ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ

ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

ЖУРНАЛ ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ УТВЕРЖДЕННЫХ ВАК РФ ИЗДАНИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИЙ ТРУДОВ СОИСКАТЕЛЕЙ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ

6 2013 **(155)**

СОДЕРЖАНИЕ

Сборочное оборудование и его элементы

Безменов В.С., Игнатов А.В. Типовые системы автоматизированного дозирования однокомпонентных термореактивных клеевых составов для сборочных производств с клеевыми соединениями 3

Иванов А.А. Магнитные системы кассетирования и сборки 14

Кочетков А.В., Гнитько В.Б., Челпанов И.Б. Объемное компьютерное моделирование конструкций технологических роботов для силовых операций гибки с растяжением 19

Современные технологии сборки

Голованчиков А.Б., Воротнева С.Б. Совершенствование конструкции и повышение ремонтопригодности реакторов и теплообменных аппаратов 25

Абрамов А.И., Абрамов И.В., Петров А.В., Романов А.В. Гидропрессовые соединения с деталями из титановых сплавов 28

Булавин И.А., Груздев А.Ю., Будыкин А.В. Технология сборки подшипниковых узлов с предварительным натягом в редукторах ведущих мостов автомобилей . . . 32

Технологическая оснастка для сборки

Березин С.Я., Романова Л.С. Конструкции патронов со специальными функциями для резьбонарезных и сборочных операций 39

В помощь конструктору, технологу

Тимофеев А.В., Шапкин В.И., Душев С.А., Москаленко В.В., Данилов С.Д. Выполнение опытных работ для обеспечения выгрузки отработанного ядерного топлива из баков хранилища плавучей технологической базы "Лепсе". 46

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

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

Редакционный совет

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

Региональные редсоветы

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

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

Беларусь
МИНСК
В.Л. БАСИНЮК
М.Л. ХЕЙФЕЦ
ГОМЕЛЬ
В.Е. СТАРЖИНСКИЙ
ИЗРАИЛЬ
В.М. БЕДРИН
ПОЛЬША
П. ЛЕБКОВСКИ
Е. ЛУНАРСКИ

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

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

© **Издательство “Машиностроение”, “Сборка в машиностроении, приборостроении”, 2013**

THE MONTHLY NEWSMAGAZINE FOR SCIENTISTS AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

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

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

6 2013 (155)

CONTENTS

Production tools and machinery for assembly

Bezmenov V.S., Ignatov A.V. Automated mixed glue spreading and metering machine design technique for assembling based on glue joint 3

Ivanov A.A. Magnetic systems of cassete laying and assembly 14

Kochetkov A.V., Gnitko V.B., Chelpanov I.B. Representation bending car for are flexible profiles as technological robot for power operations 19

Modern technologies in assembly

Golovanchikov A.B., Vorotneva S.B. Improving the design and upgrading of maintainability of reactors and heat-exchange apparatus 25

Abramov A.I., Abramov I.V., Petrov A.V., Romanov A.V. Hydropress interference fits with titan alloy parts 28

Bulavin I.A., Gruzdev A.Yu., Budykin A.V. Technology of assembly of bearing knots with a preliminary tightness in reducers of leading bridges of cars 32

Technological equipment for assembly

Berezin S.Ya., Romanova L.S. Types of the chucks for thread-forming and assembly operations with special functions 39

Industrial and design engineer's aid

Timofeev A.V., Shapkin V.I., Dushev S.A., Moskalenko V.V., Danilov S.D. Activities to ensure fulfilled heatallocating assembly unloading from tanks in the floating technological base "Lepse" storage facility 46

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

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

Editors

MOSCOW

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

Regional editors

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

Ukraine

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

Belarus

MINSK
V.L. BASINJUK
M.L. KHEIFETZ
GOMEL
V.E. STARZHINSKI
ISRAEL
V.M. BEDRIN
POLAND
P.LEBKOVSKI
E. LUNARSKI

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

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

© "Mashinostroenie Publishers", "Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making", 2013

УДК 621.792; 62-50:62-525:628

В.С. Безменов, *д-р техн. наук (Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН),*
А.В. Игнатов, *канд. техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана)*
E-mail: avllig@yandex.ru

Типовые системы автоматизированного дозирования однокомпонентных термореактивных клеевых составов для сборочных производств с клеевыми соединениями

Рассмотрены принципиальные схемы построения типовых устройств и систем транспортирования и дозированного нанесения клеевых термореактивных однокомпонентных составов для сборочных производств с клеевыми соединениями. Проведен анализ актуальности внедрения автоматизированных устройств в технологический процесс сборки. Для построения указанных систем автоматизированного дозирования предложены методы дозирования с контролем отмеривания дозы по времени и по давлению сжатого газа в промежуточной емкости.

