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

11 2008 **(100)**

СОДЕРЖАНИЕ

Современные технологии сборки

Холодкова А.Г. Методика оценки технологичности конструкции изделия для условий автоматической сборки 3

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Кучеров В.Г., Шалыгина Е.В. Обеспечение стабильности работы демпфирующих устройств рабочих органов промышленных роботов 10

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 . . . 13

Хейфец М.Л., Кусакин Н.А., Точило В.С. Технологическое и эксплуатационное наследование параметров качества при восстановлении деталей двигателей внутреннего сгорания 20

Анферов А.А., Шардакова М.А. Получение информации о превышениях допустимых значений режимов работы гидромашин 22

Васин В.А., Ивашов Е.Н., Степанчиков С.В. Повышение производительности линии сборки электровакуумных приборов 26

Пашаев А.М., Джанахмедов А.Х., Алиев М.И. Разработка критерия по определению зазора между цилиндром и поршнем компрессорных машин . . . 31

Разборка. Ремонт

Бирюков В.П., Михайлин Б.Н., Прищепов С.Д. Восстановление и упрочнение поверхностей трения лазерным излучением 35

В помощь конструктору, технологу

Аввакумов В.Д. Система автоматизированного расчета массово-геометрических характеристик объектов 38

Подготовка специалистов

Расторгуев Г.А. Расчет и анализ сборочной размерной цепи 43

В порядке обсуждения

Тополянский П.А. Техническая политика в области внедрений процессов восстановления и упрочнения 47

Изобретения и патенты

Земляков Н.В. Стопорные гаечные соединения 52

Информация

Холодкова А.Г. Международная научно-техническая конференция "Машиностроение и техносфера XXI века" 55

Соединения деталей машин

Крайнев А.Ф. Подвижные соединения и уплотнения (функциональная целесообразность и технологичность). . . . . 2-я, 3-я стр. обложки

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.: (495) 268-38-42; тел./факс: 268-85-26. Факс: (495) 269-48-97.
E-mail: sborka@mashin.ru
Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Сборка в машиностроении, приборостроении", допускаются только с разрешения редакции и со ссылкой на источник информации.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

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

Редакционный совет

МОСКВА
А.С. ВАСИЛЬЕВ (зам. главного редактора)
А.А. ГУСЕВ
А.М. ДАЛЬСКИЙ
И.Н. ЖЕСТКОВА
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, О.Н. ЛУТОВИНИНА, 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”, 2008**

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

11 2008 (100)

CONTENTS

Modern Technologies in Assembly

Kholodkova A.G. A technique to estimate processability of unit for automatic assembly 3

Quality Assurance. Testing. Monitoring

Kucherov V.G., Shalygina E.V. Maintenance of stability of operation damping devices of working bodies of industrial robots 10

Bezjazichniy V.F., Kozlov V.A., Pudov A.V. The assurance of surface coating quality and detail accuracy when in use turning on NC machine tools by science-based dynamic change of cutting conditions 13

Heifets M.L., Kusakin N.A., Tochilo V.S. Processing and operational succession of perfection factors when in use gas engine details reduction 20

Anfyorov A.A., Shardakova M.A. Data acquisition on the excess of admissible operation modes in hydraulic machines 22

Vasin V.A., Ivashov E.N., Stepanchikov S.V. Increase of productivity of an assembly line of electrovacuum devices 26

Pashaev A.M., Dzhanahmedov A.H., Aliev M.I. Development of criterion for backlash determination between cylinder and piston of compressor machine 31

The Dismantling. Repair

Birjukov V.P., Mihailin B.N., Prischepov S.D. Restoration and hardening of friction surfaces by laser emission 35

Industrial and Design Engineer's Aid

Avvakumov V.D. System of automatic calculation mass-geometric features object . . . 38

Preparation of Experts

Rastorguev G.A. Calculation and analysis of an assembly dimensional chain 43

Discussing

Topolianskiy P.A. Technological policy in the range of introduction of restoration and hardening processes 47

Inventions and Patents

Zemlyakov N.V. Check nut assembly 52

Information

Kholodkova A.G. International scientific-technical conference "Machine building and technosphere XXI century" 55

Connections of Details Machins

Krainev A.F. Mobile connections and condensations (functional expediency and adaptability to manufacture) . . . . . 2-nd, 3-nd pp. of cover

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.: (495) 268-38-42; ph./fax: 268-85-26. Fax: (495) 269-48-97.
http://www.mashin.ru E-mail: sborka@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. (Deputy chief editor)
DALSKY A.M.
GUSEV A.A.
ZHESTKOVA 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., LUTOVININA O.N., SAVELIEVA L.V.

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-and Broadcasting and Mass Communications Media.
Registration certificate ПИ № 77-1747, February 25, 2000 Free price

© "Mashinostroenie Publishers", "Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making", 2008

А.Г. Холодкова, *канд. техн. наук*
(Московский государственный открытый университет)

Методика оценки технологичности конструкции изделия для условий автоматической сборки

Рассмотрена методика количественной оценки возможности применения автоматической сборки изделия, которая позволяет рассчитать коэффициент автоматизации сборочного процесса.

A technique to calculate automation coefficient and determine qualitatively the units compatibility with automatic assembly.

Ключевые слова: сборка, коэффициент автоматизации, технологичность.

Key words: assembly, automation coefficient, processability.

Жизненный цикл изделия в значительной степени зависит от технологичности его конструкции при изготовлении и эксплуатации. Конструкция изделия, в первую очередь, должна быть подготовлена к конкретным условиям: технологии, оборудованию, техническому оснащению и организации процесса.

Автоматическая сборка предъявляет ряд особых требований к конструкции собираемого изделия и его элементов. Недостаточно полное и четкое выполнение этих требований приводит к снижению качества собираемых изделий, неоправданным затратам труда, средств, материалов, времени и зачастую делает невозможным автоматизацию сборочных процессов.

Автоматическая сборка – процесс образования соединений изделий и его составных частей, осуществляемый при помощи автоматического сборочного оборудования и состоящий из следующих этапов:

- загрузка и предварительная ориентация деталей;
- транспортирование деталей в зону сборки;
- базирование и окончательная (взаимная) ориентация;
- выполнение соединения;
- удаление подсобранного изделия или сборочной единицы со сборочной позиции.

В каждом конкретном случае число и содержание выполняемых операций и переходов сборочного процесса обусловлено конструкцией собираемых деталей и изделия или сборочной единицы. Существенное влияние на надежность и качество сборочного автоматического процесса оказывают функциональные элементы деталей и сборочных единиц, участвующих в сборочном процессе и взаимодействующих с ориентирующими, транспортными и исполнительными сборочными механизмами автоматического сборочного оборудования.

В соответствии с ГОСТами России 14.201–83, 14.205–83 оценку технологичности конструкции проводят по двум критериям: **качественным** и **количественным** [1].

При *качественной* оценке (хорошо – плохо; допустимо – недопустимо) проектируемого изделия определяют соответствие конструкции требованиям автоматической сборки:

- ♦ минимальное число деталей;
- ♦ наличие сборочных единиц;
- ♦ обеспечение точности замыкающих звеньев размерных цепей методом полной взаимозаменяемости;
- ♦ наличие надежных установочных баз и баз для ориентации деталей;
- ♦ удобство подвода автоматического сборочного инструмента;
- ♦ уровень унификации элементов собираемых деталей;
- ♦ характер и размеры сопряжений;
- ♦ количество направлений сборочных движений при выполнении соединений;
- ♦ наличие центрирующих элементов на сопрягаемых поверхностях (фасок, поясков, расточек и т.п.).

В ряде отраслей на предприятиях, проектирующих изделия под автоматическую сборку, создают специальные альбомы, руководящие документы, в которых приведены технологические решения конструкций деталей и соединений, обеспечивающих безотказную автоматическую сборку.

Для обеспечения ориентации деталь должна быть симметричной (иметь максимум плоскостей симметрии). Если деталь в целом симметрична, но имеет некоторые асимметрично расположенные конструктивные элементы (выступы, проточки, отверстия и т.п.), то полную симметрию обеспечивают введением дополнительных "ложных" элементов.

У асимметричных деталей асимметрия должна быть ярко выражена, причем всегда предпочтительнее асимметричность по наружной поверхности детали. Детали, которые необходимо ориентировать по внутреннему асимметричному контуру, должны иметь на наружной поверхности отличительный элемент, расположенный в соответствии с внутренним контуром. Помимо этих требований асимметричные детали надо проектировать таким образом, чтобы центр тяжести не совпадал с условным геометрическим центром и был как можно дальше удален от последнего.

Для удобства ориентации в некоторых случаях следует вводить дополнительные конструктивные элементы, не требуемые служебным назначением детали (пазы, выступы, фланцы и т.п.). Шпильки должны иметь резьбу одного шага и направления, длины резьбовой части должны быть одинаковой величины. Если резьбы на концах шпильки имеют разные шаги, то желательно, чтобы длины резьбовых частей отличались друг от друга.

Детали не должны сцепляться и заклиниваться друг с другом при автоматических ориентации и подаче в зону сборки в загрузочных и подающих устройствах. Детали, напоминающие по своей конфигурации колпачки и стаканы, должны иметь на дне выступы, которые препятствуют их случайному западанию. В деталях, имеющих пазы и выступы, размеры выступов должны быть больше размеров пазов, а внутренние и внешние криволинейные поверхности должны иметь разные радиусы кривизны. Диаметр внутреннего отверстия в деталях должен быть меньше диаметра выступающей части.

Во избежание заклинивания деталей типа пружинных шайб ширина замка не должна превышать их толщины. В противном случае замок у таких деталей выполняют в виде косого или ступенчатого паза. Также у полых деталей, имеющих сквозной паз, ширина последнего должна превышать толщину стенки.

Для удобства транспортирования детали ее опорная поверхность (установочная база) должна

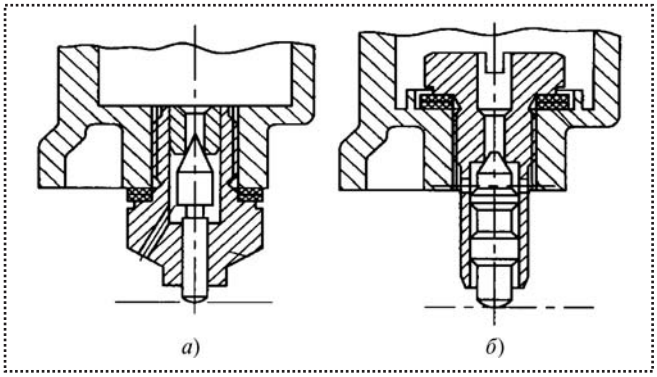


Рис. 1. Упрощение конструкции за счет сокращения числа деталей:
а – нетехнологичная конструкция; *б* – технологичная конструкция

иметь достаточную площадь. Если это торец головки ступенчатой цилиндрической детали, то ее диаметр должен быть больше, чем остальные диаметры, переходный радиус должен быть минимальным.

Во избежание сцепления спиральных пружин необходимо выполнить ряд условий: шаг навивки пружин должен быть меньше толщины проволоки или пружина должна иметь плотную навивку у торцов и в средней части, пружины должны быть изготовлены с заправленными шлифованными торцами, конечные витки пружин сжатия должны располагаться параллельно друг другу. В противном случае пружины нужно подавать на сборочную позицию в ориентированном положении в кассетах.

Желательно под автоматическую сборку проектировать изделия, состоящие из минимального числа деталей. Это достигают изменением конфигурации деталей и применением других видов соединений. На рис 1 приведены конструкции одноцелевого назначения. Число деталей во втором варианте (см. рис. 1, *б*) было существенно уменьшено, что позволило сократить трудоемкость и себестоимость автоматического сборочного процесса, снизить капитальные затраты и размер занимаемых производственных площадей. Новая конструкция имеет не только на одну деталь меньше, но и обеспечивает удобство сборки на автоматической сборочной позиции, так как присоединяемый подузел устанавливают вертикально сверху вниз. В базовом варианте присоединяемый узел устанавливали снизу, что требовало кантования собираемого изделия.

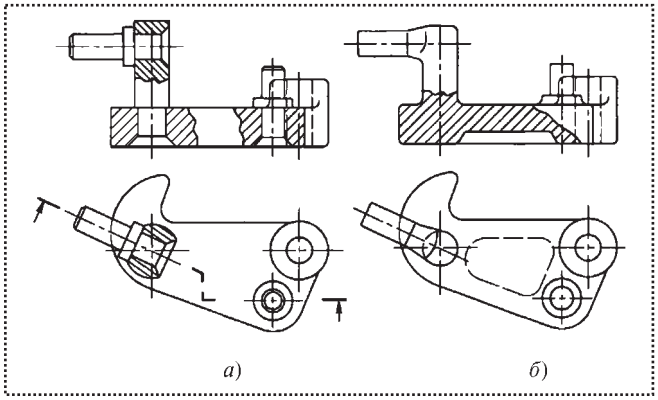


Рис. 2. Объединение нескольких деталей в конструкции: *а* – исходная сборная конструкция; *б* – конструкция, полученная литьем

Существенное сокращение деталей в конструкции изделия дает применение крепежных комплектов, в которых стопорящие детали объединены с резьбовой деталью. Накатка резьбы на винтах после установки шайб существенно упрощает конструкцию исполнительного механизма на сборочной позиции: отпадает необходимость предварительной подсборки винта с пружинной шайбой.

Современные технологические методы (прецизионное литье, порошковая металлургия, штамповка и т.д.) позволяют объединить несколько деталей (рис. 2, *а*) в одну более сложную (рис. 2, *б*).

Уменьшения количества деталей достигают применением анаэробных адгезивов, с успехом заменяющих стопорящие детали у резьбовых соединений, шпонки для передачи крутящего момента, герметизирующие прокладки. Эффективно применение крепежных элементов – заклепок, изготовленных заодно с базовой деталью вытяжкой, выдавливанием и т.п.

В последние годы широкую известность приобрела методика проектирования изделий *DFMA* (Design for Manufacture and Assembly), которая базируется на 3 методах, оценивающих технологичность изделия при проектировании с помощью 3 модулей:

• с точки зрения сборки – *DFA*;

• с точки зрения механической обработки – *DFM*;

• с точки зрения конкурентоспособности – *DFC* (Design for Competitiveness).

Альтернативные проекты разрабатываемого изделия, сгенерированные во время анализов *DFA* и *DFM*, сравнивают между собой, а также с данными конкурентоспособных изделий при помощи модуля *DFC*.

Мерой эффективности процесса сборки и степени сложности конструкции является модуль *DFA*:

$$DFA = \left(\frac{3NM}{TM} \right) 100\ \%,$$

где NM – теоретически минимальное число деталей, обеспечивающих правильное функционирование собранного изделия;

TM – суммарное прогнозируемое время сборки;

число 3 означает идеальное время сборки, равное 3 с на одно соединение.

Величина этого показателя для данного конкретного изделия может уменьшиться только в результате ликвидации ненужных деталей или операций при сборке: пригонке, регулировке и т.п. Этот показатель представляет собой качественную оценку конструкции изделия с точки зрения эффективности сборочного процесса.

В настоящее время в этой методике добавлены модули разборки и рециклинга, касающиеся более поздних фаз жизненного цикла изделия. Однако модуль разборки также важен и при изготовлении изделия, когда в конструкции применяют сборочные единицы – комплекты, требующие разборки перед общей сборкой (шатун в сборе с крышкой, разъемные опоры коленчатого вала и т.п.). Удобство разборки необходимо учитывать в процессах испытания и обкатки механизмов.

При проектировании группы изделий различных типоразмеров для гибкого роботизированного производства одним из важнейших требований является унификация вида сопряжений, базовых и присоединяемых деталей, механизмов и схватов, что позволяет существенно снизить время на переналадку оборудования при переходе на сборку изделия другого типоразмера.

Для *количественной* оценки свойств конструкции, характеризующей ее технологичность в целом или раздельно по производственным признакам, Госстандартом России разработана единая система показателей, обязательная для анализа конструкции в процессе проектирования при выборе оптимального варианта.

Технологичность конструкции изделия в изготовлении (производственная технологичность) определяют следующие **основные** показатели: трудоем-

кость T, ч; себестоимость C, руб. **Дополнительными** показателями являются коэффициенты, оценивающие: уровень стандартизации ($K_{ст}$) и унификации ($K_{уп}$); повторяемости ($K_{пов}$) изделий; наличие сборочных единиц ($K_{сб}$); методы, обеспечивающие точность замыкающего звена ($K_{вз}$); уровень механизации и автоматизации сборки ($K_{мех}$; $K_{авт}$) и т.д.

Пределы большинства **относительных** частных показателей одинаковы:

$$0 \le K_i \le 1.$$

Комплексный показатель технологичности конструкции изделия удобно выражать среднеарифметической величиной с учетом экономической эквивалентности $K_{э.эi}$ ("весового" вклада) принятых показателей K_i:

$$K_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^{n} K_i K_{э.эi}}{\sum_{i=1}^{n} K_{э.эi}},$$

где K_{Σ} – **комплексный** показатель технологичности;

K_i – **частный** показатель технологичности;

$K_{э.эi}$ – коэффициент экономической эквивалентности i-го частного показателя.

Значения комплексного показателя коэффициентов экономической эквивалентности находятся в тех же пределах, что и частных показателей:

$$0 \le K_{\Sigma} \le 1; 0 \le K_{э.эi} \le 1.$$

Потребность в объективной оценке уровня автоматизации сборки проектируемого изделия привела к созданию отраслевых методик расчета коэффициентов технологичности, как комплексных, так и частных, при помощи которых можно рассчитать коэффициент автоматизации и оценить влияние конструкции на трудоемкость, себестоимость и производительность автоматического сборочного процесса.

Методика комплексной многоуровневой оценки технологичности конструкции изделия для условий автоматической сборки, разработанная совместно коллективами ПНО "Автопромсборка" (г. Минск) и МГТУ им. Н.Э. Баумана, была апробирована как в автомобильной, так и в приборостроительной промышленности в 80–90 гг. XX века [2].

Согласно этой методике *выделены группы функциональных элементов и сборочных единиц*, влияющих на выполнение каждого этапа автоматического сборочного процесса, и оценены:

• возможность использования различных ориентирующих и подающих устройств при наличии у собираемых деталей надежных баз ориентации, устойчивости, отсутствии сцепляемости, симметричности расположения их поверхностей, а также сложности и стоимости ориентирующих и транспортных устройств. На этом уровне оценка технологичности конструкции собираемых деталей выражена комплексным показателем $K_{т.д}$;

• возможность безотказного выполнения соединения с заданным качеством различными исполнительными механизмами и устройствами с учетом их сложности и стоимостных затрат. На этом уровне оценка технологичности конструкции соединения описана комплексным показателем $K_{т.с}$. Если показатели технологичности двух деталей $K_{т.дi}$ и их соединения $K_{т.сi}$ больше или равны нормативным значениям, при которых автоматические процессы ориентации деталей, их подачи в зону сборки и выполнения соединения проходят безотказно с обеспечением требуемого качества сборки, то такое соединение можно выполнять автоматически;

• структура и состав сборочного оборудования с учетом надежности его работы, капитальных затрат и продолжительности цикла сборки. На этом уровне технологичность конструкции изделия оценивают комплексным показателем $K_{т.и}$.

Графически методика многоуровневой оценки технологичности конструкции изделия для автоматической сборки представлена на рис. 3.

Частные показатели технологичности $K_{тi}$ рассчитывались на основе данных многолетних теоретических, экспериментальных и производственных исследований процессов автоматической сборки различных соединений, а также размеров капиталовложений на создание или приобретение сборочного автоматического оборудования. Коэффициенты $K_{э.эi}$ определяли с учетом влияния каждого частного показателя $K_{тi}$ на производительность и себестоимость автоматического сборочного процесса по результатам экспериментальных и производственно-статических исследований и на основании экспертных оценок. Для этого использовали опыт квалифицированных специалистов (экспертов) в области автоматической сборки. На основании опыта и имеющейся информации каждый из экспертов предсказывал величину $K_{э.эi}$ в виде максимального и минимального значений в пределах 0...1. Далее на основе полученных данных вычисляли следующие величины.

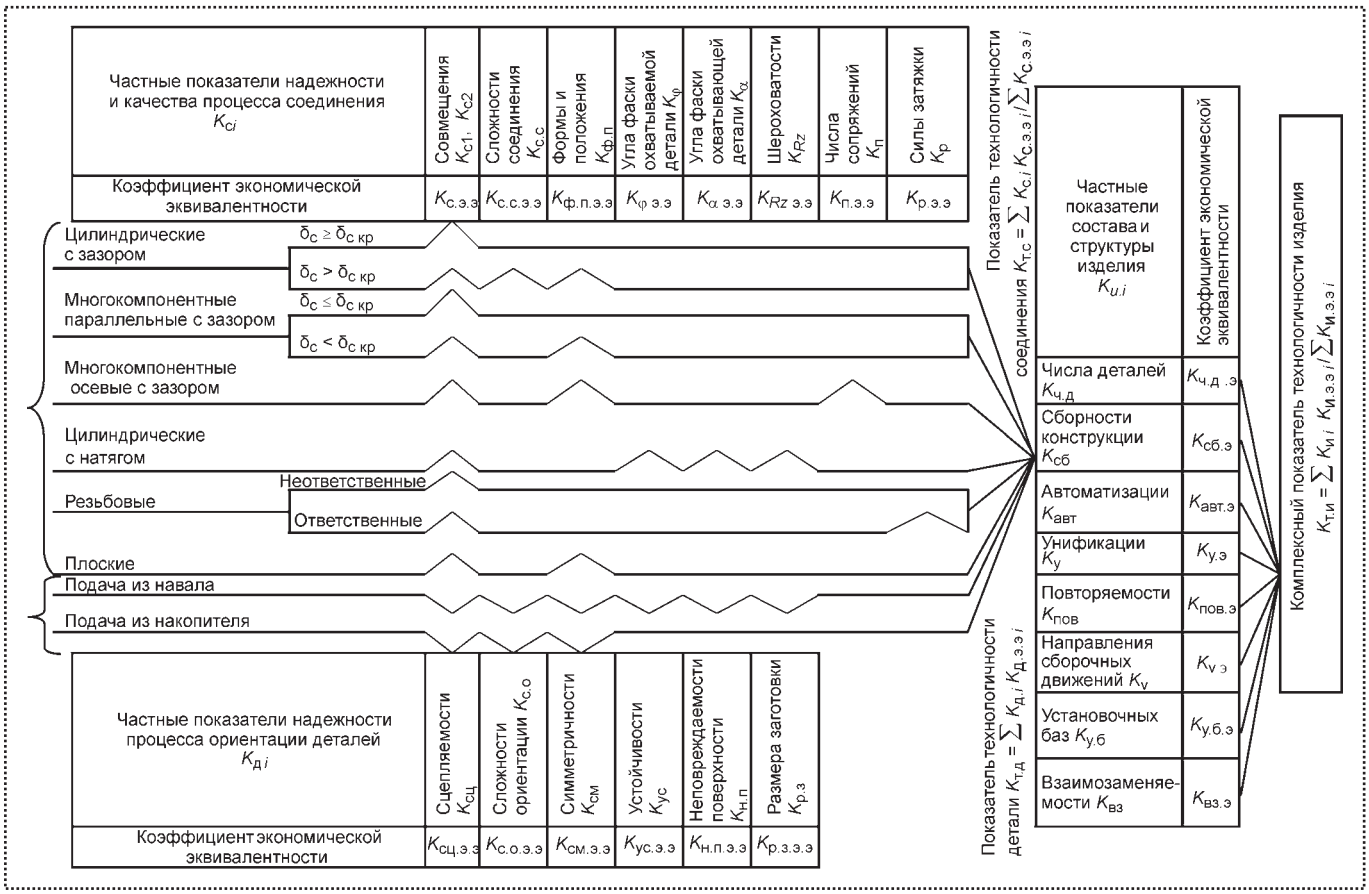


Рис. 3. Многоуровневая оценка технологичности конструкции изделия для автоматической сборки

По оценкам каждого *i*-го эксперта средние значения $M_i(x)$ и дисперсию $S_i(x)$:

$$M_i(x) = \frac{K_{э.эi}^{\max} + K_{э.эi}^{\min}}{2};$$

$$S_i^2(x) = \frac{(K_{э.эi}^{\max} + K_{э.эi}^{\min})^2}{2}.$$

Среднее значение оценок экспертов:

$$\bar{x} = 1/N.$$

Среднеквадратичная ошибка оценок экспертов:

$$S(x) = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^{N} S_i^2(x)},$$

где N – количество экспертов.

Проверку согласованности мнений экспертов проводили при помощи коэффициента вариации по формуле

$$V = S(x)/\bar{x}.$$

По табл. 1 оценивали уровень согласованности мнений экспертов. При значениях $V \geq 0{,}26$ необходимо ознакомить экспертов с полученными результатами и провести дополнительную экспертизу.

Так как в сумме значения всех коэффициентов $K_{э.эi}$ должны быть равны 1, то каждый из коэффициентов $K_{э.эi}$ может быть очень мал. Для удобства расчетов часто пользуют другие способы определения $K_{э.эi}$ [2]: коэффициент $K_{э.эi}$, имеющий макси-

1. Уровни согласованности мнений экспертов

Коэффициент вариации	Уровень согласованности
$V < 0{,}1$	Высокий
$0{,}1 \leq V < 0{,}15$	Выше среднего
$0{,}15 \leq V < 0{,}26$	Средний
$0{,}26 \leq V < 0{,}35$	Ниже среднего
$V \geq 0{,}35$	Низкий

2. Минимальные нормативные значения частных показателей технологичности деталей

Тип загрузочного устройства	$K_{сц.н}$	$K_{сц.э.э}$	$K_{с.о.н}$	$K_{с.о.э.э}$	$K_{ус.н}$	$K_{ус.э.э}$	$K_{см.н}$	$K_{см.э.э}$
Вибрационные бункерные	0,4	0,15	0,8	0,3	0,23	0,3	0,33	0,23
Различные бункерные	0,8	0,15	0,8	0,3	0,25	0,3	0,33	0,25
Магазины-накопители	0,8	0,4	0,2	0,2	–	–	0,25	0,4
Примечание. Данных для деталей, ориентированных вручную, нет.								

мальное значение, принимают равным единице, и остальные коэффициенты находят по формулам

$$K_{э.эi} = 1 - \Delta_{э.эi},$$

где $\Delta_{э.эi} = K_{э.э}^{max} - K_{э.эi}$.

Коэффициенты экономической эквивалентности, полученные в результате статистических исследований автоматических загрузочных устройств на передовых заводах, и минимальные нормативные значения показателей технологичности деталей приведены в табл. 2.

Нормативные значения комплексного показателя $K_{т.с.н}$ для разных типов соединений приведены в табл. 3.

