ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ и производственный ЖУРНАЛ



В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ

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

СОДЕРЖАНИЕ

Современные технологии сборки

Кочкин Е.В., Матвеев Е.В., Медарь А.В., Меденков В.И. Технологическая платформа стендового оборудования для определения характеристик

Технологическая оснастка для сборки

копоаев	P.A.,	Соколов	B.A.	ьесконтактны	ыи метод к	онтроля точн	ости
позициони	прова	ния манип	улятор	оов промышл	енных робо	тов	8
Макаров	В.Ф.,	Петухов	г.д.	Разработка	режущего	инструмента	для
протягива	ния д	еталей газ	отурбі	инного двигат	еля на пові	ышенных режи	имах
резания .							12

Сборочно-сварочные работы. Пайка

coope me coupe men pucemen muma	
Бохоров И.О., Карабанов В.В. Пайка режущего инструмента	16
Вытнов Ю.В., Александрин А.Г., Голубев С.В., Герасимов Е.А.,	
Медведев Н.П. Автоматизация процесса сварки торцевых швов статорных	
перегородок герметичных электронасосов	21

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Денисов Ю.В., Капленко М.В. Комплексный подход при изготовлении	
блоков пневмовоздействий	23
Киселев Е.С., Благовский О.В. Обеспечение эксплуатационных свойств	
ответственных деталей путем формирования поля остаточных напряжений 2	29
Кристаль М.Г., Кулагин Р.Н., Иванков П.С. Пневмовиброконтактное	
устройство для контроля диаметров токопроводящих деталей	35

В помощь конструктору, технологу

Балтаев Т.А., Королев А.В., Королев А.А., Балаев А.Ф., Савран С.А.

Технология стабилизации остаточных напряжений в упругих чувствительных
элементах приборов давления на основе применения ультразвуковой энергии 39
Паташов В.А., Житников Ю.З. Режим движения многошпиндельного
шпильковерта в момент снятия патронов завинченных шпилек
Можегова Ю.Н. Обоснование точности способа автоматизированного
определения минимального размера пор материалов

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.: 8 (499) 269-54-98. Факс 8 (499) 269-48-97

E-mail: sborka@mashin.ru

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

Председатель редакционного совета

Ф.М. МИТЕНКОВ, академик РАН

Редакционный совет

MOCKRA

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

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

Региональные редсоветы

БЕЛГОРОЛ

Н.А. ПЕЛИПЕНКО, д.т.н. **БРЯНСК**

О.А. ГОРЛЕНКО, д.т.н., проф.

ВЛАДИВОСТОК

Ю.Н. КУЛЬЧИН, д.т.н., чл.-кор. РАН А.А. СУПОНЯ, к.т.н.

ВОЛГОГРАД

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

UXFRCK

И.В. АБРАМОВ, д.т.н., проф. В.Г. ОСЕТРОВ, д.т.н., проф. Б.А. ЯКИМОВИЧ, д.т.н., проф.

КАЗАНЬ

Р.И. АДГАМОВ, д.т.н., проф.

KOBPOB

Ю.З. ЖИТНИКОВ, д.т.н., проф.

КОЛОМНА

Ю.Д. АМИРОВ, д.т.н., проф.

комсомольск-HA-AMYPE

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

НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ

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

нижний новгород

С.В. ГОЛУБЕВ, инж.

NMCK

В.Н. КОСТЮКОВ, д.т.н.

NPFN

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

ОРЕНБУРГ

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

А.П. ФОТ, д.т.н., проф.

ГА. ЯРКОВ, инж.

РЫБИНСК

В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ, д.т.н., проф. В.В. НЕПОМИЛУЕВ, д.т.н.,

проф. А.Н. СЕМЕНОВ, д.т.н., проф.

CAMAPA

Ю.А. ВАШУКОВ, к.т.н., доц. М.А. ЕВДОКИМОВ, д.п.н., проф. В.А. НИКОЛАЕВ, к.т.н., проф.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

В.Ф. КУЗЬМИН, к.т.н. Е.В. ШАЛОБАЕВ, к.т.н., проф.

СЕВАСТОПОЛЬ

Е.Л. ПЕРВУХИНА, д.т.н., проф.

ТОПЬЯТТИ

А.И. РЫЖКОВ, к.т.н.

TVNA

В.В. ПРЕЙС, д.т.н., проф.

ХАБАРОВСК

В.А. ЛАШКО, д.т.н., проф. В.И. ШПОРТ, д.т.н., проф.

Беларусь

В.Л. БАСИНЮК, д.т.н. М.Л. ХЕЙФЕЦ, д.т.н., проф.

В.Е. СТАРЖИНСКИЙ, д.т.н.

Украина

KUFR

А.С. ЗЕНКИН, д.т.н., проф. В.А. МАТВИЕНКО, к.т.н.

ДОНЕЦК

А.Н. МИХАЙЛОВ, д.т.н., проф.

ПОЛЬША

П. ЛЕБКОВСКИ, д.т.н. Е. ЛУНАРСКИ, д.т.н

Ответственные за подготовку и выпуск номера:

О.Г. КРАСИЛЬНИКОВА, 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.

THE MONTHLY **JOURNAL FOR SCIENTISTS** AND MANUFACTURERS



IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKI

THE JOURNAL IS PUBLISHED UNDER THE PATRONAGE OF INTERNATIONAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERING THE JOURNAL IS AMONG THOSE APPROVED BY RF FOR DISSERTATION PUBLICATION

CONTENTS

Modern technologies in assembly

Kothkin E.V., Matveev E.V., Medar A.V., Medenkov V.I. Stand instrumentation_technological_platform_for_definition_description_geometry_mass rocket-

Technological equipment for assembly

Kopbaev R.A., Sokolov V.A. A contact-free method for inspection and evaluation of industrial robot manipulators positioning accuracy 8 Makarov V.F., Petukhov G.D. Development of cutting tools for pulling parts

Assembly welding works. Soldering Vytnov Yu.V., Aleksandrin A.G., Golubev S.V., Gerasimov E.A.,

Medvedev N.P. Process automation of welding of face joints of stator parti-

Quality assurance. Testing. Monitoring

Denisov Yu.V., Kaplenko M.V. Planning and management of manufacturing Kiselev E.S., Blagovskiy O.V. Provision of operational properties of critical Kristal M.G., Kulagin R.N., Ivankov P.S. Pneumatic vibratory contacting

Industrial and design engineer's aid

Baltayev T.A., Korolev A.V., Korolev A.A., Balayev A.F., Savran S.A. Stabilization technology residual stresses in the elastic sensitive elements of Patashov V.A., Zhitnikov Yu.Z. Driving mode multi-spindle spillovers at the Mozhegova Yu.N. Explanation the accuracy of the automated control of mini-

Journal is distributed on subscription, whith can be issues 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.: 8 (499) 269-54-98. Fax: 8 (499) 269-48-97

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

AS VASIL'EV (Chief editor) M.V. VARTANOV A.A. GUSEV I.N. ZININA Yu.L. IVANOV Yu.G. KOZYREV

Regional editors

RFI GORON N.A. PELIPENKO

RRIANSK

O.A. GORLENKO VLADIVOSTOK

Yu.N. KULSHIN

A.A. SUPONIA

VOLGOGRAD M.G. KRISTAL

V.G. KARABAN' V.I. LYSAK V.M. TRUKHANOV

IZHEVSK

I.V. ABRAMOV V.G. OSETROV B.A. YAKIMOVICH

KA7AN

R.I. ADGAMOV

KOVROV

Yu.Z. ZHITNIKOV

KOLOMNA

Yu.D. AMIROV KOMSOMOLSK-ON-AMUR

B.N. MARJIN

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

Executive editors of current issue:

O.G. KRASILNIKOVA, I.M. GLIKMAN

A.I. KUMENKO A.V. MEDAR E.A. MIKRIN V.V. POROSHIN

B.V. SHANDROV A.A. SHATILOV

A.G. KHOLODKOVA G.A. YARKOV

A.I. SERDUK A.P. FOT

RYBINSK

V.F. BEZIAZYSHNY V.V. NEPOMILUEV A.N. SEMENOV

SAMARA

M.A. EVDOKIMOV Yu.A. VASHUKOV V.A. NIKOLAEV

ST.-PETERSBURG

V.F. KUZMIN E.V. SHALOBAEV

SEVASTOPOL

E.L. PERVUKHINA

TOLIATI

A.I. RYZHKOV TIII A

A.I. PREYS

KHABAROVSK

V.A. LASHKO

V.I. SCHPORT

Belarus

V.L. BASINJUK

M.L. KHEIFETZ

GOMEL

MINSK

V.E. STARZHINSKI

Ilkraine

KIEV

A.S. ZENKIN V.A. MATVIENKO

DONETSK

A.N. MIKHAILOV

POLAND P. LEBKOVSKI

E. LUNARSKII

The journal is registered by RF Ministry of Press,

Tele-radio Broadcasting and Mass Communications Media. Registration certificate IE . 77-1747, February 25, 2000

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ

УДК 629.7

Е.В. Кочкин, Е.В. Матвеев, канд-ты техн. наук, А.В. Медарь, д-р техн. наук, В.И. Меденков (НПО "Техномаш", Москва)

E-mail: tm230@yandex.ru

Технологическая платформа стендового оборудования для определения характеристик геометрии масс изделий ракетно-космической техники

Представлены номенклатура и состав параметрических рядов существующих и перспективных средств технологического оснащения сборочного производства, формирующих технологическую платформу стендового оборудования для определения характеристик геометрии масс изделий ракетно-космической техники.

Present nomenclature and composition parametric row users now and perspective means technological equipping assembly manufacture to organize technological platform stand instrumentation for definition description geometry mass rocket-space hardware.

Ключевые слова: геометрия масс, определение характеристик, параметрический ряд, ракетно-космическая техника, сборочное производство, технологическое оснащение.

Keywords: mass geometry, capability check, parameters series, space-rocket hardware, assembling technique.

В классическом определении технологическая платформа — это коммуникационный инструмент, направленный на активизацию усилий по созданию перспективных коммерческих технологий, новых продуктов (услуг), а также на привлечение дополнительных ресурсов для проведения исследований и разработок на основе участия всех заинтересованных сторон (бизнеса, науки, государства, гражданского общества), совершенствование нормативно-правовой базы в области научно-технологического, инновационного развития.

В сборочном производстве изделий ракетнокосмической техники (РКТ) технологическая платформа стендового оборудования для определения характеристик геометрии масс (ХГМ) позиционируется как созданный на единой научной и методологической основе комплекс средств технологического оснащения (СТО), реализующих технологии контроля и определения численных значений массы, положения центра масс, осевых и центробежных моментов инерции для всех типов существующих ракет-носителей и космических аппаратов (КА).

Обобщенная структура технологической платформы определения характеристик геометрии масс изделий РКТ представлена на рис. 1.

Точное определение действительных значений XГМ позволяет с минимальной погрешностью производить привязку векторов и моментов тяги двигателей, устройств активной стабилизации и аэродинамических составляющих внешних воздействий относительно центра масс и главных центральных осей инерции.

Определение номинальных значений массы и осевых моментов инерции изделия позволяет с большой точностью прогнозировать параметры его линейного и углового движения.

Расположение навигационных и исполнительных устройств систем ориентации и стабилизации с минимальными отклонениями от базовых положений относительно центра масс и главной центральной оси инерции КА влияет не только на увеличение ресурса времени функционирования на орбите, снижение энергетических затрат на управление и стабилизацию, упрощение их алгоритмов, но и значительно сокращает время перехода КА с одного штатного режима работы на другой. Для головных частей, стабилизируемых вращением, динамическое уравновешивание от-



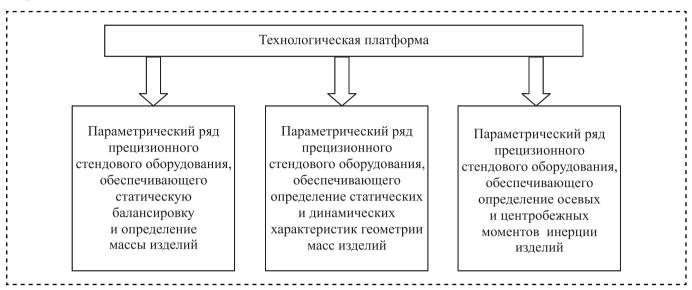


Рис. 1. Структура технологической платформы определения ХГМ изделий РКТ

носительно оси стабилизации оказывает непосредственное влияние на точность функционирования и массу полезной нагрузки [1].

Номенклатура и масштабы применяемого в настоящее время в отрасли стендового оборудования, входящего в состав технологической платформы для определения ХГМ, весьма значительны. Их формируют более 15 типоразмеров стендов, обеспечивающих типовые варианты технологических процессов определения ХГМ на 19 предприятиях отрасли для 14 типов изделий РКТ.

Только в 2014 г. в России были осуществлены 37 успешных пусков РН. В результате на орбиту выведены 32 отечественных и 63 иностранных КА. Орбитальную группировку России на начало текущего года составляют российский сегмент Международной космической станции в составе пяти модулей, двух транспортных пилотируемых и одного грузового корабля; 126 КА различного назначения, в том числе 80 КА научного и социально-экономического назначения. Определение действительных значений ХГМ всех этих изделий РКТ и их контроль осуществлялись в процессе производства на этапе общей сборки.

Основу существующего парка технологического оборудования для контроля ХГМ изделий составляют стенды статической балансировки (ССБМ) и стенды контроля моментов инерции (СИМИ). Их типовые конструктивно-технологические решения представлены на рис. 2 (стр. 2 обложки).

Параметрический ряд (гамма) прецизионного стендового оборудования, обеспечивающего статическую балансировку и определение массы КА и крупногабаритных сборочных единиц (ступеней, блоков) изделий, представлен в табл. 1. Диапазон масс контролируемых изделий составляет $10...100\ 000\ kr$; относительная погрешность определения массы — $0.05...0.1\ \%$, определения координат центра масс — $\pm 0.6...15.0\ \text{мм}$.

Принцип действия стендового оборудования основан на уравновешивании контролируемого изделия относительно центральной опоры стенда при помощи балансировочных грузов в горизонтальном и наклонном положениях изделия.

Параметрический ряд прецизионного стендового оборудования, параметров колебаний КА и крупногабаритных сборочных единиц (ступеней, блоков) изделий с последующим определением осевых и центробежных моментов инерции, представлен в табл. 2. Диапазон масс контролируемых изделий составляет 10...11 000 кг, относительная погрешность определения моментов инерции — 0,1...1 %.

В принцип действия стендового оборудования заложен метод унифилярного подвеса, при этом масса изделия воспринимается опорным аэростатическим подшипником, а ось



Таблица 1

Параметрический ряд стендов определения массовых характеристик изделий

	Точ	Macca		
Наименование оборудования	Δm , %	Δx , MM	$\Delta y, \ \Delta z, \ \mathrm{MM}$	изделия, кг
ССБМ-13	0,05	0,6	0,1	1080
ССБМ-9	0,05	1,0	0,2	30400
ССБМ-15	0,05	0,6	0,15	1201200
ССБМ-10	0,05	1,0	0,3	3005000
ССБМ-14/15	0,05	1,0	0,3	200015 000
ССБМ-11	0,1	7,0	4	40 00080 000
ССБМ-12	0,1	15,0	57	50 000100 000
ОЦМ-1	0,05	3,0	1	До 30 000
ОЦМ-2	0,05	6,0	51,5	До 100 000
ОЦМ-3	0,5	_	15	До 160 000
Автоматизированные стенды:				
ACKM	0,05	1,0	0,15	До 600
ЦМ-300	0,05	0,6	0,15	До 300
ССБМ 0,34,0	0,05	1,5	0,3	До 4000
Автоматизированный стенд определения статических и динамических XГМ изделий	0,05	0,6	0,1	До 1000

вращения центрируется радиальным аэростатическим подшипником.

Параметрический ряд прецизионного стендового оборудования для определения массовых и инерционных характеристик изделий обеспечивает создание совмещенных техноло-

Таблица 2
Параметрический ряд стендов определения инерционных характеристик изделий

Наименование оборудования	Предельная относительная погрешность, %	Масса изделия, кг
СИМИ-13	0,1	10100
СИМИ-12	0,1	До 500
СИМИ-11	0,5	2003000
СИМИ-14	0,1	До 6000
СИМИ-10	1	200011 000
Автоматизированный стенд	0,1	До 1000
Автоматизированный стенд определения статических и динамических ХГМ изделий	0,1	До 1000

гий и стендового оборудования, позволяющих на новом качественном уровне [2, 3] контролировать весь комплекс ХГМ (масс-инерционных характеристик):

на базе единого физического принципа, реализованного в одной конструкции (совмещение в пространстве и времени);

на базе различных физических принципов, реализованных в единой конструкции (совмещение в пространстве);

на базе объединения в единой конструкции двух различных стендов (условное совмещение в пространстве).

Обобщенная структурная схема типового стендового оборудования представлена на рис. 3. В зависимости от принадлежности к составляющим номенклатурного перечня конкретные стенды содержат те или иные блоки, приведенные в обобщенной структуре.

Базовая несущая конструкция (блок 1 на рис. 3) присутствует во всех единицах обо-



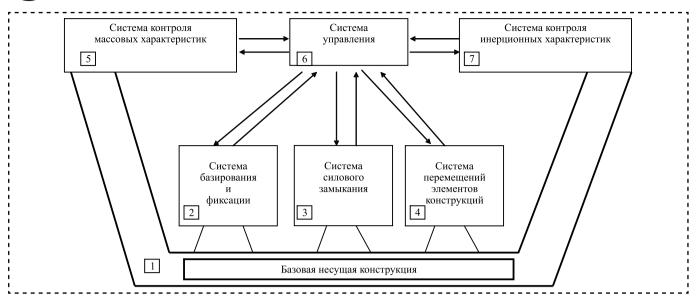


Рис. 3. Обобщенная структурная схема типового стенда контроля ХГМ

рудования, но трансформируется в зависимости от их типа от крупногабаритной стационарной металлоконструкции до базовой платформы с несколькими степенями свободы.

Типовые конструкции опытных образцов последних разработок стендов для определения и контроля массовых и инерционных характеристик изделий реализованы в металле и представлены соответственно на рис. 4, 5 (стр. 2 обложки). Типовая конструкция опытного образца стенда для определения масс-

инерционных характеристик представлена на рис. 6 (стр. 2 обложки).

