭКСПО" 11–14 ноября 2008 г. . . . . № 10

Нормативная документация

Машины и технологическое оборудование. Система классов точности балансировки. Основные положения (по материалам ГОСТ 22061–76). *Продолжение* . . . . . № 3, 4, 6, 8

Методические указания по балансировке жестких роторов (к ГОСТ 22061–76 "Машины и технологическое оборудование. Система классов точности балансировки. Основные положения"). *Продолжение* . . . . . № 9, 10

Справочный материал

Старжинский В.Е., Антонюк В.Е., Кане М.М., Шалобаев Е.В., Шилько С.В. Словарь-справочник по зубчатым передачам русско-английско-немецко-французский. *Продолжение*. . . . . № 2,4

Издательство "Машиностроение" представляет книги

Безъязычный В.Ф., Кузьменко М.Л., Крылов В.Н. Технологические процессы механической и физико-химической обработки в авиадвигателестроении . . . . . № 11

Внутренняя баллистика РДТТ / РА РАН / А.В. Алиев и др. . . . . № 12

Волчкевич Л.И. Автоматизация производственных процессов: учебное пособие . . . . № 6

Головин Ю.И. Введение в нанотехнику. . . . . № 11

Гузеев В.И., Батуев В.А., Сурков И.В. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: Справочник . . . . . № 1

Кожевников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В. Режущий инструмент: учебник для вузов . . . . . № 12

Кондаков А.И., Васильев А.С. Выбор заготовок в машиностроении: Справочник . . . . . № 6, 12

Леликов О.П. Основы расчета и проектирования деталей и узлов машин . . . . . № 8

Мельник В.А. Торцовые уплотнения валов: Справочник . . . . . № 3, 5, 7, 10

Методы обоснования ресурса ядерных энергетических установок / Ф.М. Митенков, В.Б. Кайдалов, Ю.Г. Коротких и др.. . . . . № 3

Полохин О.В., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. Нарезание зубчатых профилей инструментами червячного типа: Справочник. . . . . № 11

Пуховой А.А., Мелешко М.Г., Бобровник А.И., Левков В.Г. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту тракторов "БЕЛАРУСЬ" серий 500, 800, 900. . . . . № 7, 12

Разделение неуправляемых снарядов систем залпового огня / РА РАН; Б.Э. Кэрт, В.И. Козлов, Н.А. Макаровец . . . . . № 11

Распопов В.Я. Микромеханические приборы: Учебное пособие. . . . . № 11

Сандлер А.И., Лагутин С.А., Верховский А.В. Производство червячных передач . . . . . № 11

Сварка. Резка. Контроль: Справочник. . . . . № 10

Справочник токаря-универсала / под ред. М.Г. Шеметова и В.Ф. Безъязычного . . . . . № 3, 6, 7

Старков В.К. Шлифование высокоскоростными кругами. . . . . № 7, 10

Степанов М.Н., Шаврин А.В. Статические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник . . . . . № 4

Суслов А.Г. Технология машиностроения: Учебник . . . . . № 7, 8

Туктанов А.Г. Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия: учебник для студентов вузов . . . . . № 10

Чижков Ю.П. Электрооборудование автомобилей и тракторов: Учебник. . . . . № 11

Шаталов В.А. Космические бури . . . . . № 11

ООО «Издательство МАШИНОСТРОЕНИЕ»

ПРОДОЛЖАЕТ ПРИНИМАТЬ ПОДПИСКУ НА ЖУРНАЛЫ 1-го полугодия 2009 г.

Подпишитесь в издательстве, и Вы

- получите журналы с первого номера;
- сэкономите на стоимости почтовой доставки;
- узнаете о новых книгах и журналах издательства

Постоянным подписчикам предоставляется ***скидка*** на подписку и публикацию рекламных объявлений.

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

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Не забудьте подписаться на журнал

"СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ"

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

Журнал выходит *ежемесячно* и распространяется *только по подписке*

Подписку можно оформить с любого номера журнала и на любой срок

Подписка на журнал принимается во всех отделениях связи или непосредственно в издательстве "Машиностроение".

Для оформления подписки через издательство необходимо отправить заявку в произвольной форме, но обязательно содержащую следующие сведения:

1. Название журнала
2. Количество экземпляров
3. Срок подписки
4. Название организации
5. Полный почтовый и юридический адрес
6. Телефон, факс, E-mail
7. ФИО ответственного лица
8. ИНН/КПП и банковские реквизиты предприятия.

При оформлении подписки на журнал через отделение связи

Вам необходимо заполнить подписной купон и оплатить подписку непосредственно в отделении связи.

Подписные индексы журнала:

79748 – по каталогу "Роспечать"

84967 – по каталогу "Пресса России"

60257 – по каталогу "Почта России"

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

Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**".

Адрес электронной почты издательства: **E-mail: mashpubl@mashin.ru**;

редакции журнала: **sborka@mashin.ru; tsmm@mashin.ru http://www.mashin.ru**

Телефон редакции журнала: (499) 268-38-42; тел./факс (499) 268-85-26; факс 269-48-97.

Технический редактор *Жиркина С.А.* Корректоры *Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.*

Сдано в набор 10.11.08 г. Подписано в печать 25.12.08 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 6,86. Уч.-изд. л. 7,07. Заказ 11. Свободная цена.

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Издательство Машиностроение".

Отпечатано в ООО "Подольская Периодика", 142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, д. 15.