Если комплексные показатели технологичности соединения $K_{т.сi}$ и образующих его деталей $K_{т.дi}$ будут больше или равны нормативным (минимально допустимым) значениям этих показателей, данное соединение пригодно для автоматического выполнения. Если $K_{т.сi}$ и $K_{т.дi}$ будут меньше нормативных значений этих показателей, то конструкции элементов изделия нуждаются в доработке, в противном случае уровень автоматизации сборки снизится.

После определения показателей $K_{т.сi}$ и $K_{т.дi}$ для всех соединений и деталей рассматриваемого узла или изделия можно рассчитать коэффициент автоматизации сборки:

$$K_{авт} = N_{с.авт} / N_{с},$$

где $N_{с.авт}$ – число соединений, выполнение которых можно осуществить автоматически на всех этапах сборочного процесса;

$N_{с}$ – общее число соединений в изделии.

В работе [2] были определены значения коэффициентов экономической эквивалентности рассмотренных ранее дополнительных частных показателей технологичности $K_{т.иi}$.

3. Нормативные значения $K_{т.с.н}$ в зависимости от типа соединения

Соединения	$K_{т.с.н}$
Цилиндрическое с зазором:	
• однокомпонентные:	
$\delta_{с\,min} \geq \delta_{с.кр}$	0,6
$\delta_{с\,min} < \delta_{с.кр}$	0,475
• многокомпонентные:	
параллельные:	
$\delta_{с\,min} \geq \delta_{с.кр}$	0,55
$\delta_{с\,min} < \delta_{с.кр}$	0,45
соосные:	
$\delta_{с\,min} \geq \delta_{с.кр}$	0,58...0,51
$\delta_{с\,min} < \delta_{с.кр}$	0,465...0,462
Цилиндрические с натягом	0,593
Резьбовые:	
• неответственные	0,3
• ответственные	0,436
По плоским поверхностям	0,55

Примечание. $\delta_{с.кр}$ – зазор в соединении, при котором сборка происходит с высоким уровнем безотказности. Для цилиндрических однокомпонентных соединений $\delta_{с.кр}$ = 0,03...0,04 мм, для многокомпонентных – 0,06...0,07 мм. $\delta_{с\,min}$ – минимальный зазор в соединении.

Частные показатели

$K_{авт}$ 0,3
$K_{ч.д}$ 0,27
$K_{пов}$ 0,1
$K_{у}$ 0,12
$K_{у.б}$ 0,1
$K_{сб}$ 0,003
$K_{вз}$ 0,003
K_{v} 0,005

Определение частных показателей технологичности изделия позволяет рассчитать комплексный показатель технологичности изделия, оценивающий уровень его пригодности к автоматической сборке, по формуле

$$K_{\text{т.и}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} K_{\text{т.и}i} K_{\text{т.и. э.э}i}}{\sum_{i=i}^{n} K_{\text{т.и. э.э}i}} =$$

$$= (K_{\text{ч. д}i} K_{\text{ч. д э.э}i} + K_{\text{авт } i} + K_{\text{авт. э.э}i} + K_{yi} K_{\text{у.э.э}i} +$$

$$+ K_{\text{у.б}i} K_{\text{у.б э.э}i} + K_{\text{пов}i} K_{\text{пов. э.э}i} + K_{\text{вз}i} K_{\text{вз. э.э}i} +$$

$$+ K_{\text{сб}i} K_{\text{сб. э.э}i} + K_{\text{v}i} K_{\text{v э.э}i}) / (K_{\text{ч. д э.э}i} + K_{\text{авт. э.э}i} +$$

$$+ K_{\text{у.э.э}i} + K_{\text{у.б э.э}i} + K_{\text{пов. э.э}i} + K_{\text{вз. э.э}i} + K_{\text{сб. э.э}i} + K_{\text{v э.э}i}).$$

Причем при $K_{\text{ч.д}}$, равном 0,9...1 (при числе деталей не больше 8), коэффициент сборности не учитывают. Было принято, что при значениях комплексного показателя $K_{\text{т.и}} \geq 0{,}6$ конструкцию изделия можно считать технологичной для автоматической сборки. При меньших значениях $K_{\text{т.и}}$ конструкция изделия нуждается в доработке.

Вывод

Разработанная программа расчета $K_{m.u}$, т.е. оценки технологичности конструкции для автоматической сборки по рассмотренной методике является подсистемой в структурной схеме основных этапов проектирования ТП автоматической сборки с применением ЭВМ в рамках автоматической системы технологической подготовки производства (АСТПП).

Библиографический список

1. **Амиров Ю.Д.** Технологичность конструкции и качество сборки изделия // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2003. № 6, 7. С. 3–9.

2. **Методика** и нормативы оценки технологичности конструкции деталей и сборочных единиц автомобилей при автоматической сборке: руководящий документ. Минск. 1985. 405 с.

Издательство "Машиностроение" представляет книги

Распопов В.Я. **Микромеханические приборы**: учебное пособие. 2007. – 400 с., тв. пер., 70×100 1/16

ISBN 5-217-03360-6

Цена с НДС 550 руб.

Изложены терминология, классификация, конструкции и принципы работы микромеханических осевых и маятниковых акселерометров, датчиков давления и гироскопов LL-, LR- и RR-типов. Даны описание и расчет прямых (датчиков перемещений и деформаций) и обратных (датчиков сил и моментов) преобразователей в микромеханическом исполнении, схемы электронной обработки сигналов. Приведены примеры электронного устранения ошибок микрогироскопов, в частности квадратурной; описана электронная частотная настройка режимов работы микрогироскопов. Рассмотрены конструктивные схемы и расчет упругих подвесов и мембран, динамика чувствительных элементов, включающая уравнения движения, передаточные функции, частотные характеристики и функциональные зависимости перемещений чувствительных элементов от измеряемой величины. Даны расчет газового и конструкционного демпфирования, теория и расчет измерительных цепей приборов прямого и компенсационного преобразований, а также основные погрешности измерений, примеры вычислений.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности "Приборостроение" направления подготовки "Приборостроение", а также может быть полезно аспирантам и инженерно-техническим работникам.

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

В.Г. Кучеров, *канд. техн. наук,* **Е.В. Шалыгина**
(Волгоградский государственный технический университет)

Обеспечение стабильности работы демпфирующих устройств рабочих органов промышленных роботов

Проанализирована работа демпфирующего устройства промышленных роботов, выявлено влияние температуры жидкости на длину λ тормозного пути и разработано устройство стабилизации пути λ, работоспособность которого подтверждена экспериментально.

The operation of the damping device industrial robots is analysed, influence of temperature of a liquid on length of a brake way λ is revealed and the device of stabilization of a way λ which serviceability is confirmed experimentally is developed.

Ключевые слова: промышленные роботы, демпфирующее устройство, стабилизация тормозного пути.

Key words: industrial robot, damping device, stabilization of a brake way.

Для повышения точности позиционирования рабочих органов промышленных роботов (ПР) применяют демпфирующие устройства (ДУ) различной конструкции. Нами предложено ДУ (рис. 1), обеспечивающее фиксацию подвижных элементов в заданном положении без удара в конце движения.

Подвижный элемент (ПЭ) состоит из штока *1* и поршня *2*.

В случае, если сила *F* действует кратковременно, то после прекращения ее действия ПЭ получит некоторую скорость $v_н$, после чего он будет перемещаться по инерции.

Согласно работам А.А. Толочкова, величина λ перемещения по инерции может быть найдена при постоянной силе сопротивления из соотношения

$$Mv_н^2/2 = R\lambda, \quad (1)$$

где M – масса подвижного элемента;

λ – тормозной путь перемещения ПЭ по инерции.

Постоянная сила R будет равна (рис. 2)

$$R = \Phi + \Pi + R_f, \quad (2)$$

где Ф – сила гидравлического сопротивления движению элемента *1*;

П – сила действия возвратной пружины;

R_f – суммарная сила трения.

Как известно, подобную задачу о движении ПЭ целесообразно решать, задаваясь длиной λ пути. Тогда из выражения (1) получим

$$R = \frac{Mv_н^2}{2\lambda}, \quad (3)$$

что дает возможность определить текущую скорость v_x подвижного элемента в каждой точке его движения по инерции:

$$v_x = \sqrt{v_н^2 - \frac{2R}{M}x}. \quad (4)$$

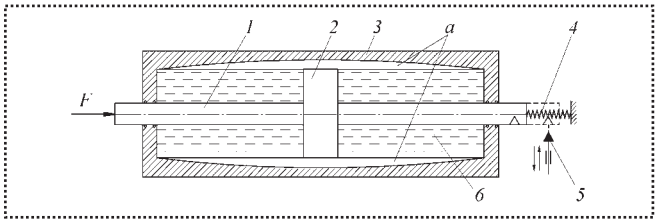


Рис. 1. Демпфирующее устройство:
1 – шток подвижного элемента; *2* – поршень подвижного элемента; *3* – направляющий цилиндр; *4* – возвратная пружина; *5* – фиксатор; *6* – рабочая жидкость; *7* – канавки переменной глубины; *F* – сила, толкающая элемент; *a* – суммарная площадь поверхностей канавок

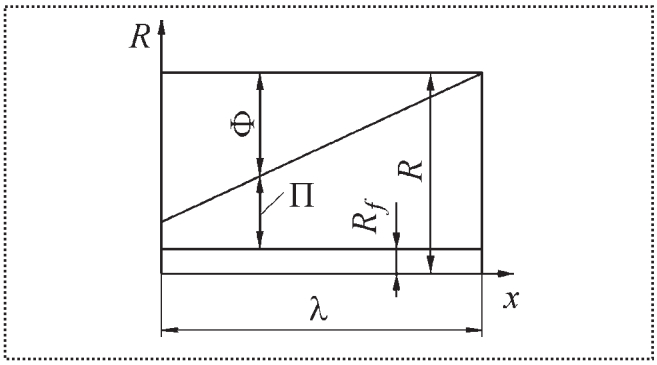


Рис. 2. Силы, действующие на подвижный элемент ДУ

Задавшись силами П и R_f, можно вычислить силу гидравлического сопротивления согласно выражению

$$\Phi = R - R_f - \text{П}. \quad (5)$$

С другой стороны, сила Ф гидравлического сопротивления в общем случае может быть представлена в виде

$$\Phi = \frac{k\rho}{2}\frac{A^3}{a^2}\text{v}_x^2, \quad (6)$$

где k – коэффициент сопротивления, учитывающий местные потери в потоке и сужение струи;

ρ – плотность рабочей жидкости;

A – рабочая площадь поршня;

a – суммарная площадь поверхностей канавок.

Таким образом, используя выражение (6), можно в каждой точке движения определить суммарную площадь a поверхностей канавок в цилиндре для обеспечения заданной величины λ тормозного пути ПЭ до его остановки.

Однако при интенсивной работе ПР рабочая жидкость в нем будет нагреваться, что приведет к изменению ее свойств и, соответственно, величины λ. Для стабилизации λ нами предложено устройство [1] изменения турбулентности потока жидкости и, следовательно, изменения силы Ф гидравлического сопротивления.

Для этого на поршне ПЭ закреплены термобиметаллические (ТБМ) пластины, входящие в канавки, которые при нагреве жидкости изгибаются и выходят за границы пограничного слоя в потоке жидкости. Подбирая размеры и число этих пластин, можно компенсировать увеличение текучести жидкости при нагреве за счет изменения структуры потока, обеспечивая тем самым практическое постоянство величины λ тормозного пути, вне зависимости от температуры жидкости.

Для проверки работоспособности такой схемы была создана экспериментальная установка (рис. 3). Эксперимент проводился на том основании, что с уменьшением силы гидравлического сопротивления время истечения тоже уменьшится в соответствии с законом сохранения импульса:

$$\Phi t = m\text{v},$$

где m – масса жидкости;

v – скорость жидкости;

t – время истечения жидкости.

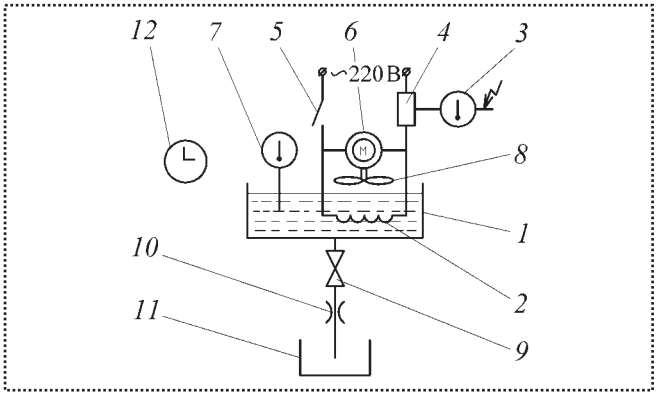


Рис. 3. Экспериментальная установка:
1 – емкость; *2* – нагревательный элемент; *3* – электроконтактный термометр; *4* – термореле; *5* – выключатель; *6* – электродвигатель смесителя; *7* – контрольный термометр; *8* – смеситель; *9* – кран; *10* – насадок; *11* – мерный резервуар; *12* – секундомер

Поэтому можно исследовать время истечения через насадок и, таким образом, косвенно измерить изменение гидравлического сопротивления.

Установка содержит емкость *1*, наполняемую исследуемой рабочей жидкостью. Для поддержания заданной температуры проведения эксперимента в емкости *1* установлен нагревательный элемент *2*, входящий в электрическую цепь, состоящую из электроконтактного термометра *3*, термореле *4*, выключателя *5* и электродвигателя смесителя *6*. Для измерения температуры используют контрольный термометр *7*. Чтобы обеспечить равномерность распределения температуры по всему объему испытуемой жидкости, применяют смеситель *8*. Также экспериментальная установка содержит кран *9*, насадок *10* с винтами, мерный резервуар *11* и секундомер *12*.

Методика проведенных испытаний заключается в следующем.

В емкость *1* заливают рабочую жидкость. С помощью электроконтактного термометра *3* устанавливают температуру, при которой будут проводить замеры. После замыкания электроцепи и в результате срабатывания термореле *4* питание подается к нагревательному элементу *2* и электродвигателю смесителя *6*, приводящего в движение смеситель *8* для перемешивания рабочей жидкости. Причем данная схема поддерживает заданную температуру жидкости.

После нагрева и открытия крана *9* жидкость поступает в емкость *1* через насадок *10* с винтами в мерный резервуар *11*. Измеряемый объем (5 л)

Зависимость времени *t* истечения рабочей жидкости через насадок от величины *h* вылета модели ТБМ-пластин и от ее температуры

Прогиб ТБМ-пластин *h*, мм	Температура жидкости, °С						
	20	30	40	50	60	70	80
	Среднее время истечения жидкости *t*, с						
0	73,84	72,89	73,16	74,20	72,20	74,09	74,34
0,8	75,08	74,16	73,44	74,87	73,97	74,87	74,93
1,6	95,29	92,19	90,96	91,28	91,02	91,13	89,91
2,4	102,21	102,36	100,25	100,49	100,2	99,30	100,29
3,2	105,83	103,88	101,80	101,38	100,25	100,95	102,42

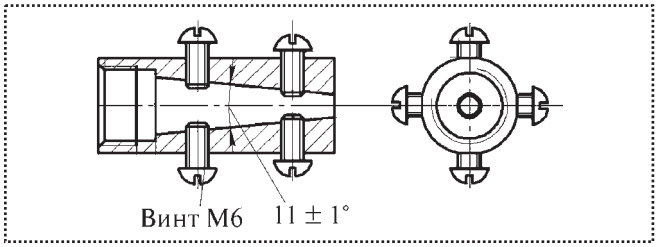


Рис. 4. Насадок с винтами

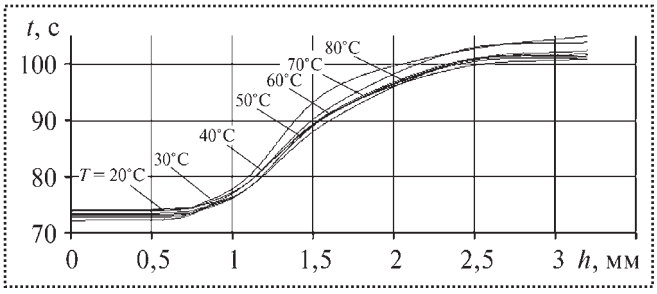


Рис. 5. Зависимость времени *t* истечения рабочей жидкости через насадок от величины *h* вылета модели ТБМ-пластин

жидкости постоянен в течение всего опыта. Секундомером *12* определяют время истечения жидкости в заданном объеме.

В экспериментальной установке винты, установленные в насадок (рис. 4) на разную величину вылета, имитируют прогиб ТБМ-пластин в реальном устройстве.

Исследования проводились в диапазоне изменения температуры жидкости $T \in [20...80\ °C]$.

В результате проведения эксперимента получена серия замеров времени истечения при разных температурах рабочей жидкости и при разных вылетах винтов в насадке, что соответствует прогибам ТБМ-пластин (см. таблицу) в реальном предложенном нами демпфирующем устройстве [1].

На рис. 5 представлены экспериментальные зависимости среднего времени *t* истечения рабочей жидкости от величины *h* вылета ТБМ-пластин (в эксперименте – винтов).

Из рисунка видно, что при $h \in [0...0,8$ мм] время *t* истечения жидкости практически не меняется, так как ТБМ-пластина не выходит за пределы пограничного слоя, а следовательно, не создает дополнительного сопротивления на пути движения жидкости.

Далее, при значениях $h > 0,8$ мм время *t* резко возрастает, т.е. прогиб пластины становится больше толщины пограничного слоя, что приводит к увеличению сопротивления движению жидкости.

Вывод

Экспериментально доказана возможность автоматической стабилизации величины λ тормозного пути демпфирующего устройства рабочего органа промышленного робота за счет введения в его конструкцию термобиметаллических пластин.

Библиографический список

1. **Пат. РФ** № 61403, МКИ F41 A 25/02. Гидравлический тормоз отката веретенного типа / В.Г. Кучеров, Е.В. Шалыгина. Опубл. БИ № 6 27.02.2007.

УДК 621.658.011.56

В.Ф. Безъязычный, *д-р техн. наук,* **В.А. Козлов, А.В. Пудов**
(Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П.А. Соловьева)

Обеспечение качества поверхностного слоя и точности деталей при токарной обработке на станках с ЧПУ путем научно обоснованного динамического изменения режимов резания*

Рассмотрены вопросы повышения качества деталей при обработке на токарных станках с ЧПУ путем использования методики научно обоснованного динамического изменения режимов резания на стадии технологической подготовки производства (ТПП), которая позволяет значительно повысить точность токарной обработки при обеспечении постоянства качества поверхностного слоя по всей длине обрабатываемого участка.

Questions of details upgrade have been considered when in use turning on NC machine tools by use science-based method of dynamic change of cutting conditions on process engineering, it allows to improve considerably the turning accuracy by qualiry permanency securing of surface coating on all length of work part.

Ключевые слова: качество, точность, режимы резания, поверхностный слой, точение, станки с ЧПУ, погрешность обработки.

Key words: quality, accuracy, cutting parameters, surface coating, turning, NC machine tools, processing error.

Развитие и укрепление позиций государства на мировой арене зависит не только от наличия тех или иных ресурсов, а главным образом от того, насколько высок уровень развития производства, который необходимо и возможно поддерживать только с помощью развития научного потенциала страны в целом. Необходимы исследования в различных областях промышленности, осознанный научный подход к конкретному производству, формирование мировоззрения и ориентации руководителей предприятий на осознанный выбор поддержки научных исследований и внедрение их в производство. Если говорить о машиностроении, то здесь на первое место выходят вопросы выпуска качественных и конкурентно-способных изделий.

Необходимо на этапе изготовления продукции обеспечивать заданные эксплуатационные свойства деталей машин. Решение данной задачи может быть только комплексным и учитывать все стадии жизненного цикла создания изделий: от научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок до обеспечения надежной эксплуатации техники. В связи с этим существует необходимость в разработке новых подходов к поиску эффективных способов механической обработки деталей машин и проектирования технологических процессов их изготовления.

Постоянно возрастающая номенклатура выпускаемых изделий с одновременным усложнением их конструкции и технологии изготовления вызывают необходимость использования для механообработки этих изделий машино-обрабатывающих центров (МОЦ) и станков с ЧПУ, так как в условиях серийного и мелкосерийного машиностроительного производства именно эти станки позволяют быстро перейти на выпуск новой продукции или ее модернизацию при одновременном повышении производительности труда и снижении себестоимости производственного процесса (требуется меньшее количество приспособлений и оснастки).

В отечественном машиностроении наиболее распространенным видом механообработки изготовляемых деталей является процесс точения. Учитывая вышеизложенные обстоятельства и тенденции, можно констатировать, что проблема *научно обоснованного выбора наиболее рациональных технологических условий осуществления токарной обработки деталей машин и механизмов на станках с ЧПУ, обеспечивающих повышение точности и качества этих деталей* при одновременном повышении технико-экономических показателей производства является важной и актуальной. Она представляет

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

не только научный, но и значительный практический интерес, который неслучаен: судя по результатам теоретико-экспериментальных исследований, проведенных в последние годы, здесь заложен мощный, но недостаточно используемый резерв дальнейшего повышения рентабельности машиностроительного производства.

Как известно, **точность** механообработки отдельных деталей машин и механизмов оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства изготовляемой продукции, на надежность, долговечность, ремонтопригодность и в итоге на конкурентоспособность этой продукции, как на внутреннем, так и на внешнем рынке.

При осуществлении токарной обработки материалов на технологическую систему станок–приспособление–инструмент–заготовка (СПИЗ) действуют различные температурно-силовые факторы, приводящие к упругим отжатиям элементов указанной системы, к температурным деформациям инструмента и обрабатываемой заготовки, к размерному износу используемых инструментов и т.д. В результате этого изменяется **точность** изготовляемой детали, под которой понимают степень соответствия истинных размеров, формы и взаимного расположения обработанных поверхностей детали заданным требованиям чертежа.

Повысить точность токарной обработки деталей машин и механизмов можно, используя различные адаптивные системы управления технологическим процессом. В настоящее время создано большое количество этих систем, отличающихся принципом своего действия.

Так, в частности, на ряде отечественных машиностроительных предприятий хорошо себя зарекомендовали и находят применение адаптивные системы управления, которые обеспечивают повышение точности процесса точения материалов путем изменения подачи режущего инструмента вдоль обрабатываемой поверхности заготовки на основе анализа электрических сигналов датчиков, регистрирующих изменение составляющих сил резания, температуры в зоне стружкообразования и других выходных характеристик [1–4].

Несмотря на имеющиеся *достоинства* систем адаптивного управления технологическим процессом механообработки, у этих систем есть ряд *недостатков*, существенно ограничивающих возможность их широкого практического использования в сфере машиностроительного производства. Основной недостаток заключается в высокой стоимости данных систем, сопоставляемой со стоимостью металлорежущего оборудования, на котором устанавливают указанные системы.

Другими *недостатками* адаптивных систем управления являются сложность их технического обслуживания, а также длительный процесс отладки и настройки, приводящий к увеличению времени технологической подготовки производства новой и модернизируемой продукции.

Как уже отмечалось, для успешного функционирования адаптивных систем управления технологическим процессом механообработки необходима информация о температурно-силовом состоянии в зоне резания, т.е. необходимы динамометры и другая контрольно-измерительная аппаратура для фиксации выходных характеристик процесса резания, установка которой на станке приводит к снижению общей жесткости технологической системы СПИЗ, к увеличению вибраций в этой системе, к возникновению трудноразрешимых проблем с разделением и удалением стружки.

Кроме того, запаздывание в выработке, поступлении, усилении и обработке электрических сигналов с датчиков автоматизированных систем, а также погрешность самих датчиков снижает устойчивость работы адаптивных систем управления и, соответственно, точность изготовляемой продукции.

В связи с этим, наряду с дальнейшим технико-конструкционным совершенствованием существующих адаптивных систем управления технологическими процессами, возникла необходимость (*опираясь на последние достижения в теории резания материалов и технологии машиностроения*) продолжить проведение исследований, направленных на повышение точности лезвийной (и в том числе *токарной*) обработки материалов путем научно обоснованной оптимизации технологических условий осуществления процесса резания.

В настоящее время как в нашей стране, так и за рубежом опубликовано большое количество работ по проблеме аналитического определения точности изготовляемой продукции при осуществлении различных видов механообработки. Среди этих работ следует особо отметить широко известные монографии Б.М. Базрова, Б.С. Балакшина, В.Ф. Безъязычного, А.С. Васильева, К.С. Колева, В.С. Корсакова, А.Д. Макарова, Д.Д. Медведева, А.А. Маталина, Ю.М. Соломенцева, А.Г. Суслова, А.С. Ямникова и др. [3–10].

Благодаря общепризнанным работам указанных авторов значительно расширились существующие физические представления о воздействии различных температурно-силовых и других технологических факторов на точностные показатели изготовляемой продукции и создана реальная база не только для научно обоснованного их прогнозирования на стадии технологической подготовки производства, но и для целенаправленного управления непосредственно в процессе механообработки путем изменения соответствующих технологических условий ее реализации.

Однако несмотря на значительные теоретико-экспериментальные достижения, полученные в области повышения точности механообработки изготовляемой продукции, ряд практических вопросов малоизучен и требует дальнейшего рассмотрения.

Так, в частности, существующие в настоящее время методологии расчетного определения показателей точности лезвийной (в том числе и токарной) обработки материалов базируются на использовании температурно-силовых, стойкостных и других эмпирических зависимостях степенного вида, *установленных экспериментальным путем для конкретных условий обработки* (определенного сочетания обрабатываемых и инструментальных материалов, режимов резания, геометрических параметров инструмента и т.д.).

Эти зависимости, полученные методом проведения однофакторного эксперимента, не учитывают взаимосвязь и взаимовлияние переменных технологических факторов, имеют ограниченную область своего применения, и в силу данных недостатков не обеспечивают достаточной достоверности проводимых расчетов.

Кроме того, вышеуказанные методологии расчетного определения точности лезвийной обработки материалов не учитывают, как правило, динамически нарастающий износ используемого инструмента в процессе резания, приводящий к изменению конфигурации режущей части инструмента и действительной глубины резания, к изменению параметров сечения среза, температурно-силовых, контактных и других выходных характеристик процесса резания.

Данные методологии не учитывают влияние жесткости анализируемой системы СПИЗ на стойкость применяемого инструмента, взаимосвязи эффективности влияния различных СОТС (смазочно-охлаждающих технологических сред) с режимными условиями обработки, с расходом этих СОТС, скоростью их подачи в зону резания.