В настоящее время практически в рамках технологической платформы определения ХГМ создается ограниченная номенклатура базовых технических решений специализированного стендового оборудования. Каждое из них ориентировано на реализацию технологий контроля масс-инерционных характеристик изделий своего габаритно-массового диапазона (см. табл. 1, 2) и функциональной специализации (табл. 3).

Функциональная специализация стендового оборудования

Таблица 3

Наименование	Характеристики оборудования
"Гамма-М"	Разработка автоматизированного комплекса статической балансировки параметрического ряда сборочных единиц KA массой 5005000 кг, 30008000 кг, 500010 000 кг, 800015 000 кг
"Гамма-ОЦМ"	Разработка автоматизированного комплекса определения центра масс параметрического ряда крупногабаритных сборочных единиц ракет-носителей массой 1030 т, 2050 т, 4080 т, 50100 т
"Гамма-ЖРД"	Разработка автоматизированного комплекса определения остаточных дисбалансов и центровки параметрического ряда ЖРД массой до 1000 кг
"Гамма-ГЧ"	Разработка автоматизированного комплекса динамической балансировки малогабаритных головных частей и KA массой 30150 кг, 100250 кг, 200500 кг, 5001000 кг
"Гамма-И"	Разработка автоматизированного комплекса измерения моментов инерции параметрического ряда КА массой 5005000 кг, 30008000 кг, 500010 000 кг, 800015 000 кг



Текушие задачи:

создание системы управления стендов на основе интеллектуальных терминалов. Это позволит существенно снизить трудоемкость технологий контроля (с двух—восьми смен по 4...6 работников в смену до одной—двух смен, обеспечиваемых двумя операторами);

применение последнего поколения электронных датчиков положения, уровня, линейных и угловых перемещений, периода колебаний и силоизмерительных устройств в технологии контроля ХГМ и конструктивно-технологических решениях командных устройств стендового оборудования. Это позволит проводить операции контроля в реальном масштабе времени;

создание программного модуля адаптивной коррекции систематических и детерминированных функциональных погрешностей механизмов стенда для обеспечения заданных параметров точности контроля XГМ.

В результате изготавливаемое оборудование, образующее параметрические ряды технологической платформы определения ХГМ по сравнению с используемым в настоящее время парком СТО обеспечит следующее:

сокращение количества единиц оборудования для каждого типа изделий в 2—3 раза,

площадей и объемов, занимаемых стендами контроля, — в 2—6 раз;

повышение точности и достоверности определения XГМ за счет уменьшения погрешностей базирования изделия в процессе контроля (однократное базирование);

сокращение в 5—6 раз цикла контроля за счет уменьшения количества перестановок изделия и полной автоматизации контрольноизмерительных операций.

Библиографический список

- 1. **Медарь А.В.** Технология и оборудование определения и контроля характеристик геометрии масс изделий в сборочном производстве // Технология машиностроения. 2015. № 2. С. 46—49.
- 2. **Кочкин Е.В., Матвеев Е.В., Медарь А.В., Меденков В.И.** Автоматизированный стенд компьютерного контроля массовых характеристик изделий в сборочном производстве // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 11. С. 27—33.
- 3. **Кочкин Е.В., Матвеев Е.В., Медарь А.В., Меденков В.И.** Автоматизированный стенд компьютерного контроля инерционных характеристик изделий в сборочном производстве // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 10. С. 15—17.



•**•••••**

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ СБОРКИ

УДК 621.9.06

Р.А. Копбаев, В.А. Соколов, канд. техн. наук

(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)) E-mail: ruslankopbaev@gmail.com

Бесконтактный метод контроля точности позиционирования манипуляторов промышленных роботов

Описывается метод оценки точности позиционирования манипуляторов промышленных роботов на основе формирования точечных источников света, устанавливаемых в схватах манипуляторов, а также многократного отвода манипуляторов от положения, принятого за начальное, формирования команд для последующего возврата манипулятора в начальное положение, реализуемых системой управления приводами манипулятора, наблюдения и измерения пространства возникающего разброса положений возврата с помощью оптических средств дистанционного принципа действия (класса теодолитов).

The article discloses a method for inspection and evaluation of industrial robot manipulators positioning accuracy which is based on formation of point light sources mounted on manipulator's grippers; multiple take-offs of the manipulators from the position taken as initial one, generation of the instructions which force further return of the manipulator into initial position and which are implemented with the manipulator's drives controlling system. Also, this method includes monitoring and measuring of appearing space of scattering of the position whereto the manipulator returns using remote optics (such as theodolites).

Ключевые слова: промышленный робот, манипулятор, схват манипулятора, погрешность позиционирования манипулятора, точечный источник света, теодолит.

Keywords: industrial robot, manipulator, manipulator's gripper, manipulator positioning error, point light source, theodolite.

Введение

Существующие в промышленности методы позволяют проводить метрологическую аттестацию промышленных роботов (ПР) с требуемой для них точностью. Как правило, это всегда свя-

зано с разработкой и применением достаточно сложных измерительных систем [1].

Рассмотрим способ оценки точности позиционирования манипуляторов ПР на основе более простого принципа, а именно применения специально формируемых точечных источников света (ТИС) [2], размещения их на подвижных звеньях (в схватах) манипулятора аттестуемого ПР, наблюдения и измерения положений ТИС с помощью широко применяемых традиционных оптических измерительных средств (например, относящихся к классу теодолитов).

Постановка задачи

Формирование ТИС, представляющего собой малое (не более нескольких микрометров и даже долей микрометра) световое пятно, происходит по принципу освещения внешним источником света (с размерами 10...50 мм) отражающего зеркального элемента сферической формы с размером 1...2 мм (например, стального полированного шарика от приборных шарикоподшипников) и наблюдения хорошо видимого внутри его сферической поверхности светящегося пятна с помощью оптических приборов с высокой разрешающей способностью (до долей угловой секунды). Принцип формирования ТИС показан на рис. 1.

Соотношения, необходимые для понимания принципа формирования ТИС и вычисления геометрических и оптических параметров, приведены в [2]. На основе анализа оптической схемы (см. рис. 1) могут быть составлены уравнения и для рассматриваемой здесь задачи формирования светящегося пятна внутри зеркального сферического элемента, а также для вычисления его геометрических и оптических параметров, при которых светящееся пятно может рассматриваться в качестве точечного



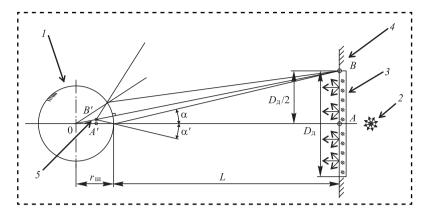


Рис. 1. Схема формирования точечного источника света:

I — сферический элемент (стальной полированный шарик); 2 — источник света; 3 — рассеиватель света (матовое стекло); 4 — диафрагма (для выбора диаметра рассеивателя); 5 — A'B' — мнимое изображение: "диафрагма + рассеиватель"

источника света и при этом допустимо считать, что оно совпадает с центром сферического элемента.

В каждом конкретном случае методика должна учитывать, что повышение требований к точности измерений неизбежно связано с уменьшением не только размеров, но и яркости ТИС.

 z_{0}^{IIP}

Рис. 2. Схема технической позиции контроля положения и смещения манипулятора ПР посредством наблюдения ТИС, установленного в схвате манипулятора:

1 — точечный источник света для разных положений манипулятора; 2 — схват манипулятора ПР (в разных положениях); 3 — манипулятор ПР; 4 — система координат манипулятора ПР, связанная с точкой вращения схвата манипулятора ПР; 5 — опорная система координат манипулятора, связанная с основанием ПР; 6 — теодолиты с осветителями (в разных точках базирования)

Однако экспериментально подобрать соответствующие соотношения, в том числе и степень внешнего освещения, несложно.

Были проведены соответствующие расчеты и эксперименты для иллюстрации возможностей получения ТИС с размерами, которые необходимы для аттестации ПР (в частности, прецизионных ПР). Результаты расчетов приведены в таблице.

Схема технической позиции контроля положения манипуляторов ПР на основе наблюдения положения и смещения ТИС, закрепленного в схватах манипулятора, приведена на рис. 2.

Параметры схемы технической позиции (размеры осветителя и зеркального сферического отражающего элемента, расстояние между осветителем и зеркальным элементом, расстояние между ТИС и теодолитом) выбираются в соответствии с конкретными требованиями к точности контроля конкретного ПР.

Данный принцип имеет преимущество перед существующими методами оценки точности ПР. Оно заключается в том, что механика манипулятора ПР и механика измерительной системы не имеют "контактов" и связаны только оптически — посредством линии

Расчетные значения ТИС $D_{\mathrm{TИС}}$ (мкм), видимого в теодолит, для контроля положений и измерения смещений манипуляторов прецизионных ΠP

Диаметр стального	Диаметр диафрагмы $D_{\mathrm{д}},$ мм						
шарика $d_{\rm m}$, мм	10	10 20					
Расстояние наблюдения ТИС $L_{\rm H} = 1250 \; {\rm MM}$							
1	1,0	2,0	3,0				
1,5	1,4	2,8	5,2				
2	1,9	3,8	5,7				
Расстояние н	Расстояние наблюдения ТИС $L_{\rm H} = 1500$ мм						
1	1,2	2,3	3,5				
1,5	1,7	3,5	5,2				
2	2,3	4,7	7,0				



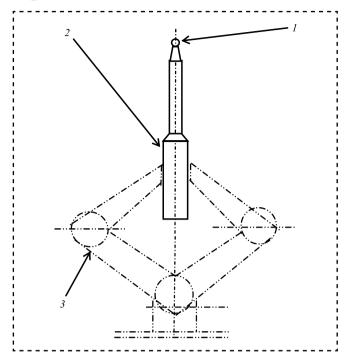


Рис. 3. Держатель точечных источников света:

1- стальной полированный шарик (элемент формирования точечного источника света); 2- основание держателя ТИС; 3- схват манипулятора

визирования "ТИС — теодолит". При таком методе измерения и контроля позиционирования отдельных подвижных элементов (и даже отдельных частей) манипуляторов ПР достаточно любой зрительно просматриваемой зоны.

Конструкторская реализация ТИС и варианты компоновки измерительного комплекса не представляют особых сложностей (рис. 3).

Методика измерений и оценки погрешностей ПР

Методика включает следующие этапы.

Этап 1. Сборка измерительного комплекса в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2.

Основной особенностью данного этапа является выбор положений измерительных средств, в частности теодолита (возможно, нескольких), обеспечивающих наблюдение установленных в схватах манипулятора ТИС. Как правило, вариантов здесь может быть достаточно много.

Далее методика описывается применительно к одному ТИС и одному теодолиту.

Этап 2. Установка манипулятора в положение, в котором предполагается определять погрешность позиционирования. В этом по-

ложении манипулятор многократно должен будет останавливаться в процессе движения для выполнения отсчетов ошибки позиционирования. Эти точки, их количество определяются в ходе экспериментов.

Этап 3. Наведение теодолита на ТИС таким образом, чтобы ТИС совпал с центром перекрестия поля зрения теодолита ("нулевое" взаимное положение теодолита и ТИС) (рис. 4).

Производится отсчет значений, определяющих условно "нулевое" положение по шкалам теодолита — по горизонтальному и вертикальному каналам (в соответствии с инструкциями пользования теодолитами [3]).

Этап 4. Управление движением манипулятора по произвольно выбранной траектории, но с последующим возвратом в первое контрольное положение, выбранное на этапе 2.

Этап 5. Наблюдение точки возврата ТИС в область "нулевого" положения (см. этап 3). При наличии "невозврата" производится отсчет новых угловых координат положения ТИС относительно нулевой точки поля зрения теодолита (см. рис. 4).

Этап 6. Пересчет угловых значений положения ТИС в линейные — в плоскости, перпендикулярной линии визирования теодолита (рис. 5), — основан на пропорциональных соотношениях угловых и линейных размеров

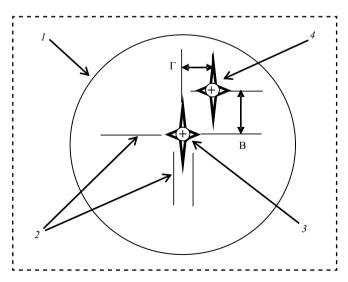


Рис. 4. Схема наблюдения точечных источников света посредством теодолита:



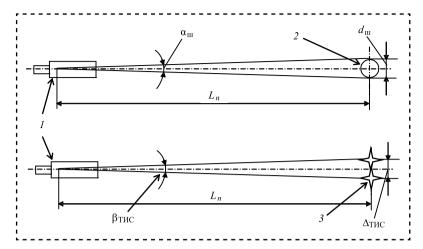


Рис. 5. Схема расчета смещения ТИС в опорной системе координат ПР: I — теодолит; 2 — контур стального шарика ТИС; 3 — линейное смещение L_n ТИС в плоскости, перпендикулярной оптической оси теодолита; $\alpha_{\rm un}$, $\beta_{\rm TИС}$ — угловые измерения (размера шарика и смещения ТИС); $d_{\rm un}$, $\Delta_{\rm TИС}$ — линейные расчетные смещения ТИС

смещения ТИС по аналогичному реальному соотношению для угла наблюдения внешнего контура диаметра стального полированного шарика, являющегося источником ТИС и раз-

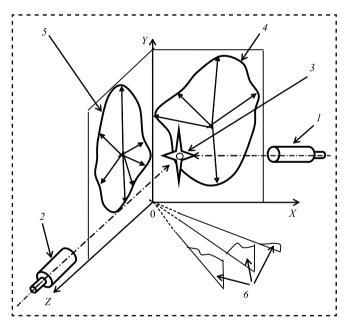


Рис. 6. Иллюстрация границ пространства погрешностей положения ТИС (манипулятора ПР):

 $1,\ 2$ — теодолиты; 3 — точечный источник света; 4 — контур области погрешностей положения ТИС, перпендикулярной оси $Z;\ 5$ — контур области погрешностей положения ТИС, перпендикулярной оси $X;\ 6$ — плоскости расположения контуров областей погрешностей при многократных измерениях с разных направлений

меры которого, как правило, известны (если использован шарик от высокоточных (до долей микрометра) приборных подшипников) или могут быть измерены с требуемой точностью.

Этапах 4—6, реализуются многократно, с разных направлений на ТИС для получения достаточного числа реализаций и построения пространства "разброса" координат позиционирования ТИС в конкретной точке системы координат манипулятора (соответственно, при разных положениях схвата) и с определенных направлений линии визирования теодолита (рис. 6).

На основе полученных плоских пространств при их достаточном количестве может быть построено объемное пространство разброса погрешностей позиционирования манипулятора ПР.

Заключение

Необходимость оценки погрешностей позиционирования ПР не вызывает сомнений. С учетом сложной кинематики современных ПР очевидна необходимость разработки новых методик их метрологической аттестации, обеспечивающих максимальную простоту выполнения. Представленные в статье материалы отвечают этим требованиям.

Библиографический список

- 1. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1986.
- 2. Григоренко В.Н., Бирулин А.И., Егорычев В.И. Погрешности координат звезд в коллиматорном имитаторе звездного неба // Изв. высш. учеб. заведений. Сер. Приборостроение. 1971. № 5.
- 3. **Захаров А.И.** Геодезические приборы: справ. М.: Недра, 1989.





УДК 621. 91

В.Ф. Макаров, д-р техн. наук, Г.Д. Петухов

(Пермский национальный исследовательский политехнический университет) E-mail: makarovv@pstu.ru; el190980@yandex.ru

Разработка режущего инструмента для протягивания деталей газотурбинного двигателя на повышенных режимах резания

Приведены результаты разработки новой сборной конструкции протяжки с неперетачиваемыми твердосплавными пластинками для обработки замковых поверхностей лопаток из титановых сплавов на повышенных скоростях резания.

Results of development of a new modular design of the broach with hard alloy plates for processing lock surfaces of blades from titanic alloys on the raised speeds of cutting are resulted.

Ключевые слова: протяжка, сборная конструкция, твердосплавная пластинка, скорость резания, протягивание.

Keywords: broach, assembly construction, hard alloy plates, cutting speed, broaching.

Для выполнения операции скоростного протягивания замков лопаток компрессора из жаропрочных и титановых сплавов ЭИ 787ВД, ВЖЛ14 и ВТ8 вместо применяемых ранее быстрорежущих протяжек (рис. 1, *a*) разработаны специальные конструкции протяжек с напайными пластинками из твердого сплава ВК8 (рис. 1, *б*). Скорость протягивания во втором случае увеличилась с 2 до 26 м/мин, т.е. в 13 раз. При этом стойкость твердосплавных протяжек увеличилась в 10—15 раз по сравнению с быстрорежущими протяжками [1, 2].

Вместе с тем длительная эксплуатация этих твердосплавных протяжек с напайными пластинками выявила ряд проблем, например:

в процессе напайки и заточки зубьев протяжек наблюдаются трещины в твердом сплаве от напряжений при нагреве и охлаждении;

переточка протяжек проводится неравномерно по передней и задней поверхностям

индивидуально для каждого зуба, что изменяет перепады между зубьями, приводит к преждевременному выходу протяжки из работы;

хрупкое катастрофическое разрушение одного-двух зубьев протяжки приводит к съему и замене всей протяжки;

износ зубьев протяжек неравномерный, а замена протяжек проводится по самому слабому зубу, несмотря на то, что остальные зубья могут еще длительно работать;

корпус протяжки повторно не используется (идет на металлолом);

в механическом цехе для переточки протяжек требуется иметь заточное отделение с квалифицированными заточниками, высокоточным оборудованием и высококачественными абразивными кругами.

В то же время в производстве деталей газотурбинных двигателей (ГТД) из таких же

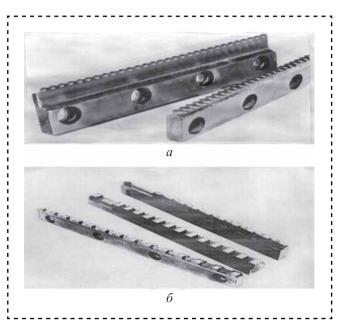


Рис. 1. Быстрорежущие (а) и твердосплавные (б) протяжки для обработки замков лопаток компрессора (использовался вертикально-фрезерный станок HECKERT FSS 315 V/2)



труднообрабатываемых материалов широко и успешно применяются сборные конструкции режущих инструментов с неперетачиваемыми пластинами из различных твердых сплавов — токарные резцы, фрезы, сверла.

