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

10 2011 (135)

СОДЕРЖАНИЕ

Технологичность конструкции

Вартанов М.В., Безручкин В.В., Дмитриева О.Г. Автоматизация процедур обеспечения и оценки эксплуатационной технологичности крупногабаритных изделий . . . 3

Кашуба Л.А. Реальная геометрия детали . . . 7

Экономика и организация сборочного производства

Крылатков П.П. Управление целостностью технологического процесса . . . 16

Технологическая оснастка для сборки

Кристаль М.Г., Харькин О.С. Струйное устройство контроля и сортировки деталей для сборки . . . 21

Крутов А.В., Молодцов В.В. Влияние конструкции направляющих качения модульного типа на их эксплуатационные свойства . . . 24

Сборочно-сварочные работы. Пайка

Быковский О.Г. Современное состояние и тенденции развития сварки цветных металлов и сплавов . . . 32

Информация

Иванов А.Н. Международная специализированная выставка "Оборудование, приборы и инструмент для металлообрабатывающей промышленности" . . . 41

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индексы по каталогу “Роспечать” – **79748**, Объединенному каталогу “Пресса России” – **84967**, каталогу "Почта России" – **60257**) или непосредственно в издательстве
Тел.: (499) 268-38-42; тел./факс: 268-85-26. Факс: (499) 269-48-97.
E-mail: sborka@mashin.ru
Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Сборка в машиностроении, приборостроении", допускаются только с разрешения редакции и со ссылкой на источник информации.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

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

Редакционный совет

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

Региональные редсоветы

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
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
НИЖНИЙ НОВГОРОД
С.В. ГОЛУБЕВ
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.А. 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
ТУЛА
В.В. ПРЕЙС
ХАБАРОВСК
В.А. ЛАШКО

Украина
КИЕВ
А.С. ЗЕНКИН
В.А. МАТВИЕНКО
ДОНЕЦК
А.Н. МИХАЙЛОВ
СЕВАСТОПОЛЬ
Е.Л. ПЕРВУХИНА

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

Ответственные за подготовку и выпуск номера:
Ю.А. ЧИЧОВ, И.М. ГЛИКМАН

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

© Издательство “Машиностроение”, “Сборка в машиностроении, приборостроении”, 2011

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

10 2011 (135)

CONTENTS

Manufacturability of a construction

Vartanov M.V., Bezruchkin V.V., Dmitrieva O.G. Automation of procedures of maintenance and estimation of operational adaptability to manufacture of large-sized products . . . . . .

Kashuba L.A. Real geometry of the detail . . . . . .

Economy and the organization of assembly

Krylatkov P.P. Management of the technological process integrity . . . . . .

Technological equipment for assembly

Kristal M.G., Kharkin O.S. The jet device control and sorting of parts for assembly . .

Krutov A.V., Molodtsov V.V. Influence of modular type rolling guides design on their operational features . . . . . .

Assembly welding works. Solder

Bikovski O.G. Current state of technology of welding of nonferrous metals and alloys . . . . . .

Information

Ivanov A.N. The international specialized exhibition "the Equipment, devices and the tool for metal-working industry" . . . . . .

Journal is distributed on subscription, which can be issued in any post office (index on the catalogue of the "Rospechat" agency – **79748**, the union catalogue "Pressa Rossii" – **84967**, the catalogue "Pochta Rossii" – **60257**) or directly in editorial of the journal.
Ph.: (499) 268-38-42; ph./fax: 268-85-26. Fax: (499) 269-48-97.
http://www.mashin.ru E-mail: sborka@mashin.ru
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
A.S. VASIL'EV (Chief editor)
M.V. VARTANOV
A.M. DALSKY
A.A. GUSEV
I.N. ZININA
Yu.L. IVANOV
Yu.G. KOZYREV
A.I. KUMENKO
A.V. MEDAR'
E.A. MIKRIN
Yu.F. NAZAROV
V.V. POROSHIN
B.V. SHANDROV
A.A. SHATILOV
A.G. KHOLODKOVA
G.A. YARKOV

Regional editors

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

Ukraine
KIEV
A.S. ZENKIN
V.A. MATVIENKO
DONETSK
A.N. MIKHAILOV
SEVASTOPOL
E.L. PERVUKHINA

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

Executive editors of current issue:
Yu.A. CHICHOV, I.M. GLIKMAN

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

© "Mashinostroenie Publishers", "Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making", 2011

УДК 629.114.2.004.1

М.В. Вартанов, *д-р техн. наук, профессор (МГТУ "МАМИ"),*
В.В. Безручкин, *инженер (ФАУ 25 ГосНИИ химотологии Минобороны РФ),*
О.Г. Дмитриева, *инженер (Ульяновский государственный университет)*
E-mail: iptm@mami.ru

Автоматизация процедур обеспечения и оценки эксплуатационной технологичности крупногабаритных изделий*

Рассмотрены подходы к обеспечению эксплуатационной технологичности крупногабаритных изделий на примере технических средств заправки техники. Изложены стратегии обеспечения эксплуатационной технологичности изделий в процессе их проектирования. Приведено описание компьютерной программы расчета показателей эксплуатационной технологичности.

The approaches to ensure the maintainability of big items on the example of technical means of fueling vehicles. Set out strategies to ensure maintainability of products in the process of product design. We describe a computer program for calculating indices maintainability.

Ключевые слова: эксплуатационная технологичность, критерий оценки технологичности, процедура обеспечения технологичности, автоматизация расчета эксплуатационной технологичности.

Keywords: maintainability, manufacturability evaluation criteria and procedures to ensure manufacturability, automated calculation of maintainability.

Область знаний, связанная с технологичностью изделий, остается наименее формализованной в технологии машиностроения. Это является одним из основных препятствий для автоматизации проектирования. По сложившейся практике разделяют количественную и качественную оценку технологичности изделий (ТКИ).

В области производственной технологичности известен ряд работ по автоматизации обеспечения и оценки ТКИ [1, 2, 7]. В области эксплуатационной ТКИ подобные работы авторам неизвестны.

Процесс обеспечения ТКИ является достаточно трудоемкой процедурой. Кроме того, на определенных этапах конструкторской и технологической подготовки он представляется труднореализуемым без соответствующей формализации.

В современных условиях реорганизации Вооруженных Сил вопросы обеспечения эксплуатационной технологичности военной техники приобретают особую актуальность, определяемую необходимостью существенного сокращения трудоемкости обслуживания военной техники в эксплуатации.

Качественная оценка эксплуатационной ТКИ направлена на выявление нерациональных конструктивных решений, затрудняющих или делающих невозможным выполнение определенных операций технического обслуживания (ТО) и ремонта, а также выработку рекомендаций по их устранению [6].

Общеизвестно, что наиболее эффективно проводить отработку изделий на технологичность (в том числе и эксплуатационную) на стадии проектирования изделий. Следовательно, конструктор должен располагать соответствующим методическим и программным обеспечением.

Целью количественной оценки эксплуатационной ТКИ являются [6]:

* Работа выполнена в рамках реализации госконтракта ГК 14.740.11.0984 по ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг."

1) оценка соответствия показателей эксплуатационной ТКИ требованиям нормативно-технической документации (по данным испытаний ТКИ и эксплуатационных наблюдений)*;

2) выбор наилучшего с точки зрения эксплуатационной ТКИ варианта конструктивного решения при сравнении нескольких вариантов (при разработке и модернизации конструкции изделия и его модификаций).

Решение первой задачи может выполняться на основе базовых показателей, в том числе и удельных. Однако это возможно проводить только для схожих условий производства и эксплуатации. Кроме того, необходимо располагать соответствующей статистикой, которая далеко не всегда доступна. Расчет подобных показателей принято проводить по формуле

$$t_{\text{уд}} = T_{\text{ТО}} / q,$$

где $T_{\text{ТО}}$ – трудоемкость технического обслуживания; q – значение выходного параметра изделия.

Например, для технических средств заправки q – емкость цистерны.

Решение задачи выбора рациональной конструкции возможно на основе одной из двух стратегий [2] (рис. 1):

• последовательное совершенствование конструкции на основе прототипа;

• формирование множества решений и их последующая оптимизация.

Подобные процедуры были ранее предложены и реализованы для автоматической сборки [2]. Очевидно, что подобный подход может быть реализован и для эксплуатационной ТКИ.

Для реализации предлагаемых процедур необходимо решение ряда задач:

1) создание математических зависимостей для определения частных показателей эксплуатационной технологичности;

2) создание конструкторского банка данных;

Рис. 1. Алгоритм методов обеспечения технологичности изделий в процессе проектирования

3) разработка процедур выявления нетехнологичных конструкторских решений;

4) определение критерия оптимизации.

Первую задачу к настоящему времени можно считать решенной. Например, в универсальной форме коэффициент доступности принято оценивать соотношением вида

$$K_{\text{д}} = \frac{S^{(\text{о})}}{S^{(\text{о})} + S^{(\text{в})}},$$

где $S^{(\text{о})}$ и $S^{(\text{в})}$ – основная и вспомогательная трудоемкость обслуживания изделия в эксплуатации.

В частном случае для изделий авиационной техники коэффициент доступности предложено оценивать с учетом кратности технических обслуживаний соотношением вида [4]

$$K_{\text{д}} = \frac{K_{\text{д}3} T_3 + K_{\text{д}2} T_2 + 4 K_{\text{д}1} T_1}{T_3 + T_2 + 4 T_1},$$

*В последние годы базовые значения показателей ТКИ стали обязательными при разработке технических заданий на создание образцов военной техники.

где T_1, T_2, T_3 – средние трудоемкости ТО изделия при различных видах технического обслуживания; $K_д$ – коэффициент доступности при различных видах ТО.

Хотя задача определения частных показателей эксплуатационной технологичности в целом решена, однако математические зависимости для частных показателей эксплуатационной ТКИ имеют свою специфику для различных видов техники.

Вторая задача является чисто отраслевой. Однако уже известен ряд успешных попыток решения данной задачи. В частности, это работы А.Ф. Крайнева [3].

Третья задача представляется наименее изученной и также может носить только отраслевой характер. Однако вторая стратегия (см. рис. 1) и не требует ее решения.

Четвертая задача требует наличия критерия оптимизации. Известен подход к ее решению на основе комплексного показателя [5]:

$$Q = \frac{\Sigma K_о \varphi_i}{\Sigma \varphi_i},$$

где $K_о$ – относительный показатель, значимость которого определяется местом, занимаемым им в ранжированной последовательности; φ_i – функция, нормирующая весомость оценочных показателей, входящих в ранжированную последовательность, общее число которых равно N.

Таким образом, предлагается определять значимость показателя на основе параметрического ряда вида

$$\varphi_i = \frac{i}{2^{i-1}}.$$

Более обоснованным, на взгляд авторов (на начальных этапах проектирования), является применение методов теории экспертизы.

Изложенная методика стала основой алгоритма компьютерной программы оценки эксплуатационной технологичности крупногабаритных изделий (на примере технических средств заправки). Целью программы является оценка качества принимаемых конструкторских решений на уровень эксплуатационной технологичности техники.

Программа позволяет производить оценку технологичности конструкций средств заправки военной техники на основании данных о продолжительности и трудоемкости различных видов обслуживания и ремонта. Программа реализована на языке программирования C++ с использованием библиотеки MFC. Программа статически скомпонована со всеми необходимыми библиотеками и представляет собой единый исполняемый файл TKI.exe без дополнительных зависимостей от сторонних библиотек. Главное окно программы показано на рис. 2.

В программе предусмотрена возможность сохранения и загрузки введенных данных.

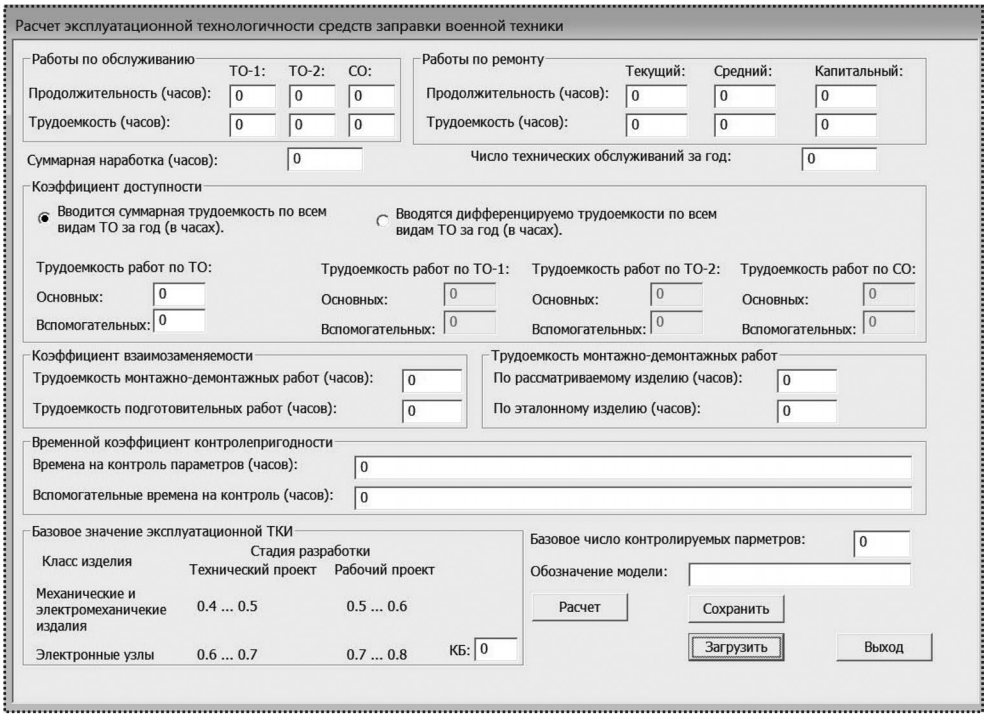

Рис. 2. Главное окно программы

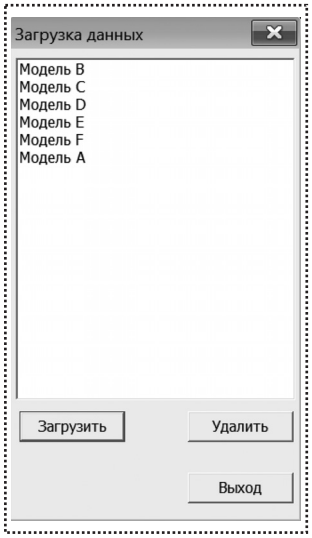

Рис. 3. Окно загрузки

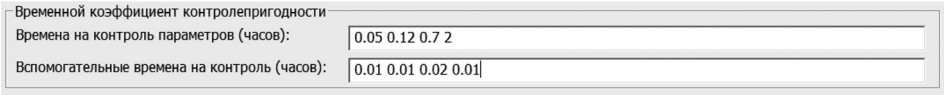

Рис. 4. Ввод множества значений

Данные сохраняются в текстовый файл формата INI с названием data.ini, находящийся в рабочем каталоге программы. Окно управления базой данных показано на рис. 3.

Ввод данных осуществляется в главном окне программы (см. рис. 2), в основные группы полей вводятся целые, либо дробные значения показателей (в качестве десятичного разделителя используется точка). В поля группы расчета коэффициента контролепригодности может вводиться множество значений (дробных или целых), разделенных пробелом (рис. 4).

В поле "обозначение модели" вводится информация, служащая идентификатором данной модели. Обозначения должны быть уникальны в пределах базы данных, в противном случае (при сохранении) текущие данные будут записаны поверх предыдущих, связанных с данным обозначением. Таким образом, старые данные будут утеряны.

Результат работы программы (после нажатия кнопки "Расчет") представляет собой краткий список значений вычисленных коэффициентов и рекомендации относительно эксплуатационной технологичности (примеры результатов работы приведены на рис. 5 и 6).

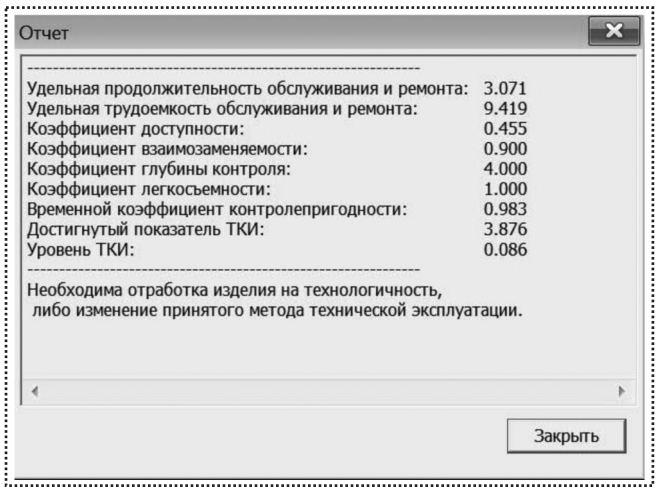

Рис. 5. Итоговый файл (требуется отработка конструкции на технологичность)

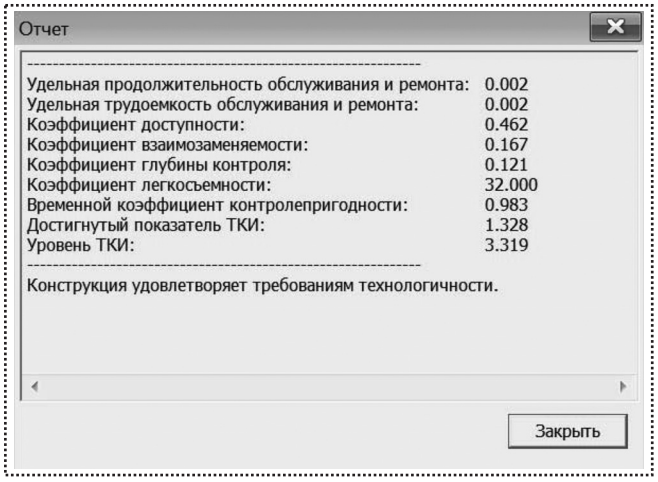

Рис. 6. Пример результата работы (отработка на технологичность не требуется)

Библиографический список

1. **Аверченков В.И., Шпичак С.А.** Обеспечение качества конструкторской документации при автоматизации процесса ее согласования на этапе отработки изделия на технологичность // Сб. тр. 4-й Междунар. науч.-техн. конферен. "Качество машин". Брянск. 2001. Т. 1. С. 13–14.

2. **Вартанов М.В.** Обеспечение технологичности конструкции изделий при их многоуровневом преобразовании в структуру процесса автоматизированной сборки. Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. М., 2005. 415 с.

3. **Крайнев А.Ф.** Идеология конструирования. Структурный синтез машин. // "Справочник. Инженерный журнал" (приложение), 2000, № 4.

4. **Пашков В.П., Поповская Я.А.** Анализ и оценка технологичности изделий приборостроения. Санкт-Петербург, СГУАП, 2007. 21 с.

5. **Эксплуатационная** технологичность конструкций тракторов. / В.М. Михлин, К.И. Диков, В.М. Стариков и др. М.: Машиностроение, 1982. 256 с.

6. **Эксплуатационная** и ремонтная технологичность конструкции изделия / Ю.Д. Амиров, П.Н. Волкова, Т.К. Алферова, В.П. Рыкунов // Сборка в машиностроении, приборостроении, 2001, № 5–7.

7. **Design** for assembly software // Modern machine shop. 2001, 73, № 8. P. 193–194.

УДК 514.851

Л.А. Кашуба, *канд. техн. наук, доцент (МГТУ им. Н.Э. Баумана)*
E-mail: leonid-ak@mail.ru

Реальная геометрия детали*

Геометрия номинальных элементов представлена в номинальной системе координат и в системе координат проекта. Реальная геометрия плоских элементов отличается от номинальной геометрии по форме и расположению. Рассмотрен способ определения отклонений формы и расположения плоских реальных элементов от соответствующих номинальных параметров.

The geometry of nominal elements is presented in nominal system of coordinates and in system of coordinates of the project. The real geometry of flat elements differs from nominal geometry under the form and an arrangement. In article the way of definition of deviations of the form and an arrangement of flat real elements from the nominal form and an arrangement is presented.

Ключевые слова: номинальный элемент, реальный элемент, номинальная система координат, система координат системы измерения, отклонения и погрешности формы и расположения.

Keywords: nominal element, real element, nominal system of coordinates, system of coordinates of system of measurement, form deviation, deviation of an arrangement, form and arrangement error.

Рассмотрим случай, когда реальный профиль отождествляется с прямой линией. Если в системе координат плоского профиля сечения непрерывный реальный профиль представить множеством точек с бесконечно малыми интервалами между ними, то для выбранной гармоники число дискретных значений на каждом периоде верхней гармоники должно быть более двух. После дискретизации непрерывного профиля приходится иметь дело с совокупностью, "облаком" точек реального контура в системе координат XOY, которую можно считать случайной выборкой из генеральной совокупности всего множества точек реального контура сечения.

В этом "облаке" необходимо расположить линию профиля сечения той же формы, что и номинальная прямая, по какому-нибудь универсальному алгоритму, обеспечивающему привязку его к координатам этих точек. Ищем такую функцию $f(x)$, которая не включает в себя узлы, а наоборот, проходит на некотором отдалении от них, стремясь, тем не менее, к тому, чтобы это отклонение было минимальным. Приближение данных (x_i, y_i) к прямой линии на координатной плоскости (x, y) осуществляется линейной функцией $y(x) = b + ax$.

Такой метод широко используется в экономико-математических методах прогноза (тренда) тех или иных показателей во времени их формирования или проявления, основанных на обработке статистических данных. Если точки дискретизации определены в некоторой произвольно выбранной системе координат XOY набором случайных значений (x_i, y_i), то такой алгоритм для прямого профиля известен. В математической статистике и теории вероятностей его называют *математической регрессией*, задачи которой – приближение выборки данных (x_i, y_i) некоторой непрерывной функцией $f(x)$, определенным образом минимизирующей совокупность отклонений (например, ошибок данных измерений) в узлах $|f(x_i) - y_i|$ от номинального контура (в данном случае – прямой).

Самый простой и наиболее часто используемый вид регрессии – линейная. На координатной плоскости (x, y) линейная функция, как известно, представляется прямой линией. Линейную регрессию часто называют методом наименьших квадратов, поскольку коэффициенты a и b вычисляют из условия минимума суммы квадратов отклонений точек реального контура от прямой в направлении оси Y

* Начало в № 8, 2011.

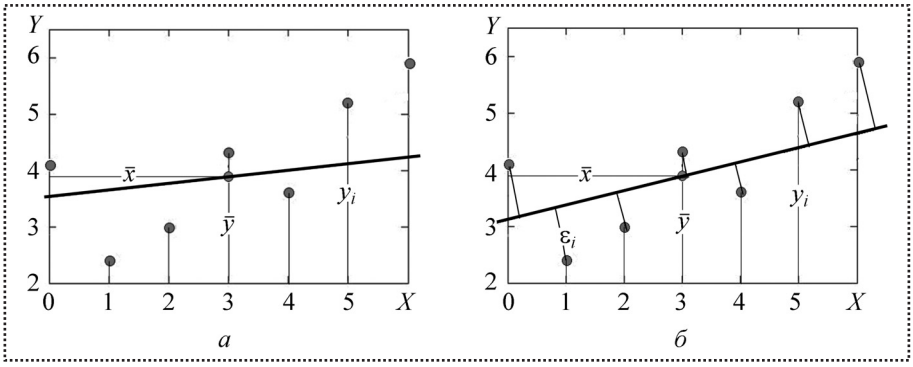

Рис. 5. Аппроксимации характера изменения точек массива данных линейной (*а*) и ортогональной (*б*) регрессией

$|b + ax_i - y_i|^2$ (рис. 5). В этом простейшем случае средняя линия профиля представляет собой прямую линию, задаваемую уравнением

$$y = \hat{\alpha} + \hat{\beta}(x_i - \bar{x}), \qquad (1)$$

где $\hat{\alpha}$ – ордината средней точки ($\bar{x}$, $\bar{y}$) этой линии; $\hat{\beta}$ – ее угловой коэффициент;

$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$ и $\bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$ – средние арифметические значения абсцисс и ординат.