The article describes automated mixed glue metering machine design technique for assembling based on glue joint. Mixed glue properties and glue joint design and type are analyzed step-by-step, automated mixed glue metering machine development requirements specification is drawn up. Selection of automated mixed glue metering machine typical design is carried out in terms of combination of benchmark data main properties pointed out in development requirements (mixed glue hardening conditions, viscosity, metering range).

Ключевые слова: клей, клеевое соединение, технологический процесс сборки, методика проектирования, система автоматизированного дозирования, конструкция клеевого соединения, техническое задание, вязкость, диапазон дозирования, типовая схема.

Keywords: glue, glue joint, assembling, design technique, automated mixed glue metering machine, glue joint design, development requirements, viscosity, metering range, typical design.

В современном машиностроении применяют большое число клеевых соединений, в которых используют целый ряд клеевых составов (КС) как различной химической природы (акриловые, на основе канифоля, каучуков, латексов, поливинилацетата и его сополимеров, поливинилового спирта и его производных, элементоорганических соединений, неорганические, полиуретановые, полиэфирные, эпоксидные и др.), так и различного агрегатного состояния (жидкости различной вязкости, пастообразные составы, твердые вещества) [1].

Уже эти факторы являются достаточным аргументом для обоснования актуальности создания отечественного конкурентоспособного автоматизированного дозировочного оборудования для нанесения клеевых составов в сборочных производствах.

Условно КС можно разделить на термореактивные и термопластичные.

Термореактивные КС выпускают в жидком и пастообразном состояниях. При отверждении термореактивные КС переходят в необратимое нерастворимое и неплавкое состояние, их невозможно применять повторно. Термопластичные КС выпускают только в твердом состоянии. Они приобретают свойства клея с высокой вязкостью после разогрева до жидкого состояния.

Термореактивные КС могут быть одно- и многокомпонентными. Если при склеивании применяют вспомогательные вещества, например растворители и разделительные агенты, то их нанесение – это вспомогательная операция перед склеиванием, требующая выбора дополнительных устройств для их дозирования и нанесения. Такие дополнительные устройства строят по тем же схемам, что и дозирование компонентов КС.

К однокомпонентным клеям можно отнести большинство анаэробных, акриловых, полиуретановых, клеев на основе каучуков и латексов, ряд эпоксидных и др.

Клеевые составы одной и той же химической природы, в зависимости от рецептуры, назначенной эксплуатационными функциями, могут быть как гомогенными так и гетерогенными. Это спра-

ведливо и для компонентов многокомпонентных КС.

Гомогенные КС (от греч. homós – равный, одинаковый) – составы, однородные по плотности и химической структуре по всему объему.

Гетерогенные КС (от греч. héteros – иной, другой) – составы, содержащие зоны различной плотности, допускающие взвеси из твердых фаз, фиксируемых визуально.

Наибольшую сложность при проектировании устройств нанесения и дозирования представляют гетерогенные КС. Они не предназначены для долгого хранения, так как более тяжелые составляющие начинают оседать, что меняет общую структуру. Это сказывается на прочностных характеристиках соединения. Если предусматривается долгое хранение состава в устройстве, то необходимы перемешивающие устройства, устанавливаемые в расходных емкостях.

Независимо от типа производства задача автоматизации операций смешения компонентов КС, их транспортирования и дозирования в позиции сборки является чрезвычайно актуальной [2, 3]. Объясняется это рядом основных факторов.

Во-первых, экономической составляющей при разработке технологического процесса сборки. Так, перерасход КС в значительной степени влияет на себестоимость конструкции. Поэтому дозирующее устройство (ДУ) должно обеспечивать легкую переналадку на требуемый режим подачи при смене типоразмера изделия. Если эта переналадка сводится лишь к смене подающего сопла и регулировке требуемой дозы, то применение подобных устройств экономически оправдано.

Во-вторых, очевидно, что применение автоматизированных ДУ заметно сокращает трудоемкость процесса сборки, так как в этом случае можно регулировать скорость подачи сборочной дозы КС, приближая ее к оптимальной для разрабатываемого технологического процесса сборки. При этом можно согласовать ее с тактом выпуска или требуемой производительностью выпуска изделий.

В-третьих, важным фактором применения ДУ является качество выполняемых соединений. Точное соблюдение пропорций позволяет обеспечить заданные эксплуатационные характеристики изделия. В данном случае следует особо отметить, что минимизируется значение человеческого фактора. Применение автоматизированных ДУ позволяет использовать низко квалифицированный труд без снижения качества сборки, что в свою очередь позволяет повысить конкурентоспособность производства.

Наконец, в последнее время большое значение стал приобретать эстетический фактор. Применение специализированных ДУ на позиции сборки позволяет избежать клеевых наплывов, подтеков и других дефектов, которые способны испортить внешний вид изделия и потребуют внедрения в технологический процесс операции очистки.

В данной статье представлены разработки принципиальных схем построения типовых систем автоматизированного дозирования (САД) жидких термореактивных однокомпонентных КС с контролем отмеривания дозы по времени, а также схема безарматурной пневматической САД с контролем отмеривания дозы по давлению сжатого воздуха в промежуточной (дозировочной) емкости.