Рассмотрим возможность повышения производительности и качества процесса протягивания замков лопаток ГТД типа "ласточкин хвост", снижения затрат на изготовление инструмента путем проектирования, изготовления и внедрения в производство протяжек со сменными многогранными пластинами (СМП).

При этом поставлены следующие задачи: провести анализ современных тенденций развития сборного режущего инструмента;

изучить особенности процесса протягивания деталей газотурбинных двигателей на ОАО "ПМЗ";

провести исследование различных способов крепления сменных многогранных пластин;

установить закономерности отклонений режущей кромки при различных схемах нагружения в зависимости от методов закрепления сменных многогранных и напайных пластин;

разработать новую конструкцию протяжки для обработки подошвы титановой лопатки ГТД;

изготовить опытный образец протяжки с $CM\Pi$;

провести испытания в производственных условиях.

В результате анализа установлено, что инструменты с СМП, по сравнению с напайными, более надежны и долговечны, обеспечивают экономию инструментального материала и конструкционной стали, имеют меньшее рассеяние стойкости, большую (на 15...20 %) производительность. Они применяются при меньших подачах, но во всех случаях при большей скорости резания, что и обеспечивает рост производительности.

Применение СМП имеет ряд достоинств: значительное увеличение срока службы державки резца (до 400 смен режущих кромок);

максимальная унификация и взаимозаменяемость составных элементов, сокращение номенклатуры режущих пластин;

исключение из производственного процесса трудоемких операций пайки и заточки, требующих дополнительных трудозатрат специальных участков, технологической оснастки, оборудования и абразивного инструмента;

сокращение времени смены режущих кромок резцов (поворотом или заменой СМП);

получение стружки нужных форм и размеров за счет правильного выбора типа стружечной канавки, что особенно важно в автоматизированном производстве;

сокращение расхода дорогих твердых сплавов и увеличение их возврата при утилизации до 90 %;

возможность повышения режимов обработки при сохранении качества обрабатываемой поверхности за счет использования пластин с износостойким покрытием.

В то же время известно, что использование СМП имеет ряд недостатков, к которым можно отнести уменьшение жесткости системы, дороговизну и сложность изготовления. Первый опыт использования конструкции сборных протяжек с вертикальным расположением режущих пластин и клиновым зажимом (рис. 2) выявил появление нежелательного продольного изгиба протяжки от действия зажимных усилий клиньев в продольном направлении. В связи с этим был проведен анализ схем и жесткости крепления режущих пластин на сборных конструкциях других режущих инструментов.

На рис. 3 представлены основные конструкции токарных резцов с различными схемами

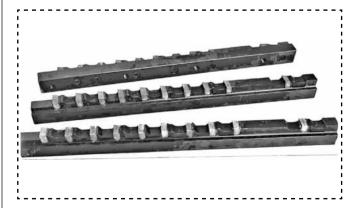


Рис. 2. Сборная протяжка с вертикальным расположением режущих зубьев и клиновым зажимом



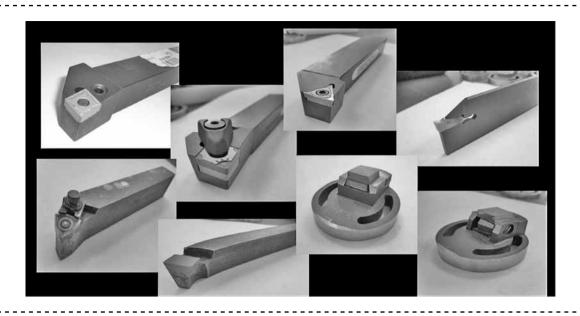


Рис. 3. Испытуемые образцы

крепления режущих пластинок. Рассматривались схемы крепления винтом сверху, методом косой тяги, клиновое крепление, напайное крепление, крепление силами упругой деформации и др.

Измерение давления проводилось при помощи протарированной динамометрической скобы с индикаторной головкой. Прогиб вершины резца измерялся при помощи индикаторной головки (рис. 4). Наилучшие резуль-

таты показали образцы, методом крепления пластин которых были напайная конструкция и винтом сверху.

На основании данных исследований для проектирования сборной протяжки со сменными многогранными пластинами был принят способ крепления винтом сверху (рис. 5).

По разработанным чертежам впервые в авиационном моторостроении в инструментальном цехе ОАО "ПМЗ" была изготовлена



Рис. 4. Испытательная установка для измерения жесткости различных схем крепления режущих пластин на токарных резцах

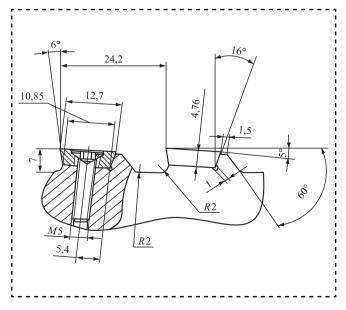


Рис. 5. Схема крепления многогранной сменной пластинки на корпусе протяжки



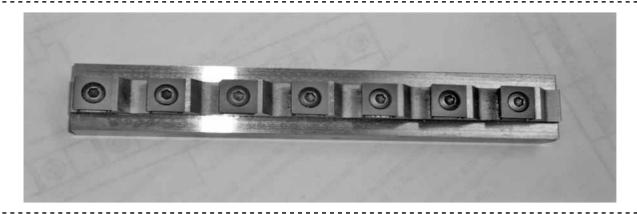


Рис. 6. Сборная протяжка с СМП для обработки замка лопатки

опытная сборная протяжка с механическим креплением пластинок (рис. 6), показавшая хорошие результаты при испытаниях.

Анализ состояния и перспектив развития процессов протягивания показал, что основным направлением повышения эффективности этого процесса является интенсификация процесса резания путем увеличения скоростей резания и применения протяжек со сменными многогранными твердосплавными пластинами. Испытание опытной конструкции протяжки показало хорошие результаты. Работа будет продолжена в целях полного перехода на сборные протяжки с механическим креплением СМП при протягивании замков лопаток из титанового сплава ВТ8 и жаропрочных сплавов ЭИ787ВД и ВЖЛ14.

Таким образом, замена существующих протяжек для скоростной обработки замков лопаток ГТД на протяжки с механическим креплением сменных неперетачиваемых твердосплавных пластин обеспечивает требуемые высокие параметры качества и усталостной прочности детали при значительном росте производительности, стабильности и экономичности обработки.

Библиографический список

- 1. **Пронкин Н.Ф.** Протягивание труднообрабатываемых материалов. М.: Машиностроение, 1978. 119 с.
- 2. **Эффективные** технологии дорнования, протягивания и деформирующе-режущей обработки / В.Ф. Макаров и др. М.: Машиностроение, 2011. 327 с.



СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ. ПАЙКА

УДК 621.791.048

И.О. Бохоров, В.В. Карабанов, канд. техн. наук Тел. 8-915-143-59-34

Пайка режущего инструмента*

Рассмотрены инструментальные и паяльные материалы, применяемые для изготовления режущего инструмента. Приведены основные требования к выбору инструментальных и паяльных материалов, а также технологии пайки и термообработки инструментов.

Instrumental and soldering materials are considered applied for making of toolpiece. The basic requirements over are brought to the choice of instrumental and soldering materials, and also technology of soldering and heat treatment of instruments.

Ключевые слова: пайка инструмента, быстрорежущая сталь, конструкционная сталь, твердый сплав, режущий элемент, корпус инструмента, припой, флюс, "пайка-закалка", остаточные напряжения, термообработка.

Keywords: soldering of instrument, high-speed steel, construction steel, carboloy, cutting an element, corps of instrument, a solder, gumboil, "soldering, is tempering", remaining tensions, heat treatment.

Основной показатель качества и ресурс бурового режущего инструмента определяются технологией армирования литых и штампованных корпусов буровых резцов (стали марок 55Л, 60) и коронок (стали марок Ст4, 30, 35, 40) твердосплавными пластинками с использованием пайки. Паяные соединения твердых сплавов со стальными корпусами выходят из строя из-за поломок, обусловленных остаточными напряжениями соединений после пайки. Уменьшение напряжений — основной резерв повышения качества буровых резцов и армированных коронок.

Снижения внутренних напряжений в пластинках твердого сплава достигают различными методами: увеличивают толщину корпуса по сравнению с толщиной пластинки в три раза и более, изготавливают корпуса инструмента из стали, способствующей снижению внутренних напряжений, используют низкотемпературные пластичные припои, производят закалку инструмента, применяют релаксационный отжиг, используют компенсационные прокладки. Первыми тремя методами руководствуются при разработке рабочих чертежей инструмента, остальные методы являются технологическими и реализуются на сталии изготовления.

Для пайки режущего бурового инструмента используют припои на медной основе марок ЛМцЖ 57-1,5-0,75 (применяется в форме лент толщиной 0,3...0,5 мм), МНМц 68-4-2 и АНМц 0,6-4-2 (применяется в форме лент толщиной 0,6 мм или слитков). Также рекомендуется к применению припой марки ПАН-23, созданный в ИЭС им. Е.О. Патона.

Длительное время основной технологией пайки горного инструмента являлась пайка методом погружения рабочей части в тигель с расплавленным припоем и флюсом, нагреваемых с помощью токов высокой частоты (ТВЧ).

В последнее время в горном машиностроении применяется наиболее прогрессивная технология пайки — пайка инструмента дозированным, в частности таблетированным, припоем. Этот экономичный и эффективный способ пайки позволяет повысить производительность процесса и снизить его себестоимость, повысить качество паяных соединений, точно

^{*} Начало см. в № 11 за 2015 г., стр. 12—23.



дозировать расход припоя и автоматизировать процесс.

Паяльная смесь, содержащаяся в таблетке, имеет свойства, отличные от свойств механической смеси. В таблетированной паяльной смеси в тесном контакте находятся мелкодисперсные вещества с высокой поверхностной энергией. Суммарная площадь частиц тонкодисперсного порошка припоя, содержащегося в таблетке, может в несколько сот раз превышать площадь поверхности литого металла аналогичного объема. Поэтому таблетированная паяльная смесь плавится при меньших затратах энергии и при быстром (индукционном) нагреве ее применение позволяет сократить время нагрева до температуры пайки.

Таблетки обычно содержат 70...75 % порошка или мелкой стружки припоя, 23...28 % порошка флюса и 2...3 % связующего вещества.

Широкое применение нашли припои в таблетированном виде, которые изготавливаются прессованием из мелкодробленной стружки припоев марок Л63, МНМц 68-4-2, обеспечивающие прочность паяных соединений на срез около 150 МПа.

Наиболее эффективно применение при пайке бурового инструмента порошкового припоя П102, что обусловлено его медно-оловянной основой, обладающей наименьшей (до 1 %) объемной усадкой из указанных выше припоев. Припой обладает низкой (650 °C) температурой солидуса и содержит ограниченное количество легкоиспаряемого компонента — цинка. Это позволяет использовать его при пайке в печах с нейтральной и восстановительной газовой средой и частично в вакууме.

Применение припоя П102 особенно эффективно при производстве сложного многолезвийного инструмента с особо жесткими требованиями к качеству паяных соединений. Припой обеспечивает прочность паяных соединений на уровне 250...300 МПа, а также позволяет снизить уровень внутренних напряжений. Применение припоя в виде пасты значительно упрощает технологический процесс пайки. Припой можно использовать при индукционной пайке, применяя его в виде прессованных таблеток из

смеси порошков припоя и флюса. Припой П102 универсален и удобен в применении.

При пайке указанными припоями их жидкая фаза, взаимодействуя с паяемыми металлами, частично их растворяет, поэтому свойства паяных соединений обусловливаются не только механическими характеристиками припоя, но и степенью диффузионного взаимодействия припоя с паяемыми металлами.

При пайке бурового инструмента применяют, как правило, флюсы боридофторидной группы. Интервал активного действия флюсов для пайки твердосплавного инструмента припоями на медной основе находится в основном в пределах 850...1100 °C. Наибольшей активностью в температурном интервале обладает флюс марки Ф100, являющийся основным при пайке твердых сплавов на воздухе (сплавов Т15К6, Т30К4 и др.).

Действие флюса основано на осаждении чистых металлов (вольфрама и кобальта) на паяемых поверхностях при температуре не ниже 1000 °C, поэтому его применение наиболее эффективно при пайке припоем АНМц 0,6-4-2, имеющего температуру плавления 1020 °C.

При пайке инструмента припоями с меньшей температурой ликвидуса необходим перегрев до указанной температуры. В противном случае происходит ухудшение качества паяных соединений.

Порошковые флюсы используют в составе смесей с порошковыми припоями. Норма расхода флюса в среднем составляет 25...30 % массы припоя или 0,15...0,20 г/см² паяемой поверхности детали.

При пайке инструмента применяют также обезвоженную и помолотую в мелкодисперсный порошок буру. В целях повышения активности флюса применяют смесь порошков буры и флюса Ф100. По той же технологии широко применяют стандартные высокотемпературные флюсы ПВ200 и ПВ201. Содержание во флюсе ПВ200 фтористых соединений требует активной вентиляции участка пайки.

Производство таблеток можно организовывать в условиях любого производства при наличии пресса (15 т). Таблетки изготавливаются



диаметром 8...14 мм и высотой 2...7 мм. В качестве связующего обычно применяют поливинилбутираль или полистирол, а также другие клеящие вещества.

Для изготовления таблеток путем формовки подготавливают клей на основе поливинилбутираля. В сосуд со спирто-ацетоновой смесью (1:1) небольшими порциями вводится предварительно просушенный поливинилбутираль и тщательно перемешивается. Затем выдерживается на водной бане при температуре не выше 40 °C до окончания процесса полного растворения. Для приготовления 1 кг клея необходимо:

поливинилбутираля — 70 г; спирта этилового — 465 г; ацетона — 465 г.

После изготовления таблетки просушиваются на воздухе в течение 2...3 ч для удаления растворителя.

При наличии соответствующего печного оборудования пайку бурового инструмента проводят в любых равновесных контролируемых газовых средах. Широко применяются водородная и азотная газовые среды.

Технический азот применяется только с условием его обогащения газами-восстановителями (CO, H_2 или CH_4) и при глубокой осушке.

Часть современного промышленного печного оборудования рассчитана на эксплуатацию с защитными атмосферами различных типов. При малых объемах производства применяют различные контейнеры, обычные электропечи с окислительной средой.

При подготовке к пайке детали бурового инструмента очищают от оксидных покрытий и загрязнений. В пазах под твердосплавные пластинки не допускается наличие следов масла, эмульсии и других загрязнений. Очистку от окалины и ржавчины производят механическим способом, а от масла или эмульсии — промывкой в 5...10%-ном растворе каустической соды в течение 10...20 мин при температуре 80...90 °C, затем в горячей воде с последующей просушкой в потоке горячего воздуха.

При использовании таблетированного припоя снятия оксидной пленки с поверхности твердосплавных пластинок не требуется. В промышленных условиях пайку бурового инструмента с использованием припоя в виде таблеток осуществляют с применением трех типов оборудования: печного, индукционного (ТВЧ) и ванн с расплавленным припоем.

Пайка в печах позволяет проводить групповую пайку многолезвийного инструмента в наиболее благоприятных для твердого сплава режимах. Максимальная температура нагрева изделия в печи составляет 1150 °C.

Для пайки твердосплавного бурового инструмента могут быть использованы камерные печи типа СКЗ с защитной газовой средой. При мелкосерийном и индивидуальном производстве инструмента с элементами из твердых сплавов, прежде всего многолезвийного, целесообразно проводить пайку в обычных шахтных или камерных печах с применением специальных стальных контейнеров, в которые подают контролируемую газовую среду.

Другим, еще более производительным способом групповой пайки является погружение партии бурового инструмента в расплав припоя. Обязательным условием при пайке этим способом является закрепление кернением или конденсаторной сваркой твердосплавных пластин и таблетированного припоя на корпусе инструмента.

Буровые резцы подвешиваются на полуавтоматической установке верхней частью вниз, им сообщается непрерывное перемещение по кругу с заданной скоростью. В процессе движения резцовые головки поднимаются, проходят сначала через щелевой индуктор, где нагреваются до 1070...1100 °C, а затем погружаются в тигель с расплавленным припоем, покрытым сверху слоем расплавленного флюса.

При пайке погружением смачивание паяемых поверхностей припоем происходит без доступа воздуха, заполнение зазоров происходит не только в результате капиллярного эффекта, но и под действием гидростатического давления.

При это легко контролировать и регулировать все параметры пайки. Способ пайки погружением обеспечивает высокое и стабильное качество соединений.



Основную долю оборудования на инструментальных и машиностроительных заводах составляют индукционные установки (ТВЧ), которые применяют при индивидуальном и мелкосерийном производстве бурового инструмента.

Одним из вариантов пайки буровых резцов припоем в виде таблеток является пайка на роторном столе с тремя основными позициями: загрузка и фиксация, нагрев и фиксация, сброс инструмента.

В комплекс оборудования для индукционной пайки буровых инструментов входит щелевой индуктор. Конструкция индуктора должна обеспечить равномерный нагрев твердосплавной пластинки и корпуса инструмента. В период нагрева корпуса до 760 °С твердосплавная пластинка не должна находиться в области активного действия индуктора. Скорости нагрева должны быть в пределах 5...15 °С/с. Более ускоренный нагрев может вызвать недопустимые внутренние напряжения и способствовать образования микротрещин как в твердосплавной пластине, так и в корпусе инструмента.

При пайке буровых резцов используется водоохлаждаемый проходной индуктор (рис. 1).

После установки буровых резцов на роторный стол они подаются в зону нагрева со скоростью межпозиционного вращения роторного стола.