В силу этих обстоятельств указанные методологии расчетного определения точности лезвийной обработки материалов в определенных анализируемых условиях могут давать результаты, существенно отличающиеся от действительных. Для повышения степени достоверности данных методологий они должны базироваться не на эмпирических (как это часто наблюдается), а на теоретических зависимостях, полученных в ходе математического моделирования физико-механических и теплофизических явлений, сопровождающих процесс резания.

На основе проведенного анализа физико-механических и теплофизических явлений, сопровождающих процесс резания, широкого применения полного факторного планирования математического эксперимента при проведении аппроксимационной обработки результатов теоретических исследований, а также обобщения последних достижений в теории резания материалов и технологии машиностроения авторами *разработаны аналитические выражения для научно-обоснованного определения элементарных погрешностей, возникающих при осуществлении процесса точения.*

Для определения погрешности, предопределяемой недостаточной жесткостью технологической системы СПИЗ, за основу взято известное выражение

$$\Delta_{ж} = P_y \mu_{д} / J_{с}, \qquad (1)$$

где P_y – нормальная (радиальная) составляющая силы резания, Н;

$J_{с}$ – статическая жесткость технологической системы СПИЗ, Н/м;

$\mu_{д}$ – коэффициент динамичности технологической системы СПИЗ.

Для расчетного определения радиальной составляющей P_y силы резания и коэффициента $\mu_{д}$ динамичности технологической системы СПИЗ в анализируемых условиях обработки предложено использовать аналитические выражения критериального вида (2) и (3), разработанные на основе математического моделирования физико-механических и теплофизических явлений, сопровождающих процесс резания:

$$P_y = f(Б, Б_0, E, Д, Г, И, Да, Nu, \mathrm{tg}i_0, \eta, \gamma_{д}, \alpha_{д}), \qquad (2)$$

$$\mu_{д} = f(Б, E, Г, Д, L_{з}, d_{пр}), \qquad (3)$$

где $Б = (v a_1 \cdot 10^3)/a$; $Б_0 = (v_0 a_1 \cdot 10^3)/a$; $E = \rho_1/a_1$; $Д = a_1/b_1$; $Г = \lambda_р/\lambda_д$; $И = h_з/\rho_1$; $Да = d/a_1$ – безразмерные комплексы критериального вида, характеризующие условия осуществления анализируемого процесса резания;

$Nu = \alpha_{СОСТ}(d \cdot 10^{-3})/\lambda_{СОТС}$ – критерий Нуссельта, учитывающий использование в процессе токарной обработки СОТС;

$\alpha_{СОТС}$ – коэффициент теплоотдачи применяемой СОТС, Вт/(м^2·К);

$\lambda_{СОТС}$ – коэффициент теплопроводности применяемой СОТС, Вт/(м·К);

d – диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм;

$d_{пр}$ – приведенный диаметр обрабатываемой заготовки, зависящий от ее конфигурации и размеров (определяется по аналитическим выражениям, разработанным В.С. Корсаковым), мм;

a_1, b_1 – толщина и ширина среза соответственно, мм;

v, v_0 – соответственно произвольная и оптимальная по размерной стойкости инструмента скорости резания, м/с;

η – угол схода стружки, соответствующий анализируемым условиям токарной обработки материала, град;

i_0 – угол между направлением действия силы стружкообразования и условной плоскостью сдвига, град;

$\lambda_р$, $\lambda_д$ – соответственно коэффициенты теплопроводности инструментального и обрабатываемого материалов, Вт(м·К);

a – температуропроводность обрабатываемого материала, м^2/с;

ρ_1 – радиус скругления режущей кромки используемого инструмента, мм;

$h_з$ – износ режущего инструмента по задней поверхности в области его вершины, мм;

$\gamma_д$, $\alpha_д$ – действительные значения соответственно переднего и заднего углов режущего инструмента, определяемые в секущей плоскости, совпадающей по своему пространственному положению с направлением угла схода стружки, град;

$L_з$ – длина обрабатываемой заготовки, мм.

Для определения жесткости $J_с$ технологической системы СПИЗ, входящей в выражение (1), авторами на основе изучения статистических данных ЭНИМС и ГОСТ 18097–93 получено следующее аналитическое выражение:

$$J_с = f(J_{ст}, J_п, J_з, J_и), \quad (4)$$

где $J_{ст}$, $J_п$, $J_з$, $J_и$ – статическая жесткость соответственно станка, приспособления, заготовки и режущего инструмента, Н/м.

Выражение (4), полученное применительно к токарной обработке деталей на станках с ЧПУ, учитывает схему закрепления заготовки (*консольное, в центрах, в патроне и заднем центре*), жесткость металлорежущего станка, приспособлений, обрабатываемой заготовки и режущего инструмента, а также конструктивные особенности указанных станков.

Приведенное выше выражение (1) учитывает физико-механические и теплофизические свойства обрабатываемого материала, диаметр обрабатываемой заготовки, ее конфигурацию и тип закрепления на станке, жесткость применяемого оборудования, динамически нарастающий износ режущего инструмента, наличие СОТС и их свойства, а также зависимость погрешности обработки от положения режущего инструмента вдоль обрабатываемой поверхности заготовки. По указанному выражению можно определить погрешность заготовки, предопределяемую недостаточной жесткостью технологической системы СПИЗ как на *произвольной*, так и на *оптимальной по размерной стойкости режущего инструмента* скоростях резания.

Погрешность $\Delta_и$, предопределяемую износом режущего инструмента, предлагается определять по аналитическому выражению

$$\Delta_и = f(Б, Б_0, E, Д, Г, И, Да, Nu, \mathrm{tg}i_0, \gamma_д, \alpha_д, \tau), \quad (5)$$

где τ – время непрерывной обработки заготовки, мин.

Выражение (5) позволяет определить погрешность от размерного износа режущего инструмента в любой промежуток времени или через определенный отрезок обработанной поверхности на заготовке.

Погрешность $\Delta_т$, предопределяемую температурными деформациями, предлагается определять по аналитическому выражению

$$\Delta_т = f(Б, Б_0, E, Д, Г, И, Да, Nu, \mathrm{tg}i_0, \gamma_д, \alpha_д, \tau_р, d_{пр}, \beta_д, c\rho, K_и), \quad (6)$$

где $\tau_р$ – сопротивление обрабатываемого материала пластическому сдвигу, Н/мм^2;

$\beta_д$ – коэффициент линейного температурного расширения обрабатываемого материала, 1/°С;

$c\rho$ – удельная объемная теплоемкость материала заготовки Дж/(м^3·К);

$K_и$ – коэффициент изменения температуры по длине обрабатываемой заготовки (определяется расчетным путем в зависимости от схемы закрепления заготовки).

Выражение (6) учитывает динамически нарастающий износ режущего инструмента, диаметр заготовки, ее конфигурацию и тип закрепления на станке, наличие СОТС (их свойства, расход и скорость подачи в зону резания), физико-механические и теплофизические свойства обрабатываемого материала, а также изменение температуры нагрева обрабатываемой заготовки по ее длине в зависимости от положения режущего инструмента в процессе резания.

На основе математического описания явлений теплообмена (между заготовкой, режущим инструментом, стружкой и окружающим пространством), сопровождающих процесс лезвийной обработки материалов, разработана методика аналитического определения температурного удлинения $\Delta_{т.р}$ режущего инструмента как в начальный период обработки, так и при установившемся тепловом равновесии:

$$\Delta_{т.р} = f(Б, E, Д, Г, И, Да, Nu, \operatorname{tg} i_0, \gamma_д, \alpha_д, \alpha_{дер}, l_в, Дер, \tau, h_{р.п}, b_{р.п}, l_{р.п}), \quad (7)$$

где $Дер = (H_{дер} + B_{дер})/l_в$ – безразмерный комплекс критериального вида;

$H_{дер}$, $B_{дер}$ – соответственно высота и ширина державки режущего инструмента, мм;

$l_в$ – вылет режущего инструмента из резцедержателя, мм;

$h_{р.п}$, $b_{р.п}$, $l_{р.п}$ – соответственно высота, ширина и длина режущей пластинки, мм;

$\alpha_{дер}$ – коэффициент линейного температурного расширения материала державки режущего инструмента, 1/°С.

Выражение (7) отличается от существующих прототипов тем, что наряду с режимными и технологическими условиями обработки, физико-механическими и теплофизическими свойствами обрабатываемых материалов учитывает длину консольно выступающей части режущего инструмента, геометрические характеристики головки и державки инструмента, а также используемой режущей пластинки, зависимость смазочно-охлаждающей эффективности СОТС (свойства, расход, скорость подачи в зону резания) от технологических условий обработки, а также динамически нарастающий износ режущего инструмента.

Рассмотрен также вопрос расчетного определения погрешностей позиционирования $\Delta_{поз}$ режущего инструмента и смены $\Delta_{с.и}$ режущего инструмента в револьверной головке. Используя статистические данные и нормативы точности позиционирования, графическим методом с использованием логарифмических координат получены следующие выражения:

$$\Delta_{поз} = f(L), \quad (8)$$

$$\Delta_{с.и} = f(D), \quad (9)$$

$$\Delta_п = \Delta_{поз} + \Delta_{с.и}, \quad (10)$$

где L – длина позиционирования режущего инструмента, мм;

D – диаметр револьверной головки, мм.

На основе вышеприведенных расчетных зависимостей для определения элементарных погрешностей обработки (1)–(10) расчетно-аналитическим методом получена математическая модель суммарной Δ_Σ погрешности обработки на токарных станках с ЧПУ, позволяющая определить погрешность, обусловленную процессом резания, в зависимости от режимов резания, геометрических параметров режущего инструмента, физико-механических и теплофизических свойств обрабатываемого и инструментального материалов:

$$\Delta_\Sigma = f(\Delta_ж - \Delta_т - \Delta_{т.р} + \Delta_и + \Delta_п). \quad (11)$$

Уравнение (11), разработанное с использованием методики полного факторного планирования *математического* эксперимента, учитывает взаимосвязь и взаимовлияние переменных технологических условий обработки, наличие СОТС (их свойства, расход и скорость подачи в зону резания), динамически нарастающий износ режущего инструмента, жесткость технологической системы СПИЗ и др.

Отличительной особенностью данного выражения является то, что расчетное определение элементарных погрешностей заготовки проводится

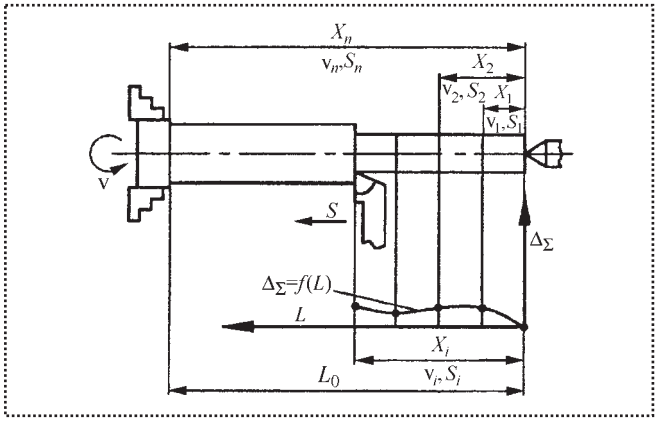


Рис. 1. Схема для определения суммарной погрешности обработки в любом сечении заготовки:
S – подача инструмента

с учетом времени обработки τ_1 и, соответственно, *длины перемещения режущего инструмента вдоль обрабатываемой поверхности* x_i. Это позволяет определить суммарную погрешность обработки Δ_Σ в любом сечении анализируемой заготовки в пределах обрабатываемого участка длиной L_0 (рис. 1).

Основные технико-экономические показатели анализируемого процесса механообработки в значительной степени предопределяются технологическими условиями его осуществления. Поэтому правильный *научно обоснованный выбор указанных условий обработки позволяет создать мощный резерв дальнейшего повышения общей рентабельности промышленного производства без дополнительных трудовых и материальных затрат*.

Используя критериальное уравнение баланса погрешностей при токарной обработке (11), авторами разработаны методология, математическое обеспечение и действующая автоматизированная система "PRECISION", позволяющая целенаправленно обеспечить при осуществлении анализируемого процесса точения заданную размерную точность изготовляемой продукции (в пределах оговоренного допуска с учетом накладываемых технико-технологических ограничений) и минимизировать погрешность формы в продольном сечении заготовки, в процессе ее обработки на токарных станках с ЧПУ за счет научно обоснованного, динамического изменения режимов резания, как на отдельных участках заготовки, так и непрерывно вдоль обрабатываемой поверхности заготовки. Последовательность работы программы "PRECISION" представлена на рис. 2.

Автоматизированная система "PRECISION" учитывает технологические условия процесса точения, определяет такой закон изменения температурно-силового воздействия на заготовку, при котором суммарная погрешность обработки будет минимальной и одинаковой в любом сечении. Затем система путем перебора подач S_i инструмента и соответствующих этим подачам оптимальных по размерной стойкости инструмента скоростей v_{0i} резания находит такие режимные условия токарной обработки в базовых точках заготовки, которые обеспечивают необходимое температурно-силовое воздействие на заготовку исходя из условия повышения точности ее обработки.

Результатом работы автоматизированной системы является формулировка закона изменения подачи режущего инструмента и частоты вращения шпинделя в зависимости от длины перемещения режущего инструмента вдоль обрабатываемой поверхности заготовки.

Определенные при помощи автоматизированной системы "PRECISION" режимные условия токарной обработки можно реализовать на станках с ЧПУ, оснащенных приводами бесступенчатого регулирования частоты вращения шпинделя и скорости продольного перемещения суппорта.

Вывод

Результаты производственных и лабораторных испытаний подтвердили работоспособность и высокую экономическую эффективность практического использования вышеуказанной автоматизированной системы. Данная автоматизированная система позволяет значительно повысить технико-экономическую эффективность и общую рентабельность машиностроительного производства без дополнительных трудовых и материальных затрат, сократить сроки освоения выпуска новой продукции и модернизации существующей, уменьшить расход режущего инструмента и затраты на его эксплуатацию, повысить точность и качество изготовляемой продукции, а также сократить производственный брак наиболее простым, доступным и дешевым в практической реализации способом – путем научно обоснованной оптимизации режимов резания и технологических условий обработки, что позволяет рекомендовать ее для промышленного использования в целях повышения точности токарной обработки деталей без применения дорогостоящих систем адаптивного управления.

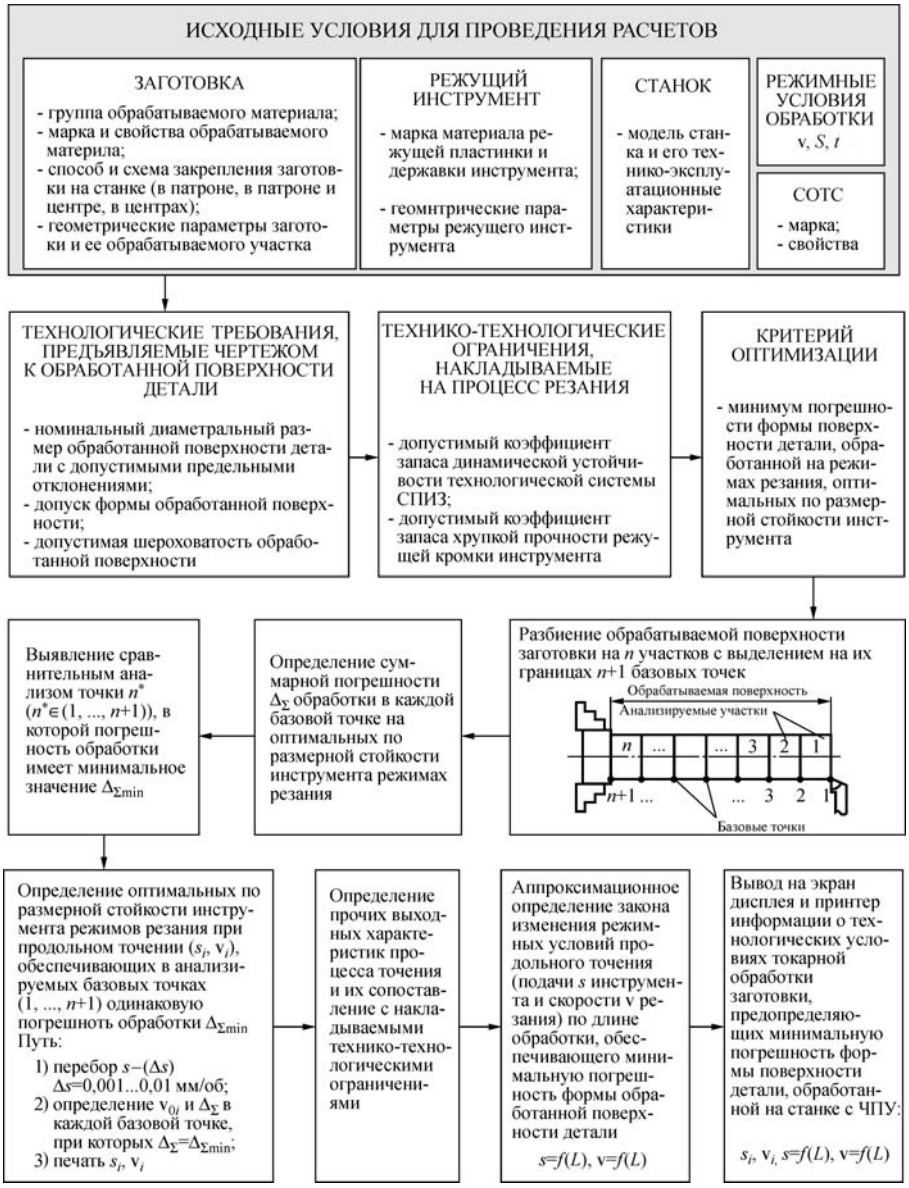


Рис. 2. Последовательность расчета по программе "PRECISION"

Библиографический список

1. **Грачев Л.Н., Гиндин Д.Е.** Автоматизированные участки для точной размерной обработки деталей. М.: Машиностроение, 1981. 240 с.

2. **Соломенцев Ю.М., Митрофанов В.Г., Протопопов С.П.** [и др.] Адаптивное управление технологическими процессами. М.: Машиностроение, 1980. 536 с.

3. **Соломенцев Ю.М., Сосонькин В.Л.** Управление гибкими производственными системами. М.: Машиностроение, 1988.352 с.

4. **Ямников А.С.** Управление точностью при многопроходном резьбонарезании / А.С. Ямников, Е.И. Федин, М.А. Попов // СТИН. 1999. № 110. С. 11–12.

5. **Медведев Д.Д.** Точность обработки в мелкосерийном производстве. М.: Машиностроение, 1973. 119 с.

6. **Маталин А.А.** Технология механической обработки. Л.: Машиностроение, 1977. 462 с.

7. **Макаров А.Д., Волгарев Л.Н.** Влияние диаметра и жесткости заготовки на износ резцов и чистоту обработанной поверхности // Тезисы докладов ВНТК "Жесткость в машиностроении" / БИТМ. Брянск. 1971. С. 226–230.

8. **Колев К.С.** Технология машиностроения. М.: Высшая школа, 1977. 256 с.

9. **Базров Б.М.** Технологические основы проектирования самоподналаживающих станков. М.: Машиностроение, 1978. 216 с.

10. **Безъязычный В.Ф., Чистяков Ю.П.** Расчетное определение технологической погрешности обработки лезвийным инструментом // Расчет режимов на основе общих закономерностей процесса резания: Сб. науч. тр. / ЯПИ. Ярославль, 1982. Вып. 10. С. 51–63.

УДК 621.512

М.Л. Хейфец, *д-р техн. наук (Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк),*
Н.А. Кусакин, В.С. Точило, *д-р техн. наук (Самарский ГТУ)*

Технологическое и эксплуатационное наследование параметров качества при восстановлении деталей двигателей внутреннего сгорания*

Рассмотрены вопросы, связанные с технологическим наследованием свойств материала и поверхностей деталей в процессе изготовления, и с его описанием физико-механическими и геометрическими свойствами.

Process succession problems of material and detail surfaces properties and description problems of physical-mechanical and geometric properties have been consider.

Ключевые слова: технологическое наследование, физико-механические свойства, геометрические свойства.

Key words: process succession, physical-mechanical properties, geometric properties.

Под наследственностью в технологии машиностроения подразумевают явление переноса свойств обрабатываемого объекта от предшествующих операций и переходов к последующим, которое в дальнейшем сказывается на эксплуатационных свойствах деталей машин [1, 2]. Носителями наследственной информации являются обрабатываемый материал и поверхности детали со всем многообразием описывающих их параметров. Носители информации активно участвуют в технологическом процессе и при эксплуатации, проходя через различные операции и переходы и испытывая воздействия технологических и эксплуатационных факторов [3, 4].

В технологической цепочке и на стадии эксплуатации существуют своего рода "барьеры". Некоторые технологические факторы преодолеть эти "барьеры" не могут и в таком случае их влияние на конечные свойства объекта отсутствуют. Другие факторы такие "барьеры" проходят, но при этом значительно теряют свою исходную силу и влияют на конечные свойства очень слабо [1, 3]. Самым существенным "барьером" являются термические операции, а также операции, сопровождающиеся поверхностным деформированием и упрочнением, так как они изменяют микроструктуру обрабатываемого материала, микрогеометрию формируемой поверхности, приводят к короблению детали и искажению ее формы. В ходе этих операций различные пороки поверхности, такие как структурная неоднородность, поры, микротрещины, могут развиваться или "залечиваться". Следовательно, процессом технологического и эксплуатационного наследования можно управлять, с тем чтобы свойства, положительно влияющие на качество детали, сохранить в течение всего технологического процесса и при эксплуатации, а свойства, влияющие отрицательно, – ликвидировать вначале [2, 4].

Технологический процесс изготовления и эксплуатации деталей может быть представлен в виде графа, выделяющего заготовительные, черновые операции, чистовые и отделочные операции, а также стадии эксплуатации [2]. Граф, как правило, является ориентированным, а параметры качества взаимосвязаны между собой (рис. 1).

Начальная вершина графа при описании технологического процесса представляет собой заготовку (З). Конечная вершина – готовая деталь (Д) в эксплуатации. Ориентированные ребра графа показывают передачу эксплуатационных свойств детали при обработке. Передача ребра описывается коэффициентом наследования K, показывающим количественное изменение свойства и равным отношению предыдущих S_j и последующих S_{j+1} значений свойства [4]:

$$K = S_j / S_{j+1}.$$

Помимо прямой передачи свойств (см. рис. 1) при технологическом и эксплуатационном наследовании целесообразно оценивать их взаимовлияние (рис. 2). Общую структуру процессов можно представить как сложную многомерную систему в

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

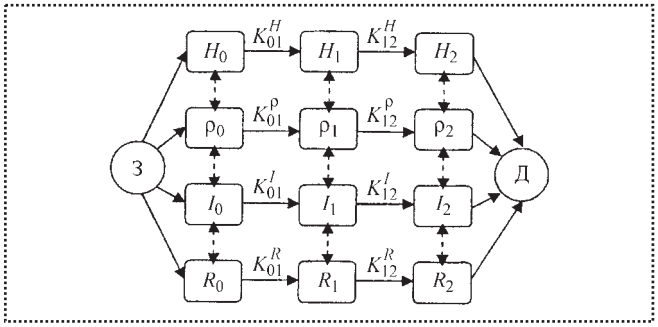


Рис. 1. Развернутый граф технологического и эксплуатационного наследования, учитывающий комплекс эксплуатационных параметров качества

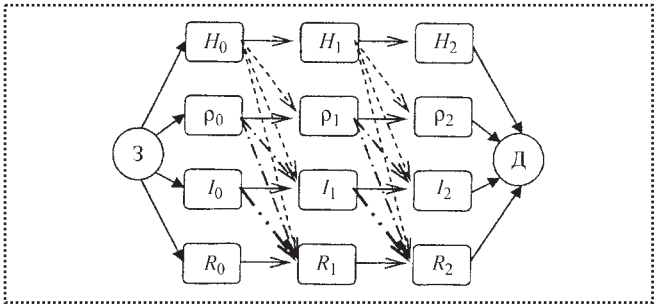


Рис. 2. Граф технологического и эксплуатационного наследования, отражающий взаимовлияние физико-механических и геометрических параметров качества

виде последовательности изменения основных параметров качества детали [2]. На вход технологической системы обработки поступают различные характеристики $\{S_{10}, S_{20}, ..., S_{m0}\}$ заготовки, где m – количество свойств, а на ее выходе обеспечивается соответствующий набор тех же характеристик $\{S_{1p}, S_{2p}, ..., S_{mp}\}$ для готовой детали, где p – номер перехода ($p = 0...p$), 0 – заготовка. Эти изменения определяются действием совокупности технологических факторов $\{t_{l1}, t_{l2}, ..., t_{ln}\}$ для каждой операции φ_l технологического процесса [3], где l – номер операции; n – количество факторов операции технологического процесса.

Так для свойства S после окончательной обработки [2]:

$$S_p = a_p S_{p-1}^{b_p}.$$

Количественные связи наследственности, зависящие от выбора метода обработки, определяются коэффициентами b наследственности, а основные условия обработки внутри этого метода – коэффициентами a наследственности. Выполнив преобразования с уравнениями для предшествующих операций φ_{p-1}, φ_{p-2}, ..., φ_1, получают общую математическую модель изменения параметра качества для всего процесса:

$$S_p = a_p a_{p-1}^{b_p} a_{p2}^{(b_p b_{p-1})} ... a_l^{(b_p b_{p-1} ... b_2)} S_0^{(b_p b_{p-1} ... b_l)}.$$

Коэффициент наследственности a_l описывает влияние технологических факторов t_{l1}, t_{l2}, ..., t_{ln} на рассматриваемый параметр качества S_j для операции φ_l и может быть представлен [3]:

$$a_l = k_{l0} t_{l1}^{k_{l1}} t_{l2}^{k_{l2}} ... t_{ln}^{k_{ln}},$$

где k_{l0}, k_{l2}, ..., k_{ln} – эмпирические коэффициенты влияния технологических факторов.

Анализ зависимостей показывает, что весь процесс может быть выражен в виде суммы действия окончательной операции и некоторой доли влияния предшествующих операций на исходное состояние заготовки со свойствами S_0, которые определяются коэффициентами наследственности b_1, b_2, ..., b_p. Если на какой-либо операции φ_l коэффициент технологической наследственности $b_1 = 0$, то это означает отсутствие влияния исходного качества состояния заготовки на окончательное состояние после данной операции, что может служить интерпретацией действия операции φ_l как непреодолимого "технологического барьера" [2, 4].