Типовые САД – это системы, разработанные эквивалентно серийно выпускаемым изделиям, которые могут быть использованы без существенной доработки их принципиальной схемы, в соответствии с задачами конкретного технологического процесса. На их основе разрабатывают ***индивидуальные*** САД с учетом особенностей и специфики процесса, которые отличаются от типовых доработкой принципиальной технологической схемы и алгоритма управления.

Типовые однокомпонентные САД сами по себе являются перспективными и востребованными для использования в сборочных производствах с клеевыми соединениями. При этом принципы построения систем дозирования многокомпонентных КС могут быть реализованы на базе дублирования типовых однокомпонентных систем с добавлением в них узла смешения компонентов, один из вариантов построения которого был нами рассмотрен в статье [2].

Принцип дозирования с контролем отмеривания дозы по времени реализуется двумя способами:

- путем подачи КС под давлением из замкнутого расходного резервуара с постоянным расходом на линии транспортирования клея на позицию сборки;
- путем подачи КС из открытого расходного бака в промежуточную (дозировочную) емкость с помощью пневматического мембранного насоса и

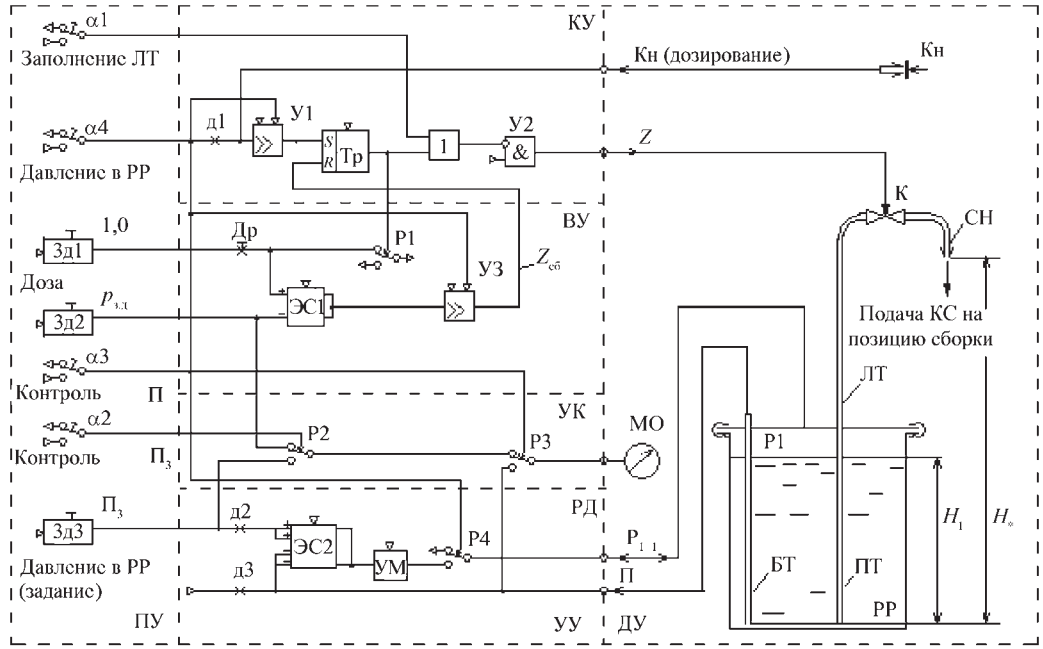

Рис. 1. Принципиальная схема САД с ИП барботажного типа

стабилизацией избыточного давления в последней.

В обоих случаях стабилизация расхода КС на выходе ДУ реализуется посредством пневматического регулятора управляющего устройства, а доза определяется временем дозирования и проходными сечениями гидрокоммуникаций.

Системы дозирования с контролем отмеривания дозы по времени с подачей КС из замкнутого расходного резервуара могут строиться с измерительными преобразователями (ИП) перепада давлений двух типов: барботажного и манометрического [3].

Принципиальная схема пневматической САД с ИП барботажного типа показана на рис. 1 и содержит объект управления – дозирующее устройство (ДУ) и пневматическое устройство управления (УУ).

В состав ДУ входят:

• герметичный расходный резервуар (РР) с приготовленным КС;

• линия транспортирования (ЛТ) КС, содержащая пережимной нормально открытый пневмоклапан (К) с силиконовой трубкой, оканчивающейся сливным наконечником (СН);

• сенсорная пусковая пневмокнопка (Кн), служащая для подачи команды на включение ДУ и образцовый манометр (МО) для контроля настроечных параметров системы.

Расходный резервуар работает под давлением и снабжен герметичной крышкой с вмонтированными в нее штуцером для подвода и стравливания воздуха, питающей трубкой (ПТ) и барботажной трубкой (БТ), которая продувается сжатым воздухом через пневмосопротивление (дроссель д3) и выполняет функцию датчика полного давления $П = p_1 + \gamma H_1 > \gamma H_*$ на входе в ПТ, где p_1 – избыточное давление в РР, γ – плотность КС, H_1 – текущий уровень КС в РР, H_* = const – высота истечения.