При оценке линейной зависимости теории погрешностей задача состоит в том, чтобы сгладить отклонения от линейной зависимости, вызванные погрешностями наблюдений или отклонениями самой зависимости от строгой линейности. В этом случае уравнение (1) описывает прямую линию по наименьшим квадратам, а параметры уравнения получают путем приравнивания нулю частных производных

$$\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta}x_i)^2$$

по параметрам $\hat{\alpha}$ и $\hat{\beta}$ суммы квадратов отклонений, что дает соотношения

$$\hat{\alpha}_{\text{н.к}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i;$$

$$\hat{\beta}_{\text{н.к}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i x_i - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)}. \qquad (2)$$

Метод получил название "метод минимума квадратов отклонений" случайных положений точек, известный из статистики и теории вероятностей ошибок (погрешностей). Формально это уравнение совпадает с уравнением линейной зависимости, оцениваемой по методу наименьших квадратов.

Иначе обстоит дело при определении положения средней линии профиля, которая сама должна играть роль оси *X*. Поэтому среднюю линию определяют как прямую ортогональной средней квадратической регрессии (линию ортогональной регрессии) [1]:

$$y = \hat{\alpha}_{\text{ор}} + \hat{\beta}_{\text{ор}}(x - \bar{x}),$$

которую в упрощенной форме находят как прямую, проходящую так, чтобы сумма квадратов расстояний от точек x_i, y_i профиля до этой прямой была минимальной (рис. 5, *б*).

Пользуясь распространенной механической аналогией, точкам x_i, y_i приписывают единичные массы и ищут ось вращения, дающую данной механической системе наименьший момент инерции. Из механики известно, что такая ось проходит через центр тяжести системы, имеющий координаты $\bar{x}$, $\bar{y}$, найденные в формуле (1). В искомом уравнении

$$\hat{\alpha}_{\text{ор}} = \hat{\alpha}_{\text{н.к}} = \bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i;$$

$$\hat{\beta}_{\text{ор}} = \text{tg}\varphi_{\text{ор}},$$

где

$$\text{tg}2\varphi_{\text{ор}} = 2\frac{\sum_{i=1}^{n} y_i x_i - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{\left[\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right] - \left[\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2\right]}.$$

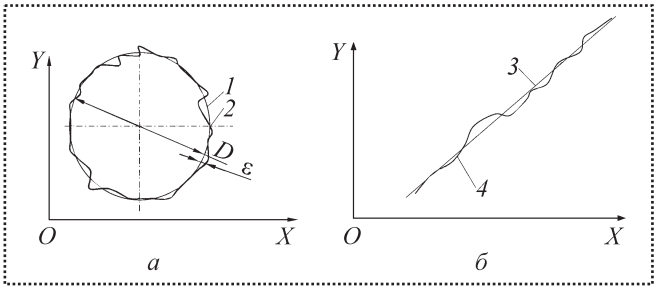

Рис. 6. Средние элементы для реальных круга (*а*) и прямой (*б*):
1 и *2* – соответственно отсчетный и реальный контуры;
3 и *4* – отсчетный и реальный профили

С помощью ортогональной средней квадратической регрессии можно найти единственное положение номинального прямого профиля среди точек реального контура в системе координат системы измерения XOY при любом расположении реального контура на плоскости по отношению к осям этой системы координат.

Уравнение среднего элемента любой формы с кривизной, отличающейся от прямой линии, отличается и от уравнения номинального элемента. Это приводит к противоречию при обязательной необходимости нахождения отклонения формы реальной геометрии от номинальной (рис. 6).

Из-за однозначности средние элементы могут быть использованы для определения положения расположения реальных элементов. Но как обеспечить при этом определение отклонения формы от номинальной геометрии элемента?

В двух предлагаемых вариантах стандарт ГОСТ 24642–81 вступает в противоречие со своим же определением отклонения формы элемента как "отклонение формы реального элемента от номинальной формы".

Рассмотрим такую задачу для элемента, имеющего кривизну. Пусть в номинальной системе координат элемента $X_1O_1Y_1$ (рис. 7, *а*) задана номинальная геометрия дуги, как и на рис. 3. Выбор дуги обусловлен тем, что этот элемент обладает более сложной кривизной, чем прямая линия, и легко определить расстояние любой точки до дуги по нормали к ней.

В номинальной системе координат элемента $X_1O_1Y_1$ – дуга окружности радиуса R, описываемая уравнением

$$(X_1 - X_1C_1)^2 + (Y_1 - Y_1C_1)^2 = R^2$$

или

$$R = [(X_1 - X_1C_1)^2 + (Y_1 - Y_1C_1)^2]^{0,5}$$

с началом в точке $X_1\text{H}_1$, $Y_1\text{H}_1$ и концом в точке $X_1\text{K}_1$, $Y_1\text{K}_1$,

где X_1C_1, Y_1C_1 – координаты центра дуги;

$X_1\text{H}_1$, $Y_1\text{H}_1$ – координаты начала дуги;

$X_1\text{K}_1$, $Y_1\text{K}_1$ – координаты конца дуги.

Расстояние от любой точки с координатами X_{1i}, Y_{1i}, лежащей вблизи дуги, до дуги радиуса R

$$\varepsilon = [(X_{1i} - X_1C_1)^2 + (Y_{1i} - Y_1C_1)^2]^{0,5} - R.$$

Однако номинальный элемент имеет одну номинальную величину, а реальный элемент может быть как больше, так и меньше номинального.

В системе координат системы измерения $X^*O^*Y^*$ имеем ряд точек, соответствующий дуге круга радиуса R, и две характерных точки на концах дуги H_1^* и K_1^* (рис. 7, *б*).

Кривая, полученная с помощью координатно-измерительной машины в системе координат системы измерения, соответствует реальному профилю. Она мало похожа на исходную

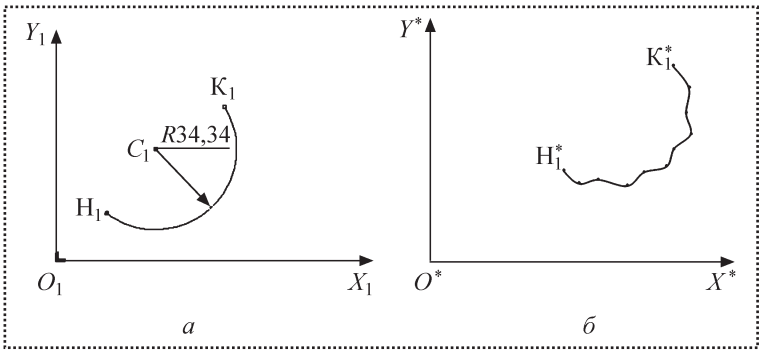

Рис. 7. Профили номинальный (*а*) и реальный (*б*), измеренный координатно-измерительной машиной

дугу в связи с неизбежными погрешностями ее начертания (изготовления) от руки. Насколько она отличается от номинальной геометрии дуги? Эту кривую в соответствии с изложенными ранее правилами можно дискретизировать набором точек. Попытаемся в это "облако точек" вписать номинальную систему координат с номинальной геометрией по правилу: сумма квадратов отклонений реальных точек от номинального профиля минимальна.

Для этого поместим номинальную систему координат элемента с номинальной геометрией на листке кальки. Допустим, что система координат системы измерения с измеренными точками неподвижна, а система координат номинального элемента подвижна. Перемещая и поворачивая подвижную кальку с номинальной системой координат и номинальной геометрией относительно реальной геометрии элемента в системе координат системы измерения, найдем такое положение подвижной системы координат, чтобы точки измеренной геометрии относительно номинальной расположились по минимуму суммы квадратов отклонений.

Для точного выполнения этого процесса необходимо:

– определить расстояния от точек дискретизации до номинальной дуги в каком-либо случайном положении номинальной системы координат элемента, характеризуемом положением начала O_1 в системе координат системы измерения $X^*O^*Y^*$, определяемом случайными значениями вектора R и матрицы направляющих косинусов A;

– вычислить сумму квадратов расстояний от номинальной геометрии при этом случайном положении;

– разработать алгоритм поиска значений R^* и A^*, при которых сумма квадратов будет минимальной.

Решив все перечисленные задачи, получим в системе координат системы измерения положение номинальной системы координат элемента (рис. 8). Полученный результат показывает, что при вписывании номинального элемента в точки реального методом "минимума суммы квадратов отклонений точек реального контура относительно номинального":

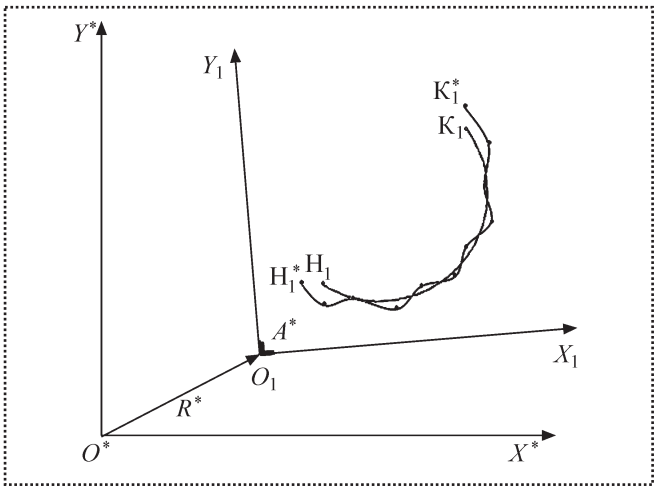

Рис. 8. Результат поиска положения номинальной геометрии элемента среди точек реального элемента по минимуму суммы квадратов отклонений

– метод наименьших квадратов позволяет однозначно определить положение номинальной системы координат номинального элемента в системе координат системы измерения;

– величина реального элемента отличается от величины номинального, поскольку точки H_1, H^* и K_1, K^* не совпадают, что делает непригодным использование среднего номинального элемента в качестве среднего для определения отклонения формы реальной геометрии от номинальной.

Существенным недостатком выбора номинального элемента в качестве среднего является то, что не учитывается величина реального элемента.

Как ее учесть? Ссылки в тексте стандарта "имеющий форму номинального элемента" неявно предполагают либо эквидистанту к элементу, либо изменение его масштаба. Более предпочтителен вариант, когда элемент в форме номинального будет эквидистантен к номинальному элементу в его номинальной системе координат.

К этому же варианту сводится понятие поля допуска отклонения формы элемента, принятое в ГОСТ 24642–81. Поле допуска формы элемента (профиля сечения или поверхности)

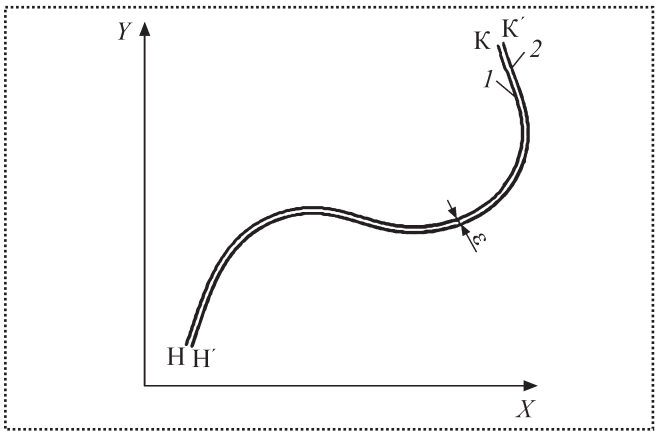

Рис. 9. Эквидистанта *2* к исходному профилю *1*

определяется как область, ограниченная двумя линиями или поверхностями, эквидистантными номинальным элементам, отстоящими друг от друга на расстоянии, равном допуску отклонения формы элемента. Эта область пространства может быть либо вне номинального элемента, либо пересекаться с ним.

Таким образом, для учета влияния величины элемента на расположение отклонения формы относительно номинальной необходимо ввести еще одно понятие– эквидистантный элемент, полученный в номинальной системе координат номинального элемента (рис. 9). Эквидистанта может быть как по одну сторону элемента, так и по другую. Для плоской кривой точки эквидистанты удалены по нормали к исходному профилю на расстояние ε.

Сформируем эквидистанту к номинальному элементу в той же номинальной системе координат. Увеличивая или уменьшая величину эквидистанты, добьемся наименьшей из возможных ее величин, при которой сумма квадратов отклонений точек реального элемента в системе координат системы измерения от сформированной эквидистанты будет минимальной из возможных. Искомый минимум возможен только при одном единственном значении эквидистанты с учетом величины и направления ее смещения. Поскольку эквидистанту к любой плоской кривой строят в той же номинальной системе координат, что и исходный номинальный профиль, это уточненное положение номинальной системы координат номинального элемента и будет положением реальной системы координат реального элемента в системе координат системы измерения.

При реализации этой идеи возникает проблема определения эквидистанты к любому плоскому (а в перспективе пространственному) элементу, и вычисления направления и смещения эквидистанты в номинальной системе координат элемента и расстояния от точек дискретизации до эквидистанты. Проблему можно преодолеть, если вспомнить, что точки начала H′ и конца K′ эквидистанты смещены относительно начала H и конца K номинального элемента также по нормали. Эти точки могут быть использованы для оценки величины эквидистанты к элементу в номинальной системе координат элемента и в системе координат системы измерения для оценки расположения номинальной системы координат номинального элемента, от которого оценивают отклонение формы реального элемента.

Если подобрать эквидистанту к номинальной геометрии в номинальной системе координат, так чтобы ее точки H_1' и K_1' совпали с точками H_1^* и K_1^* в системе координат системы измерения, то положение подвижной системы координат в неподвижной можно считать системой координат дуги в системе координат системы измерения $X^*O^*Y^*$ (рис. 10). Вектор R^* и матрица A^* определяют положение номинальной системы координат элемента в системе координат системы измерения, а расстояние точек реальной геометрии от номинального профиля – отклонение формы элемента.

Будет ли при этом выполняться условие минимума суммы квадратов отклонений точек реального элемента от эквидистантного при совмещении точек начала и конца дуг? Это требует доказательства для всех возможных форм элемента, однако пока оно не обязательно, так как номинальная геометрия задана в номинальной системе координат, то в той же системе координат задается и эквидистанта с точка-

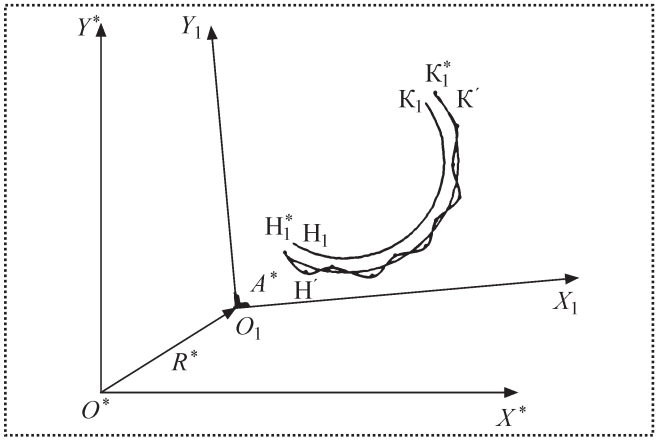

Рис. 10. Результат поиска положения эквидистанты к номинальной геометрии элемента среди точек реального элемента по минимуму суммы квадратов отклонений

ми H_1' и K_1', а отклонения формы элемента определяются от номинальной геометрии в номинальной (подвижной) системе координат.

По расстоянию между точками H_1' и K_1', измеренному в системе координат системы измерения, можно определить направление и величину смещения ε эквидистанты по отношению к первообразной в номинальной системе координат проекта и поместить эту эквидистанту между началом и концом точек в системе координат системы измерения. Тогда номинальная система координат элемента будет системой координат реального элемента в системе координат системы измерения. Исходный номинальный профиль в этой системе координат будет отсчетной номинальной линией для оценки отклонения формы.

Следовательно, используя эквидистанту к номинальной геометрии элемента в номинальной системе координат и совмещая координаты начала и конца эквидистантного профиля элемента с их координатами в системе координат системы измерения, для любых плоских элементов могут быть определены как положение номинальной системы координат элемента в системе координат системы измерения, так и отклонение формы от номинальной.

Преимущество эквидистанты еще и в следующем. Если при совмещении точек начала и конца дуг будет строго доказано, что при этом обеспечивается минимум суммы квадратов отклонений точек реального элемента от эквидистантного, то нет необходимости:

– дискретизировать форму контура профиля;

– вычислять сумму квадратов отклонений точек реального профиля от эквидистанты;

– проводить сложный поиск направления и величины смещения ε и положения эквидистанты.

Таким образом, есть менее трудоемкий способ решения задачи. Достаточно обозначить две удаленные друг от друга характерные точки на номинальном контуре профиля, найти их на профиле после измерения в системе координат системы измерения и сравнить расстояние между этими точками. Если расстояния равны, то, совместив номинальную геометрию элемента в номинальной системе координат с измеренной геометрией в системе координат системы измерения $X^*O^*Y^*$, получим положение системы координат реальной геометрии элемента в системе координат системы измерения.

Если расстояния не равны, то, определив направление и вычислив величину ε смещения эквидистанты к номинальному профилю и координаты характерных точек этой эквидистанты в номинальной системе координат, совместив номинальную геометрию элемента в номинальной системе координат с измеренной геометрией в системе координат системы измерения $X^*O^*Y^*$, получим положение системы координат реальной геометрии элемента в системе координат системы измерения.

Найдем для обоих случаев отклонение точек реальной геометрии профиля от номинальной геометрии в номинальной системе координат.

Положение номинальной системы координат элемента в системе координат системы измерения $X^*O^*Y^*$ определяют значения вектора R^* и матрицы A^*, а расстояние точек реальной геометрии от номинального профиля определяет отклонение формы элемента.

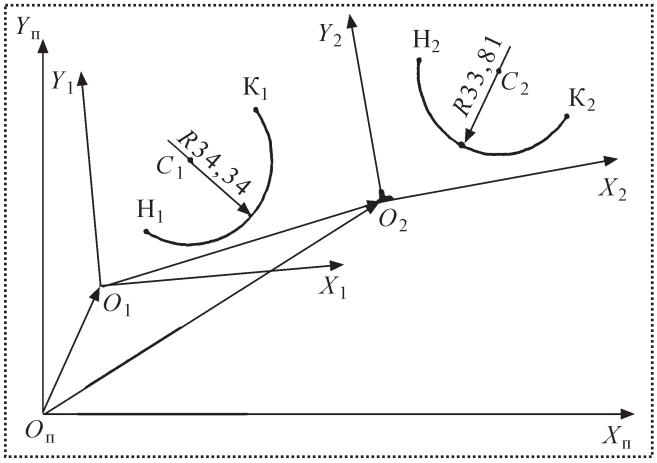

Рис. 11. Номинальная геометрия элементов в системе координат проекта

Рассмотрим более сложную задачу с двумя дугами. Пусть в системе координат проекта задана номинальная геометрия двух дуг, каждая из которых представлена в собственной номинальной системе координат элемента (рис. 11). После измерения в системе координат системы измерения получим профили в системе координат системы измерения $X^*O^*Y^*$ (рис. 12, *а*). Проделав с ними описанные ранее процедуры по вписыванию эквидистанты к номинальной геометрии элемента в номинальной системе координат, получим расположение номинальных систем координат элементов $X_1O_1Y_1$ и $X_2O_2Y_2$ в системе координат системы измерения $X^*O^*Y^*$ (рис. 12, *б*). Это положение не совпадет с положением тех же номинальных систем координат в системе координат проекта $X_пO_пY_п$ (рис. 3, *а*). Но если в системе координат базы рассматривать относительное расположение систем координат $X_1O_1Y_1$ и $X_2O_2Y_2$ (например, системы координат $X_2O_2Y_2$ по отношению к системе координат базы $X_1O_1Y_1$), то разницу их относительного расположения можно найти как по положению начала координат O_2 относительно O_1, определяемому радиус-векторами $R_{2,1}$ и $R^*_{2,1}$, так и по разнице матриц направляющих косинусов $A_{2,1}$ и $A^*_{2,1}$ (рис. 13, *а* и *б*).

В системе координат базы $X_бO_бY_б$ определены номинальная система координат элемента $X_нO_нY_н$ с радиусом-вектором $R_н$ и матрицей направляющих косинусов $A_н$, система координат реального элемента $X_рO_рY_р$ с радиусом-вектором $R_р$ и матрицей направляющих косинусов $A_р$, расположение реальной системы координат относительно номинальной с вектором $\Delta R_{рн}$ и матрицей направляющих косинусов $\Delta A_{рн}$ (рис. 14). Здесь

$$\Delta R_{рн} = A^т_н (R_р - R_н);$$

$$\Delta A_{рн} = A^т_н A_р,$$

где $A^т_н$ – транспонированная матрица $A_н$.

Параметры $\Delta R_{рн}$ и $\Delta A_{рн}$ можно считать погрешностями расположения по месту и углу, а отклонения реального профиля от номинального можно считать погрешностями формы.