Для описания технологического наследования эксплуатационных свойств коленчатого вала и распределительного вала двигателя внутреннего сгорания рассматривалась совокупность физико-механических и геометрических свойств: твердости (H), отклонений формы (ρ), точности размеров (I) и рельефа поверхности (R). Для этого *в качестве определяющего свойства рабочих поверхностей* деталей принималась физико-механическая характеристика – твердость по Бринеллю (НВ) или по Роквеллу (HRC), так как твердость является одним из наиболее распространенных и общедоступных интегральных критериев оценки свойств материалов, позволяющим судить о прочностных и триботехнических характеристиках материала [5]. *В качестве зависимых от твердости параметров* последовательно рассматривались отклонения формы поверхностей (биение ρ), точность размеров (квалитет IT) и шероховатость поверхности (среднеарифметическое отклонение профиля Ra).

Эксплуатационные параметры качества рабочих поверхностей детали (HB/HRC, ρ, IT и *Ra*) измерялись после технологических операций механической обработки: точения, шлифования, полирования и после приработки деталей в двигателе.

Измерения твердости HB/HRC, отклонений формы ρ, точности размеров IT и рельефа поверхности *Ra* проводились на партии из пятидесяти деталей. При этом партия разбивалась на десять групп, а в качестве расчетного значения принималось среднеарифметическое в группе. На основании расчетных результатов определялись коэффициенты передачи наследования K^{H}, K^{ρ}, K^{I}, K^{R} для графа (см. рис. 1) и коэффициенты взаимовлияния технологического наследования $K^{H\rho}$, K^{HI}, K^{HR}, $K^{\rho I}$, $K^{\rho R}$, K^{IR} для графа (см. рис. 2).

Для оценки наследования по технологическому маршруту рассчитывались результирующие коэффициенты $K_{р}$, равные произведению соответствующих коэффициентов для эксплуатационных параметров качества по всей последовательности операций. Для определения степени влияния наследования на различных технологических операциях рассчитывались коэффициенты сравнения $K_{с}$, равные отношению коэффициентов взаимовлияния на предшествующих и последующих операциях.

Вывод

Анализ технологического и эксплуатационного наследования при восстановлении рабочих поверхностей коленчатого вала и распределительного вала двигателя внутреннего сгорания позволил пересмотреть последовательность технологических переходов (устранить операцию правки), регламентировать технологические воздействия (на операциях металлизации, наплавки, закалки, шлифования) и обеспечить качество восстановления (стабильная твердость и точность) рабочих поверхностей.

Библиографический список

1. **Технологические** основы высокоэффективных методов обработки деталей / П.И. Ящерицын, М.Л. Хейфец, Б.П. Чемисов и др. Новополоцк: ПГУ, 1996. 136 с.

2. **Технологические** основы управления качеством машин / А.С. Васильев, А.М. Дальский, С.А. Клименко и др. М.: Машиностроение, 2003. 256 с.

3. **Ящерицын П.И., Рыжов Э.В., Аверченков В.И.** Технологическая наследственность в машиностроении. Мн.: Наука и техника, 1977. 256 с.

4. **Дальский А.М.** Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. М.: Машиностроение, 1975. 223 с.

5. **Хейфец М.Л.** Проектирование процессов комбинированной обработки. М.: Машиностроение, 2005. 272 с.

УДК 621.002.56

А.А. Анферов; М.А. Шардакова
(ОАО НПО "Искра", г. Пермь)

Получение информации о превышениях допустимых значений режимов работы гидромашин

Рассмотрены конструкции индикаторов, свидетельствующих о фактах нарушения потребителем режимов эксплуатации гидравлических машин, в частности при нагружении их давлением, значение которого превышает установленный изготовителем уровень.

There were analyzed indicators' designs revealing the facts of consumer's violation during hydraulic machines operation, in particular, when loading pressure which excessed the admissible level specified by a manufacturer.

Ключевые слова: гидромашина, режим эксплуатации, давление.

Key words: hydraulic machine, operation, pressure.

Для исключения спорных вопросов о причинах износа узлов машин и механизмов в их конструкцию зачастую вводят элементы – "свидетели", осмотр которых дает информацию о несоблюдении установленных изготовителем режимов эксплуатации.

Известны индикаторы качества транспортировки грузов "Шоквотч Лейбл", которые предназначе-

ны для определения факта удара либо падения контейнера (упаковки) с грузом во время транспортировки продукции. Сработавший "Шоквотч Лейбл" уже нельзя вернуть в прежнее положение [1].

Для фиксации максимального давления в быстропротекающих процессах, например при выстреле из ствола орудия, используют крешерные столбики (ГОСТ 3779–55) в составе крешерных приборов.

Крешерный прибор является одним из самых первых датчиков, получивших широкое распространение в практике измерений и, как это не удивительно, применяемых до сих пор.

Известны чувствительные элементы, срабатывающие от избыточного давления резко, рывком со звуковым щелчком при достижении определенного критического давления за счет потери устойчивости. Это так называемые хлопающие мембраны (сферические, конические) [2].

Недостаток хлопающих мембран в том, что после снятия критического давления они возвращаются в исходное положение.

Ниже рассмотрена проблема контроля выполнения потребителем технических требований, предъявляемых к гидравлическим машинам (насосам, двигателям, компрессорам) в процессе эксплуатации.

Рассмотрено решение вопроса получения информации о превышениях допустимых значений давлений в конструкциях для перекачки сред, которые могут быть реализованы в агрегатах, работающих или при высоком давлении, или создающих среду высокого давления.

Необходимо отметить, что уже известны индикаторы давления деформационного типа, в которых превышение номинального давления регистрируется контрольной стрелкой. Индикатор давления содержит пружинный чувствительный элемент. Его деформация находится в зависимости от измеряемого давления, которое подводится через штуцер на корпусе. Индикатор давления устанавливают и обеспечивают: контрольная стрелка не доступна для оператора [3].

Недостатком этого индикатора давления является сложность конструкции.

Упрощение конструкции достигают тем, что в индикаторе давления, содержащем корпус со штуцером с каналом подвода давления, пружинный чувствительный элемент, воспринимающий нагрузку от давления, выполнен в виде тарельчатой пружины (пружина инженера Бельвилля) – ГОСТ 3057–90, помещенной внутри корпуса между поршнем и упором, например, разрезным кольцом. При этом поршень установлен со стороны подвода давления.

Кроме того, в индикаторе давления с поршнем, установленным с открытой стороны корпуса, поршень от осевого смещения может быть снабжен разрезным кольцом и опломбирован.

Потребитель насоса не всегда предоставляет объективную информацию по давлению в случае преждевременного выхода насоса из строя, а изготовителю сложно проконтролировать соблюдение технических требований. В подобном случае при наличии "свидетеля" с тарельчатой пружиной изготовитель насоса будет иметь объективную информацию.

Как это осуществить, покажем на примерах.

Известен одновинтовой насос героторного типа, содержащий статор с ротором, в котором выполнен осевой канал для подвода перекачиваемой среды. Манометр установлен в магистрали расхода для контроля выполнения требования изготовителя насоса о недопустимости превышения давления (А.с. № 521399 от 06.07.73 г., МКИ F04C 5/00).

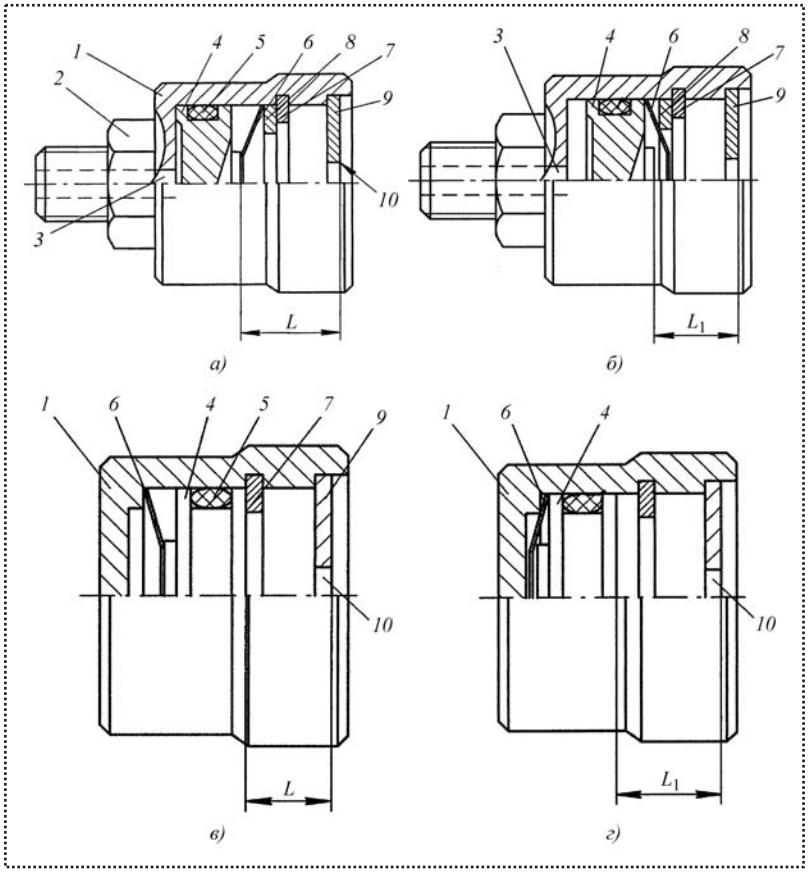
Получение изготовителем достоверной информации о фактах нарушения технических требований потребителем достигается тем, что в этом насосе в торце ротора выполнена расточка, в которую установлены внешний и внутренний поршни с тарельчатыми пружинами. Внутри расточки закреплен упор, на выходе расточки на торец ротора установлено кольцо, поршни тарельчатыми пружинами обращены к упору, при этом канал подвода давления соединяет расточку с полостью всасывающего патрубка.

В гидромашине, содержащей на корпусе высокого давления гнездо с расточкой, в расточку может быть установлен поршень с уплотнением и тарельчатой пружиной, которая опирается на разрезное кольцо.

В одновинтовом насосе, содержащем ротор со статором и патрубок напорный, в торце ротора может быть выполнена расточка, в которую помещена тарельчатая пружина. При этом поршень с уплотнением закрыт, например, разрезным кольцом.

Контроль осуществляют осмотром пружин, установкой факта изменения первоначального положения пружин.

Использование указанных технических решений позволяет изготовителю получать достоверную информацию о фактах нарушения технических требований по режимам работы гидромашины и



Индикатор давления:
а, б – для напорного патрубка; *в, г* – для полости; *а, в* – исходное положение; *б, г* – после срабатывания чувствительного элемента; *1* – корпус; *2* – штуцер; *3* – осевой канал; *4* – поршень; *5* – уплотнение; *6* – тарельчатая пружина; *7* – упор; *8* – шайба; *9* – крышка; *10* – отверстие в крышке; *L* – контролируемый размер при исходном положении поршня; L_1 – контролируемый размер в случае срабатывания чувствительного элемента

одновинтового насоса независимо от обстоятельств и оснащенности агрегатов с гидромашинами и насосами измерительными и предохранительными средствами.

В одновинтовом насосе (патент РФ № 2256097), содержащем ротор со статором, всасывающий и напорный патрубки в торце ротора, выполнена расточка, в которую установлены внешний и внутренний поршни с тарельчатыми пружинами и упор, закрепленный внутри расточки. На выходе расточки на торец ротора может быть установлено кольцо, предохраняющее поршень от обратного несанкционированного перемещения. При этом поршни тарельчатыми пружинами обращены к упору, а расточка соединена каналом подвода давления с полостью всасывающего патрубка насоса.

Использование указанного технического решения позволяет изготовителю получать достоверную информацию о критических режимах работы насоса в прямом и реверсивном направлениях подачи перекачиваемой среды независимо от приборов контроля в напорных и подводящих магистралях.

Рассмотренные индикаторы превышения допустимого давления на основе использования свойства тарельчатых пружин необратимо менять свою конфигурацию позволяют получать информацию, но являются встроенными элементами и получение информации требует частичной разработки рабочего узла.

Авторами разработаны автономные устройства, которые устанавливают на напорных патрубках (рисунок *а, б*) или помещают в их полость (см. рисунок *в, г*).

В индикаторе давления (см. рисунок *а, б*), содержащем корпус со штуцером, в котором выполнен канал подвода давления к пружинному чувствительному элементу, пружинный элемент выполнен в виде тарельчатой пружины, помещенной внутри корпуса между поршнем и упором, например разрезным кольцом. При этом поршень установлен со стороны канала подвода давления.

В индикаторе давления (см. рисунок *в, г*) с пружинным элементом в виде тарельчатой пружины, помещенной внутри корпуса, контактирующей с поршнем, поршень может быть установлен с открытой стороны корпуса.

Корпус *1* индикатора давления выполнен со штуцером *2*, с осевым каналом *3* подвода давления.

Внутри корпуса *1* со стороны канала *3* помещен поршень *4* с уплотнением *5*, тарельчатая пружина *6*, упор *7*, например, в виде разрезного кольца. Для равномерного касания тарельчатой пружины *6*, между ней и упором *7* установлена шайба *8*, внутренняя поверхность индикатора давления может быть защищена крышкой *9* с отверстием по центру *10*.

Корпус *1* индикатора давления для полости может содержать тарельчатую пружину *6*, на которую опирается поршень *4* с уплотнением *5*. Поршень *4* ограничен упором *7* в виде разрезного кольца, внутренняя полость индикатора давления защищена крышкой *9* с отверстием *10*.

Индикатор давления для напорного патрубка работает следующим образом. При поступлении рабочей среды под давлением по каналу *3*, проходящему через штуцер *2*, внутрь корпуса *1* на поршень *4* действует сила, пропорциональная величине давления, которая сжимает тарельчатую пружину *6*, продольному перемещению которой препятствует упор *7*. При снятии давления поршень *4* благодаря упругости тарельчатой пружины *6* возвращается в исходное положение, которое характеризуется размером L и может быть замерено через отверстие *10*.

При поступлении внутрь корпуса *1* давления, превышающего номинальное, тарельчатая пружина *6* под действием поршня *4* прогибается до плоского состояния, а затем изгибается в обратную сторону, теряя возможность вернуться в начальное состояние. Поршень *4* после изгиба тарельчатой пружины *6* занимает новое положение, характеризующееся размером L_1, величина которого меньше первоначального примерно на две высоты пружины *6*.

Индикатор давления для полости работает следующим образом. При поступлении давления со стороны открытого торца корпуса *1* пропорциональная величине давления сила от поршня *4* передается на пружину *6*, которая упруго прогибается, но при снятии давления возвращает поршень в исходное положение (размер L). В случае превышения номинального давления пружина *6* под действием поршня *4*, прогибаясь, проходит плоское состояние, теряет устойчивость и выгибается в обратную сторону, не оказывая поршню противодействия. Поршень занимает новое положение (см. рисунок, *г*), характеризующееся размером L_1, величина которого больше L на две высоты тарельчатой пружины.

Тарельчатые пружины, используемые в перечисленных технических решениях, выполняют с размерами и в исполнениях по ГОСТ 3057–90, где приведены их размеры, указаны силы, при которых пружины принимают плоское состояние, после чего выгибаются в противоположную сторону.

Расчет нагружения тарельчатых пружин приведен, в частности, в [4].

Для применения в конструкциях, в том числе насосов, работающих со средами под давлением 0,6 МПа, подходят пружины № 032, 033, 034, 035, размеры которых указаны ниже в таблице.

Технические характеристики пружин

Параметры	Номер пружины			
	032	033	034	035
Наружный диаметр $D_н$, мм	10	14	20	22,4
Внутренний диаметр $D_в$, мм	4,75	5,6	10	9
Толщина материала l_0, мм	0,85	1,04	1,35	1,45
F, Н	≈710			

На давление, превышающее допустимое для насоса (0,6 МПа) в 1,5 раза, индикатор должен быть укомплектован поршнем, наружный диаметр которого равен 32 мм.

Для индикатора под давление p_{max} с выбранным диаметром поршня D подбирается пружина по F (ГОСТ 3057–90) или по F и заданному p_{max} определяется D поршня.

Предлагаемые технические решения позволяют:

- упростить конструкцию индикатора давления;
- исключить возможность вмешательства оператора в его показания;
- устанавливать их в труднодоступных местах;
- выполнять роль "свидетеля".

Вывод

Существует возможность варьирования настройки индикатора на разные давления срабатывания за счет изменения диаметра поршня и пружинного элемента (тарельчатой пружины), что расширяет диапазон регистрации.

Библиографический список

1. **Техника** машиностроения. 2003. № 2. С. 131–132.

2. **Заплетохин В.А.** Конструирование деталей механических устройств: справочник. Л.: Машиностроение, 1990.

3. **Кирилина Р.С. и др.** Манометры, вакуумметры, мановакуумметры. М.: Издательство стандартов, 1993.

4. **Справочник** металиста под ред. С.А. Чернавского. Т. 2. М.: Машгиз, 1958.

УДК 621.385.002

В.А. Васин, *канд. техн. наук,* **Е.Н. Ивашов**, *д-р техн. наук,*
С.В. Степанчиков, *канд. техн. наук (МИЭМ)*

Повышение производительности линии сборки электровакуумных приборов

Рассмотрены вопросы повышения производительности линии сборки в электровакуумном производстве. Дано решение задачи герметизации штенгеля при сборке электровакуумного прибора. Сформулированы основные направления работ, позволяющие пользователям технологического оборудования улучшить его экологические параметры, повысить производительность и эффективность использования.

Clause is devoted to questions of increase of productivity of an assembly line in electrovacuum manufacture. The problem of hermetic encapsulation shtengel is considered at assembly of the electrovacuum device. The basic directions of works allowing users of the process equipment to improve its ecological parameters are formulated, to raise productivity and efficiency of use.

Ключевые слова: производительность оборудования, линия сборки, электровакуумный прибор, откачной пост, диффузионный насос, герметизация штенгеля, обратный поток масла.

Key words: productivity of the equipment, assembly line, the electrovacuum device, pump post, the diffusion vacuum pump, hermetic encapsulation shtengel, return stream of an oil.

Анализ путей повышения производительности технологического оборудования электровакуумного производства проводят в соответствии с рекомендациями работы [1] на основании имеющихся эксплуатационных характеристик и баланса производительности. Как показывает накопленный опыт, имеется множество *видов потерь*, встречающихся при работе технологического оборудования, большинство из которых возникает *из-за отказа вакуумных откачных постов*. На основании баланса производительности выявлены именно те причины простоев, которые вызывают наибольшие потери производительности оборудования.

1. Как правило, наибольшие потери производительности обусловлены наличием несовмещенных холостых ходов в цикле работы. Однако для сокращения холостых ходов цикла необходимо разработать новое оборудование с принципиально иной компоновкой (например, карусельной), что не может быть выполнено в производственных условиях.

2. Для большей части электровакуумного оборудования характерны большие потери при производстве, вызванные организационными причинами:

♦ *причины* дисциплинарного характера (несвоевременный приход и уход рабочих, ожидание наладчика, медленная подготовка оборудования и т.д.);

♦ *причины* материального характера: отсутствие заготовок или полуфабрикатов.

Вторая причина – определяющая, так как без ее устранения улучшение других эксплуатационных характеристик исследуемого оборудования не дает ожидаемого результата.

3. Часто значительны простои из-за неисправности инструмента и оборудования, которые могут быть уменьшены:

• повышением надежности функционирования систем оборудования;

• совершенствованием ремонтной службы и контролем за правильной эксплуатацией оборудования.

При анализе этой причины простоев всегда необходимо выявлять наименее слабые (по надежности и ресурсу) звенья оборудования, что поможет выбрать возможные и наиболее простые пути повышения производительности оборудования за счет увеличения его надежности.

4. Особенностью оборудования для производства изделий электронной техники являются высокие потери производительности из-за выпуска большого количества бракованных изделий. При этом следует различать:

■ брак по *незавершенному производству* – определяется нарушением режимов обработки (давления, температуры и т.д.) и разладкой механизмов (точность позиционирования, базирования и т.п.), которые могут быть легко устранены;

■ брак по *выходным параметрам* изделия – зачастую определяется конструкцией оборудования и требует подробного анализа для выявления его причин.

На выпуск бракованной продукции весьма существенное влияние оказывают и такие факторы, как качество используемых заготовок и полуфабрикатов, изменение параметров окружающей среды: колебания напряжения в электросети, изменение температуры воздуха и охлаждающей воды и т.п.

Практика эксплуатации оборудования показывает, что ни от одной из перечисленных выше причин простоев полностью избавиться не удается, поэтому реальные резервы роста производительности оборудования зависят от того, во сколько раз можно сократить те или иные простои.

Приведенный анализ основных причин простоев позволяет наметить направления по разработке технических предложений по обеспечению максимальной производительности линии сборки электровакуумных приборов.

Наибольшее внимание необходимо уделить:

♦ организации подачи заготовок на вход линии и их качеству;

♦ изучению надежности работы систем линии и проверке соответствия условий их эксплуатации требуемым;

♦ анализ причин появления бракованных изделий.

Фактическая производительность линии сборки электровакуумных приборов равна [2]

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{ц}} - (\Delta Q_{\text{х}} + \Delta Q_{\text{и}} + \Delta Q_{\text{р}} + \Delta Q_{\text{о}} + \Delta Q_{\text{д}}),$$

где $Q_{\text{ц}}$ – цикловая производительность;

$\Delta Q_{\text{х}}$ – цикловые потери из-за холостых ходов;

$\Delta Q_{\text{и}}$ – внецикловые потери в связи с неисправностью инструмента;

$\Delta Q_{\text{р}}$ – внецикловые потери из-за ремонта;

$\Delta Q_{\text{о}}$ – внецикловые потери, вызванные организационными причинами;

$\Delta Q_{\text{д}}$ – внецикловые потери, связанные с отказами и дефектами электровакуумных приборов.

Потери, связанные с отказами и дефектами электровакуумных приборов, складывается из следующих потерь:

$$\Delta Q_{\text{д}} = \Delta Q_{\text{д.с}} + \Delta Q_{\text{д.г}} + \Delta Q_{\text{д.ср}} + \Delta Q_{\text{д.эм}} + \Delta Q_{\text{д.пр}},$$

где $\Delta Q_{\text{д.с}}$ – потери из-за отказов и дефектов в результате разрушения и растрескивания стеклооболочек;

$\Delta Q_{\text{д.г}}$ – потери из-за отказов и дефектов, вызванные нарушением герметичности;

$\Delta Q_{\text{д.ср}}$ – потери из-за отказов, обусловленные нарушением рабочей среды в электровакуумном приборе;

$\Delta Q_{\text{д.эм}}$ – потери из-за отказов и дефектов, связанные с потерей эмиссии катодов;

$\Delta Q_{\text{д.пр}}$ – потери из-за прочих отказов и дефектов.

Перечисленные потери производительности определяют на основании исследований в процессе эксплуатации линии.

Наиболее существенными являются потери из-за отказов откачных постов, печей обезгаживания стекла, механического конвейера в результате их низкой надежности. Велики отказы и дефекты, связанные с разрушением стеклооболочек, потерей герметичности и рабочих сред, низкой эмиссией катодов.

Таким образом, основные мероприятия, определяющие повышение фактической производительности линии сборки электровакуумных приборов и их качества, должны быть направлены на повышение надежности отдельных элементов и узлов линии и совершенствование технологических режимов.

Повышения производительности оборудования можно добиться только в том случае, если все механизмы и устройства работают с высокой надежностью.

Для количественной оценки резервов повышения производительности технологического оборудования, его элементов и узлов вводят два показателя надежности:

- среднее время t_m безотказной работы;
- время $t_{\text{п}}$ простоя для обнаружения и устранения отказов.

Среднее время безотказной работы определяют как

$$t_m = T_{\text{н}} / n,$$

где $T_{\text{н}}$ – время наблюдения;

n – количество отказов за время наблюдения.

Время $t_{\text{п}}$ простоя для обнаружения и устранения отказа определяют как

$$t_{\text{п}} = t_{\text{об}} + t_{\text{раб}},$$

где $t_{\text{об}}$ – время обнаружения отказа;

$t_{раб}$ – время, необходимое рабочему для устранения отказа.

Анализ работоспособности технологической линии подтверждает, что большие потери возникают из-за отказов вакуумных откачных постов.

На каждой откачной позиции может нарушаться работа следующих элементов: диффузионного насоса, форвакуумного насоса, вакуумной головки, манометрического датчика, печи электроопая, ремня в клиноременной передаче, электродвигателя, блока электропитания, водоснабжения диффузионного насоса и др.

Среднее время безотказной работы откачных постов невелико и составляет ~100 ч [2].

Оптимальными параметрами откачных постов для данной технологической линии являются: предельное давление в вакуумной головке перед штенгелем 10^{-4} Па скорость откачки воздуха в вакуумной головке перед штенгелем не менее 2 л/с (2×10^{-3} м^3/с); обратный поток Q паров масла из диффузионного насоса не более $6\cdot10^{-1}$ мг/(см^2·ч) ($6\cdot10^{-3}$ $\frac{кг}{м^2\cdot ч}$).

В целях повышения надежности работы диффузионных насосов и уменьшения обратного потока паров масла в конструкциях необходимо устанавливать высоковакуумные ловушки.

Уменьшение скорости откачки из вакуумной головки, связанное с установкой ловушек, не отражается на скорости откачки из электровакуумного прибора.

Большое значение для работы диффузионного насоса имеет рабочая жидкость. Вместо вакуумного масла ПФМС-2/5Л целесообразно использовать воздухостойкое масло МФТ-1 с меньшим предельным давлением.

Долговечность работы диффузионного насоса зависит от давления, при котором срабатывает аварийный вакуумный клапан.

Среднее время безотказной работы диффузионного насоса может быть также повышено путем замены открытой электрической спирали кипятильника на закрытый трубчатый или керамический таблеточный электронагреватель.

На рис. 1 представлена зависимость величины обратного потока Q масла из высоковакуумного диффузионного насоса в откачиваемую систему от величины впускного давления [3].

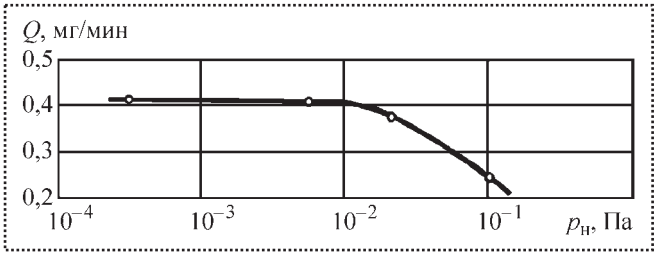


Рис. 1. Изменение величины обратного потока Q масла из высоковакуумного диффузионного насоса в откачиваемую систему в зависимости от величины $p_н$ впускного давления

В последнее время электроотпай вытеснил ручной отпай, в результате чего улучшилось его качество. При проведении электроотпая необходимо периодически проверять сопротивление спирали отпая и регулировать его.