Устройство управления реализовано на элементах промышленной пневмоавтоматики системы УСЭППА [4] и включает следующие функциональные узлы:

• пульт управления (ПУ);

• командный узел (КУ);

• временное устройство (ВУ);

• регулятор давления (РД);

• узел контроля (УК) настроечных и рабочих параметров САД.

Спецификация используемых в УУ пневмоэлементов приведена в табл. 1.

Устройство управления работает в полуавтоматическом режиме и обеспечивает выполнение следующих функций:

Таблица 1

Спецификация пневмоэлементов УУ на рис. 1

Обозначение на схеме	Наименование и тип элемента	Число, шт.
ЭС1	Элемент сравнения трехмембранный П2ЭС.1	1
ЭС2	Элемент сравнения пятимембранный П2ЭС.3	1
Зд1–Зд3	Задатчик мощный П23д.4	3
УМ	Усилитель мощности П2П.7	1
д1–д3	Дроссель постоянный П2Д.4-2	3
Др	Дроссель регулируемый П2Д.2м	1
У1, У3	Усилитель давления и мощности П-1194	2
У2	Инверсный усилитель мощности П-1196	1
1	Клапан "Или" П3К.5	1
Р1–Р4	Реле РУП-1м	4
Тр	Ячейка памяти (триггер) ЯПП-1	1
α_1–α_4	Пневмотумблер П1Т.2	4

• включение системы и ее подготовка к работе (заполнение ЛТ и удаление пузырьков воздуха из гидрокоммуникаций);

• автоматическое поддержание заданной постоянной величины давления П на входе в ПТ в процессе дозирования КС;

• плавная подстройка и контроль по МО настроечных параметров САД – заданного значения объема дозы (давления задания дозы $p_{з.д}$), а также заданного ($П_з$) и фактического (П) значений давления на входе в ПТ;

• подача заданной дозы КС через клапан К по команде оператора от кнопки Кн;

• опорожнение ЛТ, оперативная промывка и (или) замена гидрокоммуникаций ЛТ.

***Пульт управления* (*ПУ*)** содержит следующие органы управления и контроля:

пневмотумблеры α_1–α_4 следующего назначения:

• α_1 – "Заполнение ЛТ" – для формирования сигнала ручного управления клапаном К при заполнении и опорожнении гидрокоммуникаций ЛТ (при $\alpha_1 = 1$, $Z = 0$);

• α_2 – "Контроль $П_з$" – для подключения к МО задатчика Зд3 давления $П_з$ (при включенном положении тумблера);

• α_3 – "Контроль П" – для подключения к МО выходного сигнала П БТ (при включенном положении тумблера); при выключенном положении тумблеров α_1 и α_2 по МО контролируется давление задания дозы $p_{з.д}$;

• α_4 – "Давление в РР" – для формирования команд на включение в работу регулятора РД давления П и подачу в РР давления p_{1-1} через реле Р4, а также на подачу давлений питания на кнопку Кн и на вторые каскады двухкаскадных усилителей У1 и У3;

ручные пневматические задатчики:

• Зд1 – "1,0" – опорного давления (0,1 МПа) в схеме ВУ;

• Зд2 – "Доза" – давления задания дозы $p_{з.д}$ (времени дозирования);

• Зд3 – "Давление в РР" – давления $П_з$.

Командный узел (КУ) предназначен для формирования команды на включение клапана К на время дозирования КС по командному сигналу $Z = 0$ и содержит триггер Тр с раздельными входами с предвключенными элементами на взводящем входе триггера – усилителем У1 и постоянным дросселем д1 в цепи питания кнопки Кн и логические элементы "Или" (1) и "Не" (инверсный усилитель У2).

Временно́е устройство (ВУ) служит для задания и отсчета времени дозирования и вырабатывает сигнал $Z_{сб} = 1$ сброса на "0" триггера Тр по окончании времени дозирования. Временное устройство содержит регулируемый дроссель Др для грубой настройки диапазона дозирования, трехмембранный элемент сравнения ЭС1 с пороговым усилителем У3 для формирования сигнала $Z_{сб}$ и реле Р1, служащее для подключения выходного канала дросселя Др к заглушке на операции "Дозирование" и стравливания воздуха за дросселем в атмосферу по окончании дозирования.

***Узел контроля параметров* (*УК*)** реализован на реле Р2 и Р3 и служит для контроля по МО настроечных параметров САД – давлений $П_з$ (при включенном положении тумблера α_2), П (при включенном положении тумблера α_3) и $p_{з.д}$ (при выключенных положениях тумблеров α_2 и α_3).