Из рассмотренного примера следует:

– в системе координат проекта на каждом элементе следует отметить две достаточно уда-

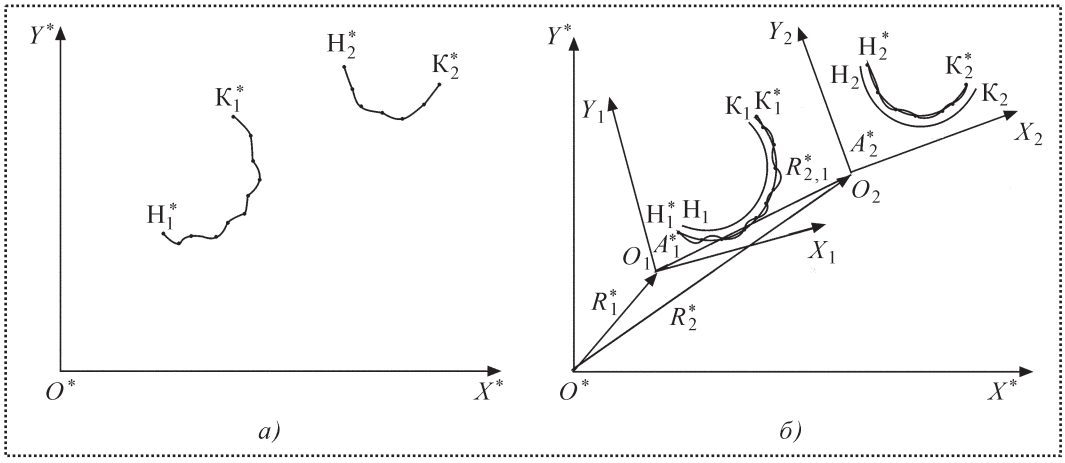

Рис. 12. Итог обработки данных после измерения: *а* – результат измерения; *б* – определение положения эквидистант к номинальной геометрии элементов среди точек реального элемента по минимуму суммы квадратов отклонений

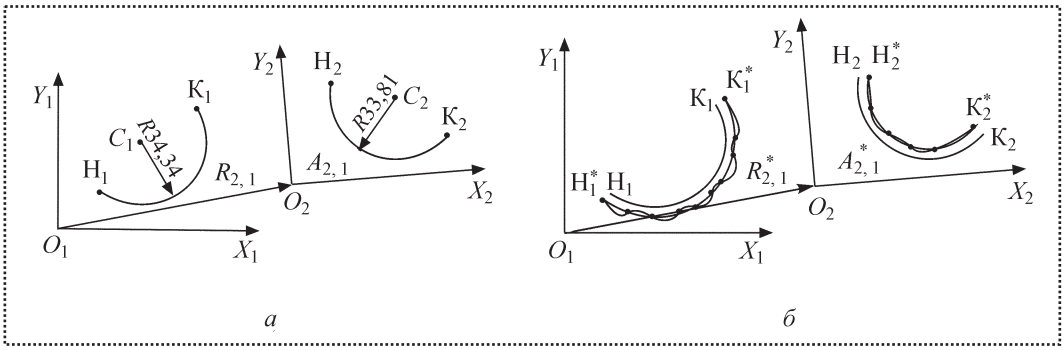

Рис. 13. Сравнение расположения систем координат номинальных (*а*) и реальных (*б*) элементов в системе координат базы

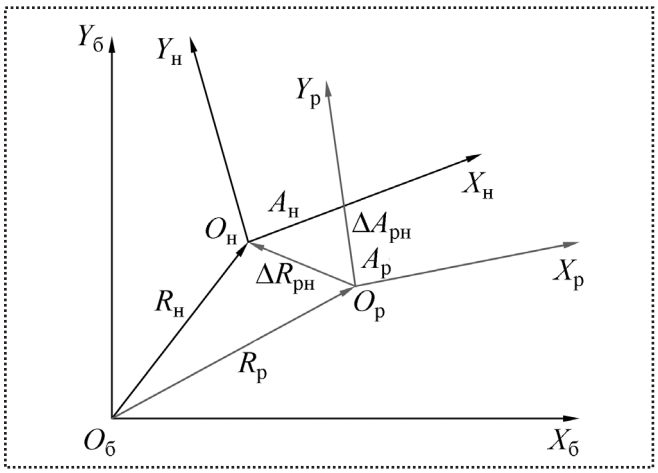

Рис. 14. Погрешности расположения элемента в системе координат базы

ленные друг от друга точки (реперные знаки), принадлежащие каждому элементу, определить координаты в номинальной системе координат элемента и вычислить расстояние между ними в этой же системе координат;

– после контроля элемента с помощью координатно-измерительной машины найти в системе координат системы измерения все точки реальной геометрии элементов с необходимой точностью, включая отмеченные реперные знаки, и вычислить расстояние между измеренными реперными знаками;

– если расстояния совпадают, то собственная система координат реальной поверхности, построенная на характерных точках номинальной поверхности, обеспечивает совпадение систем координат номинальной и реальной поверхностей и определяет положение номинальной системы координат элемента (реальной поверхности) в системе координат системы измерения.

Если расстояния не совпадают, то в номинальной системе координат элемента находят эквидистанту к нему с расположением соответствующих эквидистантных одноименных характерных точек и положение номинальной системы координат элемента относительно системы координат эквидистантных одноименных характерных точек, которое определяет расположение номинальной системы координат элемента в системе координат системы измерения.

Значит, найдено достаточно простое решение для определения положения номинальной системы координат элемента в системе координат системы измерения. По положению в ней номинальной геометрии элемента найдем искомое отклонение формы реального элемента.

Если определить расположение номинальной системы координат элемента относительно системы координат базы в системе координат проекта и расположение номинальной системы координат элемента относительно системы координат базы в системе координат системы измерения, то, сравнивая расположения систем координат элемента относительно системы координат базы, определим погрешности расположения каждого элемента относительно базы.

Однако мы забыли о кривизне элементов. Мы рассматривали в приведенном примере дугу, кривизна которой больше нуля. Характерные точки начала и конца дуги при определении координат одноименных характерных точек на эквидистантах смещаются по нормали к дуге и расстояния между ними увеличиваются или уменьшаются.

А если применить такой подход к прямой линии, кривизна которой равна нулю, то эквидистанта к прямой будет та же прямая линия и расстояния между одноименными характерными точками будут одинаковы. Поэтому для элемента "прямая линия" среднюю линию определяют как

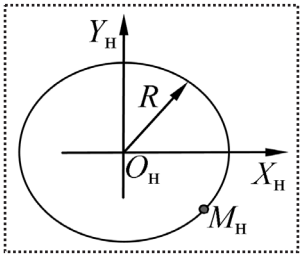

Рис. 15. Привязка геометрии элемента к системе координат элемента с центральной симметрией с помощью репера $M_н$

прямую ортогональной средней квадратической регрессии (линию ортогональной регрессии).

Пользуясь распространенной механической аналогией [1], точкам реального элемента, представляемого в номинальной системе координат прямой линией, в системе координат системы измерения соответствуют точки x_i, y_i, которым приписывают единичные массы. Положение этой прямой проходит через центр тяжести системы, имеющий координаты $\bar{x}$, $\bar{y}$, а направление совпадает с осью вращения, дающей данной механической системе наименьший момент инерции. Номинальная система координат элемента в этом случае привязана к прямой линии.

Для манипулирования системой координат эквидистантного элемента, "привязанного" к номинальной системе координат геометрии реального элемента в системе координат системы измерения, необходима однозначная привязка номинальной геометрии элемента к номинальной системе координат. Она всегда выполняется для несимметричных элементов.

Для плоских элементов с центральной симметрией необходимо указывать (координировать) хотя бы одну точку (репер) на номинальном и реальном элементах, которые предотвращают возможный произвольный поворот эквидистантного элемента вокруг центра симметрии, приводящий к неопределенности положения номинальной системы координат по отношению к геометрии реального элемента (рис. 15).

Если такого репера для привязки систем координат как в номинальной геометрии элемента, так и на реальном элементе не будет, то при вписывании эквидистантного элемента в облако точек реального профиля положение номинальной системы координат эквидистантного элемента в системе координат номинального элемента, совмещенной с системой координат системы измерения, не определено. Номинальная система координат элемента может быть как угодно повернута относительно центра симметрии.

Выводы

Проведен анализ адекватности представления (описания) измеренной реальной геометрии поверхностей детали в действующих отечественных нормативных документах.

Показано, что выбор прилегающих отсчетных элементов (профилей) по ГОСТ 24642–81 неприемлем из-за неоднозначности и нереализуемости для технических измерений двухточечными методами измерений.

Для элементов, не имеющих кривизны (прямых), в качестве однозначных отсчетных элементов определения отклонения формы реальных элементов могут быть использованы средние элементы, вычисляемые по минимуму суммы квадратов отклонений точек реального элемента от имеющего ту же форму, что и номинальный. Их положение в системе координат системы измерения определяется положением центра тяжести массива точек реального элемента, а направление (ориентация в системе координат системы измерения) – в соответствии с направлением минимального главного центрального момента инерции того же массива точек.

Для элементов, имеющих кривизну, в качестве однозначных отсчетных элементов при нахождении отклонений формы реальных элементов используют номинальные элементы в номинальной системе координат. Положение системы координат номинальных элементов в системе координат системы измерения определяется по минимуму суммы квадратов отклонений точек реального элемента от элемента, эквидистантного к номинальному, в системе координат номинального элемента. Это же определяет положение системы координат реального элемента в системе координат системы измерения. По взаимному расположению систем координат реальных элементов могут быть найдены отклонения расположения реальных элементов в системе координат системы измерения.

Библиографический список

1. **Дунин-Барковский И.В., Карташова А.Н.** Измерения и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности. М.: Машиностроение, 1978. 231 с.

2. **Технология** сборки и испытаний космических аппаратов: учебник для высших технических учебных заведений / И.Т. Беляков, И.А. Зернов, Е.Г. Антонов и др.; под общ. ред. И.Т. Белякова, И.А. Зернова. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.

(*Продолжение следует*)

УДК 338.32.053.4

П.П. Крылатков, *канд. техн. наук, доцент (Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург)*
E-mail: eltcha@mail.ru?

Управление целостностью технологического процесса

Рассмотрены вопросы управления технологическим процессом промышленного предприятия с позиции концепции целостности, разрабатываемой автором. Выделено понятие целостности технологического процесса и признаки, отличающие его от бизнес-процесса. Рассмотрены факторы, обусловливающие общую целостность процесса, а также признаки его структурной, функциональной и целевой целостности. В модели технологического процесса выделены точки возможного разрыва деятельности как ключевые точки управления целостностью процесса. Предложены дополнения в регламент технологического процесса.

The issues of the technological process management on the industrial enterprise are considered in the article from a position of the integrity concept, developed by the author. The integrity concept of the technological process is maked up and the distinguisherst from the business process are allocated. The factors causing the general integrity of process, and also signs of its structural, functional and target integrity are considered. In model of technological process points of possible rupture of activity as key points of management are allocated by integrity of process. Additions in regulations of the technological process are offered.

Ключевые слова: предприятие, технологический процесс, целостность, управление, ключевые точки управления, регламент.

Keywords: the enterprise, technological process, integrity, management, key points of management, regulations.

Технологический процесс как уровень управления промышленным предприятием существует в виде совокупности организационных, функциональных и производственно-технологических структур, обеспечивающих его реализацию, а также части материального и сопутствующих ему частей информационного и финансового потоков. Под содержанием технологического процесса будем понимать не только операции, связанные с преобразованием формы и состава предмета труда, но также и процессы конструкторского и технологического проектирования, управленческие, логистические и информационные процессы.

Применительно к технологическому процессу понятие целостности предполагает [3]:

• полноту, достаточность, связность и соорганизованность всех его компонентов и отношений по поводу производства, распределения и управления в определенных регламентом границах;

• соответствие конфигурации, производственной мощности и технологических возможностей процесса требованиям регламента.

Обеспечение целостности определяет результативность и эффективность технологического процесса [4], а также часто является и условием его реализации. Любой технологический процесс подвержен влиянию системообразующих и системоразрушающих факторов. Те из них, которые направлены на создание и сохранение целостности, функционирование и развитие технологического процесса относятся к первой группе, а те, которые ведут к его разрушению, т.е. оказывают деструктивное влияние, – ко второй.

С другой стороны, сама целостность процесса есть устойчиво неравновесное состояние превышения системообразующих факторов над системоразрушающими. До тех пор, пока удается сохранять в устойчивом виде это неравновесное состояние – целостность технологического процесса и, следовательно, его нормальное функционирование будут обеспечены.

Специфика технологических процессов с позиции концепции целостности представлена на рис. 1.

Примерами технологических процессов являются механическая обработка деталей, ввод информации в компьютер, принятие управленческого решения, логистические процессы и т.д. Международный стандарт ИСО 9000:2000 определяет процесс как совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих видов деятельности, преобразующих входы и выходы. Этот термин используется в экономико-управленческих дисциплинах очень широко и поэтому имеет много толкований [5]. *Технологический процесс, по мнению автора, отличается от бизнес-процесса тем, что в нем не предполагается использование рыночных механизмов и не присутствуют транзакционные издержки.*

Технологический процесс включает в себя производственные факторы: исполнителей, технику, технологию, предмет труда. Содержание технологического процесса определяется регламентом, который может адаптироваться исходя из требований внешней среды процесса. Составляющие технологический процесс операции чаще всего жестко привязаны к режиму работы оборудования, доминирующим технологиям управления и проектирования. Поэтому изменение

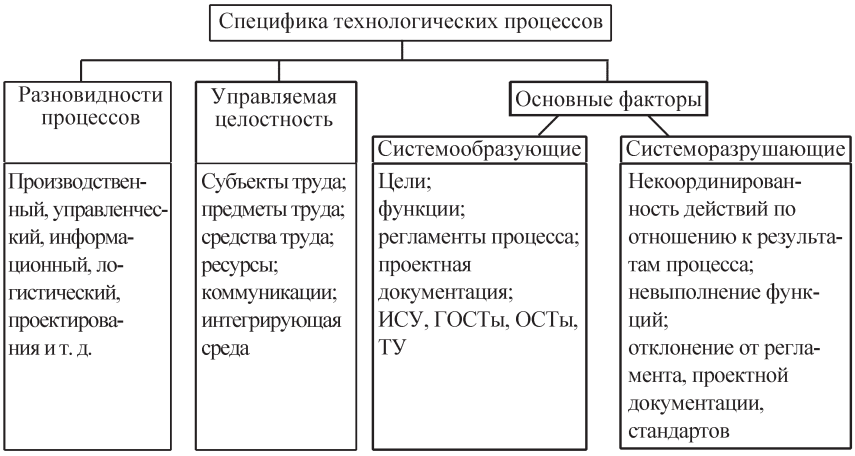

Рис. 1. Специфика технологических процессов с позиции концепции целостности

технологического процесса в обязательном порядке должно сопровождаться соответствующим изменением регламента функционирования.

Целостность процесса определяется прежде всего целостностью составляющих его компонентов:

• исполнителей (субъекты труда) – их "целостность" устанавливается тестированием или медицинским освидетельствованием (постоянным или периодическим);

• оборудования, инструментов, оснастки, приспособлений (средства труда) – их "целостность", т.е. полнота, конфигурация и исправность устанавливается работающим на оборудовании персоналом;

• сырья, комплектующих изделий (предметы труда) – их "целостность" устанавливается входным или выходным контролем процесса;

• энергетических и информационных ресурсов – их "целостность" предопределяется регламентом процесса и устанавливается участниками, ответственными за состояние конкретного ресурса;

• интегрирующей среды – системы управления качеством, технологической дисциплины и контроля, инструментального и ремонтного обеспечения, мотивации персонала.

Необходимость инжиниринга технологического процесса может быть вызвана повышением требований к характеристикам процесса, к обеспечивающим организационным и функциональным структурам совершенствованием технологий, а также изменением регламента. Результаты деятельности предприятия являются количественным и качественным выражением выходов его процессов, прежде всего технологических. Поэтому все процессы на предприятии должны быть [1]:

• идентифицированы и классифицированы;
• ранжированы по приоритетности;
• закреплены за ответственными лицами;
• управляемы и организованы;
• проанализированы и усовершенствованы;
• внедрены в усовершенствованном виде.

Мониторинг и анализ [2] позволяет выявить, что некоторые значимые процессы, особенно те, при выполнении которых происходит наложение функций разных структурных подразделений предприятия, работают недостаточно эффективно. Распределение ответственности за работу процессов и их изменение достигаются путем закрепления за каждым из них ответственных исполнителей ("владельцев процесса").

Поэтому основным признаком выделения процесса является его соотнесение с владельцем, т.е. с тем, кто имеет право изменять технологический процесс с целью совершенствования. При этом исполнитель технологического процесса должен работать в соответствии с его регламентом, не имея полномочий на изменение. Такое условие принимается потому, что изменение технологического процесса может послужить причиной нарушения его целостности, следовательно, и результата. Следует заметить, что изменения технологического процесса, не влияющие на нормативное выполнение его функции, нарушением целостности не является.

На рис. 2 представлена структура сквозных, т.е. проходящих через всё предприятие технологических процессов с указанием ключевых точек управления процессом.

При выделении процесса необходимо учитывать следующие особенности. Достаточно часто процесс не ограничивается рамками одной единицы оборудования, одного исполнителя или структурного подразделения, вследствие чего возникают *разрывы деятельности*, т.е. потеря целостности процесса. Большими стрелками на рис. 2 обозначены сквозные клиенто-ориентированные технологические процессы, а звездочками – возможные разрывы деятельности, порождающие потери времени, появление излишних запасов сырья, материалов или комплектующих изделий, а также хищения, старение, ухудшение качественных характеристик и т.д. В таком случае большое значение имеет четкая регламентация процесса, правильное определение его клиентов, владельца и точек разрыва. Клиентами процесса считаем те соседствующие процессы и организационные структуры, которые находятся на входе и выходе рассматриваемого технологического процесса.

Предлагается основное внимание владельца процесса сосредоточить именно на этих разрывах деятельности – *ключевых точках управления процессом*, за счет чего результативность управления целостностью технологического процесса может быть значительно повышена. Для реализации управления должна быть

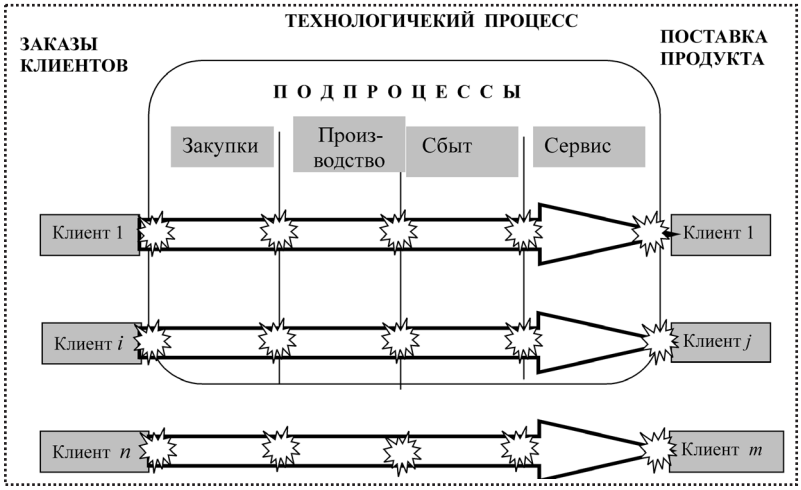

Рис. 2. Схема ключевых точек управления сквозного клиентоориентированного технологического процесса

составлена схема процесса с идентификацией всех возможных точек разрыва деятельности.

Ключевые точки управления целостностью процесса – это места перехода материального, информационного или финансового потока из одного подпроцесса в другой. Именно в этой точке параметры потока должны полностью соответствовать описательной информации о потоке на выходе подпроцесса. Такое представление о технологическом процессе позволяет превентивно определять места возможных нарушений процесса и более эффективно управлять его целостностью.

Даже если процесс происходит в рамках одного структурного подразделения или одного вида функциональной деятельности, то и в таком случае возможно появление разрывов деятельности при взаимодействии исполнителей, отделов, групп, бригад. Такие нарушения целостности, как правило, скрыты от глаз внешнего клиента, но от этого потери, вызываемые нарушениями целостности процессов, не становятся меньше. Более того, такие нарушения чаще всего замечаются руководством в последнюю очередь, когда "внешний лоск" на процессы и операции уже наведен. В таких нарушениях часто и кроются причины низкой конкурентоспособности предприятия.

На рис. 3 схематически изображены факторы и условия, обеспечивающие целостность технологического процесса.

Предполагается, что для участия в технологическом процессе допускаются только те функциональные элементы, которые соответствуют требованиям его целостности. Состояние каждого функционального элемента определяется регламентом процесса. В случае несоответствия какого-либо элемента требованиям регламента он не может быть допущен к участию в процессе, а сам процесс в таком случае не запускается или прерывается.

Как показывает практика работы машиностроительных производств, процедуры обеспечения процессов целостными компонентами являются стандартными и на большинстве предприятий реализуются достаточно хорошо. Существенным при этом является вопрос об определении владельца процесса, которым может быть отдельное лицо или коллегиальный орган управления, уполномоченный реализовать следующие функции:

- получать плановые задания и нести ответственность за результат процесса перед вышестоящим уровнем управления;
- иметь в своем распоряжении и управлять ресурсами и сопутствующей информацией по процессу;
- определять состав и последовательность функций в процессе, их логическую взаимосвязь;
- определять показатели для управления процессом;
- получать информацию о процессе;
- отвечать за эффективность реализации процесса и его совершенствование в объеме имеющихся для этого ресурсов.

С точки зрения *структурной целостности* для функциональных элементов и межэлементных связей технологического процесса основополагающим фактором является его адекватное проектирование, грамотная реализация и соответствующие внешние условия. Системоразрушающими факторами являются ошибки в проекте, несоответствие реализации проекта техническому заданию, а также необеспечение соответствующих внешних условий.

Требование целостности распространяется и на функциональные элементы, содержащие исполнителей – людей и на их коммуникационные связи. Исполнители могут:

- не соответствовать квалификационным и образовательным требованиям;

Рис. 3. Факторы и условия, обеспечивающие целостность технологического процесса

• не обладать соответствующими навыками или способностями;

• быть недостаточно мотивированными на эффективную работу;

• не обладать соответствующими знаниями систем классификации и кодирования;

• не знать правил заполнения и контроля документации;

• не соблюдать способы транспортировки и соблюдения сохранности грузов;

• не владеть приемами общения и т.д.

Внутренний аудит может выявить несоответствие функциональных элементов и межэлементных связей технологического процесса требованиям к его составу и цели его создания. Конкретизация указанных методов определяется видом технологического процесса, спецификой элементов и межэлементных связей. В область управленческого контроля уровня структурной целостности технологического процесса входит, прежде всего, мониторинг полноты и достаточности номенклатуры элементов и связей, технологического уровня и качества выхода процесса.

С точки зрения *функциональной целостности* для технологического процесса системообразующими факторами являются:

• грамотная организация труда и взаимозаменяемость персонала;

• соответствие квалификации персонала уровню сложности и объему работы;

• высокий уровень автоматизации;

• своевременное обеспечение инструментами, тарой;

• наличие и поддержание каналов связи в исправном состоянии и недопущение искажений передачи данных;

• соблюдение регламента перевозок и т.д.

Системоразрушающими факторами соответственно являются:

• плохая организация труда и нарушение внутреннего распорядка;

• низкий уровень механизации и автоматизации работ;

• перебои в своевременной доставке заготовок и комплектующих;

• перегрузка передающих каналов и искажение данных;

• непредоставление информации и запаздывание управляющих воздействий;

• нарушение сроков доставки и т.д.

Контроль состояния элементов технологического процесса и межэлементных связей позволяет выявить нарушения в его функционировании. В область управленческого контроля уровня функциональной целостности технологического процесса входит, прежде всего, мониторинг полноты и достаточности номенклатуры функций и их связности, а также уровня качества выполняемых функций процесса.

Целевая целостность проявляется, когда реальное функционирование технологического процесса сопоставляется с определенной для него внешней целью.

Системообразующими факторами в таком случае являются:

• четкие, понятые всеми работниками цели;

• грамотная мотивация персонала и эффективный контроллинг;

• обучение и тренинги персонала.

• Системоразрушающими факторами являются:

• отсутствие четко сформулированных и доведенных до всех исполнителей целей;

• недостаточная мотивация и слабый контроль;

• отсутствие стимулирования работников.

Периодический контроль согласованности целей процесса с внешними целями позволяет выявить их возможные расхождения. Для эффективного управления процессами необходимо организовать три основных потока информации:

• *о качестве продукта:* степени его соответствия установленным и прогнозируемым требованиям клиента, стабильности и поддержания параметров продукта, т.е. каков получаемый результат;

• *о качестве самого процесса:* его эффективности, ресурсоемкости, стабильности, возможности поддержания параметров процесса, т.е. какой ценой достигнут этот результат;

• *о степени удовлетворенности клиента,* выполнимости запросов клиента, т.е. насколько клиент доволен тем, что он получил.