Для повышения долговечности работы форвакуумного насоса между электродвигателем и насосом целесообразно устанавливать двухременные шкивы. Это позволяет в два раза снизить количество отказов клиноременной передачи, так как при обрыве одного ремня форвакуумный насос не останавливается, откачной пост снимают на ремонт только после отпая электровакуумного прибора.

Одной из актуальных задач является улучшение герметизации штенгеля электровакуумного прибора в целях повышения надежности вакуумной головки.

Задача герметизации штенгеля электровакуумного прибора сводится к решению задачи Ламэ–Гадолина для толстостенных труб [4], согласно которой каждая точка втулки будет перемещаться только в направлении текущего радиуса r уплотняющей втулки (на величину u) и параллельно оси Z втулки (на величину w), причем u и w не зависят от полярного угла θ (рис. 2).

Полярное σ_r, угловое σ_Q и осевое σ_Z напряжения втулки вычисляют по формулам

$$\sigma_r = \frac{2G(1-\mu)}{1-2\mu}\left(\frac{du}{dr}+\frac{\mu}{1-\mu}\frac{u}{r}+\frac{\mu}{1-\mu}\frac{dw}{dZ}\right);$$
$$\sigma_\theta = \frac{2G(1-\mu)}{1-2\mu}\left(\frac{u}{r}+\frac{\mu}{1-\mu}\frac{du}{dr}+\frac{\mu}{1-\mu}\frac{dw}{dZ}\right); \qquad (1)$$
$$\sigma_z = \frac{2G(1-\mu)}{1-2\mu}\left(\frac{dw}{dZ}+\frac{\mu}{1-\mu}\frac{u}{r}+\frac{\mu}{1-\mu}\frac{du}{dr}\right),$$

где G – модуль упругости второго рода материала уплотняющей втулки;

μ – коэффициент Пуассона.

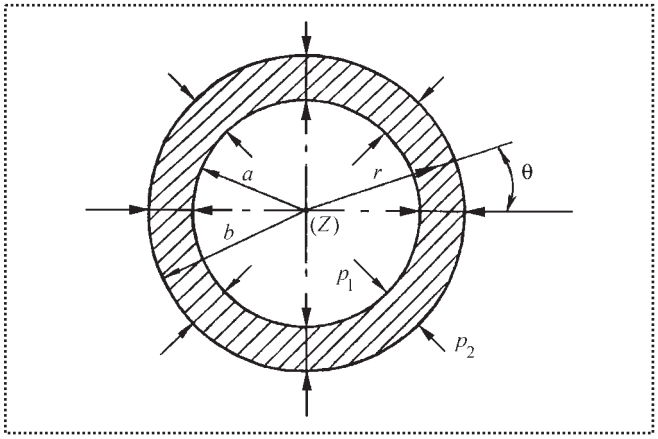


Рис. 2. Схема для решения задачи деформации резиновой уплотняющей втулки:
а, в – внутренний и наружный радиусы уплотняющей втулки соответственно; p_1, p_2 – внутреннее и внешнее давления соответственно

Дифференциальное уравнение задачи Ламэ–Гадолина в перемещениях имеет вид

$$\frac{d^2u}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{du}{dr}-\frac{u}{r^2}=0, \qquad (2)$$

решение которого $u=C_1r+\frac{C_2}{r}$, где C_1, C_2 – постоянные интегрирования.

Подставляя u в (1) получим

$$\begin{aligned}\sigma_r &= A-B/r^2,\\ \sigma_\theta &= A+B/r^2,\\ \sigma_Z &= 2\mu A+E\varepsilon_Z,\end{aligned} \qquad (3)$$

где $A=\frac{2G(C_1+\mu\varepsilon_Z)}{1-2\mu}$;

$B = 2GC_2$;

E – модуль упругости материала уплотняющей втулки.

Постоянные A, B и ε_Z подлежат определению из *граничных* условий.

На торцы втулки действует сила

$$p_Z = p\pi d^2/4,$$

где p – величина атмосферного давления;

d – торцовый диаметр сильфона (рис. 3).

Напряжения σ_Z равны

$$\sigma_Z=\frac{P_Z}{\pi(b^2-a^2)}=\frac{p_1a^2-p_2b^2}{b^2-a^2}, \qquad (4)$$

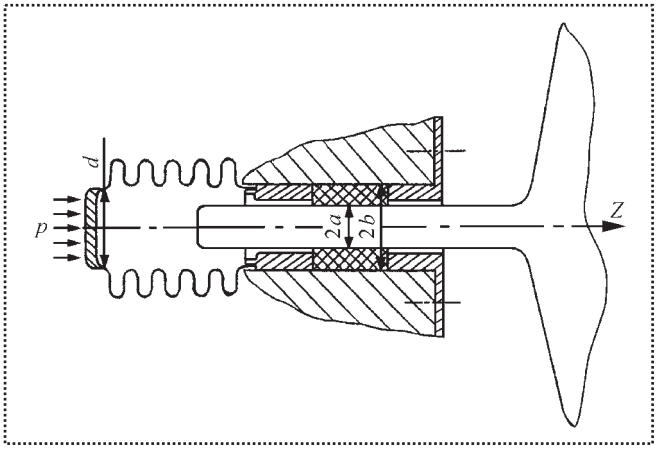


Рис. 3. Расчетная схема уплотнения штенгеля электровакуумного прибора

а перемещения u определяют:

$$u=\frac{1-\mu}{E}\frac{(p_1a^2-p_2b^2)r}{b^2-a^2}+\frac{1+\mu}{E}\frac{(p_1-p_2)a^2b^2}{(b^2-a^2)r}. \qquad (5)$$

Начальные условия имеют вид

$$\begin{aligned}u&=0 \text{ при } r=a;\\ u&=0 \text{ при } r=b\end{aligned} \qquad (6)$$

в предположении, что между втулкой штенгеля и корпусом зазор отсутствует.

Пусть $r = a$, тогда выражение (5) принимает вид

$$(1-\mu)(p_1a^2-p_2b^2)+(1-\mu)(p_1-p_2)b^2=0. \qquad (7)$$

Выразим p_1, используя формулу (4):

$$p_1=\frac{\sigma_Z(b^2-a^2)+p_2b^2}{a^2}. \qquad (8)$$

Подставляя (8) в (7), получим

$$p_2=\frac{\sigma_Z(b^2-a^2)\left[1-\mu+(1+\mu)\frac{b^2}{a^2}\right]}{(1+\mu)b^2}. \qquad (9)$$

Используя последнее выражение, находим давление

$$p_1=\sigma_Z\frac{b^2-a^2}{a^2}\left[1+\frac{(1-\mu)a^2+(1+\mu)b^2}{(1+\mu)a^2}\right].$$

Таким образом, давление p_1, p_2 и напряжения σ_Z следует выбирать такими, чтобы они не превышали допустимых значений во избежание быстрого старения резин.

Так, например, часто используемую в вакуумной головке втулку из резины 7889 целесообразно заменить на термостойкую типа "Витон".

Газовыделение из внутренних поверхностей и узлов электровакуумного прибора может быть уменьшено в основном в результате снижения газовыделения из внутреннего токопроводящего покрытия (аквадага). Этого можно достигнуть, если в качестве токопроводящего покрытия использовать покрытие с добавкой оксида – закиси железа. Давление в зоне активирования катода можно понизить, если вместо метода намазки использовать метод напыления.

Время откачки до начала активирования катода оказывает существенное влияние на давление в электровакуумном приборе. Так, увеличив время откачки, можно значительно снизить давление в зоне активирования катода.

Улучшить экологические параметры внутри электровакуумного прибора можно, установив между диффузионным насосом и вакуумной головкой вакуумный клапан.

Вывод

Пути улучшения экологических характеристик откачных постов и повышения производительности линии сборки электровакуумных приборов весьма разнообразны. Часть из них является прерогативой инженеров-конструкторов и инженеров-технологов – проектировщиков оборудования производства изделий электронной техники. Однако творческий подход к работе с использованием разработанных рекомендаций и методов эксплуатационного исследования действующего оборудования позволит улучшить его экологические параметры, повысить производительность и эффективность использования при эксплуатации.

Библиографический список

1. **Волчкевич Л.И., Степаньянц Ю.Р.** Организационно-технические мероприятия по повышению производительности технологического автоматизированного оборудования. М.: Высшая школа, 1988. 80 с.

2. **Кахоновский Г.В.** Новые методы в сборочном производстве цветных кинескопов. М.: Высшая школа, 1985. 72 с.

3. **Power B.D., Crawley D.Y.** Vacuum, v. IV. № 4. 1984. С. 415–437.

4. **Кац А.М.** Теория упругости. М.: ГИГТЛ, 1956. 207 с.

Издательство "Машиностроение" представляет книги

Разделение неуправляемых снарядов систем залпового огня / РАРАН; Б.Э. Кэрт, В.И. Козлов, Н.А. Макаровец; под ред. Н.А. Макаровца; редкол. серии: В.В. Панов (пред.) и др. (Справ. б-ка разработчика-исследователя). – 440 с.

ISBN 978-5-217-03402-4

Цена с НДС 500 руб.

Рассматриваются основные направления разработки неуправляемых разделяющихся реактивных снарядов и боеприпасов к ним. Представлены классификация систем разделения, типовые компоновочные схемы разделяющихся головных частей, перспективы совершенствования их проектирования и отработки. Сформулированы теоретические основы математического моделирования динамики разделяющихся боеприпасов и изложены принципы построения и использования компьютерной технологии расчета функционирования систем разделения реактивных снарядов. Дано решение ряда задач внутренней и внешней баллистики. Описаны методы и средства отработки систем разделения реактивных снарядов залпового огня. Приведены компоновочные схемы и тактико-технические данные основных отечественных реактивных снарядов залпового огня.

Книга рассчитана на специалистов, научная и профессиональная деятельность которых связана с проектированием комплексов вооружений. Может быть полезна преподавателям, аспирантам и студентам вузов.

Приобрести книгу можно непосредственно в издательстве "Машиностроение", прислав заявку в отдел реализации по факсу: (495) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru; по почте: 107076, Москва, Стромынский пер., 4. ООО "Издательство Машиностроение". Справки по тел. (495) 269-66-00. http://www.mashin.ru

А.М. Пашаев, А.Х. Джанахмедов, М.И. Алиев
(Азербайджанская инженерная академия, г. Баку)

Разработка критерия по определению зазора между цилиндром и поршнем компрессорных машин*

Представлена методика расчета критерия по определению зазора между цилиндром и поршнем компрессорных машин, который значительно влияет на их производительность.

С этой целью использовано уравнение связи, устанавливающее равенство расхода газа, выраженное через скорость течения газа и скорость движения поршня.

Для определения критерия указанного зазора условимся, что систему пары поршень–цилиндр эксплуатируют до тех пор, пока изменения площади поршня не превзойдут заданный коэффициент, выраженный через эффективную площадь трения.

In the given paper it is developed the calculation method of criterion to determine the clearance between the cylinder and the piston of compressor machines which considerably influences their productivity.

Whith this purpose it is used the equation setting uo the equality of gas depletion, expressed through the gas flow speed and speed of piston movement.

To determine the criterion of the indicated clearance we shall agree, that the system of pair "piston–cylinder" is maintained until changes of the area of the piston will not surpass some given coefficient expressed through the effective area of friction.

Ключевые слова: зазор, компрессорная машина, скорость течения газа, эффективная площадь трения.

Key words: backlash, compressor machine, gas flow velocity, effective area of friction.

В двигателе поршневого компрессора поршень в цилиндре совершает возвратно-поступательное движение и через кривошипно-шатунный механизм передает мощность на приводной вал (см. рисунок).

При движении поршня в цилиндре двигателя вследствие фактора времени t кольцо поршня изнашивается и увеличивается зазор h между внутренней поверхностью цилиндра и наружной поверхностью кольца (для упрощения в дальнейшем используем термин поршень).

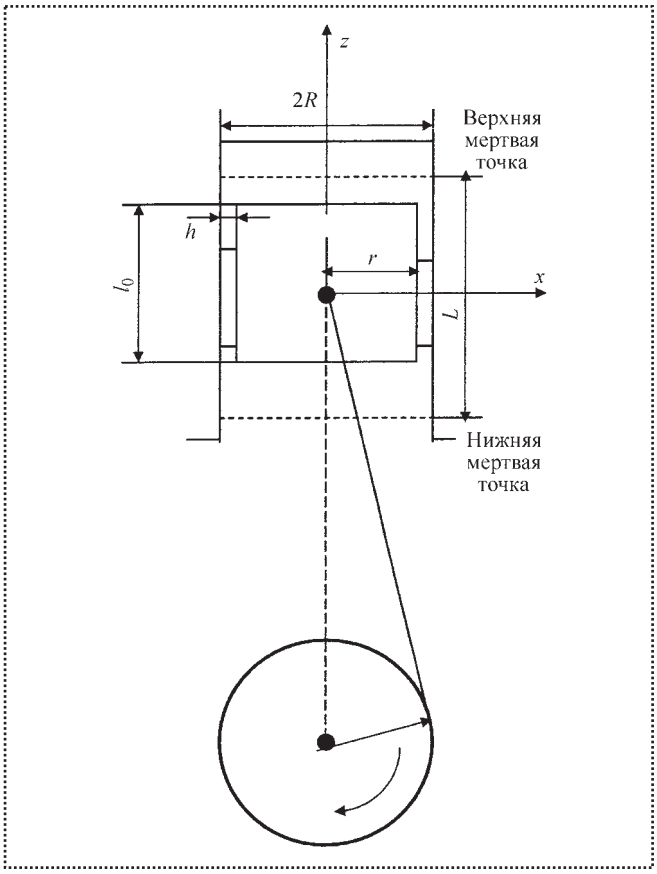


Схема поршневого двигателя компрессора

Определяя критерий указанного зазора, можно предсказать целесообразность использования поршневых колец после их износа при эксплуатации, что и рассмотрено в данной работе.

Примем цилиндрическую систему координат с осями z, r, совместим ось z с осью поршня и направим ее вверх.

Уравнение связи, устанавливающее равенство расхода газа, выраженное через скорость газа и скорость поршня, можно написать в следующем виде [1]:

$$\frac{dz}{dt}S_э = 2\pi\int_r^R v_z r dr, \qquad (1)$$

где $S_э$ – эффективная площадь поршня;

v_z – скорость газа по координате z;

*По материалам 10-й Международной научно-практической конференции. 15–18 апреля 2008 г. С.-Петербург.

R – радиус цилиндра;

r – радиус поршня.

Уравнение, связывающее давление со скоростью газа:

$$\frac{\partial p}{\partial z}=\mu\left(\frac{\partial^2 \mathrm{v}_z}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial \mathrm{v}_z}{\partial r}\right), \qquad (2)$$

где p – давление газа;

μ – коэффициент динамической вязкости газа.

Общим решением уравнения (2) будет

$$\mathrm{v}_z=\frac{1}{4\mu}r^2\frac{\partial p}{\partial z}+C\ln r+C_1, \qquad (3)$$

где C и C_1 – произвольные постоянные, определяемые из условий движения газа и поршня. Граничные условия:

$$\mathrm{v}_z=0 \text{ при } r=r_1 \text{ и } \mathrm{v}_z=\frac{dz}{dt} \text{ при } r_1=R,$$

где r_1 – действительный радиус поршня.

Соответственно этим условиям C и C_1 равны

$$C=\frac{-\frac{1}{4\mu}\frac{\partial p}{\partial r}(R^2-r^2)-\frac{dz}{dt}}{\ln R-\ln r}; \qquad (4)$$

$$C_1=\frac{1}{4\mu}R^2\frac{\partial p}{\partial z}-\frac{\left[-\frac{1}{4\mu}\frac{\partial p}{\partial z}(R^2-r^2)-\frac{dz}{dt}\right]}{\ln R-\ln r}\ln R. \qquad (5)$$

Правая часть уравнения (2) не зависит от координаты z, следовательно, и левая часть не может зависеть от нее. Тогда $\frac{\partial p}{\partial z}$ является постоянной величиной, т.е. $\frac{\partial p}{\partial z}=\text{const}$.

Подпоршневое давление p падает до нуля на длине l_0. Отсюда

$$\frac{\partial p}{\partial z}=-\frac{p}{l_0}. \qquad (6)$$

Подставляя (6) и (5) в (3), после преобразования получим

$$\mathrm{v}_z=\frac{p}{4\mu l_0}\left[R^2-r^2+\frac{R-r}{\ln R-\ln r}(\ln r-\ln R)\right]\frac{dz}{dt}\times \qquad (7)$$
$$\times\frac{\ln r-\ln R}{\ln R-\ln r}.$$

Определим $\frac{dz}{dt}$ из уравнения (1).

Подставляя в (1) значение v_z из уравнения (7), получим

$$\frac{dz}{dt}S_э=$$
$$=-2\pi\int_r^R\left\{\frac{p}{4\mu l_0}\left[R^2-r^2+\frac{R^2-r^2}{\ln R-\ln r}(\ln r-\ln R)\right]-\right. \qquad (8)$$
$$\left.-\frac{dz}{dt}\left(\frac{\ln r-\ln R}{\ln R-\ln r}\right)rdr\right\}.$$

После интегрирования получим

$$\frac{dz}{dt}S_э=-\frac{\pi p(R^2-r^2)}{8\mu l_0}\left[R^2-r^2+\frac{R^2-r^2}{\ln R-\ln r}\right]+$$
$$+\frac{\pi dz}{dt}\left[r^2-\frac{R^2-r^2}{2(\ln R-\ln r)}\right]. \qquad (9)$$

Зазоры в поршневых системах малы и отношение зазора к радиусу, т.е. $\frac{R-r}{r}$, выражается величинами порядка $10^{-3}...10^{-4}$. Если обозначим $\frac{R-r}{r}=\xi$, где ξ – величина малая, то

$$\frac{R^2-r^2}{\ln R-\ln r}\approx\frac{R^2\xi(2+\xi)}{\xi\left(1+\frac{\xi}{2}+\frac{\xi^2}{3}\right)}\approx\left(2+2\xi+\frac{\xi^2}{3}\right)r^2. \qquad (10)$$

Заменяя ξ его обозначением, получим

$$\frac{R^2-r^2}{\ln R-\ln r}\approx 2Rr+\frac{(R-r)^2}{3}. \qquad (11)$$

Записав выражение (11) в (9) и заменив в нем $S_э=\pi r^2$, получим

$$\frac{dz}{dt}=\frac{-p(R^2-r^2)(R-r)^2}{12\mu l_0\left[r^2+r(R-r)+\frac{(R-r)^2}{6}\right]}. \qquad (12)$$

Отбрасывая в знаменателе члены, содержащие величины зазора, как малые, уравнение (12) перепишем:

$$\frac{dz}{dt}=\frac{-p(R^2-r^2)(R-r)^2}{12\mu l_0 R^2}. \qquad (13)$$

Полагая, что $R+r\approx 2R$, скорость поршня можно записать в виде

$$\frac{dz}{dt}=-\frac{p(R-r)^3}{6\mu l_0 R}. \qquad (14)$$

Обозначая $R - r = h$, выражение (14) примет вид

$$\frac{dz}{dt} = -\frac{ph^3}{6\mu l_0 R} = v_п. \qquad (15)$$

Уравнение (15) является уравнением скорости поршня.

Рассмотрим силы, действующие на поршень при его установившемся движении:

$$pS_э - G + 2\pi r l_0 \frac{\rho}{2}\omega^2 R^2 C_F = 0, \qquad (16)$$

где $\frac{\rho}{2}\omega^2 R^2 C_F = \tau$ – касательное напряжение на стенке;

$2\pi r l_0 \frac{\rho}{2}\omega^2 R^2 C_F$ – сила трения;

G – ускорение свободного падения;

ρ – плотность газа;

ω – угловая скорость коленчатого вала;

$C_F = 0{,}037\lambda(\mathrm{Re})^{-0,2}$ – коэффициент трения для плоской пластины;

λ – эмпирическая константа, учитывающая отличие цилиндра от плоской пластины;

$\mathrm{Re} = \rho\omega R^2 \frac{\pi}{2R\mu}$ – число Рейнольдса.

Определим значение давления из уравнения (15):

$$p = \frac{6v_п \mu l_0 r}{h^3}, \qquad (17)$$

где $v_п$ – средняя скорость поршня.

Написав значение p в уравнении (16) получим

$$\frac{6v_п \mu l_0 r}{h^3} S_э - G + \pi r l_0 \rho\omega^2 R^2 C_F = 0. \qquad (18)$$

Среднюю скорость поршня можно определить по формуле

$$v_п = 2Ln, \qquad (19)$$

где n – число оборотов коленчатого вала;

L – расстояние между верхней и нижней мертвыми точками.

Подставляя (19) в (18), можно определить значение зазора h:

$$h = \sqrt[3]{\frac{12Ln\mu l_0 r}{G - \pi\rho l_0 \omega^2 \rho R^2 C_F}}. \qquad (20)$$

Зная параметры поршня r, l_0 и цилиндра R, экспериментально определяя скорость поршня $2Ln$ при известном коэффициенте вязкости и плотности легко определить величину зазора h.

Для определения критерия указанного зазора условимся, что систему пары поршень–цилиндр используют до тех пор, пока изменение площади поршня не превзойдет заданного процента K.

Принятое условие может быть записано следующим образом:

$$\frac{\Delta S_э}{S_э} \le \frac{K}{100}. \qquad (21)$$

Эффективная площадь не изменится, если износ поршня и цилиндра равен по абсолютной величине. Отсюда приходим к выводу, что максимальный износ эффективной площади (при заданной величине ΔR и Δr) соответствует условию износа какой-либо детали. Следовательно, предельное значение $\Delta S_э$ получим при износе только поршня или только цилиндра.

Так как эффективную площадь поршня определяют

$$S_э = \frac{\pi(R^2 + r^2)}{2}, \qquad (22)$$

и учитывая весьма малую величину зазора, которая допустима в поршневых системах компрессора, действительно также уравнение

$$S_э = \pi r^2 + \pi R(R - r) \qquad (23)$$

или

$$S_э = \pi R r.$$

В период эксплуатации компрессора поршень и цилиндр несколько изнашиваются. Если через ΔR и Δr обозначить изменение радиусов, то изменение эффективной площади в общем виде будет

$$\Delta S_э = \pi R(\Delta R - \Delta r). \qquad (24)$$

В частных случаях при отсутствии изнашивания поршня

$$\Delta S_э = \pi r \Delta R \qquad (25)$$

и при неизменном радиусе цилиндра

$$\Delta S_э = -\pi r \Delta r. \qquad (26)$$

При подстановке в (22), (24) и замены

$$S_э \approx \pi r,$$

$$\Delta R \le \frac{rK}{100}. \qquad (27)$$

Из соотношения (27) видно, что оно устанавливает максимально допустимое увеличение радиуса цилиндра при изменении эффективной площади поршня на K %.

Допустимое уменьшение радиуса поршня определим аналогично из (25):

$$|\Delta r| \le \frac{rK}{100}. \qquad (28)$$

Тогда величина нового зазора будет

$$h_н = h + \frac{rK}{100}. \qquad (29)$$

Вывод

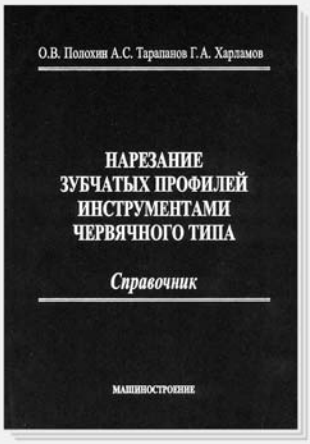
Данное выражение является соотношением для определения зазора между цилиндром и поршнем, при котором дальнейшая эксплуатация поршневых колец нежелательна.

Библиографический список

1. **Davis G.C., Kent J.C.** Comparison of Model Calculations and Experimental Measurements of the Bulk Cylinder flow Processes in a Motored PROCO Engine, SAE Paper 790290, Soc of Automotive Engineers. 1979.

2. **Джанахмедов А.Х.** Триботехнические проблемы в нефтегазовом оборудовании. Баку "Элм", 1998. 216 с.

Издательство "Машиностроение" представляет книги



Полохин О.В., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. **Нарезание зубчатых профилей инструментами червячного типа**: справочник. Под ред. Г.А. Харламова. 2007. – 240 с., тв. пер., 60 × 88 1/16

ISBN 978-5-217-03376-8

Цена с НДС 275 руб.

Приведены сведения о современном состоянии и перспективах совершенствования нарезания цилиндрических зубчатых колес инструментами червячного типа. Изложены методы обработки. Рассмотрены методики расчета режущей части инструментов червячного типа и приведены новые и перспективные конструкции. Даны рекомендации по выбору режимов резания зубчатых колес с поясняющими примерами.

Для инженерно-технических работников и специалистов машиностроительных предприятий, научно-исследовательских институтов; может быть полезен преподавателям и студентам вузов.

Приобрести книгу можно непосредственно в издательстве "Машиностроение", прислав заявку в отдел реализации по факсу: (495) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru; по почте: 107076, Москва, Стромынский пер., 4. ООО "Издательство Машиностроение". Справки по тел. (495) 269-66-00. http://www.mashin.ru

В.П. Бирюков, Б.Н. Михайлин, С.Д. Прищепов
*(Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН,
Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ))*

Восстановление и упрочнение поверхностей трения лазерным излучением*

Устранение дефектов и восстановление изношенных деталей традиционными методами, например штучными электродами, трудоемко и дорогостояще, так как после наплавки и термообработки геометрические размеры могут выйти за поле допуска. Технология лазерной наплавки позволяет исключить этот недостаток, сохранить геометрические размеры восстанавливаемой детали в поле допуска, даже если они составляют десятые доли миллиметра. Твердость в зоне наплавки остается на уровне твердости основного материала или выше, а последующая механическая обработка места дефекта сводится к минимуму. Следует отметить, что время, необходимое для устранения дефекта с помощью лазерной наплавки составляет от нескольких секунд до нескольких минут в зависимости от геометрических размеров дефекта и мощности луча лазера.

Elimination of defects and restoration of the depreciated surfaces with traditional methods, for example, with electrodes is laborious and expensive, as after cladding and thermal treatment geometrical dimensions may to exceed the bounds of tolerance range. Technology of the laser cladding is allow to exclude this defect, keep geometrical dimensions of the detail in bounds of tolerance range, even if they are putting together about few microns. Hardness in the zone of weldibg can stay at the level of the basic material hardness and following mechanical treatment of the defect spot will be minimize. Laser welding is allow to minimize laboriousness and cost of the repair, thanks to exclusion of the preliminary heating, following thermal treatment taking down and marking of the chromic surface. Also this method is allow to minimize the following mechanical treatment size.