Регулятор давления (РД) обеспечивает автоматическое поддержание заданной постоянной величины $П_з$ давления $П = p_1 + \gamma H_1$ на входе в ПТ, обеспечивая постоянство величины расхода жидкости в ЛТ при открытом положении клапана К и создавая, тем самым, возможность отмеривания дозы по времени. Регулятор давления содержит:

– *пятимембранный элемент сравнения* ЭС2, выполняющий функцию пропорционального регулирования давления П, с дросселем д2 на входе в его положительные камеры и с дросселем д3 в цепи питания БТ, подключенным ко входам в его отрицательные камеры;

– *усилитель мощности* УМ на выходе элемента сравнения, подключенный к реле-коммутатору Р4 давления p_{1-1}, подаваемого в РР.

Питание пневмоэлементов УУ производится давлением 0,14 МПа от пневмосети (компрессора) с давлением 0,4...0,6 МПа через понижающий стабилизатор давления и раздаточный коллектор.

Работа САД осуществляется в следующей последовательности:

1) производят пополнение РР подготовленным к работе КС, подключение технологических элементов ДУ к УУ и подачу на него пневмопитания;

2) задатчиком Зд3 при включенном положении тумблера α_2 и выключенном положении тумблера α_3 настраивают давление $П_з$, величину которого, варьируемую в пределах 0,02...0,07 МПа, контролируют по шкале МО и подбирают экспериментальным путем в зависимости от вязкости КС;

3) задатчиком Зд2 настраивают давления задания дозы $p_{з.д}$ на требуемую величину времени дозирования, которое определяется экспериментальным путем и зависит от вязкости КС и заданной величины дозы;

4) тумблером α_4 включают в работу РД и подают давление в РР;

5) набор давления в РР контролируют по МО при включенном положении тумблера α_3. По окончании процесса набора давления (при $П = П_з$) посредством включения тумблера α_1 заполняют гидрокоммуникации (производят "проливку") ЛТ дозируемым составом до полного удаления из нее пузырей воздуха;

6) дозирование жидкости ведут по команде оператора от кнопки Кн;

7) выключают систему из работы тумблером α_3.

Метод стабилизации полного давления на входе в ЛТ с помощью ИП барботажного типа наиболее эффективен для дозирования КС малой и средней вязкости. Использование данного метода для транспортирования и дозирования высоковязких составов неприемлемо, так как в этом случае составы насыщаются мелкими пузырьками воздуха в процессе барботажа, что может приводить к потере качества КС. Поэтому была разработана схема построения САД с ИП манометрического типа с измерительной трубкой, исключающая наличие газовой фазы в дозируемом КС.

Принципиальная схема САД с ИП манометрического типа показана на рис. 2.

В отличие от состава оборудования ДУ системы, показанного на рис. 1, ДУ САД на рис. 2 содержит измерительную трубку ИТ (вместо БТ на рис. 1), в которую воздух не подается, а также запорные вентили В1 – для стравливания воздуха из РР и В2 – для коммутации УУ с ИТ.

В отсутствие избыточного давления p_1 в РР газовая полость ИТ через нормально открытый пневмоклапан Кл (в составе УУ) сообщается с атмосферой, и ИТ заполняется дозируемым КС до уровня H_0 – начального уровня наполнения РР.

При подаче давления p_1 в РР клапан Кл закрывается, и газовая полость ИТ герметизируется. Под действием давления p_1 при закрытом положении клапана дозирования *К* на линии транспортирования КС на позицию сборки, повышается ее уровень в ИТ и, соответственно, – избыточное давление p в ее газовой полости. При $p_1 = \text{const}$ и по окончании переходного процесса изменения давлений p_1 и p (в установившемся режиме) имеет место равенство:

$$П = p + \gamma [(p H_т + P_а H_0) / (p + P_а)],$$

где γ – плотность КС;

$H_т$ – высота ИТ;

$P_а$ – атмосферное давление;

H_0 – начальный уровень жидкости в РР, имеющий место до подачи в него давления p_1.

Анализ этого равенства показывает, что если в процессе истечения жидкости из РР поддерживать с помощью регулятора постоянным давление p в ИТ ($p = p_з = \text{const}$, где $p_з$ – заданное значение избыточного давления в газовой полости ИТ), а также производить очередное пополнение РР до посто-