Показатели, используемые для управления технологическим процессом, предполагают оценивание его основных составляющих. К ним, прежде всего, относятся показатели: продукта или услуг, производимых процессом; самого процесса; удовлетворенности клиента процесса. Примеры показателей, используемых для управления процессами, приведены в табл. 1.

Состояние параметра целостности технологического процесса прежде всего проявляется в первой группе

Таблица 1

Примеры показателей для управления процессами

Вид показателя	Стоимостные показатели	Показатели времени	Технические показатели
Показатели самого процесса	Суммарные затраты на выполняемый объем производства	Длительность производственного цикла	Наличие дополнительных производственных мощностей
Показатели продукта процесса	Отпускная цена продукта	Срок годности продукта	Технические параметры продукта
Показатели удовлетворенности клиентов	Рост объема продаж по одному клиенту	Время обслуживания одного клиента	Число жалоб на качество обслуживания

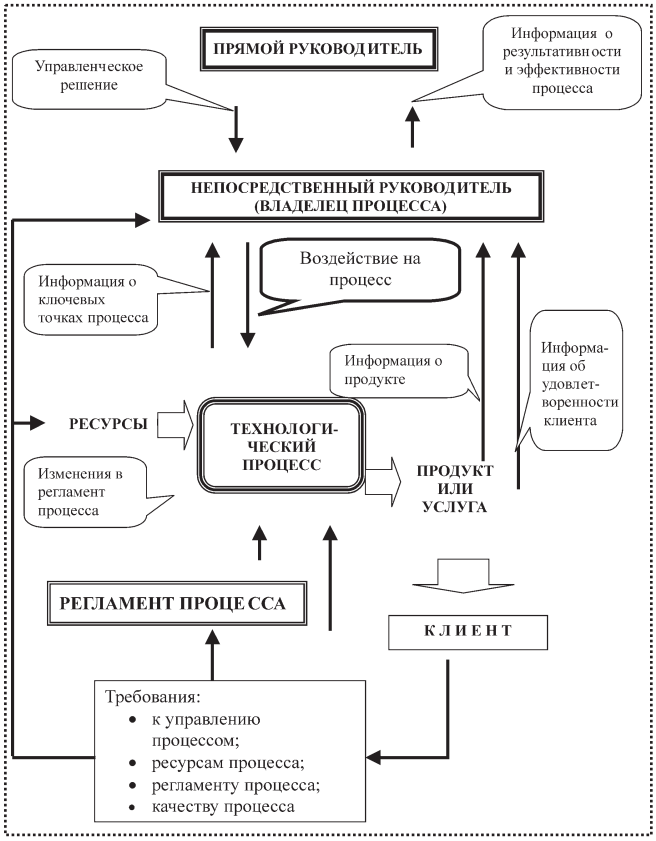

Рис. 4. Модель схемы управления технологическим процессом

показателей. Если целостность процесса нарушена, то не соблюдаются его временные параметры, увеличиваются потери труда и материалов, затраты на реализацию процесса, следовательно, снижается его экономическая эффективность. Нарушение целостности процесса ведет к снижению качества продукции или услуг и, как следствие, к снижению степени удовлетворенности клиента.

Требования, которым должны удовлетворять показатели, следующие:

• однозначная связь со стратегическими показателями;

• "прозрачность " для руководителей и персонала, участвующего в реализации процесса;

• владелец должен иметь возможность влияния на показатели.

Модель схемы управления технологическим процессом представлена на рис. 4.

Приведенная схема управления предусматривает своевременное внесение соответствующих изменений в регламент процесса. Оперативные изменения, вносимые в регламент, позволяют проводить более эффективные контроль и управление технологическим процессом. Для выделения значимости параметра целостности в связи с его существенным влиянием на успешную работу предприятия автор предлагает ввести пункт: *"Управлять целостностью технологических процессов"* в перечень типовых процессов организации.

Таблица 2

Спецификация ключевых точек управления технологическим процессом

Технологический процесс _____				
№ п/п	Передающая операция или структурное подразделение, подлежащие особому контролю	Объект передачи (детали, документа)	Принимающая операция или структурное подразделение, подлежащие особому контролю	Показатель возможного нарушения процесса
1	Группа конструкторов	Конструкторская документация на узел №...	Группа технологов	Нарушение сроков согласования
2	...	...	...	...
3	...	...	...	...
4	...	...	...	...

Кроме того, автор предлагает в типовой регламент процесса следующие дополнения: Схему технологического процесса (см. рис. 2) и Спецификацию ключевых точек управления процессом, т.е. тех зон, где наиболее вероятно возникновение разрывов деятельности. Пример формы, предлагаемой для внесения в типовой регламент технологического процесса, представлен в виде табл. 2.

Предложенные дополнения помогут владельцу технологического процесса сосредоточить управленческие усилия на самых важных для успешного протекания процессов ключевых позициях и своевременно предотвращать нарушения его целостности. Располагая схемой и спецификацией технологического процесса, закрепленного за его владельцем, руководитель может в полной мере реализовать целостный подход к управлению как этим конкретным процессом, так и их совокупностью, составляющих целостный бизнес-процесс предприятия. Представленные показатели являются составной частью методического обеспечения процесса управления целостностью промышленного предприятия.

Библиографический список

1. **Войнов И.В., Пудовкина С.Г., Телегин А.И.** Моделирование экономических систем и процессов. Опыт построения ARIS-моделей: монография. Челябинск: изд-во ЮУрГУ, 2002. 392 с.

2. **Ершова И.В., Крылатков П.П.** Задачи и методы анализа и управления целостностью предприятия // Организатор производства. 2010, № 3(46). С. 51–60.

3. **Крылатков П.П.** Промышленное предприятие как целостное системное образование // Вестник УГТУ – УПИ, экономика и управление. 2008, № 3(92). С. 4–11.

4. **Крылатков П.П.** Экономические аспекты управления целостностью промышленного предприятия // Научный вестник Уральской академии государственной службы. 2010, № 2(11). С. 72–80.

5. **Hammer M., Champy J.** Reengineering thecorporation: a manifesto for businessrevolution. N.Y.: Harper-Collins, 1993.

УДК 621.7

М.Г. Кристаль, *д-р техн. наук,* **О.С. Харькин,** *канд. техн. наук*
(Волгоградский государственный технический университет)
E-mail: crysmar@mail.ru

Струйное устройство контроля и сортировки деталей для сборки

Предложено устройство для контроля и сортировки малогабаритных керамических деталей на 3–4 группы, что обеспечивает заданное качество сборки изделий из этих деталей. Особенностью устройства является принцип перемещения деталей под действием разнонаправленных струй сжатого воздуха.

A device for controlling and sorting of small ceramic parts for 3–4 group, which provides the specified quality of products they build these parts. Feature of the device is the principle of moving parts under the influence of multidirectional jets of compressed air.

Ключевые слова: контроль, сортировка, струи сжатого воздуха, сборка.

Keywords: control, sorting, the jets of compressed air, assembly.

Устройство предназначено для контроля малогабаритных цилиндрических дисковых деталей по высоте и сортировки их на три группы: "годные", "брак +" и "брак –" [1]. Материал детали – пьезокерамика ЦТС-19, диаметр – $8_{-0,36}$ мм, высота – $4_{-0,12}$ мм.

Схема контрольно-сортировочного устройства представлена на рис. 1. На рис. 2 приведена конструкция устройства.

Измерение высоты детали осуществляется бесконтактным методом с помощью пневматической измерительной схемы манометрического типа. Пневматический измерительный преобразователь эжекторного типа с выносным измерительным соплом диаметром 2 мм обеспечивает достаточный диапазон измерений и чувствительность, согласование измерительного давления с входами струйных элементов СТ59 "Волга", пороговый режим работы которых достигается введением отрицательной обратной связи.

Измерительное сопло *33* пневматического измерительного преобразователя *6* закреплено в подпружиненной втулке *31*, установленной в корпусе *32* измерительного узла с возможностью регулировки положения в осевом направлении гайкой *30*. Питание измерительной системы сжатым воздухом давлением 0,1 МПа осуществляется от блока фильтра со стабилизатором давления типа ФСВ6 через клапан *5*. Междроссельная камера измерительного преобразователя *6* соединена со входами струйных пороговых элементов *15* и *17*, давление срабатывания которых настраивается дросселями. Выходы пороговых элементов подключены к блоку *28* формирования команды номера сортировочной группы, реализованному на струйных логических элементах СТ41"Волга".

Соосно измерительному соплу *33* в основании *34* выполнено сопло *12* вакуумного узла базирования детали, соединенное с камерой эжектора *14* и входом струйного элемента *16* датчика контроля базирования деталей с настройкой порога срабатывания дросселем. Соосно выходному соплу эжектора *14* расположено управляющее сопло *13*. Базирование детали на измерительной позиции осуществляется относительно регулируемого упора.

Сортировочное устройство выполнено по схеме деления потока деталей через боковые сортировочные окна транспортного канала *10*. Последний имеет прямоугольное поперечное сечение шириной 8,5 мм и высотой 4,5 мм. В боковой стенке канала выполнены сортировочные окна, через которые детали попадают в

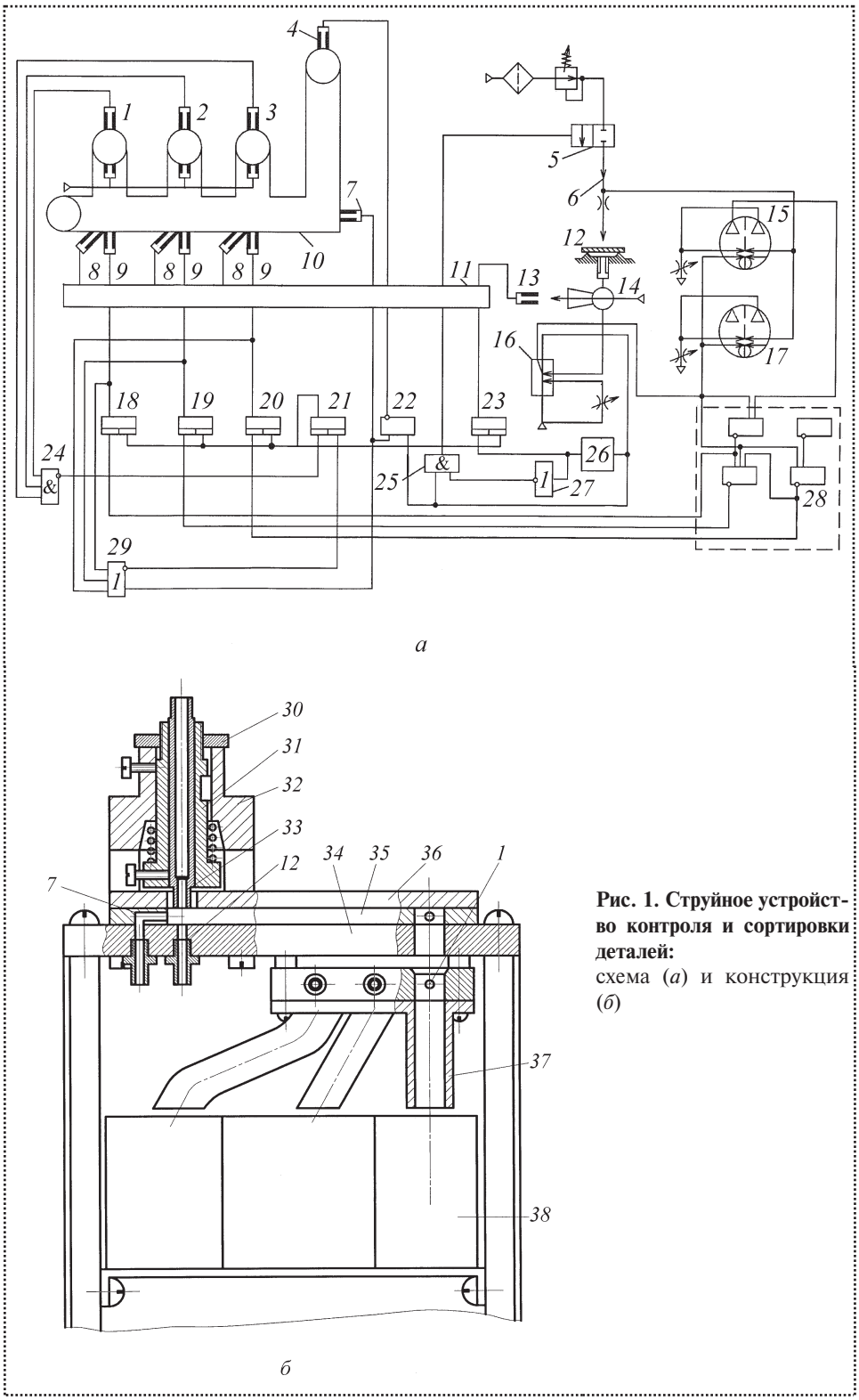

Рис. 1. Струйное устройство контроля и сортировки деталей:
схема (*а*) и конструкция (*б*)

сортировочные лотки и далее через направляющие трубки в приемные бункеры. В направляющих трубках установлены струйные датчики *1–3* контроля прохождения детали. В торце транспортного канала *10* установлено транспортное сопло *7* диаметром 2 мм. В противоположной боковой стенке транспортного канала *10* выполнены пары сопл диаметром 2 мм, одни из которых (*9*) соосны сортировочным окнам, а другие (*8*) расположены под углом $\alpha = 45°$ к оси транспортного канала.

Устройство работает следующим образом.

Детали из вибробункера поступают во входной канал. Струя воздуха, истекающего из сопла *4*, подает деталь на позицию контроля, одновременно препятствуя прохождению следующей детали во входной канал. При отсутствии детали на контрольной позиции струйный элемент *16* датчика контроля базирования детали подает на входы струйных пороговых элементов *15* и *17* сигнал, исключающий ложное срабатывание пороговых элементов.

При подаче детали на измерительную позицию перекрывается сопло *12*, разрежение в камере эжектора *14* возрастает, что приводит к переключению струйного элемента *16* и снятию блокировок с пороговых элементов *15*, *17* и блока *28*.

Единичный сигнал со второго выхода элемента *16* подается на входы элементов "НЕ-ИЛИ" *22*, "И" *25*, задержки *26*. Соответственно, через блок *11* струйных усилителей отключается питание сопла загрузки *4*, обеспечивая подачу следующей детали во

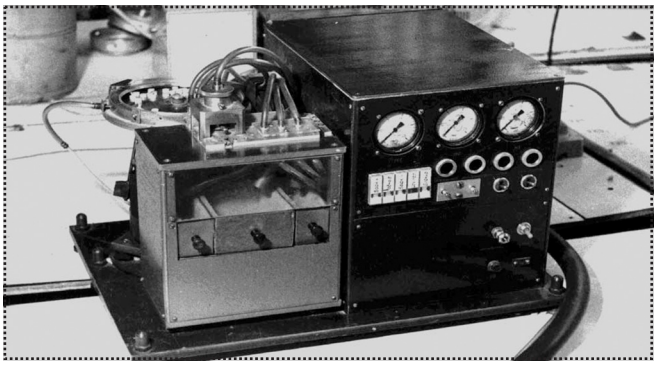

Рис. 2. Общий вид автомата контроля и сортировки пьезокерамических изделий

входной канал, а также открывается клапан *5* подачи воздуха к измерительному преобразователю *6*.

В зависимости от размера детали в междроссельной камере измерительного преобразователя *6* устанавливается давление, вызывающее срабатывание соответствующих пороговых элементов *15* и *17*, сигналы с которых поступают в блок *28* формирования команды номера сортировочной группы. На одном из выходов блока *28* появляется сигнал, вызывающий переключение соответствующего триггера *18–20*. Переключение триггера через блок *11* струйных усилителей обеспечивает подачу сжатого воздуха к соответствующей паре сопл *8* и *9* сортировочного устройства.

Одновременно сигнал с выхода любого из триггеров *18–20* вызывает переключение элемента "ИЛИ-НЕ-ИЛИ" *29*, единичный сигнал с прямого выхода которого подается на вход элемента "НЕ-ИЛИ" *22* и через блок *11* струйных усилителей запитывает сопло *7*. Через установленный промежуток времени на выходе элемента задержки *26* появляется единичный сигнал, который через элементы *25*, *27* и блок усилителей *11* отключает клапан *5* подачи питания к измерительному преобразователю *6*. Одновременно сигнал с выхода элемента *26* задержки переключает триггер *23*, запитывая сопло *13*.

Струя воздуха, истекающая из сопла *13*, тормозит поток воздуха на выходе эжектора *14*, уменьшая разрежение в камере эжектора и расфиксируя деталь на измерительной позиции. Струя воздуха из сопла *7* перемещает деталь по транспортному каналу *10* до соответствующей пары сопл *8* и *9* сортировочного устройства, запитанной сжатым воздухом. Струя воздуха из наклонного сопла *8* тормозит деталь, а из сопла *9* сдувает ее в сортировочный лоток и далее по направляющей трубке в приемный бункер. Пролетая, деталь вызывает срабатывание струйных датчиков *1–3* контроля прохождения детали.

Исчезновение сигнала на одном из входов элемента "И-НЕ" *24* вызывает переключение триггера *21*, осуществляющего выставку триггеров *18–20* в исходное состояние. Нулевые уровни сигналов на выходах триггеров *18–20* приводят к появлению единичного сигнала на инверсном выходе элемента *20*, обеспечивая установку триггера *21* в исходное состояние. На входах элемента *22* оказываются нулевые сигналы, через блок усилителей *11* запитывается сопло *4*, подавая очередную деталь на измерительную позицию. Цикл работы устройства повторяется.

Общий вид устройства контроля и сортировки пьезокерамических изделий представлен на рис. 3.

Устройство имеет следующие *технические характеристики:*

производительность, шт./мин	30–40
количество сортировочных групп	3–4
давление питания сжатого воздуха, МПа	0,4–0,6
расход сжатого воздуха, м/с	0,027
напряжение питания вибробункера, В	220
габаритные размеры, мм	400×300×200
масса, кг	50

Библиографический список

1. **Патент РФ № 1443977** B07 C5/06. Устройство для контроля и сортировки деталей / А.И. Сутин, О.С. Харькин, А.Г. Чистов // ВолгПИ, Б.И. 1988, № 46.

УДК 621.9.06-219.2: 531.45

А.В. Крутов, В.В. Молодцов, *канд. техн. наук (МГТУ "Станкин")*
E-mail: krutovlesha@yandex.ru

Влияние конструкции направляющих качения модульного типа на их эксплуатационные свойства

Рассмотрены особенности поведения модульных направляющих качения под действием комбинированных нагрузок. Изучен механизм формирования внутренних связей, заложенный в их конструкцию.

Performance features of modular type rolling guides exposing complex loads are considered. Designed-in internal constraints mechanism of formation is investigated.

Ключевые слова: модульный принцип проектирования, модульная направляющая качения, математическая модель, внутренние связи, нелинейность.

Keywords: modular principle of designing, modular rolling guide, mathematical model. internal communications, nonlinearity.

При разработке нового и модернизации уже существующего оборудования главную роль играет модульный принцип проектирования, который заключается в использовании максимального числа унифицированных комплектующих [1, 4]. В этом случае одной из приоритетных задач конструирования является обеспечение сбалансированности эксплуатационных характеристик элементов конструкции, поставляемых, как правило, различными производителями. Для ее решения необходимо проводить обоснованный выбор покупаемых модулей еще на ранних стадиях проектирования.

Направляющие, по которым перемещаются подвижные узлы станков, измерительных устройств, роботов и других машин, являются одним из основных элементов конструкции и в значительной мере определяют возможности и технический уровень оборудования.

Самыми перспективными представителями данного класса узлов являются *направляющие качения модульного типа* (*модульные направляющие качения*). Они обладают высокими эксплуатационными характеристиками, имеют приемлемую стоимость, их производство освоено крупнейшими мировыми производителями комплектующих для технологического оборудования. Надежность и простота использования модульных направляющих качения позволяет применять их не только в станкостроении, но и других областях техники как унифицированные изделия.

Направляющая качения модульного типа *2* по форме напоминает железнодорожный рельс, по которому могут свободно перемещаться одна или несколько танкеток *1* (рис. 1, *а*). Для направляющей должна быть обеспечена опорная поверхность по всей ее длине. Существуют конструкции модульных направляющих с дву-

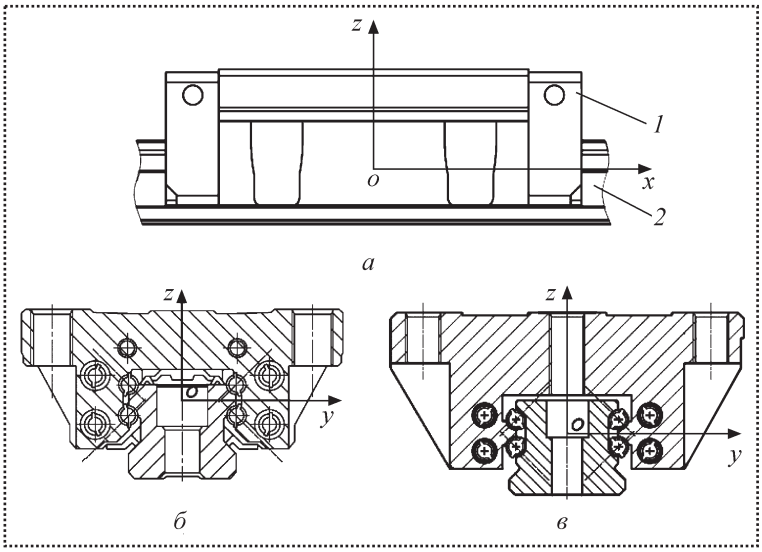

Рис. 1. Направляющая качения модульного типа:
а – общая схема: *1* – танкетка; *2* – рельс; *б* – конструктивная схема "Х"; *в* – конструктивная схема "О"

мя, четырьмя и шестью рядами шариков. Самыми распространенными среди них являются направляющие с четырьмя рядами дорожек качения, развернутыми под углом 45° к присоединительным поверхностям рельса и танкетки [2]. Они имеют примерно одинаковую несущую способность и жесткость в направлениях *Oy* и *Oz*. Дорожки качения могут образовывать конструктивную схему "X" как, например, в направляющих фирмы ТНК (Япония) или схему "O", реализованную европейскими производителями (рис. 1, *в*).

Интерес производителей технологического оборудования объясняется тем, что направляющие данного типа представляют собой законченные унифицированные изделия, своего рода подшипники поступательного перемещения, для использования которых достаточно подготовить соответствующие поверхности на подвижном и неподвижном узлах станка и осуществить монтаж рельсов и танкеток.