Ключевые слова: восстановление, упрочнение, лазерная наплавка, мощность.

Key words: restoration, hardening, laser surfacing, power.

Методом лазерной наплавки возможен ремонт деталей из медных сплавов, например деталей авиатехники, в частности, опорных подшипников, приемников воздушного давления и др.

Для проведения исследовательских работ использовали цилиндрические образцы с нанесенными дефектами (точечными и локальными) по цилиндрической и торцовой поверхностям. Размеры дефектов составляли: длина – 1,4...5,0 мм, глубина – 0,15...0,6 мм.

Ремонт образцов из бронзы осуществляли лазерной наплавкой дефектов на 0,2...0,3 мм [1]. После производили шлифовку мест наплавки до размера образца. Заварку производили латунью Л63.

В результате исследований установлено, что зона разупрочнения материала основы (бронза БрАЖМц10-3-1,5) незначительная либо вовсе отсутствует. Качество заваренных зон удовлетворительное. В зонах перемешивания микротвердость больше, чем в материале основы. Наплавка по бронзе представляет собой переходную структуру, химический состав которой приближается к бронзе около основного материала и переходит к латуни вблизи поверхности. Происходит модификация поверхностного слоя с увеличением концентрации и у поверхности наплавки, что позволяет говорить об антикоррозионных свойствах и удовлетворительной работе на износ.

Проведены исследования возможности восстановления поверхностей деталей авиационной техники из титанового сплава ВТ3-1 наплавкой с использованием импульсного твердотельного лазера [2]. Восстанавливаемые поверхности имели дефекты длиной до 25...40 мм, шириной до 10 мм, глубиной до 1,4 мм. Толщина присадки 0,3...0,5 мм.

Анализ результатов исследования показал, что заваренные образцы имеют удовлетворительное качество. Единичные непровары практически не влияют на ухудшение качества заварки. Заварива-

*По материалам 10-й Международной научно-практической конференции. 15–18 апреля 2008 г. С.-Петербург.

ние стружкой ОТ4-1 + ВТ3-1 титанового сплава ВТ3-1 более качественно заваривает дефекты. Отмечено меньшее число и меньшие размеры непроваров, а также более близкие к основному материалу значения микротвердости.

Несмотря на применение присадочного материала ОТ4-1, не упрочняемого закалкой, механические характеристики которого ($\sigma_в$ = 550...750 МПа) существенно ниже, чем у основного материала ($\sigma_в$ = 1000...1250 МПа) в отожженном состоянии, микротвердость наплавленных дефектов больше микротвердости материала основы.

Полученные результаты можно объяснить тем, что лазерная наплавка дефектов присадкой ОТ4-1 + + ВТ3-1 приводит к перемешиванию металлов в сварочной ванне и образованию повышенного количества β-фазы, т.е. к получению наплавки с (α+β)-структурой. Следовательно, должно происходить и увеличение жаропрочности наплавки по сравнению со сплавом ОТ4-1.

По результатам исследований была разработана *технология восстановления ограниченно подвижных соединений* из титанового сплава ВТ3-1 с протяженными поверхностными дефектами. Применимость метода к конкретной детали должна определяться исходя из предъявляемых к ней технических требований и условий ее работы.

В наших экспериментах проведена наплавка порошка на никелевой основе ПВ-Н70Ю30 с гранулометрическими размерами 20...60 мкм на титановый сплав ВТ4. В качестве связующего вещества в обмазке был использован водный раствор оксиэтилцеллюлозы. Наплавку производили при мощности излучения 1,5 кВт, частоте сканирования луча 225 Гц. Ширина зоны составила 6 мм при толщине наплавленного слоя 0,5...0,6 мм. Металлографические исследования проводили на приборе ПМТ-3 при нагрузке 0,98 Н. Микротвердость наплавленного слоя изменяется в пределах 7240...8600 МПа при средней твердости материала основы 3600 МПа. Оплавление покрытия производили на воздухе без использования защитных газов. Дефектов в виде отслоений, раковин или пор в наплавленном слое не обнаружено.

Проведена исследовательская работа по лазерной наплавке и упрочнению материалов, используемых для почвообрабатывающих орудий. Эксперименты проводились на образцах стали 65Г в институте машиноведения им. А.А. Благонравова на лазерной установке "Комета-М". Обработку проводили на сканере для пространственного управления лазерным лучом [3].

На поверхность образцов с размерами 25×80×10 мм наносилась обмазка на водной основе оксиэтилцеллюлозы с порошком ФБХ6-2. При нагревании лазерным лучом оксиэтилцеллюлоза выгорает с выделением дополнительной теплоты.

Средняя твердость материала основы образцов составляла 2200 МПа. При воздействии на поверхность лазерным лучом мощностью 1400 Вт и частоте сканирования 200...225 Гц, был получен видоизмененный слой, геометрические параметры которого составляют: ширина зоны термического влияния – 7 мм при глубине 1,1 мм, ширина легированного слоя – 4,5 мм. Глубина зоны закалки из твердого состояния – 0,6 мм, а легированного слоя – 0,3 мм. Присутствует небольшой слой наплавленного порошка толщиной 0,2...0,3 мм, ширина которого не совпадает с шириной легированного слоя, полученного перемешиванием расплавленных частиц порошка в жидкой ванне материала основы. Она выше на 1,0...1,8 мм. Были проведены исследования этого образца на твердость. Результаты приведены на рисунке.

Для второго образца геометрические параметры зоны термического влияния: ширина зоны – 8,1 мм, ширина легированного слоя – 5 мм. Общая глубина зон закалки, легирования и наплавки – 1,35 мм, а легированного слоя – 0,5 мм. Также присутствует небольшой слой наплавленного порошка, его толщина 0,3...0,35 мм. Результаты исследования твердости второго образца приведены на графике (см. рисунок).

Во втором образце имел место более глубокий переплав, в связи с чем скорость охлаждения материала была ниже. Так, в результате во втором образце получилась меньшая твердость наплавленного, легированного и закаленного из твердого состояния металла по сравнению с первым.

Минимальный слой наплавленного металла при лазерной наплавке в данном случае обусловлен необходимостью минимального изменения геометрии поверхности. В результате обработки *по первому режиму* (образец № 1) наблюдается незначительное изменение геометрических размеров, что важно при переходе к реальным деталям, например при наплавке режущей кромки почвообрабатывающих орудий. Толщина наплавленного, легированного и закаленного слоев достаточна для снижения

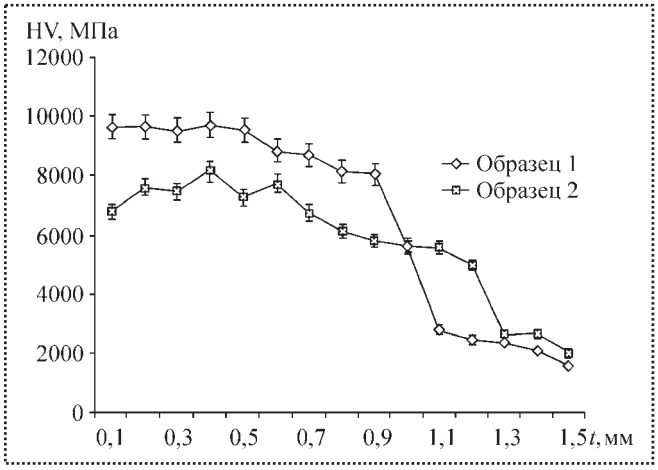


График зависимости микротвердости HV от глубины *t* зоны лазерного воздействия

коррозионного и абразивного изнашивания в 3–5 раз по сравнению с закалкой токами высокой частоты (ТВЧ) и 3–4 раза по сравнению с индукционной наплавкой такого же порошка.

В заключение можно отметить, что получение высоких физико-механических свойств поверхностных слоев связано с высокими скоростями нагрева и охлаждения, составляющими $10^4...10^6$ °С/с. В настоящее время лазерные технологии применяют практически во всех отраслях промышленности: от аэрокосмического до сельскохозяйственного производства.

Вывод

Лазерный метод позволяет минимизировать оплавление поверхности материала основы, поэтому свойства наплавленного слоя в максимальной степени определяются присадочным материалом и режимами лазерного воздействия.

Библиографический список

1. **Юркевич С.Н. и др.** Восстановление деталей авиатехники методом лазерной наплавки // Ремонт, восстановление, модернизация. 2006. № 3. С. 31–33.

2. **Юркевич С.Н.** Восстановление поверхностей деталей из титанового сплава ВТ3-1 лазерной наплавкой // Ремонт, восстановление, модернизация. 2007. № 1. С. 21–24.

3. **Бирюков В.П.** Промышленное применение CO_2 лазеров для наплавки, упрочнения и точного раскроя листового материала // Тяжелое машиностроение. 2006. № 4. С. 25–28.

Издательство "Машиностроение" представляет книги

Сандлер А.И., Лагутин С.А., Верховский А.В. **Производство червячных передач.** Под общ. ред. С.А. Лагутина, 2008. – 272 с., тв. пер., 60×88 1/16

ISBN 978-5-217-03411-6

Цена с НДС 385 руб.

Рассмотрены особенности технологии производства червячных передач. Изложены вопросы, обеспечения эксплуатационной стойкости и технологичности изготовления червячных фрез для червячных колес на стадии проектирования, формирования взаимосвязанных допусков на элементы профиля винтовой поверхности червяка и производящей поверхности фрезы.

Подробно описаны операции формообразования винтовой поверхности рабочего червяка передачи и производящей поверхности фрезы: шлифование винтовых передних поверхностей и радиально-осевое затылование боковых поверхностей зубьев. Изложены методы решения технологических вопросов изготовления фрез для нарезания колес глобоидных передач, а также инструментального обеспечения производства червячных передач с жидкостным трением.

Для инженерно-технических работников машиностроительных и инструментальных предприятий, а также для студентов и аспирантов ВУЗов

Приобрести книгу можно непосредственно в издательстве "Машиностроение", прислав заявку в отдел реализации по факсу: (495) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru; по почте: 107076, Москва, Стромынский пер., 4. ООО "Издательство Машиностроение". Справки по тел. (495) 269-66-00. http://www.mashin.ru

В.Д. Аввакумов, *канд. техн. наук*
(Новоуральский государственный технологический институт)

Система автоматизированного расчета массово-геометрических характеристик объектов

Приводится описание системы автоматизированного расчета массово-геометрических характеристик плоских и объемных объектов: площадей, масс, центров масс, моментов инерции. Объемными объектами являются тела вращения (полного и неполного), тела переноса, системы материальных точек и сборки, представляющие собой совокупность тел вращения и переноса. Приведен пример расчета массово-геометрических характеристик тела вращения.

Happens to the system definition of the automatic calculation mass-geometric features flat and three-dementional object: areas, masses, the centre of the masses, moments to inertias. The Three-dementional object are a bodies of the rotation (full and incomplete), bodies of the carrying, material point and assembly systems, presenting itself collection tel rotations and carrying. Calculation mass-geometric features of the body of the rotation is Cited an instance.

Ключевые слова: система автоматизированного расчета, плоские объекты, объемные объекты, площадь, объем, моменты инерции, система материальных точек.

Key words: system of the automatic calculation, flat objects, three-dementional objects, area, volume, moments to inertias, system material point.

Методы расчета массово-геометрических характеристик (МГХ) 3D-объектов с учетом разброса размеров и плотностей в поле их допуска изложены в [1, 2]. Данная статья является продолжением этой темы и посвящена описанию системы автоматизированного расчета МГХ (САР МГХ) 2D- и 3D-мерных объектов.

В настоящее время известны как бумажные [3, 4], так и электронные [5–7] системы по расчету МГХ различных типов тел. В инженерном справочнике [5] фирмы Appius имеется модуль инженерных расчетов, позволяющий по формулам вычислять МГХ для некоторых простых объектов. Вычислительный комплекс SCAD позволяет формировать сечения различного вида и выполнять расчет их геометрических характеристик [6]. Группа компаний "ИНФАРС" разработала программу расчета геометрических характеристик параметрических сечений [7]. Программа выполняет расчеты геометрических характеристик сечения из фиксированного набора наиболее распространенных типов сечений. Возможность выполнять расчеты МГХ заложена практически во всех современных CAD-системах: AutoCAD, Pro/Engineer, SolidWorks, SolidEdge, T-FLEX CAD, КОМПАС и др.

Однако работа с бумажными справочниками требует значительного рутинного труда, а известные электронные справочники, системы и пакеты ограничены по типу тел. Расчеты же в CAD-системах можно проводить только при их наличии и достаточном освоении, что под силу далеко не всем проектно-конструкторским организациям (особенно небольшим). Кроме того, ни одна из фирм–разработчиков CAD-систем в описании своих продуктов не упоминает о возможности проведения расчетов МГХ с учетом допусков на размеры деталей и плотностей материалов. Вместе с тем имеются определенные классы изделий, при проектировании которых такие расчеты делать требуется. Так в [1, 2] показано, что значение одной из координат центра масс 3D-объекта имеет поле допуска, составляющее 20 % от номинала. САР МГХ позволяет выполнять такие расчеты, причем для весьма широкого спектра объектов (2D и 3D-мерных).

САР МГХ предназначена для подготовки исходных данных, проведению расчетов МГХ и формированию файла результатов расчета.

С помощью системы вычисляют МГХ таких видов объектов:

- плоских тел (одноконтурных, многоконтурных – блоков (рис. 1, *а*));
- тел вращения (полных – угол поворота $\varphi = 2\pi$, неполных – $0 < \varphi < 2\pi$ (рис. 1, *б*));
- набора соосных тел вращения;
- тел переноса (плоский контур перемещается вдоль прямолинейной направляющей (рис. 1, *в*));
- набора тел вращения и тел переноса (3D-мерных объектов);
- системы материальных точек на плоскости и в 3D-пространстве.

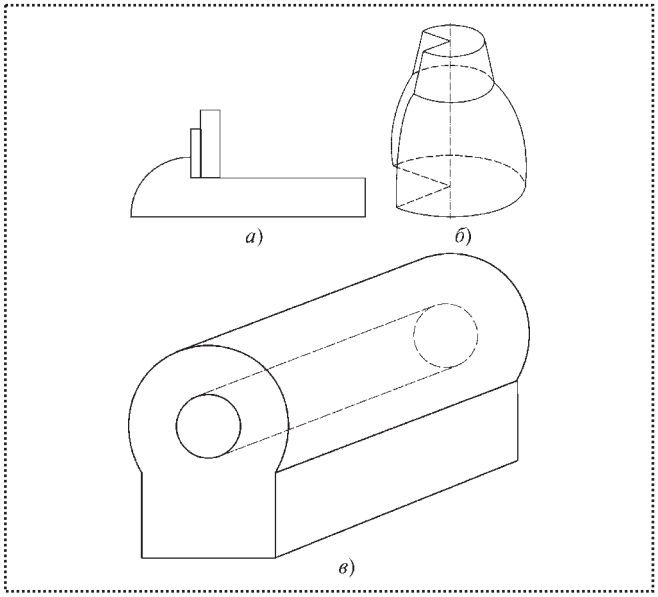


Рис. 1. Примеры тел:
а – многоконтурное плоское тело (блок); *б* – тело неполного вращения; *в* – тело переноса

Объектами могут быть элементы (детали, сборочные единицы) изделий машиностроения, приборостроения, строительной отрасли и других отраслей народного хозяйства.

В САР МГХ любой объект определяется плоской геометрической моделью (ГМ), представляющей собой совокупность плоских контуров. Контуры объекта задают отрезками прямых и дугами окружностей. Такой подход при вычислении МГХ позволяет перейти от тройных интегралов к двойным, затем, используя теорему Грина, к интегралу по контуру, который для каждого типа элемента контура выражается в аналитическом виде. Вследствие этого САР МГХ быстро и точно выполняет необходимые расчеты.

Построение ГМ основано на функциональной размерной параметризации, задающей связь размеров детали с геометрической формой его контуров [8]. Реализацию такой связи осуществляют с помощью разработанного автором языка плоской геометрии (язык ПЛОГ). Язык ПЛОГ позволяет не только описывать плоские объекты, но и учитывать влияние отклонений размеров и плотностей при расчетах МГХ.

В САР МГХ для перечисленных выше видов объектов вычисляют следующие характеристики:

♦ для плоских тел: площадь фигуры; координаты центра тяжести; моменты инерции; моменты инерции относительно осей, проходящих через центр тяжести; максимальный и минимальный (главные) моменты инерции; направление главных осей инерции; радиусы инерции;

♦ для тел вращения (полного) и набора соосных тел вращения: массу; координаты центра масс; момент инерции относительно оси вращения; момент инерции относительно оси, перпендикулярной оси вращения; момент инерции относительно оси, перпендикулярной оси вращения и проходящей через центр тяжести;

♦ для тел переноса: массу; координаты центра масс; моменты инерции относительно центральных плоскостей; моменты инерции относительно центральных осей;

♦ для тел неполного вращения, системы материальных точек и 3D-мерных объектов: массу; координаты центра масс; моменты инерции относительно осей, проходящих через центр масс системы.

Для системы материальных точек дополнительно вычисляют центробежные моменты инерции в системе координат, проходящей через центр масс системы.

В САР МГХ также можно вычислять площади поверхностей тонких объектов (3D-мерных объектов типа тел вращения и тел переноса). Для этого объект следует описать как объемный, но толщину задать достаточно малой (порядка 0,0001 от максимального габаритного значения объекта). В этом случае площадь поверхности объекта будет равна его объему (с точностью до четвертого знака).

В САР МГХ предусмотрено формирование файла экспорта экземпляра в формате .dxf, что позволяет передавать его в систему AutoCAD и другие CAD-системы, "понимающие" этот формат.

Расчеты МГХ можно проводить как по номинальным значениям размеров и плотностей, так и с учетом их отклонений в поле допуска, причем в том объеме, в каком обычно проводят расчеты конструкторских размерных цепей: методом "максимум–минимум" и вероятностным методом. Вероятностный расчет проводят методом Монте–Карло при числе реализаций равном 2000 и задаваемой пользователем вероятности P (0,9...0,9973). При этом для каждого размера может быть задан свой закон распределения (предусмотрены нормальный закон и закон β-распределения с соответствующими параметрами, сочетания которых позволяют получать равновероятный, треугольный и другие законы). Если для размеров и плотностей задают нормальный закон распределения без параметров (нулевые значения), то его параметры (MX – математическое ожидание, σX – среднее квадратиче-

ское отклонение) считаются стандартными и вычисляются системой по формулам

$$MX = (\Delta X_{в} + \Delta X_{н})/2;$$

$$\sigma X = (\Delta X_{в} - \Delta X_{н})/6,$$

где $\Delta X_{в}$, $\Delta X_{н}$ – соответственно верхнее и нижнее значения поля допуска размера X.

Геометрические модели объектов, для которых проводятся расчеты в САР МГХ, могут представлять собой так называемые обобщенные ГМ, получаемые путем объединения (насыщения) геометрических особенностей объектов, схожих по своей геометрической форме. Таким образом, из одной обобщенной ГМ с помощью изменения некоторых размеров можно получать ГМ различных объектов. Совокупность размеров и плотностей, определяющих из обобщенной ГМ конкретный объект, будем называть **набором параметров** (НП). Использование обобщенных ГМ и НП позволяет существенно сократить объем внешней памяти, необходимый для хранения данных об объектах, избежать избыточности информации. Множество ГМ объектов, порождаемых обобщенной ГМ, будем называть **классом объектов.** Объект, порождаемый определенным классом объектов, будем называть **экземпляром класса объектов.**

Рассмотрим ГМ объекта, представляющего собой тело вращения усеченной конической формы (рис. 2) [3].

Точка O на рисунке является центром масс объекта длиной l, оси X, Y, Z – главными центральными осями, ось вращения объекта совпадает с осью X.

Данную модель можно считать обобщенной, так как из нее, при задании соответствующих значений размеров (r, r_1, R, R_1) можно получить 20 отличающихся между собой геометрической формой различных моделей объектов, задавая для каждого из них свой НП [9]. Это будут модели разнообразных усеченных конусов, конусов, цилиндров, стержней. Например, при $r_1 = R_1$ и $r = R$ получим модель цилиндра, при $r_1 = r = R_1 = 0$ – модель конуса. Класс объектов, порождаемых изображенной на рис. 2 обобщенной ГМ, назовем классом "цилиндр–конус усеч.".

После запуска САР МГХ появляется главное окно системы (рис. 3).

Слева в главном окне расположено трехуровневое дерево объектов, позволяющее выбирать виды объектов, классы объектов, экземпляры класса объектов. *Структура дерева моделей*:

уровень 1 – вид объектов;

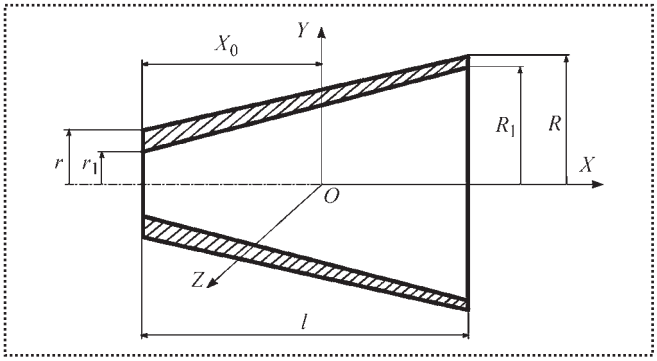


Рис. 2. Геометрическая модель

Рис. 3. Главное окно САР МГХ

уровень 2 – имя класса объектов;

уровень 3 – имя экземпляра класса объектов.

Дерево строится автоматически по структуре и содержанию базы данных (БД) объектов, содержащих данные об объектах: описание ГМ и НП.

Правая часть окна содержит таблицу набора параметров ГМ объекта, соответствующего выбранным в дереве классу объектов и экземпляру класса объектов. Численные значения в таблице можно изменить, получая тем самым новый экземпляр класса. Этот экземпляр можно записать в БД объектов под новым именем.

Параметры плотности *ro* (последняя строка таблицы) задают для объемных объектов либо вручную, либо выбором материала из списка, расположенного под таблицей. Этот список соответствует записям в БД плотностей, из которых выбирают номинальные значения и отклонения (если таковые имеются в записи для данного материала).

Далее может быть введено значение вероятности *P*, если в таблице НП введен закон распределения (для размеров и плотности) и его параметры и требуется провести вероятностный расчет. Затем указывают ось вращения *Y* или *X* и ответ на вопрос относительно формирования файла экспорта .dxf.

Ниже расположен эскиз ГМ выбранного класса объектов с параметрическими обозначениями размеров, которые нужно задать в таблице НП.

Опишем пункты строки меню, раскрывающие возможности системы.

Базы данных: объектов и плотностей (команды: *создать*, *открыть*, *переименовать*, *закрыть*, *удалить*).

БД объектов состоит из четырех связанных между собой таблиц.

1. *Таблица кодов вида объектов содержит поля*:
- код вида объекта;
- имя вида объекта.

2. *Таблица описания ГМ*:
- код экземпляра класса объектов;
- код класса объекта;
- имя класса объекта;
- описание ГМ (на языке ПЛОГ).

3. *Таблица НП*:
- код НП;
- код класса объектов (ГМ);
- набор параметров.

4. *Таблица формирования дерева*:
- код вида объектов;
- код класса объектов;
- код экземпляра класса объектов.

БД плотностей имеет таблицу, содержащую поля:
- наименование материала;
- номинальное значение плотности;
- нижнее отклонение;
- верхнее отклонение;
- закон распределения;
- параметр 1-го закона распределения;
- параметр 2-го закона распределения;
- источник данных.

Настройка. Содержит такие команды: *имя БД объектов*, *имя БД плотностей*, *имя файла результатов*, *имя файла .dxf*, *ось вращения*, *единицы измерения* (линейные, массы, угловые). Данный пункт меню используют для задания (по умолчанию): имен файлов и БД (с путями их расположения), оси вращения и единиц измерения.

Помощь. Содержит справочную систему, описывающую САР МГХ и порядок работы с ней.

Порядок работы пользователя с системой следующий. Для простых тел (плоских тел, тел вращения, тел переноса) необходимо задать таблицу НП и остальные параметры и запустить программу на расчет. Для набора соосных тел вращения и 3D-тел в цикле задают последовательность нужных тел, выбираемых из списка имеющихся в системе, с заданием для каждого соответствующих параметров в таблице НП [1, 2]. Для 3D-тел, кроме того, определяют базовый объект (задается глобальная система координат), а для каждого последующего объекта задают положение собственной системы координат в глобальной системе координат. Для системы материальных точек циклически вводятся необходимые наборы параметров [1, 2].

После выполнения расчета можно просмотреть сформированный системой файл результатов, содержащий блок исходных данных и блок результатов расчета. Файл результатов можно вывести на печать, сохранить в файле под именем, заданным в настройках, или в файле с новым именем.

САР МГХ имеет две модификации, различающиеся режимами работы:
- полнофункциональный режим;
- режим справочника.

В полнофункциональном режиме пользователь сам может формировать множество объектов любого типа с помощью Моделлера языка ПЛОГ и средств ведения базы данных объектов, т.е. строить дерево объектов (см. рис. 3): добавлять, изменять, удалять виды объектов, классы объектов, экземпляры класса объектов.

Режим справочника предполагает жесткую структуру дерева и фиксированный набор объектов. Такой режим предполагает настройку САР МГХ на определенные предметную область и класс проектируемых объектов.

Пример расчета. Требуется рассчитать МГХ тела вращения (рис. 4). Данное тело является экземпляром класса "цилиндр–конус усеч.", ГМ которого изображена на рис. 2.

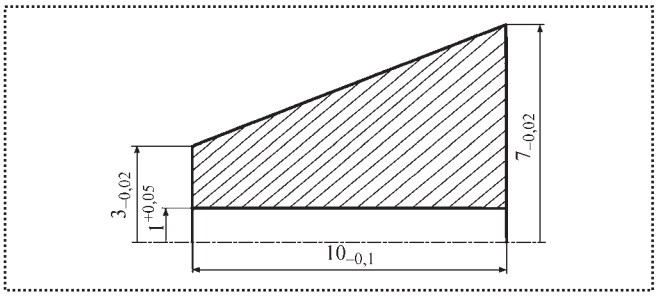


Рис. 4. Экземпляр класса объектов "цилиндр–конус усеч."