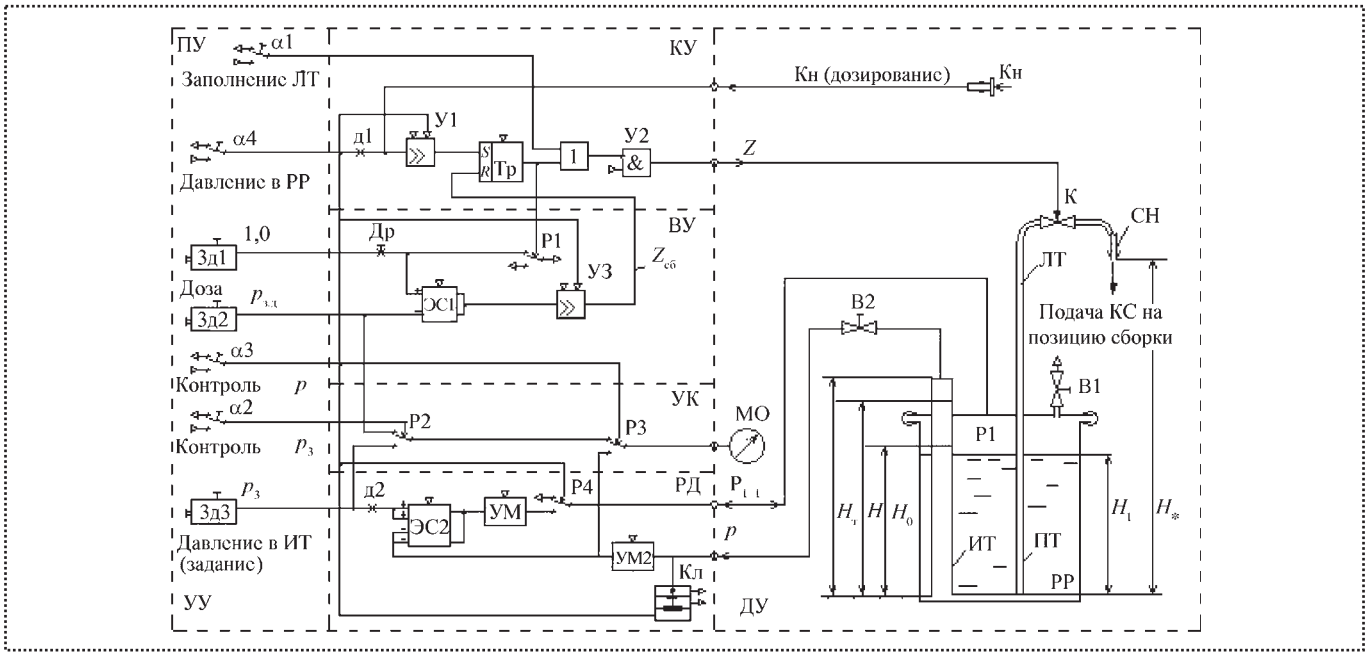

Рис. 2. Принципиальная схема САД с ИП манометрического типа

Таблица 2

Спецификация пневмоэлементов УУ на рис. 2

Обозначения на схеме	Наименование и тип элемента	Число, шт.
ЭС1	Элемент сравнения трехмембранный П2ЭС.1	1
ЭС2	Элемент сравнения пятимембранный П2ЭС.3	1
Зд1–Зд3	Задатчик мощный П23д4	3
УМ1, УМ2	Усилитель мощности П2П.7	2
д1–д3	Дроссель постоянный П2Д.4-2	3
Др	Дроссель регулируемый П2Д.2м	1
Кл	Клапан ПЗК.1	1
У1, У3	Усилитель давления и мощности П-1194	2
У2	Инверсный усилитель мощности П-1196	1
1	Клапан "Или" ПЗК.5	1
Р1–Р4	Реле РУП-1м	4
Тр	Ячейка памяти (триггер) ЯПП-1	1
α_1–α_4	Пневмотумблер П1Т.2	4

янного начального уровня ($H_0 = \text{const}$), то полное давление П также будет постоянным:

$$\text{П} = p_\text{з} + \gamma\,[(p_\text{з} H_\text{т} + P_\text{а} H_0)/(p_\text{з} + P_\text{а})] = \text{const}\,.$$

При $\text{П} = \text{const}$ и постоянных значениях плотности γ КС, а также высоты истечения H_* рассматриваемое течение будет установившимся с постоянным объемным расходом в линии транспортирования КС на позицию сборки.

Устройство управления (рис. 2) содержит пульт управления (ПУ), командный узел (КУ), временно́е устройство (ВУ), регулятор давления (РД) и узел контроля (УК) параметров. Спецификация используемых в УУ пневмоэлементов УСЭППА приведена в табл. 2.

Устройство управления САД с ИТ обеспечивает выполнение тех же функций, что и УУ САД с БТ и, как видно из рис. 2, мало отличается от последнего по составу и назначению функциональных узлов и пневмоаппаратуры управления. Это отличие заключается в наличии дополнительных элементов в регуляторе давления (РД) – клапана Кл и усилителя мощности УМ2.

При подготовке САД к работе в режиме дозирования производятся пополнение РР до заданного постоянного для каждого рабочего цикла уровня ($H_0 = \text{const}$), настройка давлений $p_\text{з}$ (задатчиком Зд3) и $p_\text{з.д}$ (задатчиком Зд2). Далее при открытом

положении вентиля В2 и закрытом положении вентиля В1 тумблером α_4 включают в работу РД и производится герметизация ИТ. По окончании переходного процесса набора давления (при $p = p_з$) посредством включения тумблера α_1 заполняют гидрокоммуникации (производят "проливку") ЛТ дозируемым КС. Для выключения системы из работы следует закрыть вентиль В2, открыть вентиль В1, и после стравливания воздуха из РР – выключить тумблер α_4.