Выбор и расчет направляющих модульного типа похож на аналогичные расчеты для других типов направляющих качения. Основной проблемой является статическая неопределимость расчетной модели. Для решения задачи необходимо составлять дополнительные уравнения, учитывающие характер деформации конструкции. Для этого нужна информация о жесткости упругой системы "рельс–танкетка" в различных направлениях. Некоторые производители (например "Bosch Rexroth" и "Schaeffler KG" Германия) приводят графические зависимости между усилиями и перемещениями для нескольких простейших видов нагрузки. Этого недостаточно для проектирования системы формообразования станка и оценки его жесткости в целом, так как направляющие модульного типа способны воспринимать целый комплекс нагрузок (сил и моментов) одновременно в пяти направлениях. В этих случаях сложно определить, как перераспределяются внешняя нагрузка и предварительный натяг между телами качения и какие из них являются наиболее нагруженными. Существенной проблемой становится оценка эквивалентной нагрузки при расчете долговечности направляющих. Адекватная модель упругой системы "танкетка – рельс направляющей" позволила бы сделать более достоверные выводы о жесткости, несущей способности и долговечности всей конструкции станка, обоснованно сформулировать требования к подготовке монтажных поверхностей сопрягаемых узлов.

Математическая модель в общем случае может быть представлена в виде зависимости

$$\{F\} = \{f(\{\delta\})\},$$

где $\{\delta\} = [\delta_y, \delta_z, \varphi_x, \varphi_y, \varphi_z]^{\mathrm{T}}$ – вектор перемещений танкетки, вызванных действием нагрузок $\{F\} = [F_y, F_z, M_x, M_y, M_z]^{\mathrm{T}}$.

При разработке математической модели упругой системы "танкетка – рельс направляющей" модульного типа сделаны допущения об идеальном качестве изготовления деталей, т. е. отсутствии отклонений размеров, формы, взаимного положения поверхностей, шероховатости, волнистости и изменений физико-механических характеристик поверхностного слоя. Рельс и связанная с ним система координат считаются неподвижными, а танкетка может перемещаться под действием внешних нагрузок линейно вдоль осей *Oy* и *Oz* (перемещения δ_y и δ_z) и поворачиваться вокруг осей *Ox*, *Oy* и *Oz* (углы φ_x, φ_y, φ_z). Рельс и танкетка считаются недеформируемыми за исключением поверхностных слоев дорожек качения, упругие свойства которых описываются с помощью предложенной Генрихом Герцем модели контакта упругой сферы с упругим полупространством. Согласно данной модели зависимость усилия R контактного взаимодействия шарика с дорожками качения от сближения центров кривизны дорожек Δ имеет вид $R = c\Delta^{3/2}$, где c – постоянный коэффициент, характеризующий особенности контакта сферы с цилиндрическим желобом.

Для проверки адекватности разработанной авторами математической модели [3] были проведены экспериментальные исследования с использованием реальных направляющих.

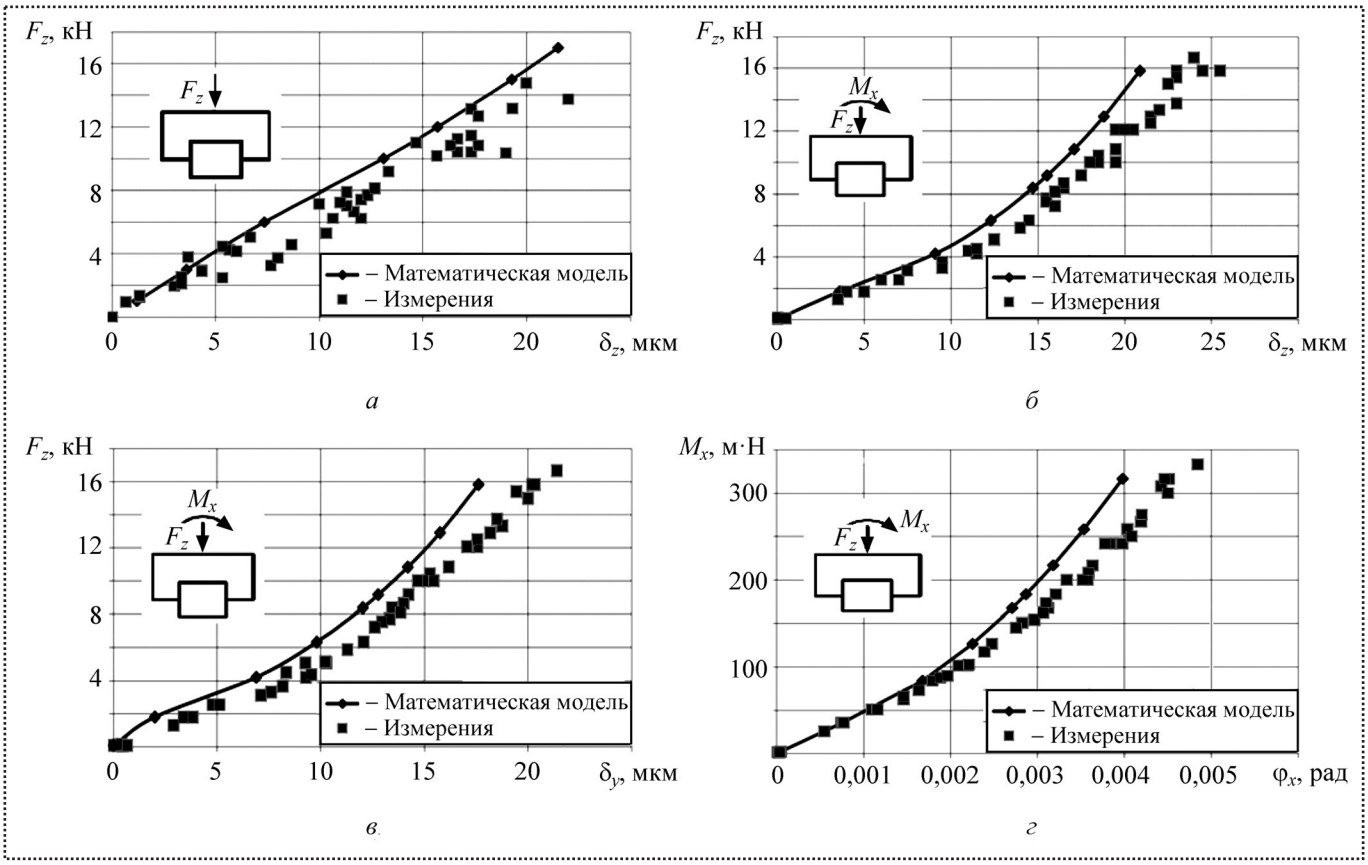

Рис. 2. Перемещения танкетки SHS 25LC2, вызванные действием различных видов комбинированных нагрузок:
а – силой F_z перемещение δ_z; *б*, *в* и *г* – силой F_z и моментом M_x (*а* – перемещение δ_z, *в* – перемещение δ_y; *г* – поворот на угол φ_x)

Результаты обработки экспериментальных данных представлены на графиках вместе с результатами расчетов для танкетки SHS 25LC2 фирмы THK (рис. 2) [5].

Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными позволило сделать вывод, что качественный характер зависимостей, полученных расчетным путем, соответствует экспериментальным данным. Некоторое количественное рассогласование между расчетными кривыми и результатами экспериментов, возрастающее с увеличением нагрузки, объясняется принятыми при моделировании допущениями об идеальном качестве изготовления деталей и отсутствии собственных деформаций у рельса и танкетки, за исключением поверхностного слоя дорожек качения.

При анализе расчетных и экспериментальных кривых была выявлена сложная взаимная связь между нагрузками и перемещениями. Она проявлялась только при совместном действии момента M_x и сил F_y или F_z. При других сочетаниях нагрузок в упругих деформациях направляющих не было обнаружено каких-либо аномалий.

Для объяснения выявленных особенностей поведения модульных направляющих под действием комбинированных нагрузок представим поперечное сечение танкетки плоскостью *Oyz* в виде недеформируемой балки, шарнирно закрепленной на четырех пружинах, как показано на рис. 3, *а* и *б*. Расчетная схема упрощенной модели (рис. 3, *в*) составлена для танкеток, выполненных по конструктивной схеме "X". Пружины переменной жесткости k_j (j = 1, ..., 4), развернутые под углами 45°,

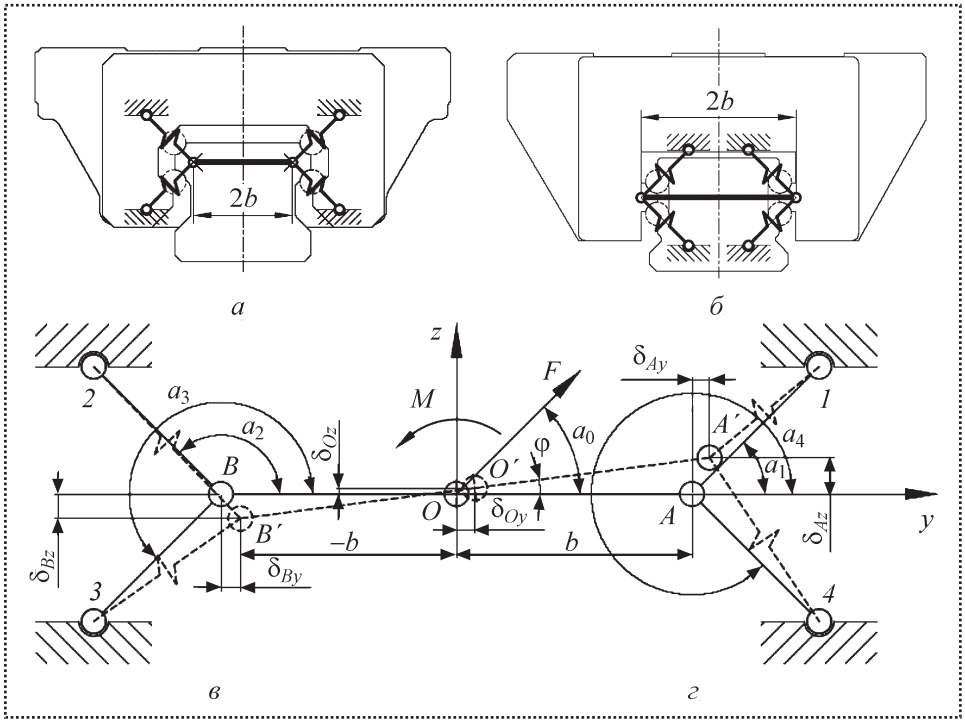

Рис. 3. Стержневая модель упругой системы:
а – для танкеток, выполненных по конструктивной схеме "Х"; *б* – для танкеток, выполненных по конструктивной схеме "О"; *в* – расчетная схема

135°, –135° и –45°, имитируют упругие свойства дорожек и тел качения, а шарнирное закрепление – изменение угла контакта между ними. Так как интерес представляет поведение танкетки при комбинированной нагрузке действующей в плоскости *Oyz*, приложим силу *F* и момент *M* в начале координат, при этом вектор силы будет образовывать произвольный угол α_0 с осью *Oy*.

Составим уравнения равновесия для сил, действующих на балку *AB*:

$$\left.\begin{array}{ll} \Sigma F_y = 0 & R_{Ay} + R_{By} + F\cos\alpha_0 = 0 \\ \Sigma F_z = 0 & R_{Az} + R_{Bz} + F\sin\alpha_0 = 0 \\ \Sigma M_o = 0 & R_{Az}b - R_{Bz}b + M = 0 \end{array}\right\},$$

где $R_{Ay} = R_{1y} + R_{4y}$ и $R_{Az} = R_{1z} + R_{2z}$, $R_{By} = R_{2y} + R_{3y}$ и $R_{Bz} = R_{2z} + R_{3z}$ – суммы реакций пружин в точках *A* и *B* соответственно;

R_{iy} и R_{iz} – проекции реакции *j*-й пружины на оси *Oy* и *Oz* соответственно;

b – половина длины балки. Данная система уравнений является статически неопределимой, и для ее решения необходимо учитывать деформации пружин.

Под действием нагрузки балка переместится из положения *AB* в положение *A′B′* . Перемещения точек *A* и *B* обозначим соответственно δ_A и δ_B, при этом $\delta_A << a_0$ и $\delta_B << a_0$, где a_0 – длина недеформированной пружины. Проекции δ_A и δ_B на оси *Oy* и *Oz* обозначим соответственно δ_{Ay}, δ_{Az} и δ_{By}, δ_{Bz}.

Определим длины деформированных пружин как $a_j = \sqrt{a_{jy}^2 + a_{jz}^2}$. Проекции длин упругих элементов a_{iy} и a_{iz} на оси *Oy* и *Oz* можно представить в виде разности проекций a_0 и перемещения соответствующей точки на эти же оси:

$$a_{1y} = a_{4y} = \frac{\sqrt{2}}{2}a_0 - \delta_{Ay},\ a_{1z} = \frac{\sqrt{2}}{2}a_0 - \delta_{Az};$$

$$a_{2y} = a_{3y} = \frac{\sqrt{2}}{2}a_0 + \delta_{By},\ a_{2z} = \frac{\sqrt{2}}{2}a_0 - \delta_{Bz};$$

$$a_{3z} = \frac{\sqrt{2}}{2}a_0 + \delta_{Bz} \text{ и } a_{4z} = \frac{\sqrt{2}}{2}a_0 + \delta_{Az}.$$

Выразим длины пружин через их деформации – $\Delta_j = a_j - a_0$, приравняем два выражения для a_j между собой и возведем полученное уравнение в квадрат. Для первой пружины результат примет вид $a_0^2 + 2a_0\Delta_1 + \Delta_1^2 = a_0^2 - \sqrt{2}a_0(\delta_{Ay} + \delta_{Az}) + \delta_{Ay}^2 + \delta_{Az}^2$.

Так как величины δ_{Ay}, δ_{Az} и Δ_1 бесконечно малые по сравнению с a_0, их квадраты будем

считать бесконечно малыми более высокого порядка и, пренебрегая ими, получим

$$\Delta_1 \approx -\frac{\sqrt{2}}{2}(\delta_{Ay} + \delta_{Az}).$$

Аналогично получим:

$$\Delta_2 \approx \frac{\sqrt{2}}{2}(\delta_{By} - \delta_{Bz}), \Delta_3 \approx \frac{\sqrt{2}}{2}(\delta_{By} + \delta_{Bz}) \text{ и}$$

$$\Delta_4 \approx -\frac{\sqrt{2}}{2}(\delta_{Ay} - \delta_{Az}).$$

Под действием нагрузки изменяются не только длины пружин, но и их угловое положение, определяемое углами α_i, отсчет которых ведется от положительного направления оси Oy. Определим синус и косинус угла α_1. Как и в предыдущем случае, пренебрегая бесконечно малыми более высокого порядка, получим

$$\sin\alpha_1 = \frac{a_{1z}}{a_1} = \frac{\sqrt{2}a_0/2 - \delta_{Az}}{a_0 - \sqrt{2}(\delta_{Ay} + \delta_{Az})/2} =$$
$$= \frac{(\sqrt{2}a_0/2 - \delta_{Az})(a_0 + \sqrt{2}(\delta_{Ay} + \delta_{Az})/2)}{(a_0^2 - (\delta_{Ay} + \delta_{Az})^2/2)} \approx$$
$$\approx \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\delta_{Ay} - \delta_{Az}}{2a_0}$$

и

$$\cos\alpha_1 = \frac{a_{1y}}{a_1} \approx \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\delta_{Ay} - \delta_{Az}}{2a_0}.$$

Для остальных пружин:

$$\sin a_2 \approx \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\delta_{By} + \delta_{Bz}}{2a_0}, \cos a_2 \approx -\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\delta_{By} + \delta_{Bz}}{2a_0},$$

$$\sin a_3 \approx -\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\delta_{By} - \delta_{Bz}}{2a_0}, \cos a_3 \approx -\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\delta_{By} - \delta_{Bz}}{2a_0},$$

$$\sin a_4 \approx -\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\delta_{Ay} + \delta_{Az}}{2a_0} \text{ и } \cos a_4 \approx \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\delta_{Ay} + \delta_{Az}}{2a_0}.$$

Зная величину деформации упругих элементов Δ_j, определим проекции сил их реакции как $R_{jy} = k_j\Delta_j\cos\alpha_j$ и $R_{jz} = k_j\Delta_j\sin\alpha_j$. Их проекции на оси Oy и Oz равны: $R_{1y} \approx R_{1z} \approx -\frac{1}{2}k_1(\delta_{Ay} + \delta_{Az})$, $R_{2y} \approx -R_{2z} \approx -\frac{1}{2}k_2(\delta_{By} - \delta_{Bz})$, $R_{3y} \approx R_{3z} \approx -\frac{1}{2}k_3(\delta_{By} + \delta_{Bz})$ и $R_{4y} \approx -R_{4z} \approx -\frac{1}{2}k_4 \times (\delta_{Ay} - \delta_{Az})$.

Перемещения точек A и B связаны с перемещением точки O зависимостями: $\delta_{Ay} = \delta_{By} = \delta_{Oy}$, $\delta_{Az} = \delta_{Oz} + b\varphi$ и $\delta_{Bz} = \delta_{Oz} - b\varphi$, где δ_{Oy} и δ_{Oz} – проекции δ_O на оси Oy и Oz, а φ – угол поворота балки AB в плоскости Oyz.

Выразим R_{jy} и R_{jz} через δ_{Oy}, δ_{Oz} и φ, а затем подставим результат в уравнения равновесия. Сгруппировав коэффициенты k_j, получим систему из трех уравнений с тремя неизвестными:

$$\left.\begin{aligned} &A_1\delta_{Oy} + A_2\delta_{Oz} + A_3 b\varphi = F\cos\alpha_0;\\ &A_2\delta_{Oy} + A_1\delta_{Oz} + A_4 b\varphi = F\sin\alpha_0;\\ &A_3\delta_{Oy} + A_4\delta_{Oz} + A_1 b^2\varphi = M, \end{aligned}\right\}$$

где $A_1 = (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)/2$, $A_2 = (k_1 - k_2 + k_3 - k_4)/2$, $A_3 = (k_1 + k_2 - k_3 - k_4)/2$ и $A_4 = (k_1 - k_2 - k_3 + k_4)/2$.

Значение k_j для каждой пружины зависит от направления и величины приложенной нагрузки, т.е. $k_j = f_j(\alpha_0)$. Значения жесткости пружин получим из математической модели как отношение R_{ij} к Δ_{ij}. Полученную зависимость $k_j = f_j(\alpha_0)$ представим графически для каждой из дорожек качения. В первом случае на танкетку действует только сила F, а момент $M = 0$, зависимости для разных дорожек имеют одинаковый вид и отличаются только сдвигом по фазе (см. рис. 4, *а*). Во втором, изображенном на рис. 4, *б*, на жесткость конструкции определяющее влияние по сравнению с силой F оказывает момент M.

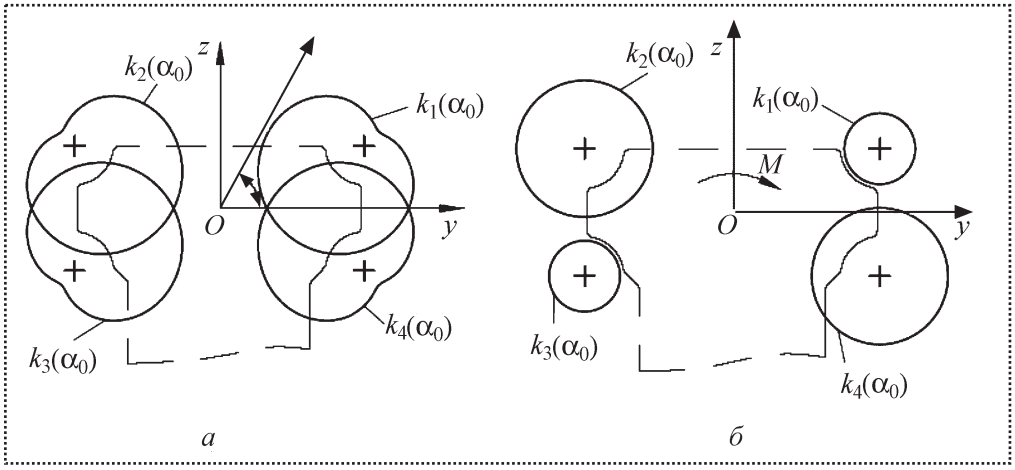

Рис. 4. Зависимость жесткости от направления вектора нагрузки $k_j(\alpha_0)$ для каждой дорожки качения:
а – при $M = 0$; *б* – при определяющем влиянии момента M по сравнению с F

Можно аппроксимировать закон изменения жесткости для каждой из дорожек качения танкетки, выполненной по конструктивной схеме "X", выражением

$$k_j(\alpha_0) = k_0(1+(-1)^j\lambda_M) - k_F\cos\left(\alpha_0 - \frac{\pi}{4} - (j-1)\frac{\pi}{2}\right),$$

где k_0 – постоянная составляющая жесткости, обусловленная предварительным натягом; λ_M – относительное изменение жесткости, вызванное действием момента; k_F – амплитуда изменения жесткости, вызванного действием силы F. Используя это выражение, можно получить достаточно простые зависимости для коэффициентов A_j: $A_1 = 2k_0$, $A_2 = -2\lambda_M k_0$, $A_3 = \sqrt{2}k_F\sin\alpha_0$ и $A_4 = \sqrt{2}k_F\cos\alpha_0$.

После подстановки значений A_j система уравнений равновесия балки примет вид

$$\left.\begin{aligned}
&\delta_{Oy} - \lambda_M\delta_{Oz} - \frac{\sqrt{2}}{2}\lambda_F\sin\alpha_0 b\varphi = \frac{F}{2k_0}\cos\alpha_0;\\
&-\lambda_M\delta_{Oy} + \delta_{Oz} - \frac{\sqrt{2}}{2}\lambda_F\cos\alpha_0 b\varphi = \frac{F}{2k_0}\sin\alpha_0;\\
&-\frac{\sqrt{2}}{2}\lambda_F\sin\alpha_0\delta_{Oy} + -\frac{\sqrt{2}}{2}\lambda_F\cos\alpha_0\delta_{Oz} +\\
&+ b^2\varphi = \frac{M}{2k_0 b},
\end{aligned}\right\}$$

где $\lambda_F = \dfrac{k_F}{k_0}$ – относительное изменение жесткости, вызванное действием силы. Значения относительных изменений жесткости лежат в диапазонах $0 \le \lambda_F \le 1$ и $0 \le \lambda_M \le 1$ соответственно.

Полученная система уравнений описывает поведение упрощенной модели упругой системы "рельс – танкетка", находящейся под действием комбинированной нагрузки, приложенной в плоскости Oyz. Рассмотрим два частных случая: $\lambda_F = 0$ и $\lambda_M = 0$.