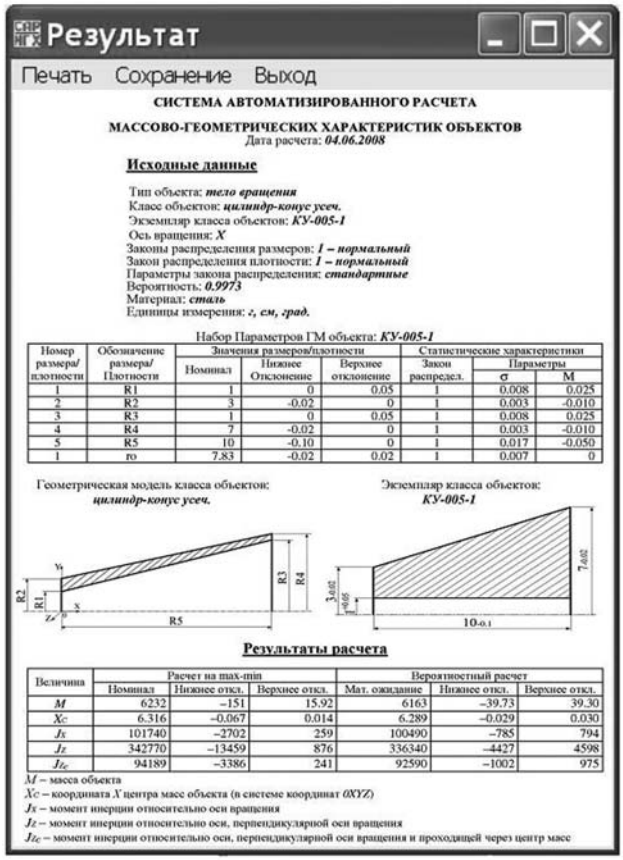


Рис. 5. Результаты расчета примера

Для данного экземпляра задано $r_1 = R_1$, поэтому он имеет геометрическую форму, отличающуюся от геометрической формы своего "родителя".

Размеры заданы в сантиметрах. Тело выполнено из стали (плотность r_0 = 7,83±0,02 г/см^3). Расчет МГХ тела проводят методом "максимум–минимум" и вероятностным методом (при P = 0,9973). Законы распределения размеров тела и плотность считают нормальными (код в таблице НП равен 1) со стандартными параметрами. На рис. 5 представлены результаты расчета примера.

Выводы

Приведено описание системы автоматизированного расчета массово-геометрических характеристик плоских и объемных объектов, позволяющей проводить расчеты МГХ как при номинальных значениях размеров и плотностей материалов деталей, так и при задании их допусков методом "максимум–минимум" и вероятностным методом. Возможность учета допусков позволяет проводить исследования их влияния на МГХ деталей, сборок, изделий.

САР МГХ позволяет выполнять расчеты широкого спектра объектов, относящихся практически ко всем отраслям промышленности. Использование базы данных объектов делает систему легко настраиваемой на объекты определенного вида и класса. При этом применение обобщенных геометрических моделей и наборов параметров существенно сокращает объем внешней памяти для хранения информации об объектах.

Расчеты МГХ в системе проводят по аналитическим выражениям, что позволяет быстро и точно проводить эти расчеты.

САР МГХ может быть полезна инженерно-техническим работникам конструкторских и проектных организаций различных отраслей народного хозяйства (машиностроительной, приборостроительной, строительной), студентам, аспирантам, научным сотрудникам.

Особую значимость САР МГХ может иметь при конструировании изделий, для которых МГХ являются ответственными (критическими) параметрами, в частности при проектировании ***прецизионных изделий, изделий авиационной и ракетно-космической техники.***

Библиографический список

1. **Аввакумов В.Д.** Методы расчета массово-геометрических характеристик 3D-мерных объектов и сборок с учетом разброса размеров в поле допуска. Ч. I // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2008. № 5. С. 12–16.

2. **Аввакумов В.Д.** Методы расчета массово-геометрических характеристик 3D-мерных объектов и сборок с учетом разброса размеров в поле допуска. Ч. II // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2008. № 6. С. 17–23.

3. **Фаворин М.В.** Моменты инерции тел. Справочник. М.: Машиностроение. 1977. 312 с.

4. **Поливанов П.М., Поливанова Е.П.** Таблицы для подсчета массы деталей и материалов. Справочник. 12-е издание. Изд-во Машиностроение. 2003. 304 с.

5. **Инженерные** данные – конструктору, технологу, управленцу // САПР и графика. 2005. № 4. С. 67–69.

6. **Карпиловский М.А., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А.** SCAD Office. Формирование сечений и расчет их геометрических характеристик. Изд-во Ассоциация строительных вузов, 2006. 80 с.

7. http://www.infars.ru

8. **Аввакумов В.Д.** Функциональная размерная параметризация в САПР. Изв. Тульского государственного университета. Сер. Машиностроение. Вып. 6 (специальный). Сборник избранных трудов конференции "Автоматизация и информатизация в машиностроении 2000" (АИМ 2000). Тула: ТулГУ. 2000. С. 22–28.

9. **Аввакумов В.Д., Турашова Е.П.** Обобщенные геометрические модели для вычисления массово-геометрических характеристик объектов. Автоматизация и прогрессивные технологии: Труды V межотраслевой научно-технической конференции. Т. I. Новоуральск: Изд-во НГТИ, 2007. С. 125–128.

Г.А. Расторгуев, *д-р техн. наук*
(Российский университет дружбы народов)

Расчет и анализ сборочной размерной цепи

Изложена актуальность расчетов сборочных размерных цепей на стадиях проектирования и изготовления продукции машиностроения. Рассмотрена методика проверки корректности составления размерных цепей конструкторской документации в процессе изготовления. Методика апробирована на конкретном примере сборочной единицы.

The actuality of assembly dimensional chains calculation at the stages of engineering product design and manufacturing is given. The examination technique of correctness of engineering drawings assembly chains in the process of manufacturing is considered. The technique is tested on the particular example of assembly unit.

Ключевые слова: размерная цепь, проектирование, изготовление, сборочная единица.

Key words: dimension chain, design, manufacturing, assembly unit.

Под точностью сборки согласно ГОСТ 23887–79 понимают свойство процесса сборки изделия обеспечивать соответствие значений параметров изделия заданным в конструкторской документации. В результате сборки должно быть обеспечено такое взаимное положение деталей и сборочных единиц, чтобы их исполнительные (функциональные) поверхности или сочетания этих поверхностей в своем относительном движении, а также в неподвижном состоянии не выходили за пределы установленных допусков не только в процессе сборки, но и в процессе эксплуатации машины.

Точность сборки машин и механизмов в машиностроении обеспечивают как разработкой рациональных технологических процессов изготовления деталей и сборки узлов, так и качеством конструкторской документации. Однако одноименные детали, поступающие на узловую и общую сборку, имеют свои индивидуальные размеры: они находятся в пределах допусков, но отличаются от фактических размеров других одноименных деталей.

В результате возможны различные сочетания деталей и некоторые из них не обеспечивают заданного эксплуатационного ресурса машины. Это объясняется тем, что вопросу регламентирования значений сборочных размеров пока не уделяют должного внимания. Как правило, в конструкторской документации оговаривают допусками незначительное количество сборочных размеров, что затрудняет отработку изделия на взаимозаменяемость, снижает качество собранных изделий, увеличивает трудоемкость изготовления и сборки.

Одним из методов определения рациональных допусков, обеспечивающих наиболее экономичную обработку деталей и сборку машин, является *расчет и анализ размерных цепей* [1].

Размерным расчетом называют совокупность математических методов и приемов (аналитических, графических, графоаналитических), направленных на установление номинальных значений допусков и отклонений сборочных и составляющих размеров. Функциональная связь между сборочными и составляющими размерами деталей в обобщенном виде может быть выражена уравнением

$$A = f(A_1, A_2, A_3, \ldots, A_n), \qquad (1)$$

где A – сборочный результирующий размер соединения;

A_1, A_2, A_3, ..., A_n – составляющие размеры (звенья) деталей.

В теории взаимозаменяемости различают два метода расчета: **проектный**, решающий прямую задачу, и **проверочный**, решающий обратную задачу [2].

Проектный метод расчета сводится к вычислению допусков составляющих размеров A_{ix} по известному номинальному значению сборочного размера A и его допуску. Следовательно, в этом случае уравнение (1) примет вид

$$A_{1x}, A_{2x}, A_{3x}, \ldots, A_{nx} = F(A). \qquad (2)$$

Проверочный метод расчета сводится к определению номинального значения сборочного размера A_x и его допуска по известным числовым значениям составляющих размеров деталей. В этом случае уравнение (1) примет вид

$$A_x = f(A_1, A_2, A_3, \ldots, A_n). \qquad (3)$$

Проектный метод расчета размерных цепей используют для обоснования норм точности изготовления деталей и узлов при разработке конструкторской документации.

В практике сборочного производства нередки случаи, когда заданные в сборочных чертежах технические требования (например, в тормозе кривошипного пресса необходимый зазор между тормозным диском и ступицей в муфте) не обеспечиваются. Здесь возможны два варианта: либо детали по сопрягаемым поверхностям изготовлены с недопустимыми отклонениями, либо сборочная размерная цепь рассчитана некорректно. Если проверка качества изготовления деталей по сопрягаемым поверхностям показала, что они соответствуют рабочим чертежам, естественно, возникает сомнение в правильности расчета сборочной размерной цепи, выполненной на стадии проектирования.

В настоящей статье подробно рассмотрен проверочный метод расчета сборочной размерной цепи.

Основные методические положения. Для выполнения проверочного расчета необходимо, чтобы числовые значения размеров (составляющих) деталей A_i, их допуски TA_i и отклонения ESA и EJA были известны и проставлены на сборочных чертежах и рабочих чертежах деталей.

Проверочные расчеты обычно выполняют в следующей последовательности.

1. По сборочным чертежам механизма и изделия в целом выявляют детали и их размеры, которые определяют искомый сборочный размер X_i, т.е. устанавливают взаимосвязь между деталями, образующими сопряжение для конкретного сборочного размера.

2. Для построенной размерной цепи записывают уравнение в общем виде. После анализа функциональной зависимости сборочного и составляющих размеров деталей буквенные обозначения членов уравнения заменяют известными числовыми значениями и вычисляют номинальное, максимальное и минимальное значения искомой величины сборочного размера.

3. Полученные результаты оценивают с точки зрения требований нормальной работы, собираемости и экономичности производства.

4. В соответствии с последовательностью проведения проверочного размерного расчета при любых принятых математических методах решения задачи расчет должен содержать приведенные ниже элементы.

Эскиз сопряжения. При составлении эскиза для расчета изображают только ту часть механизма изделия, сборочный размер которого вычисляют.

Эскиз должен показывать взаимосвязь поверхностей деталей, образующих сопряжение, и их взаимодействие в процессе функционирования. Масштаб эскиза может быть произвольным. Для более полного изображения связи деталей сопряжения эскиз (или его отдельные части) можно изображать схематически или утрированно в большом масштабе.

Если необходимо показать связь деталей в различных положениях, обычно составляют дополнительные эскизы или возможные положения деталей условно наносят на том же эскизе пунктиром. Все детали на эскизе обозначают номерами на выносных линиях. Как правило, составление эскиза предшествует расчету.

Размеры деталей на эскизе обозначают не цифрами, а буквами. Буквенные обозначения упрощают аналитические зависимости и уравнения, облегчая тем самым проведение математических преобразований, анализ, увязку повторяющихся размеров и т.д.

Условия расчета. Если детали рассматриваемого механизма могут занимать различные промежуточные положения, т.е. в процессе работы перемещаться в крайние положения к поверхностям своих посадочных гнезд, в расчете необходимо четко оговаривать, для какого положения деталей выполнен расчет (обычно рассматривают крайние положения деталей). Здесь же указывают все принятые в расчете упрощения или допущения, а также величину погрешности, вызываемой допущением.

В условиях расчета указывают все учтенные факторы, вызываемые технологическими вариантами изготовления детали или сборки узла (изделия), а также методы и средства контроля размеров.

Расчет. В него входят: составление размерной цепи и ее уравнения; решение полученного уравнения для номинального, максимального и минимального значений искомой величины.

В зависимости от характера размерной цепи (линейная, плоская или пространственная) методы и приемы решения уравнений размерных цепей различны. На практике выработаны приемы решения

линейных уравнений искомых величин для линейных и плоских размерных цепей.

Пример. Вычислить предельные значения зазора между шайбой *1* (рис. 1) и кольцом *2*. По техническим требованиям необходимо, чтобы зазор не превышал 0,5 мм. По сборочному чертежу составим исходные данные для расчета (табл. 1) и сформулируем условия расчета.

1. Шайба *1* отжата вправо в буртик оси *2*.

2. Шарикоподшипник *4* и кольцо *3* отжаты влево в торец буртика оси *2*.

Задача расчета: необходимо определить предельные значения зазора *X* между шайбой *1* и кольцом *3*. Составим размерную цепь (рис. 2). Расчет можно выполнить методом предельных размеров и методом предельных отклонений.

Расчет методом предельных размеров. Для расчета номинального, максимального и минимального значений зазора *X* необходимо в уравнении размерной сборочной цепи буквенные значения заменить на числовые

$$X_{\max} = A_{4\,\text{ном}} - A_{1\,\text{ном}} - A_{2\,\text{ном}} - A_{3\,\text{ном}} =$$
$$= 16 - 11 - 4 - 1 = 0.$$

Для вычисления максимального и минимального значений зазора *X* необходимо определить, какое влияние оказывают предельные значения составляющих звеньев на искомую величину. Увеличивающее звено A_4 рассматриваемой сборочной цепи является положительным, а все уменьшающие звенья A_1, A_2, A_3 – отрицательными. На основании этого получим следующие формулы для вычисления $X_{\max}$ и $X_{\min}$:

$$X_{\max} = A_{4\,\max} - A_{1\,\min} - A_{2\,\min} - A_{3\,\min};$$

$$X_{\max} = 16{,}12 - 10{,}9 - 3{,}84 - 0{,}94 = 0{,}44 \text{ мм};$$

$$X_{\min} = A_{4\,\min} - A_{1\,\max} - A_{2\,\max} - A_{3\,\max};$$

$$X_{\min} = 16 - 11 - 4 - 1 = 0 \text{ мм}.$$

Следовательно, размер зазора между шайбой *1* и кольцом *3* будет равен $X = 0^{+0,44}$.

Изложенная выше методика носит название: проверочный расчет сборочных размерных цепей по методу предельных размеров. На практике применяют упрощенный вариант расчета *по предельным отклонениям*. Сущность упрощенного варианта заключается в вычислении номинального размера верхнего (ESX) и нижнего (EJX) отклонений искомой величины по предельным отклонениям составляющих размеров сборочной цепи. Условные обозначения размеров и их номинальные значения записывают в табл. 2 с тем же знаком, с каким они входят в сборочную размерную цепь (см. рис. 2).

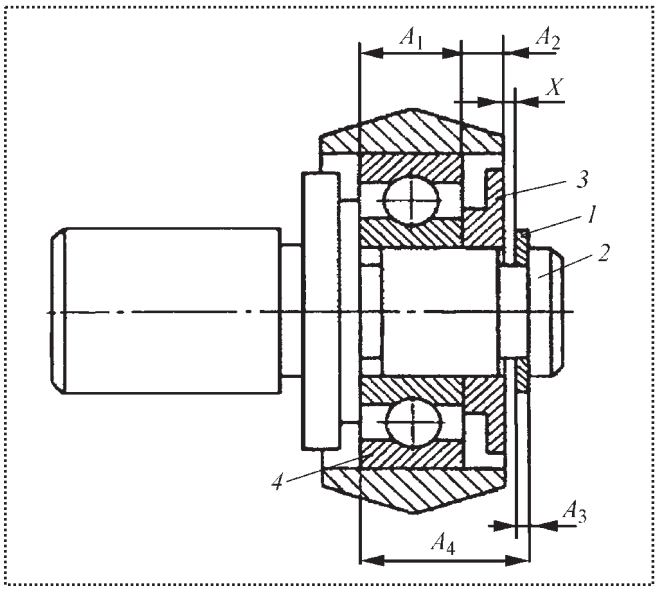


Рис. 1. Эскиз сборочной единицы

1. Исходные данные для расчета

Деталь (см. рис. 1)	Звено	Номинальное значение и квалитет точности	Допуск, мм
Шайба *1*	A_3	1 h11	–0,06
Ось *2*	A_4	16 H11	+0,12
Кольцо *3*	A_2	4 h12	–0,16
Шарикоподшипник *4*	A_1	11	–0,10

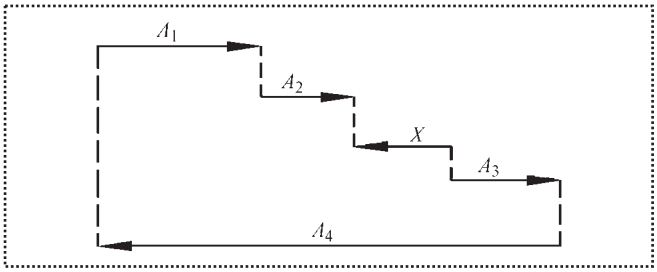


Рис. 2. Сборочная размерная цепь

2. Размеры и допустимые отклонения составляющих звеньев, мм

Звено (см. рис. 2)	Номинальный размер	Отклонение	
		Верхнее	Нижнее
$+A_4$	+16	+0,12	0
$-A_1$	−11	+0,10	0
$-A_2$	−4	+0,16	0
$-A_3$	−1	+0,06	0
X	0	+0,44	0

При записи числовых значений отклонений придерживаются следующего:

• если составляющее звено размерной цепи увеличивающее, то отклонение звена (размера) записывают соответственно: верхнее – в третью графу, нижнее – в четвертую графу со своими знаками;

• если составляющее звено размерной цепи уменьшающее, то его отклонения записывают соответственно: верхнее отклонение – в четвертую графу, а нижнее – в третью графу с обратными знаками.

В результате суммирования числовых значений получают номинальное значение искомой величины и ее предельные отклонения.

Вывод

Проверочный метод расчета сборочных размерных цепей позволяет с достаточной точностью установить причину несобираемости сборочного узла и дать конкретные предложения по корректировке конструкторской документации.

Библиографический список

1. **Технологичность** конструкций. Справочное пособие под ред. Ю.Д. Амирова. М.: Машиностроение, 1990. 768 с.

2. **Новиков М.П.** Основы технологии сборки машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1985. 892 с.

3. **Лебедовский М.С., Вейц В.Л. и др.** Научные основы автоматической сборки. Л.: Машиностроение, 1985. 316 с.

Издательство "Машиностроение" представляет книги

Технологические процессы механической и физико-химической обработки в авиадвигателестроении

В.Ф. Безъязычный, М.Л. Кузьменко, В.Н. Крылов. Под общ. ред. В.Ф. Безъязычного. 2-е изд., 2007. – 539 с., тв. пер., 60×88 1/16

ISBN 5-217-03366-5

Цена с НДС 550 руб.

Изложены методы формообразования деталей, применяемые для этих целей оборудование и инструментальные материалы, в т.ч. зарубежных фирм, наиболее рациональное их использование в технологических процессах изготовления деталей авиационных двигателей.

Большое внимание уделено прогрессивным методам обработки, обеспечивающим требуемые параметры качества изготовления деталей, надежность и ресурс авиационных двигателей.

С изучения этого курса студенты, будущие специалисты в области технологии производства авиационных двигателей и энергетических установок, знакомятся с технологическими особенностями производства, знание которых позволяет спроектировать технологический процесс изготовления детали, обеспечивающий требуемую точность и качество поверхностного слоя обработанной детали с минимальной себестоимостью.

Для студентов, обучающихся по специальности "Авиационные двигатели и энергетические установки" направления "Двигатели летательных аппаратов", полезно специалистам авиационной промышленности.

Приобрести книгу можно непосредственно в издательстве "Машиностроение", прислав заявку в отдел реализации по факсу: (495) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru; по почте: 107076, Москва, Стромынский пер., 4. ООО "Издательство Машиностроение". Справки по тел. (495) 269-66-00. http://www.mashin.ru

П.А. Тополянский *(НПФ "Плазмацентр", С.-Петербург)*

Техническая политика в области внедрений процессов восстановления и упрочнения*

Рассмотрена целесообразность использования прогрессивных технологий ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки, что является важным резервом экономии капитальных вложений и бюджетных средств предприятий промышленности и городского хозяйства.

The appropriateness of progressive repair technologies use, of machine components, mechanism, equipment, tools and production accessories reconditioning and strengthening is considered which is a significant capital investment and industrial and municipal services enterprises budgetary assets saving reserve.

Ключевые слова: восстановление, упрочнение, ремонт, капитальные вложения.

Key words: restoration, hardening, repair, investment.

Научно-производственная фирма "Плазмацентр", созданная учеными и специалистами факультета технологий и исследования материалов Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, успешно работает уже более 15 лет. Фирма выступает с инициативой создания в Санкт-Петербурге Центра технологий ремонта, восстановления и упрочнения машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки и ежегодно проводит Международные научно-практические конференции по этой тематике.

По данным Госкомстата РФ около 30 % работоспособного металлорежущего оборудования занято в ремонтных производствах, потери рабочего времени из-за выхода из строя, например, дорожно-строительной и сельскохозяйственной техники составляют 30...40 %, ремонтом автомобилей занимаются в 4–5 раз больше работающих, чем их изготовлением.

Мало кто задумывается, почему отечественные автомобили менее надежны, чем импортные, почему восстановленные детали имеют более низкий ресурс, чем новые, почему в обиходе существует термин "оригинальная запчасть", почему многие предприятия "живут" за счет выпуска запчастей... Список "почему" может быть продолжен до бесконечности.

А ответ прост, потому что в России пока выгоднее ремонтировать, чем изначально изготовлять высококачественные детали, потому что используемые во всем мире передовые технологии упрочнения, нанесения износостойких покрытий, восстановления деталей на наших производствах применяют крайне мало.

Важно отметить, что *проблемы качества* выпускаемой продукции более чем на 80 % зависят от руководителей высшего и среднего звена, а вовсе не от органов технического контроля. Поэтому лозунг проводимых нами конференций и школ-семинаров – известный во всех развитых странах "Руководителей надо учить!". Для создания конкурентоспособной продукции необходимо непрерывное повышение квалификации, как молодых, так и опытных работников, поскольку обновление информации идет быстрее смены поколений. Поэтому, "кто перестает учиться, тот изолирует себя от мира".

Практика промышленных предприятий показывает, что около 85...90 % общего числа всех деталей, подлежащих замене при ремонтах металлорежущих станков, выходит из строя из-за физического износа и только 10...15 % – вследствие случайных поломок. При этом критерием отбраковки деталей является износ не более 0,3 мм. Если принять концепцию экономии средств от закупки или изготовления новых запасных частей, то во всем мире используют технологии восстановления геометрических размеров и свойств поверхности. При этом важно ответить на вопрос: какую технологию восстановления необходимо использовать.

Подавляющее большинство деталей восстанавливают с применением технологий, использующих *тепловую энергию*. При этом тепловложение при

*По материалам 10-й Международной научно-практической конференции. 15–18 апреля 2008 г. С.-Петербург.

нанесении больших слоев изменяет геометрию восстанавливаемой детали, свойства материала основы и, соответственно, снижает ее ресурс. В связи с этим применение способов с минимальным нагревом и обеспечивающих минимальные величины припусков на механическую обработку становится задачей первостепенной важности. Одним из резервов восстановительных технологий является механизация и автоматизация процессов, оптимизация толщины наносимого покрытия.

Анализ и исследование материалов большинства деталей работающих в условиях трения и износа, изготовленных за рубежом, однозначно указывают на использование поверхностного нанесения покрытия методами наплавки или напыления. Поэтому, очевидно, такие детали более долговечны. Существует около двадцати основных разновидностей технологий наплавки и напыления. Перспективным направлением на Западе является *совмещение операций нанесения покрытия с дополнительным финишным упрочнением поверхности*.

Техническая политика в области использования прогрессивных технологий ремонта, восстановления и упрочнения требует проведения ряда организационных мероприятий, способствующих активации внедрений этих процессов, повышению надежности, долговечности, качества и конкурентоспособности изготовляемых и эксплуатируемых изделий. **Первостепенными задачами** на этом пути являются:

• обследование предприятий промышленности и городского хозяйства в целях выявления проблем, связанных с низкой работоспособностью деталей и изделий;

• проведение конференций и семинаров по технологиям ремонта, восстановления, упрочнения и защиты от коррозии для непосредственного общения с ведущими специалистами предприятий и их информирования о существующих прогрессивных технологиях;

• разработка региональных или отраслевых программ, связанных с защитой деталей и изделий от износа и коррозии и способствующих повышению надежности, качества, долговечности и конкурентоспособности изделий.

Конечным продуктом является внедрение современных технологий ремонта, повышение долговечности, надежности и качества деталей, оснастки и инструмента, создание качественной и конкурентоспособной продукции с использованием ресурсосберегающих видов техники и технологий, повышение эффективности производств любых отраслей промышленности за счет экономии материальных, трудовых и энергетических затрат.

Большая часть работы в этом направлении связана с выявлением и координированием проблем износа и коррозии, их научно-технической проработкой, независимой экспертизой оптимального варианта и внедрением технических решений, гарантирующих их качество. *Промежуточными задачами* могут быть:

♦ выдача конструкторских, технологических и эксплуатационных рекомендаций;

♦ разработка технологий;

♦ поставка материалов, программного обеспечения;

♦ изготовление и поставка оборудования;

♦ внедрение комплексных участков по упрочнению или восстановлению;

♦ обучение специалистов.

Проблемы, связанные с износом и коррозией, проходят **три стадии решения:**

■ маркетинговая, где координируют многопрофильные проблемы и решения защиты деталей и изделий от износа и коррозии для различных отраслей промышленности на основе отечественного и зарубежного опыта;

■ научно-технологическая, где обеспечивают разработку вариантов решения проблем, связанных с защитой деталей и изделий от износа и коррозии на основе современных представлений о конструкторских, технологических и эксплуатационных методах повышения работоспособности;

■ экспертная технико-экономическая, где проводят экспертизу альтернативных технических решений и определяют оптимальный вариант.

При этом **выбор рационального решения** основывается:

♦ на *конструкторских факторах* повышения долговечности и надежности работы изнашивающихся деталей:

• выборе материалов (применении новых антифрикционных, упрочненных, высокопрочных биметаллических материалов);

• расположении материалов в парах трения (увеличении площади поверхности трения, улучшении контактов, разъединении трущихся поверхностей, установлении оптимальных зазоров, равномерном распределении нагрузки);

• жесткости, податливости, специальной конфигурации деталей, применении дополнительных устройств, как фактор повышения износостойкости (применении съемных быстроизнашивающихся деталей, компенсаторов износа, фильтров);

• смазке устройств трения (применении самосмазывающихся материалов, гидродинамической, аэро- и газостатической смазки, обеспечении жидкостного трения, автоматизации смазки, эффекта избирательного переноса);

♦ *на технологических методах* обработки изнашивающихся деталей:

• использовании различных покрытий и методов упрочнения;

• оптимизации термической и химико-термической обработки;

• точности изготовления, взаимного расположения;

♦ *на эксплуатационных мероприятиях* по обеспечению надежности и долговечности изнашивающихся деталей:

• смазки в процессе эксплуатации (очистка смазочных систем);

• влиянии режимов работы машин на износ деталей (контроль за режимами работы);

• техническом состоянии изнашивающихся узлов на разных этапах эксплуатации (периодическое регулирование соединений);

• организации планово-принудительного ремонта;

• повышении квалификации ремонтных работ.