Рассмотренные схемы САД с транспортированием КС из замкнутого расходного резервуара имеют следующие недостатки: ограниченное время работы в режиме непрерывного дозирования и необходимость пополнения резервуара и его промывки при выработке дозируемого продукта, что ведет к снижению производительности сборочных операций. Поэтому данные схемы можно рекомендовать для работы в диапазоне малых доз и расходов КС (практически до 500 мл – при порционном дозировании и до 25 л/ч – при непрерывном дозировании). В связи с этим представляет интерес рассматриваемая далее схема транспортирования и дозирования КС из расходного бака открытого типа, которая реализуется с помощью насосной подачи жидкости.

Принципиальная схема пневмоэлектронной САД с подачей КС из открытого расходного бака и контролем отмеривания дозы по времени истечения КС из дозировочной емкости показана на рис. 3.

Дозирующее устройство данной САД содержит:

- расходный бак (РБ) открытого типа с дозируемым составом;
- пневматический мембранный насос с пневмоклапаном К1 (шаровой вентиль с двухсторонним пневмоприводом), установленный на линиях транспортирования КС из РБ в дозировочную емкость (ДЕ);
- пневмоклапан К2 (того же типа);
- образцовый манометр (МО).

Пневмопитание насоса осуществляется от пневмосети через стабилизатор давления СД с контрольным манометром и запорный шаровой вентиль (В).

Принцип действия САД основан на автоматической стабилизации давления p в замкнутой газовой полости ДЕ на заданном постоянном уровне $p_з = \text{const}$. При $p = p_з$ обеспечивается постоянство расхода КС на выходе ДУ при открытом положении клапана К2. Подача КС на позицию сборки с постоянным расходом реализуется при работе САД в режиме непрерывного дозирования. При порционном дозировании клапан К2 открывается на заданное время, настраиваемое электронным таймером в составе УУ.

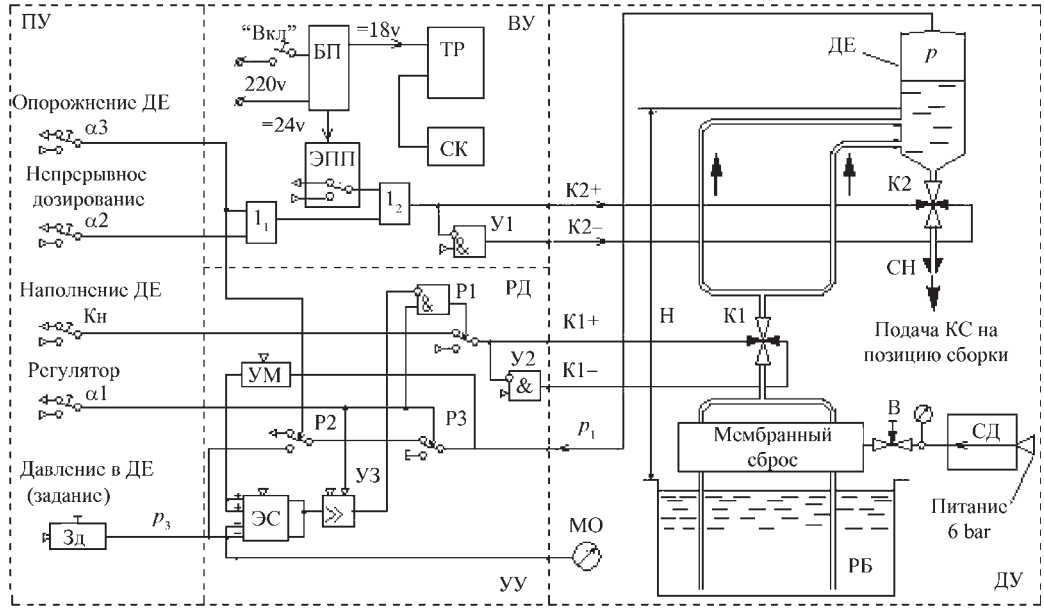

Рис. 3. Принципиальная схема САД с подачей КС из открытого РБ

Устройство управления содержит пульт управления (ПУ), пневматический двухпозиционный регулятор давления p (РД) и пневмоэлектронное временно́е устройство (ВУ).

Питание пневмоэлементов УУ производится давлением 0,14 МПа от пневмосети (компрессора) с давлением 0,4...0,6 МПа (6 bar) через понижающий стабилизатор давления и раздаточный коллектор. Связи между УУ и технологическими элементами ДУ осуществляются через штуцеры внешних соединений.