При $\lambda_F = 0$ считаем, что на жесткость конструкции определяющее влияние по сравнению с силой F оказывает момент M. В этом случае решение системы уравнений примет вид:

$$\delta_{Oy} = \frac{\lambda_M\sin\alpha_0 + \cos\alpha_0}{2(1-\lambda_M^2)}\frac{F}{k_0};$$

$$\delta_{Oz} = \frac{\sin\alpha_0 + \lambda_M\cos\alpha_0}{2(1-\lambda_M^2)}\frac{F}{k_0} \text{ и } \varphi = \frac{M}{2k_0 b^2}.$$

Согласно полученным результатам характер линейных перемещений стержневого элемента зависит не только от направления вектора силы, но и от величины и направления момента. При $\alpha_0 = \dfrac{\pi}{2}n$, где n – целое число, ни одна из составляющих линейного перемещения (δ_{Oz} или δ_{Oy}) не обращается в ноль, хотя эти случаи соответствуют действию силы вдоль осей Oy

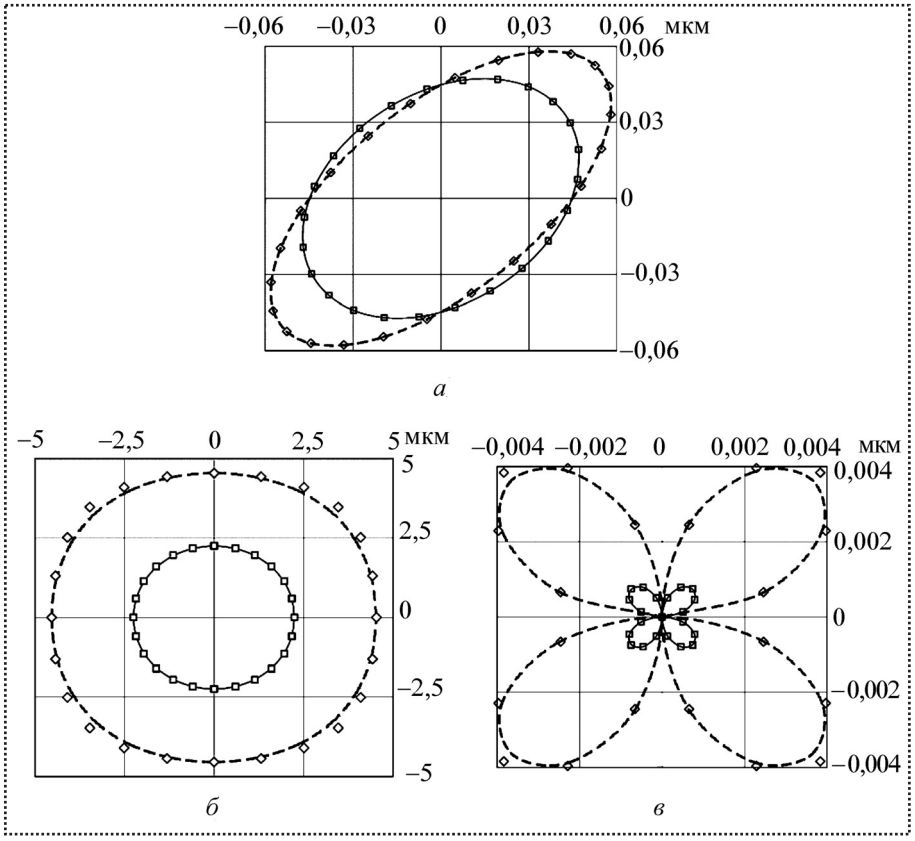

Рис. 5. Зависимость перемещения танкетки от направления вектора нагрузки:
а – линейные перемещения при определяющем влиянии момента M по сравнению с F (F = 20 Н, M = 10 Н·м – квадратные маркеры и сплошная линия; F = 20 Н, M = 20 Н·м – ромбические маркеры и штриховая линия); *б* и *в* – соответственно линейные перемещения и поворот при M = 0 (F = 1 кН – квадратные маркеры и сплошная линия; F = 2 кН – ромбические маркеры и штриховая линия)

или Oz. При $\lambda_M = 0$ выражения существенно упрощаются, жесткость конструкции во всех направлениях становится постоянной.

При $\lambda_M = 0$ противоположная ситуация. Решение системы уравнений принимает вид:

$$\delta_{Oy} = \frac{\cos\alpha_0}{2k_0}\left(1+\frac{2\lambda_F^2 \sin^2\alpha_0}{2-\lambda_F^2}\right)F;$$

$$\delta_{Oz} = \frac{\sin\alpha_0}{2k_0}\left(1+\frac{2\lambda_F^2 \cos^2\alpha_0}{2-\lambda_F^2}\right)F$$

и

$$\varphi = \frac{\sqrt{2}\lambda_F \sin\alpha_0 \cos\alpha_0}{(2-\lambda_F^2)k_0 b}F.$$

Согласно полученным выражениям перемещение стержневого элемента зависит от направления вектора F, иначе говоря, от угла α_0. При $\alpha_0 = \frac{\pi}{2}n$ одно из линейных перемещений (δ_{Oz} или δ_{Oy}) и угол поворота φ обращаются в ноль. Во всех остальных случаях $\varphi \neq 0$. При $\lambda_F = 0$ выражения существенно упрощаются, жесткость конструкции во всех направлениях становится постоянной, $\varphi = 0$ при любых значениях α_0 и F.

На рис. 5 показано множество положений точки O' танкетки после ее перемещения, вызванного совместным действием последовательно прикладываемой в различных направлениях силы F и момента M. Исходное положение точки O' совпадает с началом координат направляющей – $Oxyz$. Линия действия F лежит в плоскости Oyz и проходит через точку O под различными углами: от 0 до 360° к оси Oz. Результаты, полученные с помощью расчетной модели танкетки, нанесены квадратными и ромбическими маркерами, а аналитические зависимости для $\lambda_F = 0$ и $\lambda_M = 0$ – сплошными и пунктирными линиями. Сравнительный анализ представленных графических зависимостей показал, что качественный характер поведения обеих моделей одинаков, а при соответствующем выборе k_0, λ_F и λ_M можно получить и удовлетворительное количественное совпадение результатов.

Выводы

1. Разработана упрощенная аналитическая модель упругой системы "танкетка – рельс направляющей", позволяющая изучать поведение

танкеток с четырьмя дорожками качения, развернутыми под углом 45° к присоединительным поверхностям рельса и танкетки, под действием комбинированной нагрузки в плоскости Oyz. Доказано, что качественный характер ее поведения совпадает с поведением расчетной модели, разработанной авторами ранее [3], а при соответствующем выборе жесткости пружин, имитирующих упругие свойства дорожек и тел качения, можно добиться и удовлетворительного количественного соответствия.

2. Изучен механизм формирования внутренних связей, заложенный в конструкцию направляющих. Причиной их возникновения является переменная жесткость упругой системы, вызванная нелинейным характером контакта между телами и дорожками качения. При приложении внешней нагрузки жесткость, обусловленная предварительным натягом, перераспределяется между дорожками, вызывая возникновение внутренних связей в системе. Приложение момента M_x вызывает увеличение жесткости на двух противоположных дорожках качения и соответствующее снижение ее на перпендикулярных к ним дорожках. В результате мы наблюдаем перемещения в направлении, перпендикулярном направлению вектора силы. При отсутствии внешнего момента из-за изменения жесткости на дорожках, лежащих в направлении действия вектора силы, реакции меняются на разную величину. В результате возникает дополнительный закручивающий момент, который может быть скомпенсирован реакциями двух других дорожек только при повороте танкетки вокруг оси Ox.

3. Выявленные особенности в поведении модульных направляющих качения могут проявляться под действием нагрузок, вызванных массой перемещаемого узла, технологическими процессами, погрешностями обработки монтажных поверхностей присоединяемых элементов конструкции, погрешностями монтажа и температурными деформациями. Их надо учитывать при проектировании, сборке и эксплуатации оборудования.

Библиографический список

1. **Бушуев В.В., Сабиров Ф.С.** Направления развития мирового станкостроения // Вестник МГТУ "Станкин". 2010, № 1 (9). С. 24–30.

2. **Молодцов В.В.** Расчет и конструирование направляющих и приводов подачи станков с ЧПУ: учеб. пособие. М.: МГТУ "Станкин", 2006. 184 с.

3. **Крутов А.В., Молодцов В.В.** Моделирование и расчет направляющих качения модульного типа // СТИН. 2010, № 12. С. 5–11.

4. **Кудояров Р.Г., Дурко Е.М., Иванов Д.В.** Особенности проектирования мехатронного станочного оборудования // СТИН. 2007, № 10. С. 16–21.

5. **THK.** General catalog. Tokyo, Japan. THK. Co. LTD, 2006. 650 с.

УДК 621.79: 669.2

О.Г. Быковский, *д-р техн. наук*
(Запорожский национальный технический университет, Украина)
E-mail: ershov@zntu.edu.ua

Современное состояние и тенденции развития сварки цветных металлов и сплавов (обзор*). *Продолжение***

Проанализированы основные трудности, связанные со свариваемостью магниевых сплавов, а также титана и его сплавов (наличие оксидной пленки, пористость, склонность к образованию горячих и холодных трещин, обеспечение равнопрочности) и пути их преодоления как на стадии предварительной подготовки изделий под сварку, так и во время сварочного процесса. Приведены отечественные сварочные материалы, а также способы и технологические рекомендации по сварке этих сплавов. Рассмотрены современные тенденции по совершенствованию свариваемости, технологии и техники изготовления сварных металлоконструкций из магниевых и титановых сплавов.

The article the main problems connected with welding capacity of magnesium alloys and titanium and it alloys (oxide film, weld porosity, inclination to form hot-tearing and cooling cracks equivalent solid) and the ways that help to overcome them both on stage to preliminary prepare of wares before welding and during of the welding process are analyzed. The fatherland welding materials are presented as the methods and technological recommendations by the welding this alloys are given too. Modern tendencies on perfection welding capacity, technology and technique of manufacture from magnesium and titanium welded constructions are examined.

Ключевые слова: сварка, цветные металлы, магниевые и титановые сплавы, оксидная пленка, свариваемость, электрод, импульсный ток, металл шва, присадочные материалы.

Keywords: welding, non-ferrous metals, magnesium and titanium alloys, oxide film, welding capacity, electrode, current pulses, welded metal, welding materials.

Работоспособность изделий, часто эксплуатирующихся в экстремальных условиях (повышенные и пониженные температуры, наличие агрессивных сред, трение металла о металл и т.п.), зависит от качества сварных соединений, которое в значительной степени определяется свариваемостью металла. Для преодоления трудностей, обусловленных этим показателем, часто приходится использовать присадочные материалы, отличающиеся по составу от основного металла, специальные технологические приемы и технику сварки.

2. Магниевые сплавы

Вследствие малой прочности и недостаточной коррозионной стойкости чистый магний для изготовления металлоконструкций не применяется. Поэтому используются сплавы магния с алюминием, марганцем, цинком и другими металлами, которые имеют в несколько раз большую вибрационную прочность по сравнению с алюминиевыми сплавами и сталями, что в сочетании с малой плотностью позволяет их использовать в транспортном машиностроении. Для этого используются как обрабатываемые, так и литейные магниевые сплавы. Поскольку собственная оксидная пленка магния не защищает от проникновения кислорода вглубь металла, его поверхность покрывается искусственной хроматной защитной пленкой.

При сварке магниевых сплавов и заварке дефектов литья возникают трудности металлургического и технологического характеров.

Вследствие высокой химической активности во время сварки магниевые сплавы интенсивно окисляются с образованием тугоплавкой и не растворимой в жидком металле оксидной пленки MgO.

Из-за большой разницы в температуре плавления чистого магния и его оксида (680 °С и

* Составлен на основе анализа рекомендованной литературы и статей в периодических изданиях за последние 25 лет.
** Начало в № 9, 2011.

2 800 °С соответственно), а также в два раза большей плотности пленки сравнительно с плотностью чистого магния происходит несплавление кромок основного металла с присадочным, а сварочная ванна загрязняется оксидом магния.

Защита сварочной ванны от окружающего воздуха осуществляется в основном инертными газами, а разрушение оксидной пленки происходит под действием переменного тока по механизму, действующему аналогично при сварке алюминия.

Склонность к образованию пор у магниевых сплавов меньше, чем у алюминия; повышенная жидкотекучесть металла и потеря им прочности в интервале температур ликвидус-солидус требует обязательного применения подкладок из меди или коррозионно-стойкой стали с формирующими канавками различной формы. Сами детали необходимо закреплять в кондукторах или других приспособлениях, фиксирующих их форму, для уменьшения деформаций вследствие высокого коэффициента линейного расширения.

Магниевые сплавы проявляют высокую склонность к образованию горячих трещин, что обусловлено как большим интервалом начала и окончания кристаллизации, так и наличием низкотемпературных эвтектик, например: Mg–Cu ($T_{пл}$ = 485 °С), Mg–Al ($T_{пл}$ = 436 °С), Mg–Ni ($T_{пл}$ = 508 °С).

Эта трудность преодолевается путем принятия специальных технологических и конструктивных мер:

1) технология изготовления сварного соединения должна включать такие способ, режимы сварки и охлаждения изделия, последовательность выполнения сварных швов в конструкции, при которых бы обеспечивалось развитие минимально возможных усадочных и тепловых линейных деформаций при кристаллизации металла шва и охлаждения околошовной зоны;

2) применение подогрева и отжига, которые изменили бы распределение собственных напряжений в сварных соединениях и снизили их до уровня, при котором металл шва становится более стойким к дальнейшим превращениям и одновременно более пластичным;

3) конструкция сварного соединения должна обеспечить достаточную податливость по отношению к возникающим в процессе сварки деформациям в шве и в зоне термического влияния.

Подготовка кромок под сварку включает как механическое удаление оксидной пленки, так и химическое воздействие на нее различными реактивами.

При сварке крупногабаритных изделий можно ограничиться шабрением, при сварке небольших узлов в серийном производстве механическое удаление и химическое воздействие сочетаются. Сварочная проволока очищается только травлением. Она изготавливается из магниевых сплавов того же состава путем прессования, а для механизированной сварки прутки свариваются между собой и сворачиваются в бухту. Подготовленные таким образом материалы могут сохраняться в течение 24 ч; если проволока сохраняется в кассете в сухом помещении, срок хранения может быть увеличен до четырех суток, а в герметической таре – значительно дольше. Сварка ведется в основном с присадкой, изредка по буртику.

Газовая сварка выполняется нормальным пламенем левым способом и только в нижнем положении – с применением флюсов из фтористых солей кальция, бария, магния, лития и т.п., которые наносятся на кромки шва и на конец присадочного прутка. Во избежание возгорания магния сварочная ванна должна быть защищена флюсом. Детали толщиной более 5 мм требуют предварительного подогрева до 350 °С; прочность сварных соединений составляет 60–80 % от этого показателя для основного металла.

Аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом позволяет выполнять все типы сварных соединений. Стыковые соединения свариваются на съемных медных или стальных подкладках с формирующей канавкой овальной или прямоугольной формы, размеры которой опре-

деляются толщиной металла. Приспособления должны обеспечить плотное прижатие кромок к подкладкам. При отсутствии подкладок кромки прихватываются отдельными точками диаметром 10–12 мм на расстоянии 50–150 мм.

Перед сваркой места прихваток зачищаются стальными щетками, а усиление снимается заподлицо с основным металлом. Листы толщиной до 5 мм свариваются без разделки кромок, для более толстых – выполняется V-образная или X-образная разделка. Сварка ведется вручную или автоматом на постоянном или на переменном токе. При выполнении первого шва необходима защита корня шва аргоном, при многопроходной сварке необходимо тщательно зачищать предыдущий слой от черного налета оксида. Процесс надо вести на большом токе и повышенной скорости сварки; прочность сварного шва составляет 75–85 % от прочности основного металла.

Сварка плавящимся электродом ведется в аргоне для соединения металла толщиной более 6 мм и выполняется только на постоянном токе обратной полярности. Следует иметь в виду, что скорость плавления магниевой проволоки вдвое выше, чем алюминиевой при той же силе тока.

Импульсно-дуговую сварку рекомендуется выполнять в газовой смеси: 75 % Ar + 25 % He.

Для сварки магниевого сплава МА2-1, который плохо сваривается из-за химической неоднородности металла шва, обусловленной оплавлением эвтектик по границам зерен твердого раствора, рекомендуется использовать сварочную проволоку из сплава марки ВМД. При этом достигается мелкозернистая однородная структура с твердостью металла шва и прочностью, равными этим показателям для основного металла.

После сварки рекомендуется провести отжиг для снятия остаточных напряжений при T = 250 °С в течение 2 ч.

Электрическая контактная сварка (точечная и шовная) применяется для соединения деталей толщиной 0,3–7 мм. Поскольку электротеплофизические характеристики алюминиевых и магниевых сплавов близки, то и параметры режимов сварки их также не намного отличаются. Очищенные поверхности деталей можно сохранять до сварки в сухом помещении лишь несколько часов. Недопустимо наличие остатков меди на поверхности после сварки, это может привести к потере коррозионной стойкости.

Устранение дефектов литья усложняется склонностью литейных сплавов к трещинообразованию вследствие превышения скорости деформации металла в процессе кристаллизации по сравнению с его деформационной способностью. Особенно трудно вести ремонтные работы на фасонных литых деталях с разной толщиной стенки на соседних участках. В этом случае сварку надо вести не только с предварительным, но и с сопутствующим подогревом всей детали.

Выбор этого параметра, как и присадочного металла, определяется составом сплава.

Так, при сварке сплава системы Mg–Nb–Zr–In марки МЛ9 применяются прутки из плоской отливки того же самого состава сечением 7–10 мм^2, а температура предварительного подогрева составляет 300 °С.

При заварке дефектов литья сплавов системы Mg–Zn–Zr марок МЛ8, МЛ22 применяют прутки другого состава – марок Св122 и Св22, модифицированных лантаном и церием, а предварительный подогрев осуществляется при температуре 400–440 °С. Для снятия остаточных напряжений выполняется отжиг при T = 300–350 °С в течение 1,5 ч.

Для заварки дефектов особенно эффективно применение сварки трехфазной дугой. Так, на изделиях из сплава МЛ5 достигнуто снижение скорости охлаждения с 15 до 3 °С/с в области температурного интервала хрупкости, вследствие чего вероятность образования трещин снижается почти в 5 раз.

3. Титан и титановые сплавы

Эти материалы обладают высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах, сохраняют высокие прочностные характеристики до 600 °С, хорошо обрабатываются

всеми видами обработки металлов давлением, имеют низкую плотность, благодаря чему применяются в авиастроении, ракетной технике, химическом машиностроении и других отраслях; используются как в деформированном, так и в литом состоянии. В зависимости от химического состава по структурному составу титановые сплавы делятся на α-сплавы (ВТ1-0, ВТ5), псевдо-α-сплавы (ОТ4-1, ВТ20),(α + β)-сплавы (ВТ6, ВТ22), псевдо-β-сплавы (ВТ30, ТС-6), β-сплавы (4201). Первые две группы сплавов имеют высокие и средние показатели пластичности и в основном свариваются хорошо, остальные отличаются высокими прочностными характеристиками, пониженной пластичностью и свариваются значительно хуже.

Основные трудности при сварке обусловлены высокой химической активностью титана, особенно в расплавленном состоянии, к газам: кислороду, азоту и водороду. Даже при комнатной температуре идет процесс насыщения титана кислородом и азотом с образованием химических соединений в так называемом альфированном слое, что способствует падению пластичности. Поэтому в техническом титане ВТ1-0 концентрация этих элементов ограничивается величинами: 0,12 % O_2, 0,04 % N_2, 0,01 % H_2. Вредной примесью считается и углерод, содержание которого не должно превышать 0,07 %. Поэтому обязательным условием получения качественного сварного соединения титана при сварке плавлением на воздухе является надежная защита не только плавильного пространства, но и околошовной зоны, остывающего сварного шва и его обратной стороны – корня. Такую защиту могут обеспечить только инертные газы высокой степени чистоты или бескислородные фторидно-хлоридные флюсы.

В случае изготовления объемной конструкции, насыщенной несколькими деталями разной формы, процесс ее сварки осуществляется в камере с контролируемой атмосферой, где обеспечиваются наилучшие условия защиты. Наличие цветов побежалости на сварном шве и околошовной зоне свидетельствует о плохой защите и является браковочным признаком. Повышенная твердость таких поверхностей по сравнению с этим показателем для основного металла является объективным критерием плохого качества.

Пористость сварных швов обычно связывается с водородом, поэтому его содержание в присадочной проволоке не должно превышать 0,004 %,что достигается диффузионным отжигом проволоки при температуре 800 °С в глубоком вакууме. Сварочные проволоки в соответствии с ГОСТ 27265–87 поставляются в дегазированном и протравленном состоянии.

Основная предварительная подготовка поверхности деталей под сварку предусматривает механическую очистку торцев свариваемых кромок непосредственно перед сваркой до исчезновения следов предыдущей механической обработки и нанесение галогенных флюсов реагентов. Дополнительными мерами могут быть сварка деталей с фиксированным зазором, увеличение времени существования сварочной ванны, электромагнитные и ультразвуковые методы интенсификации дегазации сварочной ванны, увеличение диаметра электрода и т.п. Следует иметь в виду, что по сравнению с резкой на гильотинных ножницах можно на порядок снизить пористость в сварных швах заготовок, раскроенных фрезерованием, на два порядка – при плазменной резке, а при газолазерной резке пористость вообще исключается.

После газовой резки кромки требуют дополнительной механической обработки на глубину 1–2 мм; такой же операции требуют кромки деталей, длительное время сохранявшихся до сварки для удаления альфированного слоя, толщина которого может составлять несколько десятых долей миллиметра. Заготовки, подвергавшиеся перед сваркой горячей обработке (вальцовка, штамповка, ковка и т.п.) или в термических печах без защитной атмосферы проходят пескоструйную или дробеструйную обработку с дальнейшей химической очисткой. Непосредственно перед сваркой кромки на ширине 15–20 мм от стыка за-

чищаются металлической щеткой или шабером и обезжириваются ацетоном. Удаление конденсированной влаги более эффективно осуществлять прогреванием деталей при температуре до 200 °С.

В помещениях, где сваривают титан, температура воздуха не должна быть ниже 15 °С, а скорость его движения не должна превышать 0,5 м/с.

Титановые сплавы обладают достаточной стойкостью против образования горячих трещин. Причиной же холодных трещин является снижение пластичности в отдельных участках сварных соединений вследствие повышенного содержания примесей внедрения газов. Трещины такого типа могут образовываться как непосредственно после сварки, так и через некоторое время (процесс задержанного разрушения). Основной причиной этого явления является выделение водорода из твердого раствора с образованием гидридов титана, что приводит к созданию в шве больших внутренних напряжений, которые складываются с растягивающими остаточными напряжениями, а также с напряжениями от нагружающих внешних сил.

Кроме того, при сварке сплавов титана, чувствительных к термическому циклу (двухфазные ($\alpha + \beta$)-сплавы, псевдо-β-сплавы) возможен распад β-фазы с созданием хрупких, типа ω-фаз в процессе охлаждения или после упрочняющей термической обработки (закалка с последующим старением). Поэтому при их сварке следует увеличивать погонную энергию, такой "мягкий" режим обеспечивает повышенную пластичность околошовной зоны.

При сварке α и псевдо-α-сплавов вследствие низкой теплопроводности возможно срастание зерен, особенно при нагреве выше 900 °С. Поэтому эти сплавы при сварке плавлением сваривают при минимально возможной погонной энергии, а при контактной – с кратковременными нагревами.

Сварка вольфрамовым электродом, как ручная, так и механизированная, выполняется на постоянном токе прямой полярности на воздухе и получила наибольшее распространение. Для этой сварки разработаны специальные горелки, насадки, подкладки, местные камеры и т.п. Горелки имеют увеличенный диаметр сопла, внутри которого размещены "газовые линзы", обеспечивающие ламинарное истечение защитного газа. При сварке на токах до 150 А применяют горелки с воздушным охлаждением, при больших токах – водяное.