Большинство внедрений в области решения проблем износа и коррозии связано с технологиями восстановления геометрической формы и нанесения защитных покрытий с использованием электрофизических процессов. Среди этих методов важное место занимают следующие технологии.

Восстановительная ремонтная сварка – восстановление сложных и дорогостоящих конструкций узлов и деталей машин, вышедших из строя в процессе эксплуатации со значительной экономией капиталовложения, путем использования:

• ручной дуговой сварки покрытыми электродами;

• полуавтоматической сварки в среде углекислого газа;

• сварки в среде аргона;

• автоматической сварки под слоем флюса.

Новые технологии наплавки – нанесение покрытий порошковыми и проволочными материалами (на железной, никелевой, кобальтовой и медной основах) с использованием методов:

• плазменно-дуговой наплавки слоями толщиной от 1 до 4 мм;

• скоростной плазменной наплавки порошковых покрытий толщиной 0,3...2 мм;

• плазменной наплавки-напыления (процесс PTA) порошковых покрытий толщиной 0,5...4 мм и др.

Газотермическое напыление – нанесение металлических, керамических и композиционных порошковых и проволочных покрытий толщиной порядка 1...2 мм с регулируемой пористостью и температурой нагрева изделий менее 150 °С, исключающее деформации и структурные изменения металла основы (метод газопламенного, электродугового, плазменного, детонационного и высокоскоростного (процесс HVOF) напыления).

Электроискровое легирование – процесс нанесения покрытий толщиной не более 0,1 мм за счет переноса и осаждения эродируемого материала анода на поверхность катода – детали при протекании импульсных разрядов в газовой среде.

Финишное плазменное упрочнение – безвакуумное нанесение алмазоподобного тонкопленочного покрытия с использованием малогабаритного технологического оборудования с целью многократного повышения долговечности деталей, инструмента и технологической оснастки.

Вакуумные методы конденсационного осаждения покрытий – процессы, обеспечивающие получение покрытий толщиной до 10 мкм с использованием установок термического испарения, взрывного дугового испарения:

• распыления;

• ионного распыления;

• смешанного типа распыления.

Ниже приведен возможный перечень деталей и изделий различных отраслей промышленности, для которых рекомендовано использовать прогрессивные технологии ремонта, восстановления, упрочнения и защиты от коррозии.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

• детали пароводяной арматуры;

• лопатки, валы, крыльчатки, газозаходы осевых, центробежных дымососов пылеугольных блоков, вентиляторов;

• экранные трубы и гильзы термометров котлоагрегатов;

• рабочие лопатки последних ступеней, валы и седла группового клапана, лопатки диафрагм и сопловых аппаратов паровых турбин;

• лопатки винтов и валы конденсатных насосов;

• баббитовые вкладыши подшипников скольжения;

• валы электродвигателей;

• отверстия под подшипники щитов электродвигателей, корпусов насосов, редукторов, компрессоров, кондиционеров;

• рабочие колеса, лопасти, уплотнения, валы гидравлических насосов энергоблоков;

• подшипники качения трансформаторных электронасосов;

• циклонные элементы золоуловителей котлов, лопатки и валы тягодутьевых машин;

• сепараторы, теплообменники, клапаны ядерных водяных энергетических установок;

• вентиляционные лопатки турбогенераторов, детали горелок для сжигания твердого топлива;

• шнеки для подачи угля.

АВТОМОБИЛЬНОЕ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

• детали двигателей;

• детали почвообрабатывающих машин;

• размалывающие элементы дезинтеграторов;

• детали дождевальных машин.

СТРОИТЕЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

• закладные изделия и анкеры;

• металлоконструкции мостов, шлюзов, решеток ворот ограждений;

• шнеки бетономешалок;

• детали геологоразведочного бурильного оборудования;

• детали асфальтоделательных машин;

• детали землесосных снарядов.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

• валы электродвигателей;

• торцовые уплотнения электрических машин;

• баки крупногабаритных трансформаторов;

• электрические контакты сильноточных устройств, индикаторы установок ТВЧ;

• контактные кольца роторов турбогенераторов.

СТАНКОСТРОИТЕЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

• червяки редукторов;

• зубчатые колеса, рейки, шестерни, направляющие, шпиндели, центры станков;

• ходовые винты передач "винт–гайка качения";

• шнеки термопластавтоматов, литьевых машин;

• рабочие камеры и роторы резиносмесителей;

• подшипники скольжения, газовые, качения;

• шарнирные соединения прессов, оправки для навивки пружин.

ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

• ножи и пилы для установок мясопереработки;

• молотки для измельчения табака, масловыжимные шнеки;

• детали перекачивающих насосов, дрожжевых и молочных сепараторов;

• детали свеклосахарного, консервного, крахмалопаточного, хлебопекарного, молочного, бродильного оборудования.

ЧЕРНАЯ И ЦВЕТНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

• тяговые кольца станов мокрого волочения;

• ролики рольгангов, линий травления, правильных машин;

• лопатки дымососов, ротора эксгаустеров;

• валы свивальных машин;

• детали дробильного оборудования;

• валки горячей и холодной прокатки, водородных печей отжига;

• зубчатые колеса и звездочки цепных передач металлургического оборудования;

• лопасти газоотводов;

• вкладыши подшипников скольжения рихтовочных валов.

ТОПЛИВНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

• рабочие колеса, втулки и другие детали буровых насосов для гидродобычи угля;
• уплотнения угледобывающих машин;
• детали проходческих комбайнов, шарошки буровых долот;
• замки бурильных труб;
• гидроаппаратура горно-шахтного оборудования и насосных станций.

ТЯЖЕЛОЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ И ТРАНСПОРТНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

• детали компрессоров;
• валы червяков электрогенераторов вагонов;
• подшипники качения и оси колесных пар вагонов;
• лопатки подбоек путевых машин;
• лопатки газовых и паровых турбин;
• токосъемные башмаки мостовых кранов.

СУДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

• детали гидромеханизмов, судовых газотурбинных двигателей, компрессоров;
• детали судовой арматуры, подшипники валопроводов, шейки гребных валов.

ЛЕСНАЯ, ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ И ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

• валки и барабаны бумагоделательных машин;
• детали роторных питателей установок варки целлюлозы;
• цапфы сушильных цилиндров;
• ножи рейсмусовых, фуговальных, стружечных, лущильных станков, рубильные и гильотинные ножи, рамные, ленточные и дисковые пилы;
• детали лесозаготовительных машин.

ПОЛИГРАФИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

• валки полиграфических машин, ножи для резки бумаги.

ХИМИЧЕСКАЯ И НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

• детали запорной арматуры химических производств;
• червяки и гильзы экструзионного и литьевого оборудования;
• детали грязевых, щелочных гидронасосов;
• соединительные муфты и другие элементы нефтебурового оборудования;
• ножевые барабаны для резки пластмасс на гранулы;
• транспортирующие шнеки, шнеки центрифуг;
• сопла пароэжекторных и бустерных насосов;
• торцовые уплотнения агрегатов химических производств;
• направляющие аппаратов погружных центробежных насосов.

ЛЕГКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

• детали перемоточных, ткацких, прядильных, обувных машин.

Вывод

Эффективность внедрения прогрессивных технологий ремонта, восстановления, упрочнения и защиты от коррозии является важным резервом экономии капитальных вложений и бюджетных средств предприятий промышленности и городского хозяйства.

Н.В. Земляков, *канд. техн. наук (Орловский государственный технический университет)*

Стопорные гаечные соединения

Рассмотрены новые устройства и способ стопорения крепежной гайки с помощью контргайки, позволяющие обеспечить их надежную работу в условиях высокой и долговременной вибрации.

Article discusses new devices and method of fixing fastening nut with a check nut which provides reliable work of an assembly in a long-term high vibration environment.

Ключевые слова: стопорение, гайка, контргайка.

Key words: fixing, fastening nut, check nut.

Стопорение крепежных гаек при сборке узлов и машин является старейшей, классической задачей машино- и приборостроения.

Требование к надежности стопорения крепежной гайки всегда тесно связано с функциональным назначением определенной сборочной единицы или машины в целом.

Повышенные требования устанавливают для машин, связанных с перевозкой людей и особо ценных грузов: авиационной техники, пассажирских и военных самолетов и вертолетов, пилотируемых космических кораблей.

Не меньшие требования к надежности стопорения крепежных гаек предъявляют и к транспортирующей технике водного транспорта: пассажирским и военным кораблям, катерам, яхтам и, конечно, подводным лодкам. По количеству единиц транспорта наиболее массовыми являются автомобильный и железнодорожный транспорт, масса деталей и узлов которых закреплены с помощью крепежных гаек и контргаек.

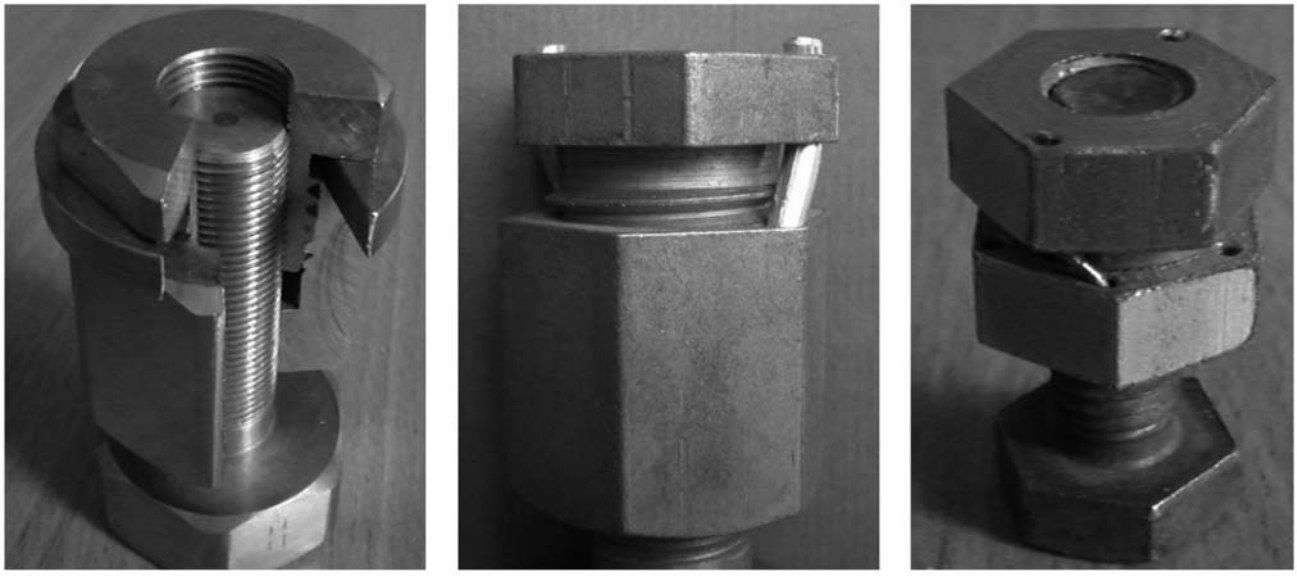
Крепежные гайки обеспечивают надежную ремонтнопригодную сборку и машин транспорта, и машин различного технологического назначения, а также строительных конструкций.

Крепежную гайку, как основную деталь резьбового соединения, навинчивают, как правило, поверх обычной плоской шайбы, которая предохраняет деталь или корпус машины от механических царапин, наносимых торцем крепежной гайки при ее затяжке. Но надежность обеспечения стопорения такой пары (крепежная гайка и обычная шайба) от самораскручивания при вибрации и замасливании невысока. Более совершенным способом стопорения указанной пары является установка между гайкой и обычной шайбой разрезной пружинной шайбы. Однако и такой способ не может полностью гарантировать от случая самораскручивания гайки при больших циклических вибрационных нагрузках.

Такое явление можно наблюдать на примере крепления железнодорожного рельса к шпале. В этом узле для поджатия рельса высокой крепежной гайкой используют не одну, а несколько пружинных шайб. При прохождении тяжелогруженых составов этот узел (прижимная скоба и пружинные шайбы) все время "играют" относительно прижимной гайки, так как рельс то отжимается, то прижимается к прижимной скобе из-за наличия резиновой прокладки. Это провоцирует крепежную гайку к самораскручиванию, тем более, что узел часто бывает замасленным. Для ликвидации этого недостатка ежегодно по стране выделяются сотни рабочих для осмотра состояния гаек и используются специализированные платформы для их подтяжки. На это уходят немалые средства.

Теоретический аспект решения такой задачи заключается в следующем. Необходимо, создать такую физическую модель резьбового гаечного крепления, которая бы обеспечивала высоконадежное крепление крепежной гайки на любом участке резьбового стержня, без ее упора через пружинные или иные шайбы в деталь, корпус или, как в вышерассмотренном примере, в рельс.

Изобретения автора "Стопорное устройство", "Способ Н.В. Землякова стопорения гайки на резьбовом элементе" позволили решить эту техническую задачу. Первое из них (см. рисунок, *а*) выполнено из крепежной гайки и контргайки. При этом они механически связаны между собой по дополнительной резьбе, имеющей больший шаг, чем у основной резьбы. До установки на резьбовой стержень устройство представляет собой узел, выполненный из крепежной гайки, ввинченной в контргайку по дополнительной резьбе. При этом между



Стопорение гайки на резьбовом элементе (способ Н.В. Землякова):
а – стопорное устройство; *б* – способ Н.В. Землякова стопорения гайки на резьбовом элементе; *в* – стопорное резьбовое соединение Н.В. Землякова

их смежными торцами имеется гарантированный зазор.

После установки (навинчивания) такого узла на резьбовой стержень и прижима детали крепежной гайкой, гайку удерживают гаечным ключом за грани. Контргайку начинают вывинчивать по дополнительной резьбе из тела крепежной гайки, при этом начинает увеличиваться гарантированный зазор. В полученный зазор после создания необходимого натяга в витках основной резьбы устанавливают специальную вилкообразную шайбу с подобранной селективным методом толщиной. После чего концы вилкообразной шайбы дополнительно соединяют между собой вязальной проволокой, обеспечивая тем самым высокую надежность от выпадания шайбы из зазора.

По данным Справки НПО "Поиск" ВНИИПИ № рег: 34–17–1–000266 от 17.04.1990 г., изобретение "Стопорное устройство" внедрено на 34 предприятиях, более чем в 14 министерствах и ведомствах СССР, в том числе на гиганте автопрома "КАМАЗ", а также в девяти вагонных депо России и Белоруссии, на десяти предприятиях пищевой промышленности в России и Эстонии.

Но и в этом случае конструкция "Стопорного устройства" не удовлетворяла автора, так как элемент, обеспечивающий сохранение созданного натяга в витках основной резьбы, устанавливается в гарантированный зазор дискретным методом. Такой дискретный метод не исключает зазора переходной посадки, который при длительном воздействии вибрации может ослабить созданный натяг в витках основной резьбы. Указанный недостаток позволил создать новое изобретение "Способ Н.В. Землякова стопорения гайки на резьбовом элементе" (см. рисунок, *б*).

В этом изобретении известная конструкция, выполненная из соединенных между собой крепежной гайки и контргайки по дополнительной резьбе с гарантированными зазорами между смежными торцами, обеспечена как минимум одной парой соосных отверстий, параллельных оси устройства. Отверстия выполнены в межгранных углах между смежными торцами крепежной гайки и контргайки через гарантированный зазор.

Перед стопорением в соосные отверстия устанавливают фиксирующий стержень, выполненный из алюминиевой или медной проволоки. Тогда при стопорении крепежной гайки на любом участке резьбового стержня (без опорной детали), т.е. при вывинчивании контргайки из тела крепежной гайки по дополнительной резьбе, соосные отверстия начнут смещаться относительно друг друга, а поскольку в отверстии установлена, например,

алюминиевая проволока, то она начнет изгибаться и далее пластически деформироваться.

Тогда увеличение и как бы заполнение гарантированного зазора обеспечивается не дискретным методом, как в предыдущем устройстве, а интегральным по времени. Более того, поскольку созданный в витках основной резьбы натяг сопровождается параллельным процессом пластической деформации фиксирующего стержня, можно утверждать, что созданный в витках основной резьбы натяг обеспечен механической памятью кристаллической решетки пластически деформируемого металлического фиксирующего стержня.

Но и этот способ имеет недостаток: необходимость изготовления специальной, далекой от стандартной, формы крепежной гайки и контргайки с дополнительной резьбой с бóльшим чем у основной резьбы шагом.

Наличие указанного недостатка побудило к созданию нового устройства: "Стопорное резьбовое соединение Н.В. Землякова" (см. рисунок, *в*).

В этой конструкции крепежная гайка и контргайка стандартной формы. Но в межгранных углах они имеют как минимум по одному соосному отверстию в которые, как и в изобретении "Способ Н.В. Землякова стопорения гайки на резьбовом элементе", устанавливают фиксирующий элемент из пластически деформируемого материала, а на крепежную гайку после ее затяжки устанавливают пружинную шайбу – гровер. Затем навинчивают контргайку, поджимают гровер, но не до упора, а с недокрутом на 1/8 или 1/6 часть оборота контргайки, при обязательном совмещении соосных отверстий, в которые устанавливают фиксирующий стержень. Далее контргайку не выкручивают, а наоборот, закручивают и этим пластически деформируют фиксирующий стержень, в котором также происходит пластическая деформация и обеспечивается "механическая память" созданного натяга в витках основной резьбы резьбового соединения.

Библиографический список

1. **Авторское** свидетельство СССР № 627255. Стопорное устройство / Н.В. Земляков. Б.И. № 37, 1978.

2. **Патент** России № 1178155. Способ Н.В. Землякова стопорения гайки на резьбовом элементе / Н.В. Земляков. (Не подлежит опубликованию в открытой печати).

3. **Патент** России № 2040711. Стопорное резьбовое соединение Землякова Н.В. / Н.В. Земляков. Б.И. № 21, 1995.

4. **Земляков Н.В.** Не подкручивайте! // Изобретатель и рационализатор. 1982. № 2. С. 20.

5. **Земляков Н.В.** Гайка, которая не ослабнет // Путь и путевое хозяйство. 1983. № 2. С. 33.

6. **Земляков Н.В., Фомичев С.В., Березин А.Н.** Разработка высоконадежных резьбовых стопорных устройств и опыт их эксплуатации на транспорте // Материалы научно-технич. конференции "Пути повышения надежности приборов и систем". Орел, 1989.

7. **Земляков Н.В.** Разработка высоконадежных резьбовых устройств и опыт их внедрения в промышленность // Материалы областной научно-технической конференции "Совершенствование конструкций и технологий производства приборов, машин, механизмов". Орел, 1990.

8. **Земляков Н.В.** Новые стопорные резьбовые соединения для оборудования пищевой промышленности // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию заслуженного деятеля науки и техники РСФСР проф. Попова Владимира Ильича. Часть II. Россия, Воронеж, 22–24 сентября 2004.

9. **Земляков Н.В.** Новые технологии стопорения резьбовых соединений (гаек и болтов) // Известия ОрелГТУ. Серия Машиностроение. Приборостроение. Орел. 2006. № 2 (528). С. 129.

Издательство "Машиностроение" представляет книги

Введение в нанотехнику

Головин Ю.И. 2007. – 496 с., тв. пер., 70×100 1/16

ISBN 978-5-217-03378-2

Цена с НДС 495 руб.

Кратко изложены термины, принципы, достижения и перспективы стремительно развивающейся области науки, техники и бизнеса – нанотехники и нанотехнологии. Представлены все важнейшие направления работ в этой сфере.

Параллельно с русской терминологией приведена англоязычная, так как, во-первых, часть терминов сначала появилась в английском языке и не всегда русские термины удачно передают их смысл. Во-вторых, даже английская терминология в области нанонауки не установилась окончательно, а русскоязычная тем более, что требует разъяснений и комментариев.

Пособие имеет целью в общедоступной форме познакомить студентов, аспирантов, инженеров различных специальностей, которые должны заниматься вопросами освоения нанотехнологии и нанотехники в своих предметных областях, с основными идеями и подходами, а также существующими и перспективными разработками в максимально концентрированном виде.

Приобрести книгу можно непосредственно в издательстве "Машиностроение", прислав заявку в отдел реализации по факсу: (495) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru; по почте: 107076, Москва, Стромынский пер., 4. ООО "Издательство Машиностроение". Справки по тел. (495) 269-66-00. http://www.mashin.ru

ИНФОРМАЦИЯ

А.Г. Холодкова, *канд. техн. наук*
(Московский государственный открытый университет)

Международная научно-техническая конференция "Машиностроение и техносфера XXI века"

В традиционной Международной научно-технической конференции "Машиностроение и техносфера XXI века", уже в 15-й раз проходившей в г. Севастополе 15–20 сентября 2008 г. под эгидой Международного союза машиностроителей, приняли участие ученые 20 различных стран: Белоруссии, Грузии, Латвии, Молдовы, России, Туркменистана, Украины, Армении, Узбекистана, Казахстана, Болгарии, Венгрии, Германии, Польши, Румынии, Словакии, Чехии, Сирии и др.

Целью конференции был обмен научно-технической информацией, определение перспективных путей создания и развития новой техники и технологий, выявление возможностей в реализации качественно новой совокупности свойств и меры полезности изделий, разработка совместных научных программ, установление деловых контактов и коммерческих связей в данной области.

Основная направленность работы конференции:

• создание и применение прогрессивных инструментов;

• прогнозирование и управление качеством промышленной продукции и технических систем. Проблемы инженерии поверхностного слоя изделий. Вопросы триботехники, трения, смазки и износа;

• проблемы машиностроения, создание мехатронных технологий и систем. Методы расчета деталей машин;

• проблемы создания современных инженерных материалов, совершенствование изделий машиностроения за счет нанесения покрытий;

• моделирование и расчет сложных технических систем и технологических процессов;

• вопросы проектирования и применения нетрадиционных и специальных технологий;

• проблемы инженерного образования.

На конференции работали следующие секции:

1. Практика и перспективы создания и применения прогрессивных и нетрадиционных технологий. Интегрированные и комплексные технологии. Сборка в машиностроении и приборостроении. Абразивные и виброабразивные технологии (представлено 44 доклада).

2. Механизация и автоматизация технологических процессов. Прогрессивное оборудование (представлено 32 доклада).

3. Комплексная автоматизация проектирования, подготовки и управления производством. Экономические проблемы техносферы (представлено 30 докладов).

4. Проблемы создания и применения прогрессивных инструментов и инструментальных материалов (представлено 23 доклада).

5. Управление качеством продукции и технических систем. Проблемы инженерии поверхностного слоя изделий (представлено 22 доклада).

6. Современные проблемы машиноведения и деталей машин (представлено 24 доклада).

7. Современные проблемы инженерии материалов, процессов и материаловедения в машиностроении. Упрочняющие технологии и покрытия изделий машиностроения (представлено 52 доклада).

8. Вопросы моделирования и расчетов технических систем (представлено 23 доклада).

9. Специальная техника и технологии техносферы. Экологические проблемы техносферы (представлено 43 доклада).

10. Современные проблемы инженерного образования. Евроинтеграция в образовании (представлено 13 докладов).

Кроме этого, 20 наиболее интересных, проблемных докладов, касающихся общих вопросов перспектив развития техносферы, авторами которых являются ведущие ученые восьми стран, были вынесены на пленарное заседание.

Особый интерес и дебаты вызвал доклад д-ра техн. наук профессора МГТУ им. Н.Э. Баумана Л.И. Волчкевича, посвященный проблемам высшего образования в связи с реализацией Болонской конвенции. Наиболее интересные доклады были отмечены дипломами I, II и III степеней.

В работе конференции приняли участие 234 представителя вузов, ведущих научных организаций, предприятий, фирм, конструкторских бюро. Заслушано 286 докладов и сообщений. Издан пятитомный сборник материалов конференции общим объемом около 1700 страниц, содержащий материалы 327 докладов 586 авторов, в числе которых 188 докторов и 386 кандидатов наук. Авторы представляют 128 организаций из 91 города Украины, России, Белоруссии и других стран ближнего и дальнего зарубежья.

Безусловно, такое широкое представительство различных научных школ и достижений производства очень полезно для развития науки и промышленности различных стран постсоветского пространства и укрепление деловых и личных контактов.

В рамках конференции проведен съезд Международного союза машиностроителей (МСМ), на котором ведущие машиностроители разных стран мира рассмотрели основные планы и перспективы работы МСМ на ближайший год, осуществили прием участников в члены МСМ.

Хочется отметить блестящую, четко продуманную организацию работы конференции. Помимо рабочих вопросов: помещений, оргтехники, сборников напечатанных материалов и т.п., были предусмотрены большие культурная и спортивная программы. Особый интерес вызвала морская экскурсия по бухтам Севастополя и знакомство с военными кораблями Черноморского Флота России.

От имени всех участников хочется выразить огромную благодарность организационному комитету конференции и его председателю д-ру техн. наук, профессору Донецкого национального технического университета Александру Николаевичу Михайлову.

Издательство "Машиностроение" представляет книги

Чижков Ю.П. **Электрооборудование автомобилей и тракторов:** учебник. 2007. – 656 с., тв. пер., 60×88 1/16

ISBN 5-217-03358-4

Цена с НДС 495 руб.

Приведены описание конструкций, принципа работы и технические данные устройств и приборов электрического и электронного оборудования автомобилей и тракторов.

Отличительными особенностями учебника являются полнота охвата дисциплины и простота изложения, учет требований новых ГОСТов. Для лучшего усвоения материала учебник хорошо иллюстрирован.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы". Может быть полезен для студентов средних профессиональных учебных заведений, обучающихся по автотракторным специальностям, а также работникам автотранспортных предприятий и сервиса, лицам, интересующимся устройством электрооборудования автомобиля и трактора.

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

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; http://www.mashin.ru**
Телефон редакции журнала: (495) 268-38-42; тел./факс (495) 268-85-26; факс 269-48-97.
Технический редактор *Тупталов С.Ю.* Корректоры *Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.*
Сдано в набор 09.09.08 г. Подписано в печать 29.10.08 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 6,86. Уч.-изд. л. 7,04. Заказ 1115. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ОАО "Издательство "Машиностроение".
Отпечатано в ООО "Подольская Периодика", 142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, д. 15.