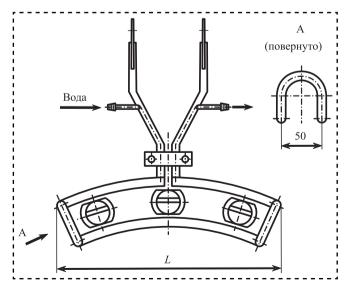


Рис. 1. Проходной водоохлаждаемый индуктор для пайки буровых резцов

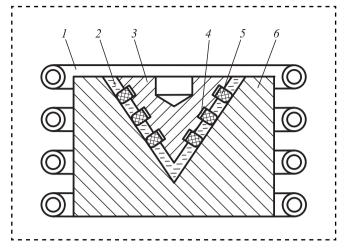


Рис. 2. Схема пайки шарошки долота: 1 — индуктор; 2 — жидкий флюс; 3 — шарошка; 4 — припой; 5 — твердосплавная вставка; 6 — стальная

В процессе индукционного нагрева твердосплавная пластинка прижимается к основанию паза на корпусе. Затем резец выводится из индуктора и выдерживается на воздухе в течение нескольких секунд, после чего сбрасывается в лоток. После этого резцы направляют на закалку и последующую механическую обработку.

При любом способе нагрева наиболее эффективной технологией закалки инструмента, достигшего температуры при охлаждении 880...920 °C, является погружение его в подогретую до 240...280 °C селитру, которая снижает внутренние напряжения в твердосплавной пластинке до минимального значения. При ступенчатой изотермической закалке, резцы, находящиеся в ванне с селитрой 8...12 мин, затем автоматически перегружаются в ванну с проточной водой.

Институтом ИЭС им. Е.О. Патона предложена усовершенствованная технология индукционной пайки шарошек геологических долот в расплаве флюса. На дно гнезд (рис. 2), просверленных в теле шарошек, укладывают латунный припой толщиной 1,2 мм. На конус шарошки со вставками наносят слой увлажненного флюса. Шарошку помещают в печь, нагретую до 250 °С, и выдерживают в ней 30...40 мин до образования флюсовой корки. Затем шарошку помещают в стальную обойму



с коническим углублением, которая установлена в индукторе высокочастотной установки.

При пайке рабочая поверхность шарошки находится в расплаве флюса, благодаря чему нагрев тела шарошки и твердосплавных вставок происходит менее интенсивно. Это значительно уменьшает перегрев металла и надежно защищает его от воздействия атмосферы. После расплавления припоя останавливают нагрев и нажатием на шарошку утапливают в гнезда твердосплавные вставки. Вытесненный из гнезда избыток припоя образует галтель вокруг каждой вставки. После окончания пайки шарошки помещают в печь, нагретую до 250...300 °C, на 3...4 ч и охлаждают вместе с печью.

Температура плавления применяемого боратного флюса на 100...150 °C ниже температуры плавления припоя.

При изготовлении пневмоударных конических коронок с оптимальной толщиной паяного шва 0,8...1,2 мм применен способ некапиллярной пайки, при котором процесс пайки осуществляется в специальном индукторе, а расплавленный припой удерживается в широком капиллярном зазоре с помощью асбеста и графитированной ткани (а. с. № 718284, СССР). Отличительной особенностью индуктора является его внутренняя поверхность представляющая собой усеченный конус, верхнее основание которого больше нижнего.

На внутреннюю поверхность индуктора укладывают последовательно слой асбеста и графитированную ткань. Затем в индуктор устанавливают буровую коронку таким образом, чтобы присоединяемые перья были плотно прижаты к графитированной ткани. В результате паяльные зазоры между перья-

ми и корпусом коронки герметизируются со всех сторон. Коронку нагревают в индукторе до заполнения медным припоем паяльных зазоров. После затвердевания припоя коронка извлекается из индуктора. Эксплуатационная стойкость паяной таким способом коронки повышается в два раза.

При изготовлении забойных фрезеров, применяемых для зарезки и бурения вторых стволов, а также для ликвидации сложных аварий при бурении глубоких скважин, используют объемное армирование рабочих элементов фрезеров зернами из дробленного твердого сплава ВК6, наплавляемых в матрицу из высокотемпературного припоя ЛНМц 60-90-6 системы медь—никель—цинк с температурой плавления 950 °C. Толщина армированного слоя составляет 20...30 мм.

Для армирования рабочих элементов на рабочем торце заготовки фрезера механической обработкой создаются полости глубиной до 30 мм, в которых устанавливаются и приклеиваются быстросохнущим клеем режущие стержни. В полости засыпаются зерна твердого сплава, смешанные с порошком флюса ПВ209, и уплотняются. Сверху слоя размещаются пластинки указанного выше припоя и покрываются слоем флюса АН-348А. При таком положении пластинок обеспечиваются лучшие условия заполнения пространства между зернами твердого сплава расплавом припоя.

Групповую пайку фрезеров (по 20 шт.) проводят в печи при температуре 1000 °С в течение 1 ч 10 мин, при 1050 °С — 45 мин с выдержкой 5 мин с последующим охлаждением на воздухе. Такой способ пайки обеспечивает высокую плотность армирующего слоя, отсутствие загрязнений и шлаковых включений.





УДК 621.039

Ю.В. Вытнов, А.Г. Александрин, С.В. Голубев, Е.А. Герасимов, канд. техн. наук, **Н.П. Медведев,** канд. техн. наук (АО "ОКБМ Африкантов") E-mail: golubevsv@okbm.nnov.ru

Автоматизация процесса сварки торцевых швов статорных перегородок герметичных электронасосов

Рассмотрено применение автоматической аргонодуговой сварки торцевых швов статорных перегородок герметичных электронасосов для атомной промышленности. Представлено описание процесса выполнения автоматической сварки на специализированной сварочной установке. Приведены краткие технические характеристики установки, а также ориентировочные режимы сварки и методы контроля сварных соединений. Отмечены преимущества применения автоматической аргонодуговой сварки по сравнению с ручным способом.

Use of automatic argon-arc welding is examined for welding of face joints of stator partitions of leak-tight electrical pumps for nuclear industry. Description of the process of automatic welding on a special welding unit, and short technical characteristics of the unit, and also approximate welding conditions and weld joint quality control procedures are provided. Advantages of automatic argon-arc welding in comparison with the manual welding are mentioned.

Ключевые слова: автоматическая аргонодуговая сварка, герметичный электронасос, статорная перегородка.

Keywords: automatic argon-arc welding, a leaktight electrical pump, a stator partition.

В АО "ОКБМ Африкантов" освоено серийное изготовление герметичных электронасосов, спроектированных в организации и применяемых в атомной и нефтехимической промышленности.

Одним из важнейших элементов надежности герметичного электронасоса является статорная перегородка и швы ее приварки к корпусным элементам.

Статорная перегородка служит для отделения полости статора от рабочей среды. Эскиз узла приварки рубашки статорной перегородки к корпусу герметичного электронасоса представлен на рис. 1.

Рубашки статорных перегородок имеют толщину 0,4...0,5 мм, изготавливаются из высоконикелевого сплава, стали аустенитного класса или титанового сплава (в зависимости от материала корпуса электронасоса) и имеют диаметр от 47 до 310 мм.

Ранее сварка статорных перегородок выполнялась ручным аргонодуговым способом. Основной сложностью сварки статорных перегородок с корпусами насосов является заглубленность сварных швов. Наиболее трудновыполнимым является шов, находящийся на глубине 90 мм, при диаметре статорной перегородки 47 мм.

Сварные швы должны иметь определенное сечение для обеспечения прочности и герметичности, что при ручной дуговой сварке не всегда может быть обеспечено. Кроме того, качество сварных соединений при ручной сварке во многом определяется квалификацией сварщика.

В соответствии с техническим заданием отдела сварки АО "ОКБМ Африкантов" ОАО "НИТИ "Прогресс" спроектировал и изготовил специализированную сварочную установку "Прогресс-5" (рис. 2 на стр. 3 обложки) для автоматической аргонодуговой сварки неплавящимся электродом торцевых швов статорных

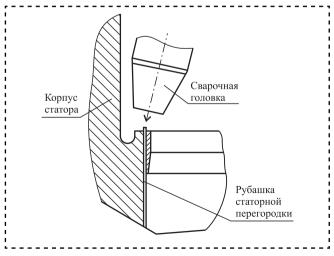


Рис. 1. Узел приварки рубашки статорной перегородки к корпусу герметичного электронасоса



перегородок с корпусами герметичных электродвигателей насосного оборудования. В настоящее время установка успешно освоена и внедрена в производство.

Установка "Прогресс-5" позволяет приваривать статорные перегородки диаметром 47...310 мм при длине корпуса статора от 470 до 2500 мм и массе 100...5000 кг.

Сварочная установка состоит из следующих основных узлов и механизмов: сварочной колонны, сварочной головки, системы электроприводов с автоматической системой управления, источника питания сварочного тока, системы подачи защитного газа, системы установки электрода в "нуль", системы управления и документирования результатов контроля отработки управляющей программы, системы визуального наблюдения.

Сварочная колонна состоит из модуля вертикального и горизонтального перемещения сварочной головки, а также стола для базирования и крепления свариваемого изделия.

Сварочная головка предназначена для выполнения перемещений сварочной горелки с камерой видеонаблюдения, подвода сварочного тока и защитного газа к горелке и обеспечивает радиальное перемещение горелки в соответствии с диаметром свариваемого шва.

В качестве источника питания сварочной дуги применен инверторный источник питания сварочного тока, обеспечивающий возможность числового программного управления.

Установка электрода сварочной горелки в "нуль" осуществляется датчиком установки оси вращения сварочной горелки в "ось" свариваемой детали. В целях стабилизации проплава и исключения вероятности касания вольфрамовым электродом изделия в установке применена система автоматического регулирования напряжения дуги.

Система документирования предназначена для составления технологического паспорта сварки изделия. Оператор-сварщик имеет возможность распечатать на принтере технологический паспорт сварки.

Программирование сварочной установки выполняется с пульта. В памяти хранятся более 20 программ сварки. Индикация параметров процесса сварки выводится на видеомонитор, расположенный на пульте управления на рабочем месте оператора.

Телевизионная система видеонаблюдения обеспечивает вывод изображения сварного стыка и шва на экран монитора в процессе наладки и сварки в режиме реального времени. Управление видеокамерой, установленной на сварочной головке, осуществляется с пульта оператора.

Сварочная горелка перемещается с помощью электроприводов с автоматической системой управления.

Сварка статорных перегородок с корпусами насосов выполняется "напроход" в нижнем положении на постоянном токе прямой полярности в импульсном режиме. Перед сваркой детали прихватываются на установке в четырех диаметрально-противоположных местах. В качестве неплавящегося электрода применяется иттрированный вольфрамовый электрод марки СВИ-1 Ø2,0 мм. В качестве защитного газа используется аргон высшего сорта.

Ориентировочные режимы сварки:

Контроль качества сварных соединений включал визуальный и измерительный контроль, капиллярный контроль, гидравлические испытания и контроль герметичности, радиографический контроль, металлографические исследования и выполнялся в полном объеме. По результатам контроля дефектов не обнаружено.

Металлографические исследования выполнялись на двух поперечных шлифах контрольных сварных соединений. Глубина проплавления составила 1,6 мм, при норме не менее 0,8 мм.

Поперечные шлифы сварных соединений приведены на рис. 3 (см. стр. 3 обложки).

Выводы

- 1. Внедрение установки для автоматической сварки "Прогресс-5" позволило повысить качество сварных соединений, которое при ручной сварке зависит от квалификации сварщика.
- 2. Процесс автоматической сварки позволяет выполнять сварные швы в заглублении.
- 3. Трудоемкость выполнения кольцевых торцевых швов снизилась в 1,5—2 раза.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА. ИСПЫТАНИЯ. КОНТРОЛЬ

УДК 681.2.002

Ю.В. Денисов, д-р техн. наук

(Уральский федеральный университет имени Первого президента России Б.Н. Ельцина), **М.В. Капленко**, канд. техн. наук (Уральский электромеханический завод, г. Екатеринбург) E-mail: k-14627@planet-a.ru

Комплексный подход при изготовлении блоков пневмовоздействий

Блоки пневмовоздействий широко применяются для контроля авиационных и корабельных пневматических систем. В соответствии с заданной программой по командам модуля управления блоки подают на объект контроля сигналы пневмовоздействия. Актуальной производственной проблемой является сокращение потерь в производственном цикле выпуска блоков. Для повышения эффективности технологического процесса изготовления блоков применяются идеи научного сопровождения производства [1, 2] с установлением связи функциональных характеристик блоков с конструктивными и технологическими параметрами.

Использование причинно-следственной диаграммы позволяет установить, что объем и сроки выпуска изделия определяются производственной мощностью сборочного цеха. Поэтому основной задачей, решаемой в целях обеспечения выпуска продукции с требуемыми функциональными характеристиками точно в срок, является анализ возможных причин неритмичной работы сборочного производства и разработка рекомендаций по их устранению.

Pneumatic acting blocks are extensively engaged in control of pneumatic systems of aircrafts and ships. Pneumatic acting blocks issue pneumatic action signals according to a specified program in response to control module commands. The topical problem of manufacturing is to reduce losses in a production process cycle. To improve the performance capability of the manufacturing process of these blocks, we applied the ideas of the manufacturing scientific support [1, 2] with determination of the relation between functional characteristics of blocks and both structural and process parameters.

The application of a cause and effect chart allows us to reveal that both the output and the timing of a production release are determined by the production capacity of an assembly shop. Therefore, the major problem to be resolved to ensure the timely release of the production having required functional characteristics, is to analyze possible causes of the assembly shop performance irregularities and to develop recommendations with respect to such irregular performance elimination.

Ключевые слова: блоки пмевмовоздействий, критичные параметры, причинно-следственная диаграмма, проблемное поле, параллельная сборка.

Keywords: pneumatic acting blocks, critical parameters, cause and effect chart, problem field, parallel.

Математическая модель электрического клапана блока пневмовоздействий

Для решения проблемы повышения эффективности производства разработана модель определения конструктивных параметров клапана, в наибольшей степени влияющих на выходные характеристики блоков пневмовоздействий и надежность их работы.

Рассмотрим этапы использования модели и технического анализа.

1. Построение расчетной схемы для определения силовых воздействий и напряжений в деталях клапана (рис. 1). На рис. 1 показаны два положения работы клапана: закрытое I и открытое II, а также основные элементы конструкции.

Расчетные схемы равновесия системы тел при закрытом состоянии клапана показаны на рис. 2. С использованием расчетных схем выполнен инженерный анализ влияния допусков на геометрические размеры клапана и усилия,



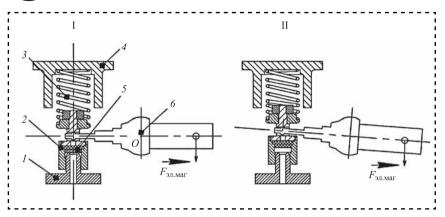


Рис. 1. Основные элементы конструкции клапана:

1— ниппель; 2— гильза; 3— пружина; 4— пробка; 5— резиновая пробка; 6— рычаг

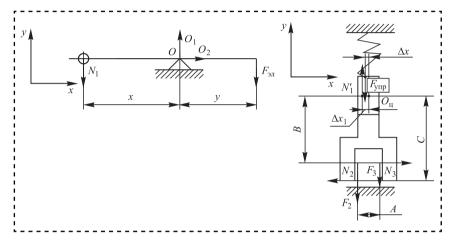


Рис. 2. Расчетная схема равновесия тел системы при закрытом состоянии клапана:

 N_1 — давление рычага; N_2 , N_3 — силы соответственно реакции рычага и гильзы; $F_{\rm ynp}$ — сила упругости пружины; $F_{\rm эл}$ — сила, развиваемая электромагнитом; F_2 , F_3 — силы трения в паре трения гильза — ниппель; Δx — отклонение точки приложения действующей силы упругости пружины от оси симметрии гильзы; A, B, C — геометрические параметры модели; $\Delta x_1 = 0$ — плечо силы N_1 ; x, y — плечи рычага

возникающие при работе клапана. Для этого составлены расчетные схемы для всех вариантов сочетания допусков на геометрические размеры клапана (в открытом и закрытом состояниях).

- 2. Вычисление усилий, возникающих при работе клапана, с использованием расчетных схем при различных вариантах сочетания допусков.
- 3. Расчет эквивалентных напряжений в деталях клапана с использованием пакета приклад-

ных программ и критерия Мизеса. Это позволило установить отсутствие зон пластичности в деталях клапана.

4. Анализ полученных результатов.

С использованием модели выявлены критичные конструктивные параметры прибора (геометрические размеры деталей, шероховатость поверхностей, механические свойства упругих элементов), влияющие на его функциональные характеристики.

Анализ результатов расчета позволил установить, что значения эквивалентных напряжений не превосходят предел текучести материала. Тем не менее с учетом структурной неоднородности свойств материала могут возникать условия для отрыва частиц бронзы ниппеля и последующего налипания, т. е. адгезионного изнашивания (наступление пластичности за счет нормальных напряжений).

С использованием математической модели была проведена проверка деталей на технологичность, что является важной составной частью технологической подготовки производства. Кроме того, предложены оптимальное покрытие трущихся поверхностей

и оптимальное значение шероховатости.

Анализ процесса производства блоков пневмовоздействий

В реальных производственных условиях установлены факторы, определяющие длительность процесса изготовления блоков пневмовоздействий (рис. 3).



Рис. 3. Факторы, влияющие на продолжительность производственного цикла



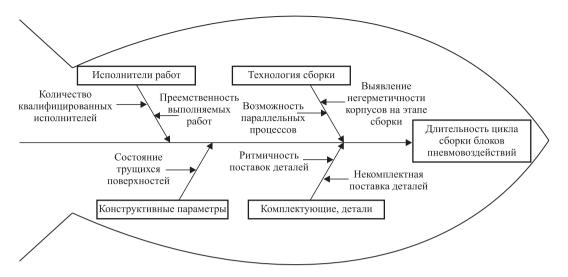


Рис. 4. Факторы, влияющие на сроки сборки блоков

С применением карт создания текущего потока ценностей показано, что наибольшие потери имеют место при сборке, настройке и регулировке блоков. Для выявления основных факторов, влияющих на продолжительность процесса сборки, была использована причинно-следственная диаграмма (диаграмма Исикавы, представленная на рис. 4). Учитывая важность влияния указанных факторов на длительность процесса сборки, проанализируем каждый из них (табл. 1).