Защита остывающего сварного шва осуществляется специальными хвостовыми насадками, закрепленными на горелке. Защита корня шва и прилегающих разогретых участков основного металла осуществляется за счет плотного поджатия кромок к медным или стальным подкладкам с формирующими канавками и отверстиями для подачи (поддува) инертного газа. При сварке сосудов или труб защита корня шва производится подачей газа во внутрь изделия. При сварке труб с фланцами для каждого типоразмера трубы нужно иметь соответствующие приспособления, которые перемещаются вручную другим рабочим-сборщиком со скоростью сварки.

Перспективно использование алюминиевого теплоотводящего покрытия, которое перед сваркой напыляется на поверхность металла с обеих сторон кромок слоем толщиной 1–1,5 мм. Оно существенно увеличивает скорость охлаждения, снижает перегрев шва и зоны термического влияния, а также защищает корень шва от воздуха, так что можно отказаться от поддува в него аргона. Последний подается в горелку за несколько секунд до сварки и после сварки, пока металл шва не стынет до температуры 400 °С.

Производительность сварки можно значительно повысить, применяя вольфрамовый электрод с тороидальной формой заточки торца за счет эффекта самофокусирования и электромагнитного сжатия плазмы дуги. При этом сварка проводится по щелевому зазору без разделки кромок, за счет введения в атмосферу дуги галогенных флюсов, содержащих фториды кальция, магния, лития и т.п., кото-

рые наносятся на свариваемые поверхности. В последнем случае значительно улучшается не только проплавляющая способность сварочной дуги, но и качество сварного соединения (уменьшается степень химической неоднородности, снижается пористость). Таким образом, действует и эффект искусственно созданных магнитных полей при сварке импульсной дугой по флюсу АНТ-23а.

Плазменной сваркой можно сваривать без разделки кромок детали толщиной более 10 мм, а применение микроплазменной сварки с наложением импульсов, наоборот, позволяет сварить металл сверхтонких толщин (0,08–0,2 мм). В последнем случае необходим строгий контроль параметров режима сварки, определяющих проплавляющую способность микроплазменной струи.

Сварка плавящимся электродом выполняется на постоянном токе обратной полярности и рекомендуется для соединения деталей толщиной более 4 мм. Формирование и размеры сварных швов зависят от рода газа: в гелии швы имеют более плавный переход усиления к основному металлу, в аргоне проплавление более глубокое и узкое. В монтажных условиях рекомендуется использовать импульсно-дуговой процесс в гелии. В последнем случае сварка должна вестись в палатке для предотвращения сдувания защитной струи от плавильного пространства.

Сварка под флюсом ведется на постоянном токе обратной полярности и применяется для изготовления титановых изделий толщиной стенки от 3 до 40 мм, для чего применяются флюсы системы CaF_2–$BaCl_2$–NaF, основным компонентом которых является CaF_2 (до 95 %).

Высота слоя флюса должна быть не менее вылета электрода. При сварке конструкций особо ответственного назначения применяется комбинированная флюсогазовая защита: благодаря специальному устройству бункера флюс продувается аргоном, что исключает попадание воздуха в сварочную ванну. Подача аргона в бункер начинается за 0,5–1,0 мин до подачи флюса в плавильное пространство, а заканчивается одновременно с окончанием сварки. При сварке толстолистового металла эффективно ведение процесса двумя смещенными электродами, как в направлении сварки, так и поперек сварного шва, что позволяет получать сварной шов с большим коэффициентом заполнения разделки кромок, плавным переходом от основного металла к усилению шва и хорошим качеством.

Электрошлаковая сварка может выполняться всеми разновидностями этого способа с использованием флюсов на той же основе, что и при сварке под флюсом. Применяется дополнительная защита плавильного пространства инертным газом, разогретой поверхности шва около ползунов и титанового электрода на участке вылета.

Электрошлаковый процесс наводится жидким стартом. Поскольку все фторидные шлаки отличаются высокой жидкотекучестью, зазоры между формирующими подкладками, ползунами и кромками свариваемых деталей не должны превышать 0,5 мм.

Для улучшения пластичности и вязкости некоторых двухфазных титановых сплавов после сварки рекомендуется проводить диффузионный отжиг изделий при температуре 750–850 °С.

Электронно-лучевая сварка используется при изготовлении конструкций из высоколегированных титановых сплавов, в том числе и из термически упрочняемых двухфазных сплавов.

Этот вид сварки осуществляется, как правило, без присадки и без разделки кромок, однако требуется очень точная сборка с минимальными зазорами. Иногда кромки свариваемых стыков подготавливаются с технологическими утолщениями, верхние из которых тоньше нижних; после сварки утолщения удаляют. Техника сварки предусматривает использование различных приспособлений (прижимов, фиксаторов и т. п.), изготовленных из алюминия, чтобы избежать отклоняющего действия магнитных полей на луч в процессе сварки. Типичными дефектами этого способа сварки является образование микровздутий с рельефом горячих

трещин, что обусловлено нарушением гидродинамических условий переноса металла в корневой части сварочной ванны, а также повышенным содержанием кислорода и углерода. При сварке титанового сплава ВТ20 сквозным проплавлением для борьбы с пористостью и корневыми дефектами рекомендуется применение теплоотводящих формирующих подкладок с одновременным нанесением на свариваемые поверхности слоя активирующего флюса АНТ-23а. Процесс сварки ведется с продольными колебаниями расфокусированного луча, что обеспечивает квазиимпульсный режим за счет подачи на электромагнитную катушку управляющего сигнала пилообразной формы. Благодаря такой технике сварки исключается образование подрезов и разбрызгивания металла с лицевой и корневой частей шва. Для борьбы с пустотами следует увеличивать плотность энергии луча при движении в направлении сварки, а при обратном – снижать. Частота колебаний подбирается таким образом, чтобы средняя скорость движения луча относительно свариваемых деталей была на порядок выше скорости теплоотвода от пятна нагрева и скорости перемещения детали относительно электронно-лучевой пушки.

Бездефектная сварка может быть обеспечена также горизонтальным лучом с различной формой его развертки, при которой получается качественное формирование шва с параллельными границами на металле толщиной 100–150 мм.

Электрическая контактная сварка титана и его сплавов может выполняться всеми ее разновидностями при соответствующей технологии подготовки поверхности. Срок хранения деталей в специальных сушильных тарах не должен превышать 50 ч, а при шовной сварке этот срок еще меньше.

При ***контактной точечной сварке*** высокие показатели механических свойств можно получить в широком интервале параметров режима даже без защиты зоны нагрева инертными газами. Сварку надо вести с минимальными интервалами времени; при его превышении в области температур $\alpha > \beta$ превращений возможно образование мелкоигольчатой структуры α'-фазы, снижающей пластические свойства соединения. Поэтому применяются жесткие режимы, иногда с повторным нагревом точки пропусканием через нее тока величиной $(0{,}7–0{,}9)I_{св}$. Это предупреждает образование закалочных структур и способствует снятию остаточных напряжений в сварных конструкциях, особенно изготовленных из средне- и высоколегированных титановых сплавов. Снизить остаточные напряжения можно и за счет приложения ковочного усилия в момент окончания действия импульса сварочного тока. При этом измельчается крупнокристаллическая структура литого ядра точки, приближая ее к мелкокристаллической структуре основного металла. Качество сварного соединения можно улучшить путем электротермомеханической обработки, применяя электрод-соленоид и обжимающую втулку или используя двухимпульсную циклограмму. Для более интенсивного теплоотвода рекомендуется использовать электроды из бронзы БрХЦр0,3-0,09 со сферической формой поверхности с повышенным расходом охлаждающей воды – больше 5 л/мин. Для предупреждения диффузионного схватывания в уплотнительном пояске применяются барьерные вещества совместно с клеями и герметиками.

При ***контактной шовной сварке*** применяется шаговое перемещение деталей и включение сварочного тока в момент остановки роликов, благодаря чему создаются благоприятные условия для кристаллизации расплава под давлением за счет более быстрого охлаждения металла и большего проплавления без перегрева внешней поверхности. Скорость вращения роликов при выключении тока возрастает до максимальной величины и снижается до нуля в момент включения тока. Для повышения долговечности роликов рекомендуется перемещать детали с малым, а сваривать с большим усилием сжатия.

Сварка ведется по отбортовке или внапуск на жестких режимах с использованием обыч-

ного серийного оборудования с интенсивным водяным охлаждением для уменьшения износа роликов и оптимизации качества сварного соединения.

Контактная стыковая сварка выполняется оплавлением как с подогревом торцев деталей, так и без него, обязательно в среде инертных газов. Подогрев дает возможность уменьшить необходимую электрическую мощность, конечную скорость оплавления, величину припуска на оплавление и снизить удельное давление осадки и его скорость. Наличие защитной среды не сдерживает образование оксидов на поверхности оплавления, если конечная скорость оплавления ниже оптимальной, поэтому сварка ведется короткими циклами плавления и осадки.

После окончания осадки большая часть расплава выдавливается наружу стыка. Параметры режима характеризуются увеличенными в 2–3 раза токами по сравнению со сваркой стальных деталей и минимальным временем его протекания.

Во избежание образования холодных трещин при сварке высокопрочных титановых сплавов проводится отжиг сразу же после сварки при температуре 700–750 °С непосредственно в сварочной машине путем пропускания через соединение тока, величиной на 10–15 % меньше сварочного.

Сварка в твердой фазе находит ограниченное применение, так как прессовая сварка требует предварительного подогрева до 900 °С, а после сварки изделия подвергаются отжигу. Детали с компактной формой поперечного сечения (прутки, стержни, трубы) можно сваривать обычным и инерционным трением; сварные соединения по прочности равноценны основному металлу.

При диффузионной сварке в вакууме для получения соединений с малой степенью деформации, что важно при изготовлении прецизионных изделий, детали подвергаются отжигу в вакууме при температуре большей, чем температура полиморфного превращения свариваемого сплава, вследствие чего в объеме деталей образуется крупнозернистая пластинчатая структура с малыми остаточными деформациями. Непосредственно перед сваркой контактные поверхности механически обрабатываются до степени чистоты G5–G7, после чего детали свариваются при температуре ниже полиморфного превращения, но выше температуры рекристаллизации с относительно большой величиной давления.

Сплавы с равноосной мелкокристаллической структурой обладают большей скоростью высокотемпературной ползучести, их можно использовать в качестве промежуточных прокладок толщиной 0,8–1,0 мм при сварке сплавов с крупнозернистой пластинчатой структурой, что позволяет повысить механические свойства сварных соединений. Оптимальным сочетанием при сварке деталей с малой остаточной деформацией при низких давлениях можно считать сочетание слоя с мелкозернистой равноосной структурой в приконтактной зоне и крупнозернистой пластинчатой структурой в объеме детали. Первое обеспечивает хорошие условия для создания физического контакта за счет деформации микровыступов, второе – малые остаточные деформации. На величину параметров режима сварки существенно влияет подготовка поверхности: полирование ее по сравнению с токарной чистовой обработкой позволяет в 2 раза уменьшить величину удельного давления и на 300 °С снизить температуру сварки, вследствие чего остаточная деформация деталей не превышает 2 % по сравнению с 4–6 % при токарной чистовой обработке. При сварке на параметрах режима, отвечающих условиям сверхпластичности с использованием установок с системой деформирования с заданной скоростью, можно в 6–30 раз сократить длительность процесса, в 4 раза снизить необходимое усилие давления и на 50–180 °С – температуру нагрева. После диффузионной сварки в вакууме почти всегда предусматривается проведение термической обработки.

Ремонтные работы на изделиях из титановых сплавов проводятся в связи с ликвидацией дефектов, возникающих в процессе эксплуатации. Так, лопатки компрессоров газотурбинных двигателей, изготовленные из сплава ВТ9, имеют повреждения пера – разрушение уплотняющих поясков на периферии, мелкие трещины на выходных кромках профильной части, забои, сколы. Если перо изготовлено вместе с диском, то старое перо отрезается, а новое приваривается к диску блиска. Свариваемые детали собираются на специальном бандаже, что исключает деформацию в зоне сварки и обеспечивает получение шва постоянной толщины, а сварка выполняется электронным лучом сквозным проваром без присадки. После сварки бандаж отрезается механической обработкой.

Мелкие дефекты подвариваются аргонодуговым способом с использованием специальной малогабаритной горелки и присадочной проволоки ВТ6св, которая обеспечивает необходимую пластичность.

Библиографический список

1. **Амигуд Д.З.** Справочник молодого газосварщика и газорезчика. Изд. 2-е, исправл. и доп. М.: Высшая школа, 1977. 188 с.

2. **Гуревич С.М.** Справочник по сварке цветных металлов. К.: Наукова думка, 1981. 608 с.

3. **Диффузионная** сварка титана / Э.С. Каракозов, Л.М. Орлова, В.В. Пешков, В.М. Григорьевский. М.: Металлургия, 1977. 272 с.

4. **Макаров В.И., Скачков Ю.Н.** Сварка магниевых сплавов. М.: Машиностроение, 1972. 120 с.

5. **Металловедение** и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, В.И. Елагин. М.: Изд-во Металлургия, 1972. 480 с.

6. **Металлургия** и технология сварки титана и его сплавов / С.М. Гуревич, В.Н. Замков, В.Е. Блащук и др. 2-е изд., доп. и перераб. К.: Наукова думка, 1986. 240 с.

7. **Промышленные** цветные металлы и сплавы. 3-е изд. / А.П. Смирягин, Н.А. Смирягина, А.В. Белова. М.: Металлургия, 1974. 488 с.

8. **Сварка** цветных металлов: сб. науч. тр. / АН УССР, Ин-т электросварки им. Е.О. Патона; редкол.: А.Я. Ищенко, В.Н. Замков, М.М. Нероденко (отв. ред.) и др. К.: Наукова думка, 1989. 212 с.

9. **Технологія** та обладнання електричного контактного зварювання.: навч. посіб. / О.Г. Биковський, Д.М. Лутов, І.В. Піньковський. К.: Техніка, 2001. 240 с.

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТРАКТОРОВ:

учебник для студентов вузов.

В.М. Шарипов

Цена 693 р.

2009. – 752 с. ISBN 978-5-94275-437-2

Рассмотрены основные принципы конструирования и расчета тракторов. Приведены методики расчета сборочных единиц и деталей, характеристики используемых материалов.

2-е издание (1-е изд. 2004 г.) переработано и дополнено разделами по гидродинамическим передачам, гусеничному движителю и гидрообъемному рулевому управлению.

Для студентов высших учебных заведений, изучающих конструирование и расчет тракторов и автомобилей, а также для инженерно-технических работников, занимающихся разработкой новых и совершенствованием существующих моделей тракторов.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

Международная специализированная выставка "Оборудование, приборы и инструмент для металлообрабатывающей промышленности"

С 23 по 27 мая 2011 г. на территории ЦВК "Экспоцентр", г. Москва, проходила 12-я международная специализированная выставка "Оборудование, приборы и инструмент для металлообрабатывающей промышленности". Организаторы выставки – ЦВК "Экспоцентр" и Российская Ассоциация производителей станкоинструментальной продукции "Станкоинструмент", число экспонентов 750. Выставка позволила собрать сотни производителей и потребителей и узнать, что и где производится, что пользуется спросом у потребителей и может быть применено в сборочном производстве.

В статье приведено краткое описание оборудования и технологий, предложенных предприятиями-разработчиками, сбытовыми компаниями и вызвавших интерес у специалистов.

ЗАО "Средневолжский станкозавод" (г. Самара) по сегодняшний день остающийся ведущим производителем различных типов токарных станков предложил потребителям свою продукцию.

Токарный станок с ЧПУ мод. 16Б16Т1 предназначен для разнообразных токарных работ, включая обработку деталей с криволинейным, ступенчатым профилем, нарезание разных видов резьб в полуавтоматическом цикле. Устройство ЧПУ имеет возможность программирования с рабочего места оператора или с внешних программоносителей. Зажим детали в патроне шпинделя пневмомеханический. Наибольший диаметр устанавливаемого изделия: над станиной 400 мм, над суппортом 135 мм. Длина устанавливаемого изделия – до 1 000 мм. Диаметр отверстия в шпинделе – 45 мм. Число позиций инструментальной головки – 8. Наибольший крутящий момент на шпинделе – 210 Н·м. Скорость быстрых ходов: продольных – 10 000 мм/мин, поперечных – 5 000 мм/мин. Пределы шагов нарезаемых резьб – 0,05...40,0 мм. Мощность электродвигателя главного движения – 7,5 кВт. Габаритные размеры станка 3 150×1 370×1 740 мм, масса 3,1 т. Станок рекомендован к применению в мелко-, средне- и крупносерийном производстве.

Универсальный токарный станок мод. SAMAT400 с оперативным программным управлением "Вектор" предназначен для черновых и чистовых работ. Станок позволяет осуществлять работу по микроциклам: обработка конусов, сфер, резьбонарезание, многопроходной цикл и т.п., не требуя при этом специальных навыков программирования. Обработка возможна в ручном режиме и в режиме обучения, когда запоминаются перемещения инструмента, выполненные оператором в процессе обработки первой детали и воспроизводятся при обработке последующих деталей в автоматическом режиме. Имеется возможность составления управляющей программы тремя способами: при изготовлении первой детали в ручном режиме с использованием функции обучения; в режиме ручного ввода кадров программы через терминал системы; на персональном компьютере с последующей загрузкой в оперативную систему управления. Наибольший диаметр устанавливаемого изделия: над станиной 400 мм, над суппортом 220 мм. Диаметр отверстия в шпинделе – 45 мм. Пределы частот вращения шпинделя 25...2 500 мин$^{-1}$, регулирование бесступенчатое. Наибольший крутящий момент на шпинделе 135 Н·м. Скорость быстрых ходов в автоматическом/ручном режимах: продольные – 7 000/6 000 мм/мин, поперечные – 3 500/3 000 мм/мин. Мощность электродвигателя главного движения 5,5 кВт. Габаритные размеры станка 2 475×1 190×1 470 мм, масса 2 т.

Токарный затыловочный станок мод. 1Е812 (рис. 1 на с. 3 обложки) предназначен для затылования червячно-модульных фрез (однозаходных, многозаходных правых и левых), дисковых фрез и другого инструмента с зубьями, затылуемыми радиально, под углом или вдоль оси резцом или шлифовальным кругом. Имеется возможность обработки фасонных элементов в кулачковых механизмах различного назначения.

Наибольшие: диаметр устанавливаемого изделия – 360 мм, расстояние между центрами – 630 мм, длина хода каретки – 600 мм, высота резца – 43 мм, ход затылования – 25 мм, крутящий момент на шпинделе 3,1 кН·м, поперечное перемещение суппорта по винту – 50 мм, диаметр шлифуемого изделия – 250 мм, диаметр шлифовального круга – 150 мм. Число продольных подач – 3 шт., пределы подач – 0,075...1,20 мм/об. Пределы шагов нарезаемых резьб: метрических – 0,5...360 мм, модульных – 0,5...360 мм, дюймовых с числом ниток на 1″ – 2...28. Габаритные размеры станка 2 900×1 850 ×1 900 мм, масса без электрооборудования 4,3 т.

Вертикальный фрезерно-расточный станок с ЧПУ мод. 400V предназначен для высокопроизводительной обработки деталей из различных конструкционных материалов. Он выполняет операции сверления, растачивания, нарезания резьбы, прямолинейного, контурного и объемного фрезерования. Станок собран из литых деталей и обладает достаточной жесткостью и термостабильностью. Смонтированные на станке электроприводы обеспечивают бесступенчатое регулирование величин рабочих подач и частот вращения шпинделя в широком диапазоне 0...8 000 мин$^{-1}$, что дает возможность обработки деталей высокопроизводительным режущим инструментом. В станке объединены конструктивные особенности колонковой системы перемещения (механические части приводов линейных осей вынесены за пределы зоны резания), которая подходит для трехкоординатной и трехосевой обработки, а в сочетании с поворотными рабочими столами с горизонтальной осью вращения – для четырехкоординатной и четырехосевой обработки, обеспечивая при этом высокую точность и универсальность. Размеры рабочей поверхности стола – 900×400 мм. Наибольшая масса обрабатываемой детали – 400 кг. Номинальный крутящий момент на шпиндель – 44,6 Н·м. Наибольшее программируемое перемещение по координатам: продольное перемещение стола X – 540 мм, поперечное перемещение колонны Y – 400 мм, вертикальное перемещение шпиндельной бабки Z – 450 мм. Точность позиционирования по осям XYZ – 0,001 мм. Время смены инструмента 12 с. Габаритные размеры станка 2 400×2 200×2 640 мм, масса 4,7 т.

Автоматический комплекс плазменной резки мод. КАРП 3000 (рис. 2 на с. 3 обложки) укомплектованный системой ЧПУ "Sinumerik 840D" и приводами фирмы "Siemens". Его плазменная установка позволяет вести обработку током силой до 80А при 100 %-ном рабочем цикле, питающее напряжение установки – 400 В, потребляемая мощность – 17 кВт. В сочетании с плазменной горелкой гарантируется высокое качество резки, отсутствие шлаков, чистая поверхность резания, легкая обработка и минимальное время резки. Технология плазменной резки позволяет получить заготовки и детали сложной конфигурации без затрат на механическую обработку. Комплекс предназначен для резки листового металла толщиной 0,5...20 мм. Максимальный размер заготовки 3 000×1 500×20 мм. Скорость резания 0,5...3,5 м/мин.

Устройство подачи прутка мод. УПП35-1,2 для подачи прутка в зону обработки в автоматическом режиме. Пруток в зону обработки подается толкателем через сквозное отверстие в шпинделе станка. Пневмо- и электрооборудование устройства подачи прутка расположено внутри корпуса. Максимальная длина прутка – 1 200 мм, его диаметр – 10...40 мм, время подачи заготовки – 5...10 с. Питающие напряжения: устройства – 220 В, цепи управления – 24 В; потребляемая мощность устройства – 30 Вт. Его габаритные размеры – 1 510×1 335×930 мм, масса – 180 кг.

Лазерный центр (г. С.-Петербург) демонстрировал на выставке *лазерную технологическую установку мод. RX-20* (рис. 3 на с. 3 обложки) для обработки тонколистовых материалов. Установка представляет собой новое поколение систем прецизионной обработки материалов на базе малогабаритных волоконных лазеров и осуществляет сверхточную резку любых непрозрачных материалов толщиной 0,5...0,8 мм. Поле обработки материала установкой – 250×250 мм точность позиционирования – 2,5 мкм. Тип лазера – иттербиевый импульсный волоконный с длиной волны лазерного излучения 1,06 мкм, ресурс лазера – 100 000 ч, средняя мощность – 20 Вт при максимальной энергии в импульсе 15 мДж и мощности 1,5 кВт. Габаритные размеры установки 920×720×1 500 мм, масса – 200 кг. По словам разработчиков, установка обеспечи-

вает высокое качество и гибкость технологии резки. Скорость резки: меди толщиной 0,08...0,15 мм – 5 мм/с; латуни толщиной 0,2...1,0 мм – 4 с; золота толщиной 0,3...0,5 мм – 3 с; коррозионно-стойкой стали толщиной 0,5...2 мм – 0,5 с.

УП "Витебский завод "Станкоремонт" демонстрировал на выставке обрабатывающие центры.