Факторы причинно-следственной диаграммы

Таблица 1

Фактор	Текущее состояние	Угроза	Предлагаемое состояние	Мероприятия по изменению состояния		
Количество квалифицированных исполнителей	Наличие одного квалифицированного сборщика	Срыв сроков изготовления в случае болезни, увольнения сборщика и т.д.	Наличие двух ква- лифицированных сборщиков	Разработка программы по подготовке полноценного дублера		
Преемственность вы- полняемых работ	Один сборщик об- ладает критическими знаниями по сборке и регулировке	Потеря технологии, снижение качества, повышение трудоем-кости	Подготовлен преемник, которому переданы критические знания и практические навыки по изготовлению блоков	Разработка программы передачи критических знаний, поэтапный контроль передачи критических знаний. Аттестация молодого специалиста по результатам проведенных работ		
Отсутствие возможных параллельных процессов	Все подсборки собираются одним человеком последовательно	Увеличение длительности процесса изготовления	Подсборки собираются параллельно (например, плунжеры и электромагниты)	Организация дополнительного рабочего места по сборке электромагнитов		
Выявление негерметичности корпусов на этапе сборки	Недостаточность контроля герметичности в механообрабатывающих цехах	Потери времени на возврат и доработку корпусов	Дополнительный контроль в цехах изготовителях	Изменение техноло- гического процесса в механообрабатыва- ющих цехах, кор- ректировка процесса герметизации в случае обнаружения негерметичности		



Окончание табл. 1

Фактор Текущее состояние		Угроза	Предлагаемое состояние	Мероприятия по изменению состояния		
Состояние трущихся поверхностей	Наличие затираний при контроле движения клапанов	Образование микрочастиц в пневмоканалах блоков	Разработка математической модели, позволяющей выявить критические конструктивные параметры, влияющие на затирание	Определение причин затирания с использованием математической модели блоков. Разработка технологических мероприятий по устранению причины затирания		
Ритмичность поставок деталей	Отсутствие ритмич- ности поставок дета- лей в сборочные цеха	Срыв сроков сборки изделия, простой сборочного производства, последующие доплаты за сверхурочные работы	Поставки деталей в соответствии с заводским графиком	Разработка мероприятий по устранению причин неритмичной работы (отсутствие оснастки, необеспеченность материалами)		
Некомплектная поставка деталей	Детали поступают в сборочное производство некомплектно	Срыв сроков сборки изделия, простой сборочного производства, последующие доплаты за сверхурочные работы	Поставки комплектов деталей в соответствии с заводским графиком	Изменения условий оплаты. Оплата только по факту изготовления полного комплекта деталей		

Факторы, влияющие на длительность технологического цикла изготовления блоков пневмовоздействия, не являются независимыми, между ними существует логическая связь. Анализ этих факторов говорит о том, что наиболее сильное влияние (критичные параметры технологического процесса) оказывает технология сборки — последовательное или параллельное проведение операций (процесс сборки единиц, например, электромагнитов и плунжеров).

Для количественного подтверждения этого вывода и в целях установления связи между рассмотренными факторами разработана табл. 2 анализа проблемного поля. В столбцах

Анализ проблемного поля сборки электромагнитов

Таблица 2

	Количество квалифицированных исполнителей	Преемственность выполняемых работ	Возможность параллельных сборочных процессов	Выявление негерметичности корпусов на этапе сборки	Состояние трущихся поверхностей	Ритмичность поставок деталей	Некомплектная поставка деталей
Количество квалифицированных исполнителей							
Преемственность выполняемых работ	\rightarrow						
Отсутствие возможных параллельных процессов	←	←					
Выявление негерметичности корпусов на этапе сборки	0	0	0				
Состояние трущихся поверхностей	0	0	0	0			
Ритмичность поставок деталей	0	0	\rightarrow	0	0		
Некомплектная поставка деталей	0	0	\rightarrow	0	0	0	





Рис. 5. Взаимосвязь факторов, влияющих на сроки сборки блоков

и строках табл. 2 стоят ранее перечисленные проблемы. Клетки на пересечении столбцов и строк могут быть либо активными, либо неактивными (выделены серым цветом). В активных клетках определено влияние проблем друг

на друга. Стрелка в ячейке табл. 2 показывает, что проблема А влияет на возникновение проблемы Б (или мешает ее решить). Либо, наоборот, проблема Б влияет на возникновение проблемы А (или мешает ее решить). Наличие нуля означает, что проблемы не связаны между собой.

Неактивные клетки означают, что пересечение этих проблем имело место ранее и повторная работа над ним не требуется.

На основании анализа проблемного поля установлены взаимосвязи факторов причинно-следственной диаграммы. Согласно рис. 5 четыре фактора влияют на возникновение фактора "Возможность параллельных сборочных процессов".

Совершенствование технологии сборочных работ, в частности введение параллельных

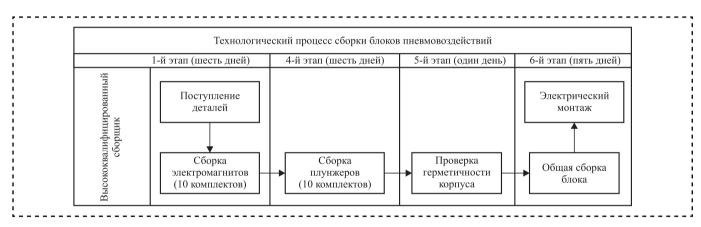


Рис. 6. Существующий в настоящее время процесс сборки прибора

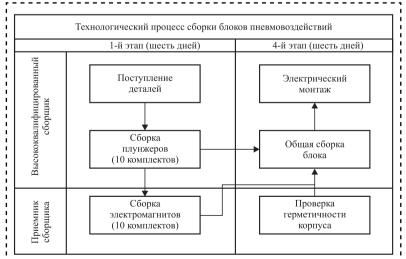


Рис. 7. Процесс сборки прибора по усовершенствованной технологии

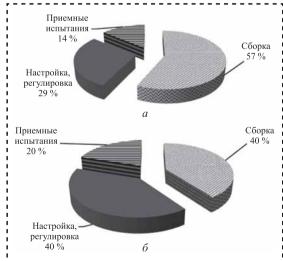


Рис. 8. Диаграмма длительности технологического цикла изготовления блоков пневмовоздействий до (a) и после (δ) совершенствования технологии сборки



операций процессов сборки электромагнитов (рис. 6, 7), позволяет существенно сократить длительность процесса и всего технологического цикла изготовления блоков пневмовоздействий (рис. 8).

Обсуждение полученных результатов

- Производство блоков пневмовоздействий с требуемыми функциональными характеристиками и в заданные сроки возможно лишь при глубоком анализе связи его функциональных характеристик с конструктивными параметрами и параметрами технологического процесса.
- Существенная роль в сокращении длительности технологического цикла принадлежит планированию и организации произ-

водства, введению прогрессивных технологий, использующих системный анализ процессов сборки.

• Введение операций параллельного проведения сборки сборочных единиц блоков пневмовоздействий позволяет сократить длительность технологического цикла на ≈12 % при обеспечении требуемого качества изделия.

Библиографический список

- 1. **Великанов В.Б., Денисов Ю.В.** Основы научного сопровождения производства прецизионных приборов. Снежинск: Изд. РФЯЦ — ВНИИТФ, 2009. 178 с.
- 2. **Денисов Ю.В., Капленко М.В.** Использование математического моделирования при производстве инерционных приборов. Екатеринбург: Изд. УрФУ, 2014. 146 с.



ООО "Издательство "Инновационное 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, Колодезный пер., д. 2а, стр. 2 Тел.: 8 (495) 785-60-69

e-mail: realiz@mashin.ru, www.mashin.ru



УДК 621.9.015

Е.С. Киселев, д-р техн. наук (Ульяновский государственный технический университет), **О.В. Благовский** (АО "Ульяновский механический завод") *E-mail:* oleg vbm@mail.ru

Обеспечение эксплуатационных свойств ответственных деталей путем формирования поля остаточных напряжений*

Представлены результаты исследований формирования параметров качества поверхностного слоя (на примере технологических остаточных напряжений) заготовок из труднообрабатываемых материалов в процессе механической обработки с учетом технологической наследственности. Показана эффективность использования различных способов ультразвуковой обработки для создания заданного уровня остаточных напряжений и фазового состава материала поверхностного слоя. Предложена методика определения коэффициента наследования, учитывающая теплосиловую напряженность процесса обработки и физико-механические свойства обрабатываемого материала.

The results of studies of surface layer's quality parameters formation (for example, technological residual stresses) during the machining of hard materials parts with the light of technological inheritance are represented. Shows the efficiency of using different methods of ultrasonic treatment for creating preset value of residual stresses and phase composition of the surface layer's material. The new method for determining the coefficient of inheritance, taking into account heat intensity, forces of treatment process, physical and mechanical properties of the material are proposed.

Ключевые слова: поверхностный слой, технологическая наследственность, качество, остаточные напряжения, фазовый состав, ультразвук, комбинированная обработка.

Keywords: surface layer, technological inheritance, quality, residual stress, phase composition, ultrasound, combined treatment.

Все более широкое распространение в России и мире получают высокоскоростные транспортные средства, детали которых работают при повышенных температурах в условиях знакопеременных нагрузок и агрессивных

сред. Для изготовления таких деталей используются труднообрабатываемые коррозионностойкие и жаропрочные стали, а также сплавы на основе титана и никеля. Доля титановых и жаропрочных сплавов в конструкции авиационных двигателей четвертого поколения на 2006 г. составляла порядка 89 % [1].

Особенно сложно обеспечить заданные эксплуатационные свойства при изготовлении маложестких деталей, в которых возникающие из-за теплосиловой напряженности и структурно-фазовых превращений технологические остаточные напряжения (ТОН) способны вызвать изменения формы и пространственной ориентации.

На практике это выливается в необходимость существенно снижать элементы режима, а в некоторых случаях даже подбирать опытным путем последовательность изготовления. Обработку заготовок деталей сложной пространственной формы чаще всего ведут на современных обрабатывающих центрах, для которых подобные потери производительности недопустимы.

Для создания заданного уровня физико-механических свойств поверхностного слоя заготовок, как правило, используют термообработку, в частности отпуск или старение — для снятия остаточных напряжений, частичную или полную аустенизацию — для регулирования фазового состава или естественную релаксацию остаточных напряжений.

Многочисленными исследованиями установлено, что каждый процент аустенита снижает предел прочности в среднем на 5 МПа. При этом аустенит в отличие от феррита обладает повышенной ударной вязкостью и, что наиболее важно, высокой химической стойкостью.

Уменьшать ТОН можно как сразу после окончательной обработки заготовки, обычно являющейся наиболее теплонапряженной, так и в ходе всего технологического процесса изготовления детали.

^{*} Исследования проведены в рамках выполнения гранта РФФИ № 14-08-01059.



Традиционно используемые методы связаны либо с большими временными (естественная релаксация), энергетическими (термическая релаксация) и материальными (экспериментальный подбор элементов режима и последовательности обработки) затратами либо с существенными трудностями при обработке маложестких заготовок (поверхностно-пластическое деформирование). Перспективным является использование для этой цели энергии ультразвукового поля [2].

До сих пор весьма сложным является определение рационального места расположения операции релаксации ТОН в технологическом процессе (ТП) изготовления деталей. Во многом это связано с необходимостью учета явления технологической наследственности. Последнее оказывает существенное влияние на уровень ТОН в готовых деталях.

Отсутствие теории, практических рекомендаций и методик учета явления технологической наследственности затрудняет разработку оптимальных ТП изготовления ответственных деталей из труднообрабатываемых материалов с заданными эксплуатационными свойствами. Решение данных проблем позволяет повысить точность обработки, уменьшить длительность технологического цикла и снизить себестоимость изготовления деталей.

Так как в процессе многооперационной механической обработки со съемом припуска одновременно происходят процессы резания и пластической деформации, часть объема подлежащего удалению с заготовки материала при съеме всего припуска пластически деформируется и будет частью вновь образованного поверхностного слоя (ПС). Поэтому ТОН, возникающие в ПС на і-й операции технологического процесса на некоторой глубине, меньшей припуска Z_{i+1} (рис. 1), также будут влиять на значение ТОН в готовой детали. Это явление называется суперпозицией или наложением зон наклепов. Кроме того, ПС обработанной детали будет деформироваться и упрочняться, что также необходимо учитывать при расчетах.

На глубине $0 < h_A < h_1$ максимальная температура будет постепенно уменьшаться, однако время ее воздействия несколько возрастет. Следовательно, в данном диапазоне глубин ПС ожидаются минимальные значения коэффициента K_H .

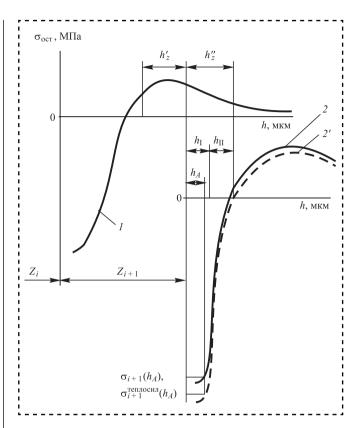


Рис. 1. Схема для определения величины ТОН в ПС заготовки с учетом пластического деформирования части припуска:

 Z_i — припуск, снимаемый на i-й операции ТП изготовления детали, мм; $\sigma_{i+1}(h_A)$ — реальная величина ТОН после (i+1)-й операции на исследуемой глубине h_A , МПа; I, 2 — эпюры ТОН, сформировавшихся в ПС заготовки в ходе i-й и (i+1)-й операций соответственно; 2'— эпюра ожидаемых ТОН, обусловленных теплосиловой напряженностью (i+1)-й операции; $h^I{}_Z$ — глубина пластически деформируемого материала припуска Z_{i+1} в ходе (i+1)-й операции, мкм; $h^{II}{}_Z$ — глубина вновь образуемого ПС, упрочненного в процессе (i+1)-й операции, мкм; h_I , h_{II} — глубины ПС заготовки после (i+1)-й операции, в которой происходит наследование ТОН соответственно из зоны $h^I{}_Z$ и $h^{II}{}_Z$, мкм

В области $h_1 < h_A < h_2$ время температурного воздействия будет продолжать расти, но малые значения температуры не позволят эффективно релаксировать сформированные ТОН. Поэтому коэффициент наследования будет стремиться к максимуму.

Исследовали влияние элементов режима комбинированной обработки на примере точения и ультразвукового твердосплавного выглаживания (УЗТВ) (рис. 2), а также ультразвуковой релаксации на ТОН и фазовый состав материала ПС образцов из типовых представителей различных групп труднообрабатываемых материалов: высокопрочных сталей (база для срав-



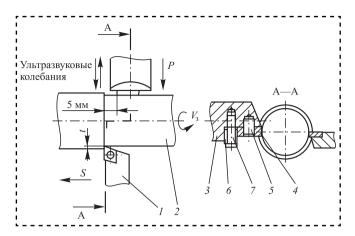


Рис. 2. Схема установки для комбинированной обработки точением и ультразвуковым твердосплавным выглаживанием:

1 — резец; 2 — заготовка; 3 — концентратор; 4 — твердосплавный индентор; 5 — штифт; 6 — клин; 7 — винт

нения — 30ХГСА), коррозионно-стойких сталей ферритного и аустенитно-ферритного классов (40Х13 и 07Х16Н6), высокопрочных и жаропрочных титановых сплавов (ВТ9 и ВТ3-1).

Фазовые изменения оценивали на приборе "РИКОР-7", ТОН — с использованием прибора "Ситон-АРМ" методами неразрушающего контроля. Контактную температуру в зоне обработки оценивали методом

полуискусственной термопары.

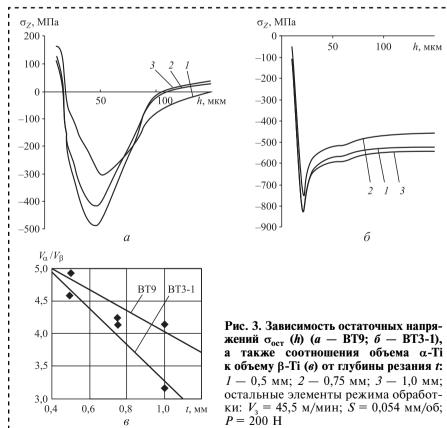
Наибольшее влияние на изменение фазового состава поверхностного слоя заготовок из титановых сплавов, а следовательно, и значения ТОН при комбинированной обработке, как следует из анализа полученных экспериментальных данных, оказывает глубина резания t (рис. 3). Ее увеличение способствует существенному сокращению а-фазы по сравнению с β-фазой в ПС заготовок из обоих рассматриваемых сплавов. По мнению авторов, это связано с возрастанием температуры в зоне обработки и ускорением превращений типа α -Ti $\rightarrow \beta$ -Ti.

Приведенные результаты исследований, по оценке влияния комбинированной обработки точением и УЗТВ с различной глубиной резания t на ТОН

в ПС заготовок из сплава ВТ9, показывают, что до глубины t=80 мкм сжимающие напряжения с ростом t увеличиваются (поверхностный слой упрочняется). При глубине t ПС более 80 мкм вследствие перераспределения остаточных напряжений наблюдается обратная зависимость — остаточные напряжения из области сжимающих переходят в растягивающие.

Увеличение глубины резания при обработке заготовок из сплава BT3-1 на первоначальном этапе (до 0,75 мм) приводит к снижению сжимающих напряжений из-за роста контактных температур и образования β -фазы. Однако дальнейшее увеличение t и связанный с этим рост радиальной силы обработки приводят к возрастанию количества дислокаций в материале ПС заготовок и, как следствие, большим сжимающим напряжениям.

С увеличением продольной подачи S и усилия прижима выглаживателя P происходит распад β -титана (т.е. активизация обратного перехода β -Ti $\rightarrow \alpha$ -Ti). Это приводит к упрочнению материала ПС (снижению растягивающих напряжений в заготовках из сплава ВТ9 и росту сжимающих напряжений для сплава ВТ3-1). Повидимому, происходит интенсификация про-





цессов пластической деформации и распада β-титана под воздействием давления в зоне контакта инструмента с заготовкой.

Необходимо отметить, что с увеличением усилия прижима выглаживателя до 300 Н наблюдается некоторое уменьшение уровня сжимающих ТОН, что свидетельствует о начале разупрочнения материала ПС вследствие перенаклепа.

Как и в случае с глубиной резания, с увеличением подачи *S* наблюдается рост сжимающих напряжений до глубины 70 мкм. Однако вследствие перераспределения напряжений на глубине ПС более 70 мкм отмечена обратная зависимость. Увеличение сжимающих напряжений может быть связано с распадом β-титана и переходом его в α-фазу.