Вертикальный обрабатывающий портальный центр мод. VPC55, имеющий мощную и компактную портальную конструкцию с верхним расположением привода портала, обеспечивает большие диапазоны ходов по оси *Y*, сохраняя высокую жесткость при операциях резания. Перегородка, которая может быть установлена в середине рабочего стола, делит его рабочее пространство на две зоны с независимой загрузкой деталей. Станок имеет легкодоступную рабочую зону, позволяющую обрабатывать детали большого размера и надежные направляющие, обеспечивающие высокую эффективность резания и сохранение точности в течение длительного времени. Современные материалы, примененные в конструкции станка, обеспечивают скольжение соответствующих узлов с большой скоростью – до 30 м/мин. Для обеспечения высокой точности работы обрабатывающий центр оснащен линейной системой прямого измерения. Поверхность рабочего стола имеет размер 1 350×1 100 мм, максимальная нагрузка на него – 2 т. Вместимость магазина инструментов – 22 шт., время смены инструмента около 7 с. Точность позиционирования по осям *X*, *Y*, *Z* составляет ±0,015 мм, повторяемость ±0,01 мм. Габаритные размеры обрабатывающего центра 4 200×3 500× ×4 100 мм, масса 25 т.

Обрабатывающий центр мод. VSC50-XTS с подвижной колонной, вертикальным шпинделем и неподвижным рабочим столом предназначен для вертикальной обработки различных видов заготовок. В комбинации с рабочим столом и управлением от ЧПУ центр может быть использован для многосторонней обработки заготовок за одну установку и для операций резания в тяжелых условиях. Большой диапазон перемещений (по оси *Y* – до 900 мм и оси *Z* до 1 000 мм) позволяет производить обработку деталей в закрытой рабочей зоне. Высокая жесткость, статически и динамически сбалансированная конструкция и большая рабочая зона станка позволяют устанавливать тяжелое дополнительное оборудование и большие детали с возможностью их вращения. Максимальное расстояние между рабочим столом и шпинделем – 180 мм, нагрузка на рабочий стол – 1,5 т. Максимальная ускоренная подача по осям *X*, *Y*, *Z* – 30, 30 и 25 м/мин. Мощность двигателя привода – 28 кВт. Время смены инструмента около 7 с. Точность позиционирования при работе ±0,01 мм, повторяемость – до ±0,002 мм. Параметры механической обработки: фрезерование по стали – 1 200 см^3/мин, сверление по стали – до 50 мм; нарезание резьбы по стали – М39.

Центр промышленности Республики Болгария предложил потребителям металлорежущие станки различного назначения.

Токарный станок с ЧПУ мод. Т350 с наклонной станиной 45° предназначен для выполнения токарных операций на деталях типа тел вращения в серийном производстве. Он работает с высокой производительностью, скоростью и стабильностью при обработке любых материалов. Кассетный шпиндельный узел собран в термически стабилизированном корпусе с ребрами жесткости с минимальным радиальным биением и осевым зазором, что гарантирует высокую скорость обработки без вибраций и точность резания в тяжелых режимах. Станок укомплектован: проходным гидравлическим трехкулачковым патроном; задней бабкой; восьмипозиционной револьверной головкой; стружкоконвейером и баком для стружки; системой подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ); системой смазки направляющих, работающей в автоматическом режиме; педалью управления гидравлическим патроном; телескопической защитой направляющих. Диаметры обработки: над станиной – 600 мм, над суппортом – 450 м. Максимальный диаметр обработки прутков – 76 мм. Диаметр отверстия в шпинделе – 92 мм. Мощность двигателя шпинделя – 18 кВт. Ход по оси *X* – 305 мм, по оси *Z* – 500 мм. Точность позиционирования ±0,006 мм, повторяемость ±0,002 мм. Габаритные размеры станка 2 950×1 860× ×1 960 мм, масса – 5 т.

Вертикальный фрезерный обрабатывающий центр мод. М500 предназначен для выполнения разнообразных фрезерных операций при обра-

ботке любых материалов с высокой скоростью резания, точностью позиционирования и надежностью. Шпиндель станка оснащен прямым приводом и точным кассетным шпиндельным узлом. Это обеспечивает минимальное радиальное биение конуса и повышенную плавность работы на высоких скоростях обработки. Точные линейные направляющие по трем осям имеют нулевой люфт и минимальное трение при движении. Обдув воздуха в автоматическом режиме при смене инструмента обеспечивает очистку конуса шпинделя и держателя, инструмента. Обрабатывающий центр имеет поворотную панель ЧПУ и выносной пульт управления. Размер его рабочего стола 900×500 мм. Максимальный ход по осям *X*, *Y*, *Z* – 800; 500; 510 мм соответственно. Масса обрабатываемой детали – 500 кг. Мощность главного двигателя – 15 кВт. Рабочая подача по осям *X*, *Y* и *Z* – 8 000 мм/мин. В магазине инструментов можно разместить до 30 инструментов общей массой до 6 кг. Габаритные размеры обрабатывающего центра – 2 500× ×2 100× ×2 600 мм, масса – 4,9 т.

ООО "Кронштадт" (г. С.-Петербург) предложил оборудование для металлообработки, разработанное за рубежом.

Электромеханический профилегиб мод. UNI60 Combical предназначен для бездорновой гибки в горизонтальной плоскости: профильных труб сечением 40×40 мм, прутка круглого сечения диаметром 20 мм и квадратного прутка 20×20 мм; труб диаметром 6...48 мм с толщиной стенки до 3 мм, диаметр гибки 500...600 мм; полос до 50×8 мм (по широкой стороне 50 м); уголка 40×40 мм; профиля Т-образной формы размером 40×40 мм; швеллера размером 30×15 мм (по широкой стороне 30 мм). Станок оборудован тремя гибочными раздвижными роликами, позволяющими гнуть квадратный пруток, уголок и т.п.

Автоматический ленточнопильный станок мод. BMSO440 CGH предназначен для высокопроизводительной резки заготовок без участия оператора. Станок оснащен системой подачи заготовки, встроенной в зажимные тиски, и предназначен для нарезки заготовок длиной до 500 мм. Мощность: главного двигателя – 4 кВт, гидронасоса – 1,1 кВт, насоса подачи СОЖ – 0,12 кВт. Скорость движения ленточнопильного полотна 20...100 м/мин. Размеры ленточнопильного полотна 5 200×41×1,3 мм. Габаритные размеры станка – 2 850×2 100×1 950 мм, масса – 2,4 т.

Ленточно-шлифовальный станок мод. 131 предназначен для шлифовки углов (ребер) прямоугольных заготовок и сварных швов прямоугольных деталей (типа короб) с высотой до 145 мм. Возможна шлифовка кромок плоских деталей, в том числе одновременно нескольких (пакетом). Наклоняемый рабочий стол регулируется по высоте. Механизм попеременного движения роликов шлифовальной головки при работе – эксцентриковый. Мощность двигателя станка 2,1 кВт. Размеры: шлифовальной ленты – 2 000×150 мм, рабочего стола 600×250 мм. Габаритные размеры станка – 700×1 400×1 500 мм, масса – 120 кг.

Ленточно-шлифовальный станок мод. 133 предназначен для изготовления пазов шлифовальной лентой на трубах для их последующего соединения методом сварки. Станок может работать с длинными и короткими заготовками, в том числе с короткими резьбовыми. Он оснащен передвижным блоком с тисками для трубы, который перемещается перед головкой станка во всех направлениях и позволяет делать пазы, например в середине торца трубы. Мощность двигателя станка – 3,6...5 кВт. Диаметр круглой обрабатываемой трубы – 10...150 мм, размер квадратной трубы – 150×150 мм. Размер шлифовальной ленты – 2 000×150 мм. Габаритные размеры станка 1 650×1 500×1 500 мм, масса – 140 кг.

Станок мод. 845 предназначен для снятия фасок и удаления заусенцев в плоских (листовых) заготовках, в том числе загружаемых пакетом. Станок работает в автоматическом режиме с металлическими полосами размером до 500× ×400 мм. Удобен в работе с конвейера (пакетная подача заготовок). Мощность двигателя станка – 0,25 кВт. Размеры: шлифовальной ленты – 900×35 мм; рабочего стола – 1 100×400 мм. Габаритные размеры станка – 1 600×800×1 500 мм, масса – 295 кг.

Электромеханический резьбонарезной станок мод. 352 предназначен для нарезки резьбы на трубах и укомплектован различными наборами резьбонарезных гребенок и приспособлениями

для нарезки левой резьбы. Мощность двигателя станка – 900 Вт, питающее напряжение – 230 В. Он оснащен головками для нарезания резьбы на диаметр 1/2...2″, подставкой и металлическим ящиком, головками для нарезания резьбы на диаметр 1/2...11/4″. Корпус станка алюминиевый, масса – 6,5 кг. Скорость нарезания резьбы – 24 об/мин.

Центр станочного оборудования (г. Екатеринбург) показал на выставке горизонтально-расточные станки, произведенные в Германии, и фрезерные обрабатывающие центры итальянского производства.

Станок мод. KR/KCR150 предназначен для универсальной обработки крупных заготовок размером 4×3×2 м. Он оснащен системами смены инструмента и смены палет в автоматическом режиме. Магазин инструментов имеет 176 ячеек и оснащен промышленным роботом для загрузки инструментов длиной до 800 мм и массой до 50 кг. Диаметр шпинделя станка – 162 мм, его перемещение: по оси X – 3 200 мм, по оси Y – 25 000 мм, по оси Z – 1 500 мм, по оси W – 700 мм. Размеры рабочего стола 1 800×2 000, нагрузка на стол 60 т. Мощность привода станка – 45 кВт. Частота вращения шпинделя – 5...3 800 мин$^{-1}$. Управляется станок системой Siemens 840D.

Пятиосевой обрабатывающий центр мод. BF200-5 предназначен для обработки титановых сплавов. Станок имеет жесткую конструкцию и Т-образную станину; рабочий стол размером 4 400×2 000 мм перемещается по оси X на расстояние 4 000 мм и выдерживает нагрузку 35 т. Колонна перемещается по оси Y на расстояние 2 000 мм, фрезерная головка перемещается по оси Z на расстояние 1 200 мм. Скорость перемещений достигает 12 м/мин. Мощная фрезерная головка позволяет производить пятиосевую обработку поверхностей, имеющих сложные геометрические формы. Станок оснащен системой смены инструмента в автоматическом режиме (магазин цепного типа, вместимостью на 60 инструментов).

Обрабатывающий центр мод. ACTIVE FIVE (рис. 4 на с. 3 обложки), по словам разработчиков, – самая компактная и эргономичная модель среди портальных обрабатывающих центров группы Parpas. Станок выполнен с неподвижным порталом. Рабочий стол перемещается по оси X на расстояние до 3 000 мм, шпиндельная бабка вертикально по оси Y – на расстояние 1 800 мм и поперечно на 850 мм. Станок оснащен двухосевыми фрезерными головками, поворот которых контролируется системой ЧПУ. Размеры рабочего стола 3 100×1 100 мм, нагрузка на него 5 т. Максимальный крутящий момент на шпинделе 43 Н·м, частота его вращения – 22 000 мин$^{-1}$. Вместимость инструментального магазина составляет 245 инструментов. Защита рабочей зоны имеет удобную дверь, благодаря которой загрузка крупногабаритных заготовок краном не вызывает затруднений.

ООО "Вэлдком" (г. Мытищи Московской обл.) предложил зарубежное оборудование для обработки металла.

Портальная машина мод. JANTAR2 с ЧПУ предназначена для термической резки (плазменной и/или газовой) углеродистых и низколегированных сталей, а при применении плазменной технологии – коррозионно-стойких сталей и алюминия, с рабочей шириной от 1 500... 3 000 мм. Скорость резки – 50... 25 000 мм/мин, в зависимости от типа резки. Толщина резки: автогенным резаком – 100 мм, плазменным резаком – в зависимости от источника плазменной резки. Точность позиционирования ЧПУ – 0,005 мм.

Станок мод. Sapphire BL2 предназначен для плазменной и газовой резки в тяжелых промышленных условиях. Диапазон рабочей ширины станка составляет 2 000...6 000 мм. Для увеличения жесткости и динамической устойчивости станка его портал выполнен в виде сварной конструкции, состоящей из двух замкнутых профилей. Это позволяет производить резку металла толщиной до 300 мм. Дополнительно станок может быть оснащен газовой горелкой и устройствами для кернения. Скорость резки – 50...18 000 мм/мин в зависимости от типа резки. Точность позиционирования ЧПУ – 0,005 мм.

Компания ПромИмпЭкс (г. С.-Петербург) предложила потребителям металлорежущее оборудование зарубежного производства.

Комбинированные, одноцилиндровые, гидравлические пресс-ножницы серии HIW с вертикальным

рабочим ходом на всех блоках. Рабочие салазки ножниц имеют прямой ход вверх и вниз, что обеспечивает оптимальный результат для пробивки отверстий, рубки, пробивки вырезов и гибки. На пресс-ножницы дополнительно установлен гидравлический зажим и полиуретановой разделитель, которые ускоряют работу пресса, существенно повышая его эффективность. Усилие ножниц – до 60 т, максимальные: длина хода – 55 мм, число циклов (при длине хода 15 мм) – 26 циклов/мин, размер пробиваемой заготовки (диаметр/толщина) 28×15/38×11 мм. Рубка: плоских пластин – 200×20 мм, уголков – 127×127×12/80×80×8 мм, швеллеров и двутавров – 102×51 мм, угловая высечка 127×12 мм. Мощность двигателя пресс-ножниц – 4 кВт, их габаритные размеры – 1 520×590×1 560 мм, масса – 1,25 т.

Четырехвалковый гидравлический листогиб мод. W12NC 30×2 500 предназначен для гибки листов толщиной до 30 мм и шириной до 2 500 мм в автоматическом режиме при производстве обжимных креплений с использованием и без использования системы ЧПУ, а также для изготовления деталей переменного радиуса. Листогиб предназначен для гибки из листового материала в холодном состоянии цилиндрических обечаек и обечаек в виде усеченного конуса с углом при вершине до 30°. При установке соответствующего инструмента на листогибе можно производить гибку сортового проката. Гидравлический пресс имеет преимущества по сравнению с машинами подобного типа и он обеспечивает гидравлическое позиционирование нижнего прижимного валка. Листогиб имеет два поперечных валка с двойным прижимным действием, его нижние прижимные и поперечные валки оснащены системой балансировки, обеспечивающей параллельность и высокое качество обработки; гидравлический привод верхних валков с редукторным приводом оснащен системой защиты от перегрузок. Положение валков контролируется цифровым дисплеем. Для снятия напряжений имеется тяжелая стальная сварная термообработанная несущая рама. Листогиб оснащен гидравлическими компонентами (двигателем мощностью 45 кВт, насосным агрегатом, клапанами уровня масла). Имеется система аварийного отключения. Габаритные размеры листогиба – 8 400×2 590×2 600 мм.

Технологическая линия мод. JCD 1612, выполняющая операции маркировки, пробивки отверстий и резки (под прямым углом) уголкового профиля на величину 35...160 мм. При установке накопительных и подающих роликовых конвейеров, использовании программы оптимального раскроя материала, а также автоматизации производственного процесса обеспечивается выполнение технологических операций в течение 4 с. Расстояние между отверстиями и их диаметр регулируются системой автоматического контроля, что обеспечивает высокую точность работы. Оператор технологической линии может регулировать размеры подаваемой заготовки, диаметр пробивки, число заготовок при редактировании программы или использовать CAD/CAM конвертацию. Максимальный диаметр пробивки 26 мм с усилием 800 кН, маркировочное усилие 800 кН с точностью ±0,5 мм. Технологическая линия оснащена системой самодиагностики и устранения неполадок. Ее габаритные размеры 22 500×6 000×1 800 мм, масса – 12 т.

Компания "КАМИ-Металл" (г. Москва) демонстрировала на выставке и предложила потребителям новейшее оборудование, изготовленное за рубежом по современным технологиям.

Токарный станок мод. EX-910 (рис. 5 на с. 3 обложки) предназначен для токарно-фрезерной обработки сложных деталей за одну установку. Отличительной особенностью станка является наличие противошпинделя, что и позволяет обрабатывать детали за одну установку, ось *Y* увеличивает функциональные возможности фрезерования. Станок укомплектован: приводом и преобразователем производства FANUC; гидравлической головкой под инструмент; мотор-шпинделем; противошпинделем; стружкоуборочным конвейером; уловителем готовых деталей; устройством подачи прутка в автоматическом режиме. Максимальные: обрабатываемый диаметр заготовки – 340 мм; длина обрабатываемой заготовки – 660 мм; диаметр прутка в главном шпинделе – 75 мм; диаметр прутка в противошпинделе – 52 мм. Перемещение рабочего органа по осям *X* – 245 мм, *Z* – 710 мм, *B* – 710 мм,

Y – 160 мм. Частота вращения шпинделя и противошпинделя 3 500 мин$^{-1}$. Мощность: двигателя главного шпинделя – 22 кВт; двигателя противошпинделя – 18,5 кВт; серводвигателя приводного инструмента – 5,5 кВт. Число позиций револьверной головки – 12. Угол наклона станины – 30°. Станок оснащен системой ЧПУ мод. Januc 18i-T. Его габаритные размеры 3 750×2 000×2 000 мм, масса станка – 6,5 т.

Станок мод. JSL-42ABY – прутковый автомат продольного точения с системой ЧПУ, обладающий быстросменной модульной системой инструмента. Автомат рекомендован для токарной обработки сложных деталей с использованием функций фрезерования, сверления и резьбонарезания. Станок укомплектован: шестипозиционным держателем инструмента для внешней обработки; пятипозиционным держателем инструмента для внутренней обработки; системой подачи СОЖ и смазочным устройством. Максимальные: диаметр обработки главного шпинделя и диаметр обработки противошпинделя – 42 мм; длина обработки – 200 мм с подвижной направляющей втулкой и 125 мм – с неподвижной направляющей втулкой; диаметр радиального нарезания резьбы – М10 мм. Число инструмента: для наружной обработки – 6 шт.; внутренней обработки – 5 шт.; радиальной обработки – 4 шт.; наружной обработки в противошпинделе – 4 шт.; внутренней обработки в противошпинделе – 3 шт.; радиальной обработки в противошпинделе – 4 шт.; обработки торца в противошпинделе – 4 шт. Мощности двигателей: главного шпинделя – 7,5 кВт, противошпинделя – 7,5 кВт, осей *X*1 и *Z*1 – 16 кВт, оси *Y*1 – 1,4 кВт, радиальной обработки – 1,6 кВт, осей *X*2 и *Z*2 – 1,4 кВт, оси *Y*2 – 1,4 кВт, радиальной обработки в противошпинделе – 1,6 кВт, подачи СОЖ – 2,3×2 кВт (вместимость бака для СОЖ – 480 л). Габаритные размеры станка 3 380×2 455×2 155 мм, масса – 7,5 т.

Станок мод. MM1420H предназначен для наружного и внутреннего шлифования цилиндрических, конических и торцевых поверхностей на деталях типа вал, втулка, ось, фланец, крышка и т.п. Привод вращения заготовки, шпиндель наружного и внутреннего шлифования, масляная помпа и помпа охлаждения управляются от отдельных двигателей. Продольная подача рабочего стола осуществляется гидроприводом или вручную. Возможна обработка деталей со всех сторон за счет поворота передней бабки, шлифовального шпинделя и задней бабки. Станок оснащен устройством колебания для создания периодического шлифовального профиля. Диаметр наружного шлифования с неподвижным люнетом 8...60 мм, внутреннего шлифования – 35...100 мм. Масса обрабатываемой заготовки – 50 кг. Продольное перемещение рабочего стола – до 800 мм. Длина внутреннего шлифования 125 мм. Частота вращения главного шпинделя – 1 670 мин$^{-1}$. Максимальный размер шлифовального круга для внутреннего шлифования – 50×25×13 мм, его минимальный размер – 13×6×4 мм. Частота вращения шпинделя передней бабки – 40...400 мин$^{-1}$. Угол поворота главного шпинделя – 90°. Мощность главного двигателя – 4,24 кВт. Габаритные размеры станка – 3 000×1 800×1 650 мм, его масса – 3,7 т.

Электроэрозионный проволочно-вырезной станок мод. CW-325S для изготовления инструмента, деталей машин и штампов. Станок обрабатывает детали из закаленной стали, высокопрочных композитных сплавов, титана, графита и т.п. с высокой чистотой поверхности. Главное условие – материал должен быть электропроводным. Станок используется в машиностроении, автомобилестроении и легкой промышленности. Он оснащен: высокоточными алмазными линейными направляющими и системой ЧПУ с шести-, десяти и четырехразрядным процессом. Максимальный размер обрабатываемой заготовки 850×550×200 м, ее масса 70 кг. Диаметр используемой проволоки (электрод-инструмент) 0,1...0,3 мм, усилие ее натяжения 2...25 Н. Максимальный угол реза ±22,5°. Габаритные размеры станка 220×2 300×2 200 мм, его масса 2,2 т.

Станок мод. Profi ZY5035A (рис. 6 на с. 3 обложки) предназначен для сверления, зенкерования, развертывания отверстий, нарезки внутренних резьб и вертикального фрезерования. Подача шпиндельного узла в автоматическом режиме достигается установкой ее величины и шага через включение зубчатых шестерен. Станок оснащен системой подачи СОЖ в зону резания, цифровой индикацией частоты вращения шпинделя

и глубины подачи с функцией микроподачи и фрезеровки, имеет центробежную систему смазки. Дополнительно станок укомплектован крестовым столом и цанговым патроном с набором цанг 6...16 мм. Диаметр сверления на станке – до 35 мм, нарезаемая резьба – до М24, ход шпинделя – 190 мм. Максимальный подъем рабочего стола – 570 мм, его поворот – до 45°. Частота вращения шпинделя составляет 76...2 065 мин$^{-1}$. Диапазон подач – 0,1; 0,2; 0,3 мм/об. Размер рабочего стола – 520×440 мм. Мощность двигателя – 1,5 кВт. Габаритные размеры станка – 900×600×2 300 мм, масса – 500 кг.

На прошедшей выставке свою продукцию продемонстрировали крупнейшие предприятия из многих стран. Была организована программа деловых встреч. Состоялись международный форум "Современные тенденции в технологиях и конструкциях металлообрабатывающего оборудования" и симпозиум по технологии холодной и горячей обработки металла давлением "От металла до готовой детали", а также презентации и деловые встречи.

Чл.-кор. Академии проблем качества **А.Н. Иванов**

ООО "Издательство Машиностроение" продолжает подписку на журнал "Сборка в машиностроении, приборостроении"

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

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

107076, г. Москва, Стромынский пер., д. 4,
тел.: (499) 269-6600, 269-5298, факс: (499) 269-4897,
e-mail: realiz@mashin.ru. www.mashin.ru

ПОПРАВКА

В журнале № 8 за 2011 г. на стр. 1–3 допущена ошибка в инициалах первого автора: вместо Кузнецова С.Г. следует читать Кузнецова С.В.

Редакция приносит извинения Светлане Владимировне Кузнецовой.

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: (499) 268-38-42; тел./факс (499) 268-85-26; факс 269-48-97.
Технический редактор *Жиркина С.А.* Корректоры *Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.*
Сдано в набор 10.08.11 г. Подписано в печать 26.09.11 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч.-изд. л. 5,72. Заказ 685. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Издательство Машиностроение".
Отпечатано в ООО "Подольская Периодика", 142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, д. 15.