Увеличение усилия прижима выглаживателя (индентора) P при комбинированной обработке заготовок из сплава BT9 приводит к возрастанию ТОН. Это объясняется ростом количества дислокаций в ПС и интенсификацией обратного фазового перехода $\beta \to \alpha$ под действием контактного давления в зоне выглаживания. Так как контактные температуры при УЗТВ крайне малы, то релаксация полученных напряжений вследствие отпускных процессов незначительна.

С увеличением P до 200 H при обработке образцов из титанового сплава BT3-1 наблюдается рост сжимающих ТОН. Вместе с тем данные, полученные после обработки с P = 300 H, демонстрируют снижение сжимающих остаточных напряжений. На взгляд авторов, это связано с увеличением контактной температуры и началом отпускного разупрочнения материала ПС и может быть отнесено к особенностям данного сплава, выражающимся в доминировании теплового фактора при формировании остаточных напряжений.

Для заготовок из сплава BT3-1 увеличение скорости V_3 способствует образованию α -фазы и росту нежелательных растягивающих остаточных напряжений, в то время как для сплава BT9 эта зависимость носит обратный характер — с увеличением скорости активизируется распад β -фазы. По мнению авторов, это объясняется различиями в химическом составе сплавов.

Так, сплав BT3-1 в качестве основного легирующего элемента содержит железо, количество которого практически в три раза больше, чем в BT9 (0,7 % против 0,25 %). Повышенное со-

держание железа увеличивает склонность титановых сплавов к образованию интерметаллидов состава TiFe и TiFe₂. Сплав BT9 характеризуется повышенным (по сравнению с BT3-1) содержанием циркония (до 2 % для BT9 и до 0,5 % для BT3-1) и не образует интерметаллиды состава TiFe и TiFe₂ [3].

Из результатов исследований следует, что напряженно-деформированное состояние ПС заготовок из титановых сплавов мало зависит от окружной скорости заготовки V_3 . При ее увеличении уменьшается абсолютная величина сжимающих ТОН, что, по-видимому, связано с изменением теплонапряженности процесса комбинированной обработки и интенсификацией структурно-фазовых переходов.

Исследования технологической наследственности (ТН) остаточных напряжений (рис. 4) и определение коэффициентов наследования $K_{\rm H}$ проводились на заготовках, которые подвергались обработке комбинированным точением и УЗТВ, после чего подвергались обработке врезным шлифованием.

На рис. 5 представлены графики изменения расчетных коэффициентов наследования $K_{\rm H}$ остаточных напряжений по глубине ПС шлифованных заготовок.

Анализ результатов показывает, что на самой поверхности заготовки в зоне контакта с инструментом коэффициент наследования стремится к единице, т.е. релаксация практически отсутствует и ТОН полностью переносятся с предварительно обработанной заготовки. На большей глубине наблюдается значительное (для образцов из сталей 30XГСА и 07X16H6, а также титанового сплава BT9) снижение величины $K_{\rm H}$. Однако на глубине ПС 30...40 мкм коэффициент наследования вновь начинает расти.

На рис. 6 показаны диаграммы, иллюстрирующие технологическую наследственность фазового состава ПС заготовок из титановых сплавов ВТ9 и ВТ3-1. Результаты исследований показывают, что характер соотношения объемов фаз α- и β-титана после шлифования идентичен характеру после комбинированной обработки точением и УЗТВ.

Эффективность ультразвуковой релаксации (рис. 7) существенно зависит от времени "озвучивания" [4]. Причем разница в скорости релаксации для определенных групп материалов, используемых при исследованиях, при-



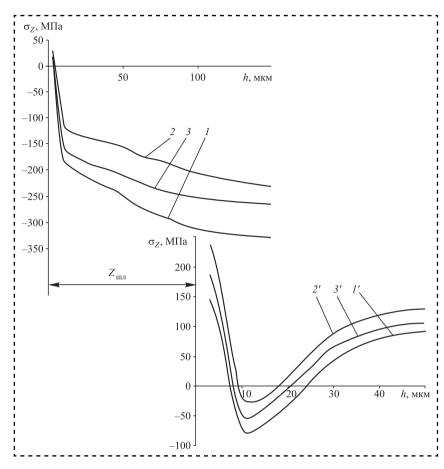


Рис. 4. Эпюры технологической наследственности ТОН в ПС заготовок из стали 30XГСА при изменении элементов режимов обработки точением и УЗТВ:

мерно одинакова и составляет 140...160 МПа/мин для образцов из сталей и 70...80 МПа/мин для образцов из титановых сплавов.

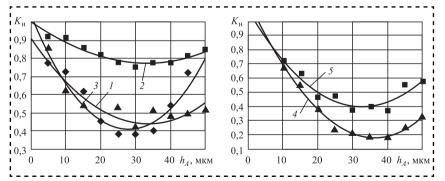


Рис. 5. Изменение коэффициента наследования $K_{\rm H}$ остаточных напряжений в зависимости от глубины поверхностного слоя заготовок:

1 — сталь 30ХГСА; 2 — сталь 40Х13; 3 — сталь 07Х16Н6; 4 — титановый сплав ВТ3-1; 5 — титановый сплав ВТ9

Изменение характера кривой $\sigma_Z(T)$ для стали 30ХГСА (см. рис. 7, δ , кривая I) после 1,5 мин обработки (существенное снижение скорости релаксации) связано, по мнению автора, с достижением так называемого "насыщения", что хорошо согласуется с результатами экспериментов, полученных ранее.

Кроме того, анализ результатов исследований показал, что увеличение P оказывает незначительное влияние на эффективность снятия ТОН по сравнению с влиянием времени T релаксации. Это можно объяснить малым изменением площади фактического пятна контакта индентора с ПС заготовки при небольшом (~10...20 H) увеличении усилия прижима.

Полученные зависимости для расчета эпюры ТОН и коэффициента наследования были использованы при численном расчете данных параметров на примере обработки заготовок из высокопрочной стали 30ХГСА. Наиболее близкое значение расчетного критерия Фишера к табличному (расчетное значение 4,38, табличное 4,46) получили при расчете эпюры остаточных напряжений по предложенной ранее методике.

Расхождение результатов численного расчета коэффициента наследования $K_{\rm H}$ и экспериментально определенного в лабораторных условиях $K_{\rm H}$ не превышает 24 %, что находится

в пределах точности эксперимента. Это свидетельствует об адекватности разработанных математических зависимостей реальным условиям обработки и говорит о возможности использования этих зависимостей для прогнозирования значений ТОН и коэффициента наследования.

Таким образом, выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

• установлены новые пути повышения эффективности механической обработки заготовок из труднообра-



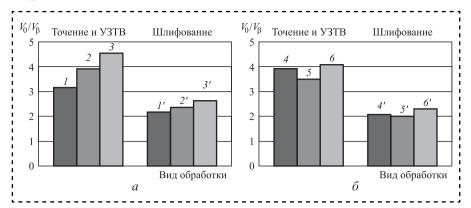


Рис. 6. Технологическая наследственность фазового состава ПС заготовок из сплавов ВТ9 (a) и ВТ3-1 (б) в ходе шлифования и комбинированной обработки точением и УЗТВ:

 $1-t=1\,\rm mm;\; V_3=57.4\,\rm m/muh;\; S=0,054\,\rm mm/o6,\; P=100\,\rm H;\; 2-t=0,75\,\rm mm;\; V_3=45.5\,\rm m/muh;\; S=0,046\,\rm mm/o6;\; P=300\,\rm H;\; 3-t=0,5\,\rm mm;\; V_3=36,4\,\rm m/muh;\; S=0,064\,\rm mm/o6;\; P=200\,\rm H;\; 4-t=0,75\,\rm mm;\; V_3=63,5\,\rm m/muh;\; S=0,064\,\rm mm/o6;\; P=300\,\rm H;\; 5-t=0,5\,\rm mm;\; V_3=50,8\,\rm m/muh;\; S=0,046\,\rm mm/o6;\; P=100\,\rm H;\; 6-t=1\,\rm mm;\; V_3=40,6\,\rm m/muh;\; S=0,054\,\rm mm/o6;\; P=200\,\rm H$

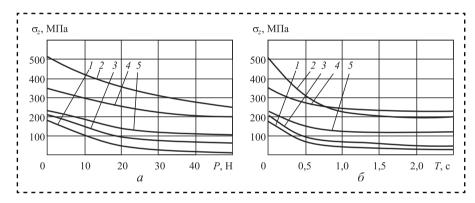


Рис. 7. Влияние усилия прижима индентора P(a) и времени $T(\delta)$ ультразвуковой релаксации на эффективность снятия ТОН в ПС заготовок из следующих сталей и сплавов:

1 - 30ΧΓCA; 2 - 40Χ13; 3 - 07Χ16H6; 4 - BΤ9; 5 - BΤ3-1

батываемых сталей и сплавов путем рационального применения энергии ультразвукового поля на основе использования явления TH;

- разработана оригинальная методика оценки ТН остаточных напряжений в ПС заготовок, учитывающая раздельное влияние теплосиловой напряженности окончательной и сформированных в ходе предварительной обработки остаточных напряжений по глубине;
- предложена методика определения коэффициента наследования, учитывающая теплосиловую напряженность процесса обработки и влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала на эффективность релаксации ТОН;
- разработаны новые способы комбинированной обработки для формирования задан-

ного уровня ТОН и фазового состава поверхностного слоя заготовок с использованием энергии ультразвукового поля;

- экспериментально определенные коэффициенты наследования не превышают 1, что совпадает с прогнозами других ученых. Наибольший коэффициент наследования выявлен при обработке заготовок из коррозионно-стойкой стали ферритного класса 40X13;
- силовые воздействия. с которыми сопряжены операция комбинированной обработки точением и УЗТВ, могут оказывать отрицательное влияние на фазовый состав поверхностного слоя заготовок из двухфазных коррозионностойких сталей, вызывая в нем распал аустенита. Результаты исследований показали, что подобные фазовые превращения распространяются на глубину, превышающую припуск на последующую обработку, и вследствие явления ТН переносятся на готовую деталь;
- ультразвуковая релаксация с использованием полосового твердосплавного ин-

дентора позволяет эффективно снижать абсолютную величину ТОН в ПС заготовок из различных материалов за достаточно короткое время (до 250 МПа за 1 мин обработки).

Библиографический список

- 1. **Основные** направления развития прогрессивных технологий и металлорежущих станков с ЧПУ / В.Ф. Качан и др. // Вісник двигунобудувания, 2007. № 2. С. 82-85.
- 2. **Киселев Е.С.** Повышение эффективности механической обработки путем использования энергии маломощных модулированных ультразвуковых колебаний // Наукоемкие технологии механической обработки в машиностроении. 2013. № 6. С. 3—13.
- 3. **Цвиккер У.** Титан и его сплавы. М.: Металлургия. 1979. 362 с.
- 4. **Киселев Е.С., Ковальногов В.Н.** Механическая обработка заготовок в условиях критического тепломассопереноса // Избран. тр. Российской школы по проблемам науки и технологий. М.: Изд. РАН, 2008. 250 с.



УДК 681.5.08

М.Г. Кристаль, д-р техн. наук, **Р.Н. Кулагин,** канд. техн. наук, **П.С. Иванков** (Волгоградский государственный технический университет) E-mail: crysmar@mail.ru

Пневмовиброконтактное устройство для контроля диаметров токопроводящих деталей

Предложено выполнять измерение диаметров малых отверстий токопроводящих деталей путем создания автоколебаний измерительного щупа. Приведена конструкция нового измерительного устройства, содержащего счетный триггер, который меняет свое состояние при контакте измерительного щупа с той или иной поверхностью контролируемого отверстия. По команде триггера исполнительный механизм в виде пневмоцилиндра совершает автоколебания щупа, по частоте которых судят о величине контролируемого размера. Предложенное устройство может быть также использовано для измерения наружных размеров деталей.

The paper proposed to carry out the measurement of small-diameter holes conductive parts by creating a self-oscillations of the probe. Shows the design of a new measuring device comprising counting trigger that changes the state of the probe in contact with the surface of a controlled opening. At the command of the trigger actuator in the form of a pneumatic cylinder performs oscillations of the probe, the frequency of which is judged on the value of controlled size. The apparatus can also be used for measuring the external dimensions and details.

Ключевые слова: пневматический, виброконтактное устройство, контроль диаметров, токопроводящая деталь.

Keywords: pneumatic, vibratory contacting device, control the diameters, conductive parts.

Введение

В ряде изделий перед их сборкой (с зазором или натягом) требуется контроль и сортировка размеров деталей на группы (групповая взаимозаменяемость) [1]. К таким изделиям относятся матрицы холодновысадочные твердосплавные, буровые коронки, оснащенные твердосплавными зубками [2]. Групповой допуск сопрягаемых поверхностей таких изделий достаточно мал (5...10 мкм), что требует высокой точности измерительных средств.

Известны устройства для измерения диаметров отверстий гильз гидроцилиндров, позволяющие обеспечить высокую точность измерительных средств за счет специальной обработки сигналов индуктивных датчиков [3—6]. Необходимую точность обеспечивает временное преобразование пневматических измерительных устройств [7—9].

Особые трудности вызывает измерение диаметров отверстий, не превышающих значений 8...12 мм. В этом случае эффективно применение виброконтактных средств измерения (а.с. СССР № 446742, МПК⁶ G01 B7/12; Приоритет от 07.10.69; Бюл. № 38 от 25.10.74, а.с. СССР № 947627, МПК⁶ G01 B7/28; Приоритет от 15.09.80; Бюл. № 28 от 30.07.82), когда в отверстие вводится измерительный щуп, совершающий колебания в пределах контролируемых поверхностей. По изменению амплитуды этих колебаний судят о диаметре отверстия.

Недостатком указанных устройств является то, что при измерении диаметра детали на выходе датчика формируется синусоидальный электрический сигнал постоянной частоты, амплитудное значение которого определяется с погрешностью отсчетного устройства и с погрешностью вторичного преобразователя, что определяет общую низкую точность устройства.



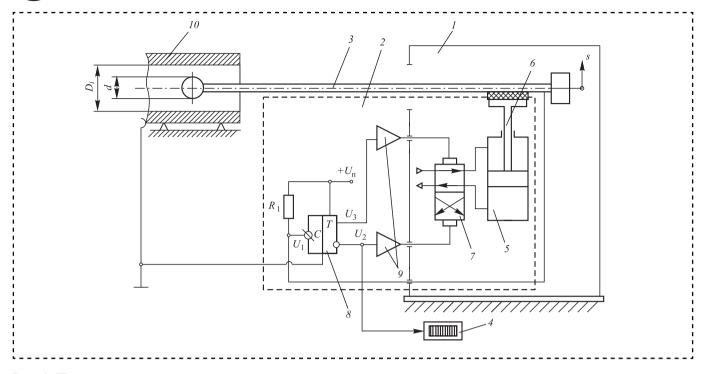


Рис. 1. Принципиальная схема измерительного устройства

Конструкция и принцип действия пневмовиброконтактного измерительного устройства

Здесь предложено устройство, когда диаметр цилиндрических токопроводящих деталей оценивается не по амплитуде, а по изменяемой в зависимости от измеряемого диаметра частоте автоколебаний, создаваемых вибратором.

Например, при измерении диаметра отверстия, равного 4 мм, щупом, имеющим диаметр 3 мм, с частотой колебаний вибратора 10 Гц погрешность измерения ориентировочно составит 0,01 мкм.

Устройство (рис. 1) содержит корпус 1, вибратор 2 с измерительным щупом 3 и узел измерения параметров колебаний вибратора 4, который выполнен в виде пневмоцилиндра 5 с диэлектрическим штоком 6.

Управление пневмоцилиндром 5 выполняет счетный триггер 8. Прямой и инверсный выходы через импульсные усилители 9 соединены через электропневмораспределитель 7 со штоковой и безштоковой полостями пневмоцилиндра 5.

Измерительный щуп *3* выполнен токопроводящим. Он закреплен на штоке пневмоцилиндра *5* перпендикулярно его оси и соединен с входом счетного триггера *8*. Общий провод триггера *8* соединен с измеряемой деталью *10*, а инверсный выход его также подключен к цифровому частотомеру *4*.

Устройство работает следующим образом.

Для измерения диаметра D_i детали 10 (см. рис. 1) в нужном сечении корпус 1 с вибратором 2 перемещают вдоль оси измеряемого отверстия. При этом на вход счетного триггера 8 подается напряжение U_{Π} питания. В момент касания токопроводящим щупом 3 диаметром *d* поверхности измеряемой токопроводящей детали 10 на вход триггера поступает сигнал U_1 , что приводит к его переключению (рис. 2, а). В результате на одном из выходов триггера формируется единичный сигнал U_2 (рис. 2, б), который через импульсный усилитель 9 поступает на электромагнит электропневмораспределителя 7, тем самым обеспечивая подачу сжатого воздуха в одну из полостей пневмоцилиндра 5. Это приводит в движение диэлектрический шток 6 и закрепленный на нем щуп 3 до момента касания им противопо-



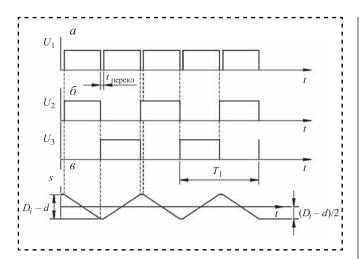


Рис. 2. Временные диаграммы работы пневмовиброконтактного измерительного устройства при измерении диаметра отверстия D_i :

a — сигналы на входе счетного триггера; δ — сигналы на выходе счетного триггера; δ — функция колебательного движения вибратора со щупом

ложной поверхности детали. При этом триггер 8 переключается на противоположное состояние и на другом его выходе формируется единичный сигнал U_3 (рис. 2, δ), который через импульсный усилитель 9 поступает на другой электромагнит электропневмораспределителя 7. Таким образом обеспечивается подача сжатого воздуха в противоположную полость пневмоцилиндра 5, что при многократном повторении рассмотренного цикла

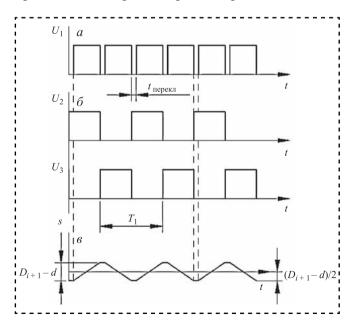


Рис. 3. Временные диаграммы работы пневмовиброконтактного измерительного устройства при измерении диаметра отверстия D_{i+1} ($D_i > D_{i+1}$)

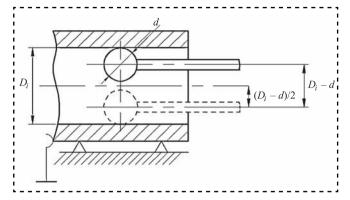


Рис. 4. Шуп для измерения диаметров отверстий деталей

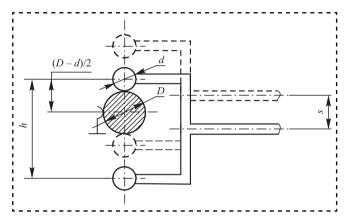


Рис. 5. Щуп для измерения наружных диаметров деталей $(h > D_{\max} + d; s = h - (D + d))$

приводит к автоколебаниям диэлектрического штока 6 и закрепленного на нем щупа 3.

Автоколебания ограничены поверхностью измеряемого отверстия детали 10 (рис. 2, 6). Для измерения переменной частоты автоколебаний служит цифровой частотомер 4, вход которого соединен с инверсным выходом счетного триггера 8. Величина контролируемого размера пропорциональна частоте создаваемых автоколебаний.

В случае когда $D_i > D_{i+1}$ (рис. 3, 4), частота автоколебаний измерительного щупа при уменьшении контролируемого размера возрастает.

Предлагаемый подход применим также для измерения наружного диаметра детали. В этом случае используется раздвоенный шариковый щуп (рис. 5), который расположен в плоскости измеряемого сечения.

Таким образом, в силу гораздо более низкой погрешности измерения частоты по сравнению с погрешностью оценки амплитуды



колебаний предлагаемое устройство может быть использовано для контроля деталей малых размеров с достаточно малыми абсолютными значениями отклонений этих размеров при высоких квалитетах точности их изготовления.

Библиографический список

- 1. **Пневматическое** сортировочное устройство / К.Т. Чан и др. // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 6. С. 14—16.
- 2. **Кристаль М.Г., Гольцов А.С., Плешаков А.А., Полякова М.В.** Устройство для контроля размеров сопрягаемых поверхностей при сборке коронок для перфораторного бурения // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2013. № 3. С. 3—5.
- 3. **Кристаль М.Г., Кулагин Р.Н., Харькин О.С., Петров В.Н.** Способ измерения диаметра отверстия детали. А. с. 1580140 SU МПК G01B5/08; Приоритет от 02.12.87; Бюл. № 27 / ВолгПИ 23.07.1990.
- 4. Гольцов А.С., Кристаль М.Г., Кулагин Р.Н., Харькин О.С., Безрукова Т.В. Автоматизация изме-

- рения внутреннего диаметра длинномерных гильз гидроцилиндров // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 4. С. 12—14.
- 5. Измайлов А.Д., Плешаков А.А., Горелова А.Ю., Кристаль М.Г. Повышение точности измерения диаметров отверстий деталей // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 5. С. 36—37.
- 6. **Измайлов А.Д., Плешаков А.А., Горелова А.Ю., Кристаль М.Г.** Способ измерения диаметра номинально цилиндрического отверстия и устройство для его осуществления // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 6. С. 7—9.
- 7. **Кристаль М.Г., Плешаков А.А., Стефанюк Р.Ю., Кулагин Р.Н.** Пневматическое устройство для контроля и сортировки деталей по линейным размерам. Пат. 128315 РФ, МПК G01 B13/00; Приоритет от 10.01.2013; Бюл. № 14 / ВолгГТУ 20.05.2013.
- 8. Плешаков А.А., Кристаль М.Г., Горелова А.Ю. Пневматическое устройство для контроля и сортировки деталей по линейным размерам. Пат. 139662 РФ, МПК G01 B13/00; Приоритет от 21.11.2013; Бюл. № 11 / ВолгГТУ 20.04.2014.
- 9. Плешаков А.А., Горелова А.Ю., Кристаль М.Г., Кулагин Р.Н. Пневмоэлектронное устройство для контроля и сортировки деталей по линейным размерам. Пат. 148813 РФ, МПК G01 B13/02; Приоритет от 22.05.2014; Бюл. № 35 / ВолгГТУ 20.12.2014.



ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

С 1 января 2016 года журнал "Трение и смазка в машинах и механизмах" издаваться не будет.

Все материалы, касающиеся данной тематики, будут публиковаться в журнале "Сборка в машиностроении, приборостроении".

Телефон редакции: 8 (499) 269-54-98 E-mail: sborka@mashin.ru

В ПОМОЩЬ КОНСТРУКТОРУ, ТЕХНОЛОГУ

УДК 621.892

Т.А. Балтаев (Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, г. Уральск),

А.В. Королев, д-р техн. наук, А.А. Королев, д-р техн. наук,

А.Ф. Балаев, канд. техн. наук, С.А. Савран

(Саратовский государственный технический университет)

E-mail: statmail_87@mail.ru

Технология стабилизации остаточных напряжений в упругих чувствительных элементах приборов давления на основе применения ультразвуковой энергии*

Рассматривается метод стабилизации геометрических параметров деталей, основанный на применении ультразвуковой энергии и последующей релаксации остаточных напряжений.

The author considers the stabilization method of geometric parameters of parts based on the application of ultrasonic energy and the subsequent relaxation of residual stresses.

Ключевые слова: упругий чувствительный элемент, мембрана, стабилизация, релаксация остаточных напряжений.

Keywords: elastic sensitive element, membrane stabilization, relaxation of residual stresses.

В точном машиностроительном производстве в современных условиях рынка быстрое развитие получают такие конструкции приборов и датчиков, которые обеспечивают их высокие технические свойства, сокращение расходов сырья и энергии, повышают производительность труда. В этой связи возрастает значение их надежности и долговечности, где проблема остаточных напряжений является важной.

Остаточные напряжения возникают в деталях в большинстве технологических операций (при литье, ковке, термической и механической обработке) и могут превосходить напряжения от внешних нагрузок.

В процессе эксплуатации изделий под действием рабочих нагрузок происходит перераспределение или релаксация остаточных напряжений, что приводит к изменению формы и качества слоя функциональной поверхности изделия и, следовательно, к изменению режима и условий эксплуатации, а в итоге — к снижению надежности и срока службы изделий.

Существенное влияние релаксация остаточных напряжений оказывает на изделия, функционирующие в условиях циклических механических и температурных нагрузок. В частности, в процессе окончательной сборки малогабаритного датчика давления типа МД — ТП, предназначенного для дистанционного измерения избыточного давления воздуха или газа, наблюдается высокая концентрации остаточных напряжений, которые значительно влияют на геометрические характеристики упругих чувствительных элементов (мембран), определяющих стабильную работу датчика в целом.

В целях снижения негативного влияния остаточных напряжений на эксплуатационную надежность и качество изделий в производстве на завершающих стадиях технологического процесса изготовления или сборки традиционно применяют термические методы. Однако наличие недостатков этих методов, которые заключаются в больших затратах энергии, времени, высокой стоимости оборудования и низкой стабильности получаемых геометрических параметров изделий, в современных условиях рынка приводит к необходимости изучения альтернативных механизмов и

^{*} Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (УИН ФЦП FMEFI57414X0015).



разработки на их основе прогрессивных технологий релаксации остаточных напряжений.

Одной из них является концентрация ультразвуковых колебаний в зоне скопления остаточных напряжений. Положительные результаты исследований в данной области нашли отражение в работах М.Г. Бабенко [1] и С.В. Слесарева [2], выполненных под руководством А.В. Королева. Согласно проведенным экспериментам [1, 2], при использовании ультразвукового метода релаксации происходит существенное сокращение затрат времени и энергии при более стабильных результатах по геометрическим параметрам изделий по сравнению с термическими методами. Однако публикаций по данной теме мало, а результаты, полученные для конкретных изделий, оставляют открытым вопрос о применимости методов релаксации остаточных напряжений, основанных на энергии ультразвука, в более общем случае для различных видов изделий и условий их эксплуатации.

Для решения этой задачи необходима разработка методологии релаксации остаточных напряжений на основе использования ультразвуковой энергии. Это требует проведения более глубоких и разносторонних исследований в данной области.

Известен способ стабилизации геометрических параметров деталей, включающий закрепление детали на опоре и установку источника ультразвуковых колебаний с возможностью контакта с деталью (Королев А.В., Королев А.А. Способ релаксации остаточных напряжений. Пат. 2478031 RU; Бюл. № 2 от 27.05.11). Недостатками данного способа являются низкое качество обработки и ограниченные технологические возможности, поскольку релаксация осуществляется неравномерно вдоль поперечного сечения и отсутствует возможность обработки деталей большой протяженности.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому эффекту является способ стабилизации геометрических параметров деталей, включающий закрепление детали на опоре и установку источника ультразвуковых колебаний с возможностью деформации детали (Королев А.В., Чистяков А.М., Кривега В.А., Моисеев Г.Н. Способ вибростарения деталей.

Пат. 2140842 РФ; Бюл. № 8 от 20.03.99). Источник ультразвуковых колебаний устанавливают на определенном расстоянии от опоры, а деталь подвергают обработке многократно после смены ее положения относительно источника ультразвуковых колебаний.

Недостатками данного способа является обеспечение низкого качества старения, так как в процессе вибростарения не регламентируется деформация детали, что может привести либо к возникновению новых погрешностей геометрических параметров детали в результате остаточных пластических деформаций, либо к сохранению существующих погрешностей. Кроме того, данный способ имеет ограниченные технологические возможности, так как не позволяет осуществлять обработку деталей типа круглых пластин.

Задача настоящего изобретения заключается в исключении искажения геометрических параметров деталей под воздействием нагрузки и повышении качества обработки.

В известном способе стабилизации геометрических параметров деталей, включающем закрепление детали на опоре и установку источника ультразвуковых колебаний с возможностью деформации детали, деталь в виде круглой пластины закрепляют по ее краю, источник ультразвуковых колебаний подводят к центру пластины, а пластину деформируют на величину

$$\delta \leq \frac{\left(1 - \mu^2\right) R^2 \left[\sigma_t\right]}{2Et} \frac{\left(1 - \frac{r^2}{R^2} - \frac{4r^2}{R^2 - r^2} \left(\ln \frac{R}{r}\right)^2\right)}{1 - \frac{2r^2}{R^2 - r^2} \ln \frac{R}{r}},$$

где R, r — соответственно наружный и внутренний радиусы пластины, мм;

t — толщина пластины, мм;

E — модуль упругости материала пластины, МПа;

 μ — коэффициент Пуассона материала пластины;

 $[\sigma_t]$ — предел текучести материала пластины, МПа.

Деформацию детали ограничивают возникновением в пластине напряжений, не превышающих предел текучести, и это предотвращает искажение геометрической формы дета-



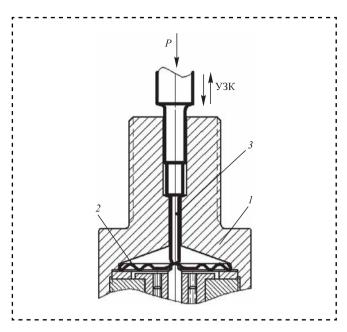


Схема ультразвуковой установки для стабилизации геометрических параметров (малогабаритного датчика давления МД — ТП)

ли в процессе обработки. Данным способом возможна обработка пластины любой формы, в том числе круглой, что расширяет технологические возможности способа.

Способ стабилизации геометрических параметров деталей практически реализован на экспериментальной ультразвуковой установке на базе блока генератора Мод. МЭФ-15, на который был установлен малогабаритный датчик давления типа МД — ТП. На поверхность круглой пластины 2 (см. рисунок), жестко закрепленной по краю в корпусе 1 датчика, воздействуют инструментом 3, которому сообщают ультразвуковые колебания (УЗК) по нормали к обрабатываемой поверхности, а также статическое усилие Р. Максимальную силу прижима инструмента к детали выбирают из условия возникновения исключительно упругой деформации детали (мембраны).

Был проведен анализ работ схожей тематики, а также требований, которые предъявляются к параметрам процесса и к готовой детали в целом. С учетом особенностей конкретного способа стабилизации геометрических параметров деталей и на основании предварительных опытов было выбрано оптимальное время обработки детали в пределах 90...120 с. Инструмент — игольчатый наконечник — изготавливался из стали марки

14X17H2 ГОСТ 5632—72, позволяющей получить максимальную проводимость ультразвуковых колебаний.

Предельная деформация круглой пластины

$$\delta \leqslant \frac{\left(1 - \mu^2\right) R^2 \left[\sigma_t\right]}{2Et}$$

с учетом значений параметров R=13 мм; t=0.2 мм; $E=2.18\cdot10^5$ МПа; $\mu=0.28$; $[\sigma_t]=400$ МПа составила 0,558 мм. В пределах этой деформации в детали 2 возникают напряжения изгиба, не превышающие предела текучести материала, что исключает потерю исходной геометрической формы при снятии нагрузки P.

Выявлено, что при такой обработке происходит минимальный нагрев поверхностного слоя заготовки, обеспечиваются напряжения изгиба, не превышающие предела текучести материала, что исключает потерю исходной геометрической формы. Прижогов и микротрещин на обработанной поверхности зафиксировано не было.

Технико-экономическая эффективность предлагаемого способа стабилизации геометрических параметров деталей обусловливается обеспечением высокой производительности обработки, снижением себестоимости изготовления детали. При высоком качестве обработки данный способ гарантирует отсутствие остаточных деформаций детали и повреждений ее наружной поверхности, а также максимальное использование энергии ультразвуковых колебаний для обеспечения стабилизации геометрических параметров.

Библиографический список

- 1. **Бабенко М.Г.** Совершенствование технологии обеспечения размерной точности прецизионных деталей типа колец подшипников на основе ультразвуковой стабилизации внутренних напряжений: Дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2002. 147 с.
- 2. Слесарев С.В. Совершенствование технологии стабилизации остаточных напряжений в прецизионных деталях типа колец подшипников на основе применения ультразвуковой энергии: Дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2006. 174 с.



УДК 621.757

В.А. Паташов, Ю.З. Житников, ∂-р техн. наук

(Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярева) E-mail: freeman01@list.ru

Режим движения многошпиндельного шпильковерта в момент снятия патронов завинченных шпилек

Получена математическая зависимость скорости страгивания многошпиндельного шпильковерта, при которой гарантируется надежное снятие патронов с резьбовыми кулачками с завинченной шпильки.

The mathematical dependence of the rate of breakaway multi-spindle spillovers, which guarantees the reliable removal of cartridges with threaded cams with screwed studs.

Ключевые слова: шпильковерт, резьбовые кулачки, шпилька, патрон, сдергивание (снятие).

Keywords: spillover, threaded cams, stud, chuck, withdrawal.

При завинчивании шпилек в автоматизированном режиме использовать патроны с резьбовыми втулками нецелесообразно, поскольку перед сборкой необходимо удерживать шпильку, чтобы навинтить патрон на резьбу, а после затяжки шпильки нужно включить реверсивное вращение шпильковерта, чтобы свинтить патрон.

В настоящее время широко используются патроны с разрезными резьбовыми кулачками. Они автоматически захватывают шпильки за резьбовую часть при нажатии шпильки на место шарнирного крепления кулачков, а после затяжки шпилек они раскрывают кулачки и снимают с резьбы шпильки.

Медленное снятие патронов с резьбовыми кулачками с завинченных шпилек происходит путем подачи сжатого воздуха в нижнюю полость пневмоцилиндра, и как только произойдет снятие, многошпиндельный шпильковерт, двигаясь с большей скоростью, ударяется с большой силой штангами об упоры. Это

негативно сказывается на работоспособности устройства.

Опытным путем установлено, что резьбовые кулачки легко снимаются с резьб шпилек при резком сдергивании, т. е. подается дозированное количество сжатого воздуха в нижнюю полость пневмоцилиндра. Устройство устремляется рывком вверх, и при дергании резьбовые кулачки снимаются с резьбы шпильки, не повреждая ее.

Обоснуем условия, при которых будет обеспечено надежное снятие (сдергивание) резьбовых кулачков с резьбы шпилек.

Воспользуемся принципом Даламбера

$$\sum \vec{F}_i^{\mathrm{B}} + \sum \vec{R}_i + \sum \vec{F}_i^{\mathrm{WH}} = 0, \tag{1}$$

где $\Sigma \vec{F}_j^{\rm B}$ — вектор суммы внешних сил; $\Sigma \vec{R}$ — вектор суммы реакции связей; $\vec{F}_j^{\rm ин}$ — вектор суммы сил инерции.

Расчетная схема представлена на рис. 1. Спроектируем все силы на ось X:

$$F^{\text{ин}} + F_{\text{пш}} - \sigma_{\Sigma} - nQ_3 = 0, \tag{2}$$

где $F^{\rm ин}$ — сила инерции; $F_{\rm пц}$ — сила пневмоцилиндра; σ_{Σ} — масса плиты с шпильковертами, но без патронов; n — число резьбовых деталей; $Q_{\rm 3}$ — осевая сила затяжки резьбовых кулачков на резьбу шпилек.

В первом приближении считаем, что в начале движения плиты со шпильковертами имеет место равноускоренное движение. Поэтому

$$S = \frac{W_{\tau}t^2}{2}; \quad V_1 = V_0 + W_{\tau}t. \tag{3}$$

В начальный момент скорость движения $V_0=0.$



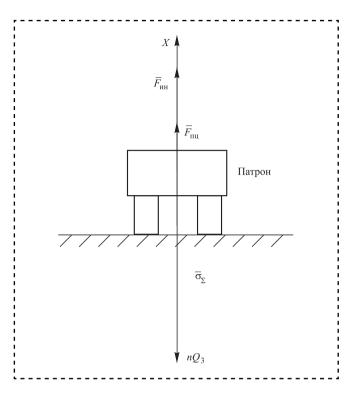


Рис. 1

Из выражений (3) получим:

$$W_{\tau} = \frac{V_1^2}{2S}.$$
 (4)

С учетом выражения (4) сила инерции имеет вид

$$F^{\text{ин}} = m_{\Sigma} W_{\tau} = \frac{\sigma_{\Sigma}}{g} \frac{V_1^2}{2S}.$$
 (5)

Сила пневмоцилиндра

$$F_{\text{пи}} = [P] \frac{\pi \left(D_{\text{п}}^2 - d_{\text{ш}}^2\right)}{4},$$
 (6)

где [P] — давление сжатого воздуха в магистрали; D_{Π} — диаметр поршня; d_{Π} — диаметр штока.

Подставив в выражения (5), (6) в равенство (2), получим:

$$m_{\Sigma} \frac{V_{1}^{2}}{2S} + [P] \frac{\pi \left(D_{\Pi}^{2} - d_{\Pi I}^{2}\right)}{4} - \sigma_{\Sigma} - nQ_{3} = 0.$$
 (7)

Отсюда найдем предельную скорость движения плиты со шпильковертами, при кото-

рой будет обеспечено надежное снятие резьбовых кулачков:

$$V_1 > \sqrt{\frac{2S}{m_{\Sigma}}} \left(\sigma_{\Sigma} + nQ_3 - [P] \frac{\pi \left(D_{\Pi}^2 - d_{\Pi}^2 \right)}{4} \right). \tag{8}$$

Определим, сможет ли плита со шпильковертами на оставшейся длине хода a штифта шпинделя по пазу патрона достичь требуемой скорости, определяемой выражением (8).

Рассмотрим движение плиты со шпильковертами на длине a с учетом возможности достижения требуемой скорости V_1 для надежного сдергивания разрезных резьбовых кулачков с резьбы шпильки.

Расчетная схема для этого случая представлена на рис. 2.

Воспользуемся основным уравнением динамики в проекции на ось X:

$$m_{\Sigma}\ddot{x} = \sum F_i,\tag{9}$$

где Σx_i — сумма проекций сил на ось X.

Подставив выражения действующих сил, получим:

$$m_{\Sigma}\ddot{x} = \left[P\right] \frac{\pi \left(D_{\Pi}^2 - d_{\Pi}^2\right)}{4} - \sigma_{\Sigma}. \tag{10}$$

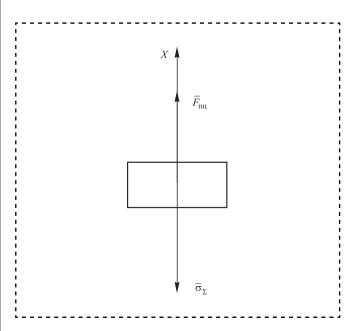


Рис. 2



Преобразуем уравнение (10) и проинтегрируем:

$$\ddot{x} = \frac{[P]\pi (D_{\Pi}^2 - d_{III}^2)}{4m_{\Sigma}} - g; \tag{11}$$

$$\dot{x} = V = \left[\frac{\left[P \right] \pi \left(D_{\Pi}^2 - d_{\text{III}}^2 \right) - g}{4m_{\Sigma}} \right] t; \tag{12}$$

$$\overline{x} = \left[\frac{[P]\pi \left(D_{\Pi}^2 - d_{\coprod}^2 \right) - g}{4m_{\Sigma}} \right] \frac{t^2}{2}.$$
 (13)

Учитывая, что величина перемещения равна a, из выражения (13) найдем время перемещения (обозначим выражение в квадратных скобках A):

$$a = A\frac{t^2}{2}; \quad t = \sqrt{\frac{2a}{A}}.$$
 (14)

Получим скорость движения плиты со шпильковертами:

$$V = A\sqrt{\frac{2a}{A}} = \frac{[P]\pi(D_{\Pi}^2 - d_{\Pi}^2) - g}{4m_{\Sigma}} \times \sqrt{\frac{2a}{[P]\pi(D_{\Pi}^2 - d_{\Pi}^2) - g}}.$$

$$(15)$$

Сдергивание будет обеспечено в том случае, когда скорость, определяемая выражением (15) станет больше скорости V_1 из выражения (8):

$$\frac{[P]\pi(D_{\Pi}^{2}-d_{\Pi}^{2})-g}{4m_{\Sigma}}\sqrt{\frac{2a}{[P]\pi(D_{\Pi}^{2}-d_{\Pi}^{2})-g}} > \frac{1}{4m_{\Sigma}} > \sqrt{\frac{2S}{m_{\Sigma}}} \sigma_{\Sigma} + nQ_{3} - [P]\frac{\pi(D_{\Pi}^{2}-d_{\Pi}^{2})}{4}}.$$
(16)





Читайте в следующем номере:

- **♦ Кочкин Е.В., Матвеев Е.В., Медарь А.В., Меденков В.И.** Технологическая платформа стендового оборудования для определения характеристик геометрии масс изделий ракетно-космической техники
- **♦ Копбаев Р.А., Соколов В.А.** Бесконтактный метод контроля точности позиционирования манипуляторов промышленных роботов
- ◆ Бохоров И.О., Карабанов В.В. Пайка режущего инструмента
- ❖ Вытнов Ю.В., Александрин А.Г., Голубев С.В., Герасимов Е.А., Медведев Н.П. Автоматизация процесса сварки торцевых швов статорных перегородок герметичных электронасосов



УДК 681.2-52

Ю.Н. Можегова, канд. техн. наук

(Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярева) E-mail: kandy2701@mail.ru

Обоснование точности способа автоматизированного определения минимального размера пор материалов

Теоретически обоснован способ автоматизированного определения минимального размера пор материалов. Разработано соответствующее устройство контроля.

Theoretically substantiated the accuracy of the method of automated determination of minimum pore size of the material. Have been developed the monitoring device.

Ключевые слова: автоматизированный контроль, неразрушающий контроль, газодинамический метод.

Keywords: computerized control, non-damaging control, gas-dynamic method.

В машиностроении при контроле качества материалов большое внимание уделяют исследованию поровой структуры материалов, определяя допустимый технологическими и эксплуатационными ограничениями размер пор в изделии. Поэтому разработка устройства автоматизированного определения минимального размера пор материалов является актуальной задачей для современного машиностроения.

Известна математическая зависимость для определения минимального диаметра пор пористых материалов [1], по которому можно судить о поровой структуре материала, а также определять физико-механические свойства пористых материалов:

$$d_{\text{nop min}} = \frac{KT}{\sqrt{2}\pi d_{\text{M}}^2 P_{\text{c}}},\tag{1}$$

где K — константа Больцмана; T — температура газа; $d_{\scriptscriptstyle \rm M}$ — эффективный диаметр молекул

газа; $P_{\rm c}$ — давление газа при переходе от кнудсеновского к ламинарному режиму течения.

Обоснован способ определения минимальных диаметров пор материала [1], основанный на процессе ламинарного и молекулярного (кнудсеновского) течения газа через контролируемый пористый материал. На образце материала создают перепад давления с последующей фильтрацией газа через образец. Для этого ячейку, состоящую из двух камер (рабочей и измерительной), разделенных образцом, вакуумируют. Затем соединяют рабочую камеру с атмосферой и, регистрируя температуру и изменение давления в измерительной камере, получают зависимость изменения давления в камере с течением времени, определяют по этой осциллограмме участки, соответствующие кнудсеновскому режиму истечения, смешанному (кнудсеновскому и ламинарному) и ламинарному. Экстраполируя осциллограмму, находят точку, разделяющую участки смешанного и ламинарного режимов истечения, определяют давление, соответствующее этой точке, и определяют минимальный диаметр пор по формуле (1) с применением ЭВМ.

На рис. 1 представлена схема устройства, реализующего этот способ.

После вакуумирования рабочей *1* и измерительной *2* камер и последующего соединения рабочей камеры с атмосферным воздухом давление в измерительной камере *2*, регистрируемое датчиком давления *3* и фиксируемое ЭВМ *4*, начнет медленно возрастать вследствие проникновения газа из рабочей камеры через образец в измерительную камеру.

Устройство для определения минимальных размеров пор на изделиях небольшого размера представлено на рис. 2.

Стенд содержит последовательно соединенные герметичные емкости *1*, *2*, *3*. По периметру емкости *2* установлены кольца *4* из



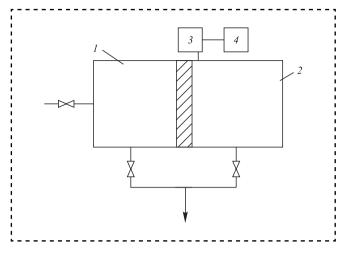


Рис. 1. Блок-схема устройства для определения минимального размера пор:

1, 2 — камеры; 3 — датчик давления; 4 — ЭВМ

вакуумной резины. Число колец определяется размером изделия из пористого материала 5. Чтобы обеспечить фильтрацию газа непосредственно через образец, кольца 4 поджимаются фланцем 6. Резина деформируется и обеспе-

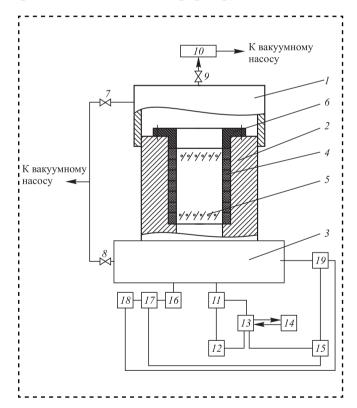


Рис. 2. Блок-схема стенда для определения минимальных размеров пор:

1, 2, 3, 10 — емкости; 4 — кольцо; 5 — образец материала; 6 — фланец; 7, 8, 9 — вентили; 11, 16 — датчики давления; 12, 17 — запоминающие устройства; 13 — блок сравнения; 14 — реверсор; 15 — коммутатор; 18 — ЭВМ; 19 — датчик температуры

чивает герметичность соединения по образующей цилиндра образца 5.

Стенд имеет вакуумную линию с вентилями 7 и 8, установленными в стенках емкостей I и 3. В стенке емкости I дополнительно установлен вентиль 9, соединяющий емкость I с емкостью 10, в которой газ находится под давлением, значение которого меньше атмосферного. Степень разряжения газа в емкости 10 определяется работой вакуумного насоса, подключенного к емкости 10 (условно не показан).

В стенке емкости *3* установлены датчик измерения приращения давления *11* и датчик давления *16*, а также датчик температуры *19*.

Первый выход датчика измерения приращения давления 11 соединен с первым запоминающим устройством 12, второй выход и выход запоминающего устройства 12 соединены с блоком сравнения 13. Первый выход и вход блока сравнения 13 соединены с реверсором 14. Второй выход блока сравнения 13 соединен с коммутатором 15. Один из выходов коммутатора 15 также соединен со вторым запоминающим устройством 17, выход которого вместе с выходом датчика температуры 19 подключены по входу ЭВМ 18.

Вначале открываются вентили 7 и 8, и вакуумным насосом (на схеме условно не показан) откачивается воздух из емкостей 1 и 3. После этого вентили 7 и 8 закрываются, и открывается вентиль 9, соединяя полость емкости 1 с полостью баллона 10, где газ находится или под атмосферным давлением, или под давлением, меньшим атмосферного. Степень разряжения газа в баллоне 10 регулируется вакуумным насосом (на схеме условно не показан). При этом необходимо выполнение двух условий:

газовая полость баллона 10 должна значительно превышать газовую полость емкости 1; абсолютное давление в баллоне 10 должно быть известно.

Так как давление в емкости 1, соединенной с баллоном 10, превышает давление в емкости 3, то произойдет фильтрация газа через материал 5 и давление в емкости 3 начнет повышаться.

Текущее давление измеряется датчиком давления 16, а приращение давления 11 пере-



дается на вход запоминающего устройства *12*. Каждое предыдущее и последующее значения приращения давления сравниваются блоком сравнения *13*.

В начальный период наблюдается кнудсеновский режим истечения, в котором каждое последующее значение приращения давления больше предыдущего. Затем давление выравнивается, и блок сравнения 13 зафиксирует равенство последующего и предыдущего значений приращения давления.

В этот момент включается реверсор 14 и блок сравнения 13 программируется на равенство предыдущего и последующего значений приращений давления в емкости 3. Далее в процессе фильтрации начинают принимать участие поры минимального размера, и опять последующее приращение давления в емкости 3 становится больше предыдущего. Вновь включается реверсор 14, и блок сравнения 13 программируется на большее значение каждого последующего приращения давления.

При выравнивании давления в камере вновь последующее и предыдущее значения приращения давления становятся равными и реверсор 14 программируется на равенство предыдущего и последующего приращений давления в емкости 3. Одновременно включается коммутатор 15, который включает второе устройство 17 и датчик температуры 19 в режим передачи численных значений давления и температуры в момент предыдущего приращения давления на ЭВМ 18, которая в соответствии с уравнением (1) определяет минимальный размер пор.

Если поры образца настолько велики, что разрежение в баллоне 10 оказывается недостаточным для образования кнудсеновского режима истечения, то произойдет только одно включение реверсора. В реверсор встроено реле времени, которое по истечении заданного промежутка времени выключит в этом случае устройство. При этом необходимо увеличить разрежение в баллоне 10 и вновь создать вакуум в емкостях 1 и 3, а после этого, соединив емкость 3 с баллоном 10, включить устройство на отслеживание.

Коммутатор 15 включает запоминающее устройство 17 и датчик температуры 19 в режим подачи численных значений давления и

температуры на ЭВМ 18 только после третьего реверса реверсора 14 и третьего изменения режима работы блока сравнения 13. Так обеспечивается автоматизированная блокада устройства от ложного определения минимальных размеров пор.

Для обоснования точности предлагаемого способа найдем погрешность измерения минимального размера пор материала от структуры материала, параметров устройства и их точности при изготовлении, воспользовавшись методом линейных ошибок [2]:

$$\delta d_{\text{nop min}} = \frac{\partial d_{\text{nop min}}}{\partial T} \delta T + \frac{\partial d_{\text{nop min}}}{\partial P_{\text{c}}} \delta P_{\text{c}}, \qquad (2)$$

где $\frac{\partial d_{\text{пор min}}}{\partial T}$, $\frac{\partial d_{\text{пор min}}}{\partial P_{\text{c}}}$ — коэффициенты влияния данных параметров на погрешность измерения минимального размера пор;

 δT , $\delta P_{\rm c}$ — изменение параметров.

Используя выражение для определения погрешности косвенных измерений, придем к конечным величинам:

$$\delta d_{\text{nop min}} = \sqrt{\left(\frac{\partial d_{\text{nop min}}}{\partial T} \Delta T\right)^{2} + \left(\frac{\partial d_{\text{nop min}}}{\partial P_{c}} \Delta P_{c}\right)^{2}},$$
 (3)

где $\partial d_{\text{пор min}}$ — погрешность измерения минимального размера пор; ΔT , ΔP_{c} — допустимые отклонения данных параметров.

Найдем выражения для коэффициентов влияния каждого из параметров на погрешность измерения коэффициента пористости материалов.

Коэффициенты влияния параметров на погрешность измерения минимального диаметра пор определяются по следующим формулам:

температура газа T

$$\frac{\partial d_{\text{nop min}}}{\partial T} = \frac{K}{\sqrt{2\pi}d_{\text{M}}^2 P_{\text{c}}};$$

давление газа $P_{\rm c}$

$$\frac{\partial d_{\text{nop min}}}{\partial P_{\text{c}}} = \frac{KT}{\sqrt{2\pi}d_{\text{M}}^2 P_{\text{c}}^2}.$$



В результате эксперимента по течению воздуха через сложную керамическую систему были получены следующие данные:

При этом погрешности измерений параметров составили:

Учитывая, что эффективный диаметр молекул газа $d_{\rm M}=4,52\cdot 10^{-10}\,{\rm M}$, а константа Больцмана $K=1,38\cdot 10^{-23}\,{\rm Дж/K}$, определим с применением MachCAD 15 коэффициенты влияния параметров на минимальный размер пор и погрешность измерения минимального размера пор материала:

$$\frac{\partial d_{\text{пор min}}}{\partial P_{\text{c}}} = -1,59 \cdot 10^{-9};$$
$$\frac{\partial d_{\text{пор min}}}{\partial T} = 9,077 \cdot 10^{-9};$$
$$\Delta \delta d_{\text{пор min}} = -7,487 \cdot 10^{-11}.$$

Таким образом, минимальный размер пор

$$\delta d_{\text{nop min}} = \delta d_{\text{nop min}} \pm \Delta \delta d_{\text{nop min}} =$$

= $(2,811 \cdot 10^{-5} \pm 7,487 \cdot 10^{-11})$ M.

Определим величину каждого из коэффициентов влияния и выразим ее в относительных единицах.

Коэффициенты влияния параметров на погрешность измерения минимального размера пор:

температура газа T

$$\frac{\partial d_{\text{nop min}}}{\partial T} \Delta T = 0,1731;$$

давление газа $P_{\rm c}$

$$\frac{\partial d_{\text{nop min}}}{\partial P_{\text{c}}} \Delta T = 0,6771.$$

Таким образом, наибольшее влияние на точность измерений оказывает давление газа, что подтверждает необходимость создания оптимальных условий для осуществления кнудсеновского режима течения газа. При этом точность контроля лежит в пределах 4...6 %. Это удовлетворяет требованиям производства.

Итак, предложенные способ и устройство позволяют осуществить контроль минимальных размеров пор с достаточно высокой точностью. Это устройство можно рекомендовать для использования в производстве.

Библиографический список

- 1. Можегов Н.А., Житников Ю.З., Матросова Ю.Н. Способ определения минимальных диаметров пор образца: Пат. РФ 2186364, МКИ 3 G 01 N 15/08; Бюл. № 21. 2002.
- 2. **Можегова Ю.Н.** Точность автоматизированного контроля минимального размера пор материала при газодинамическом методе // Вестник Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П.А. Соловьева. 2014. № 1 (28). С. 121—125.

ООО "Издательство "Инновационное машиностроение", 107076, Москва, Колодезный пер., 2а, стр. 2 Учредитель ООО "Издательство Машиностроение".

Адрес электронной почты издательства: mashpubl@mashin.ru; редакции журнала: sborka@mashin.ru, http://www.mashin.ru

Телефон редакции журнала: 8 (499) 269-54-98, факс 8 (499) 268-48-97.

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

Сдано в набор 12.10.2015. Подписано в печать 24.11.2015. Формат 60×88 1/8.

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

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Адвансед солюшнз". Сайт: **www.aov.ru** Отпечатано в ООО "Канцлер", 150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.