***Пульт управления* (*ПУ*)** содержит:

– *задатчик* Зд *давления p* в ДЕ;

– *пневмокнопку* Кн "Наполнение ДЕ" – для наполнения ДЕ до фиксированного начального уровня Н (при подготовке САД к работе в режиме дозирования);

– *пневмотумблеры* α_1–α_3:

• α_1 – "Регулятор" – для включения в работу регулятора давления p в ДЕ;

• α_2 – "Непрерывное дозирование" – для реализации режима непрерывного дозирования;

• α_3 – "Опорожнение ДЕ" – для удаления из ДЕ клеевого состава по окончании цикла сборочных операций.

***Регулятор давления* (*РД*)** обеспечивает автоматическое поддержание заданной постоянной величины $p_з$ давления p в ДЕ, обеспечивая постоянство величины расхода жидкости на выходе ДУ (клапана К2 при его открытом положении) и содержит:

– *пятимембранный элемент сравнения* ЭС, который совместно с усилителем У3 выполняет функции собственно двухпозиционного регулятора давления p, поддерживая его на заданном постоянном уровне ($p = p_з = \text{const}$) во время дозирования посредством двухпозиционного регулирования подачи КС в ДЕ через клапан К1;

– *универсальное пневмореле* Р1 с усилителем У2, переключающие клапан К1 в открытое или закрытое положения в процессе двухпозиционного регулирования давления p;

– *усилитель мощности* УМ для обеспечения возможности контроля по МО давления p при отладке системы без изменения объема газовой полости ДЕ;

– *реле-коммутатор* Р2 для сообщения ДЕ с атмосферой (в исходном состоянии УУ) или с выходом задатчика Зд – для реализации операции опорожнения ДЕ;

– *реле-коммутатор* Р3 для герметизации газовой полости ДЕ во время дозирования.

***Пневмоэлектронное временное устройство* (*ВУ*)** вырабатывает командные сигналы $К2+ = 1$, $К2- = 0$ на включение клапана К2 на время порционного дозирования.

Для его реализации использована электронная аппаратура фирмы STS Electronics (Болгария) [5]. Временное устройство включает:

– *таймер* (ТР) типа STS102-04FA с цифровой индикацией;

– *блок питания* (БП) типа STS312;

– *выносную сенсорную пусковую кнопку* (СК) – емкостной датчик типа СД18N1D2L/B;

– *электропневмопреобразователь* (ЭПП);

– *инверсный усилитель давления* У1.

Время дозирования задается в пределах 0...99,99 с с разрешающей способностью 0,01 с. Дозирование начинается при касании сенсорной кнопки СК. Окончание дозирования происходит через заданный интервал времени.

В состав ВУ входят также логические пневмоэлементы "Или" – 1_1 и 1_2 – для переключения клапана К2 в открытое положение на операции опорожнения ДЕ и при работе САД в режиме непрерывного дозирования.

Спецификация пневмоэлементов, используемых для реализации УУ приведена в табл. 3.

Система автоматизированного дозирования работает следующим образом.

В исходном состоянии УУ (при подаче давления питания на пневмоэлементы) клапаны К1 и К2 закрыты, а ДЕ сообщается с атмосферой через реле Р3 и Р2 ($p = 0$).

Цикл работы САД состоит из операций подготовки системы к работе в режиме дозирования (наполнения ДЕ до заданного значения давления p), непрерывного или порционного дозирования и опорожнения ДЕ по окончании работы.

Наполнение ДЕ проходит в две стадии последовательным включением кнопки Кн и тумблера α_1. При подаче давления питания на насос от стабилизатора СД и вентиль В и нажатии на кнопку Кн открывается клапан К1, и производится наполнение ДЕ клеевым составом. Кнопка Кн удерживает клапан К1 в открытом положении до момента достижения уровнем КС в ДЕ заданной фиксированной высоты H, отмеченной меткой на емкости. Это по-

Таблица 3

Спецификация пневмоэлементов УУ на рис. 3

Обозначение на схеме	Наименование и тип элемента	Число, шт.
ЭС	Элемент сравнения пятимембранный П2ЭС.3	1
Зд	Задатчик мощный П23д.4	1
УМ	Усилитель мощности П2П.7	1
У1, У2	Инверсный усилитель давления П-1196	2
У3	Усилитель давления и мощности П-1194	1
Р1–Р3	Реле РУП-1м	3
1_1–1_2	Клапан "Или" П3К.5	2
Кн	Пневмокнопка П1Кн.3	1
α_1–α_3	Пневмотумблер П1Т.2	3
ЭПП	Электропреобразователь П1ПР.5	1

ложение уровня должно быть выше положения входных штуцеров емкости.

По окончании наполнения ДЕ до уровня H тумблером α_1 включают в работу регулятор РД. При этом газовая полость ДЕ герметизируется (подключается к заглушке через реле Р3), вновь открывается клапан К1, и по достижении в ДЕ заданного давления $p_з$, настраиваемого задатчиком Зд по манометру МО (при $p = p_з$), клапан К1 закрывается, и САД готова к работе в режиме дозирования.

При непрерывном дозировании тумблером α_2 открывают клапан К2, и при включенном положении тумблера α_1 регулятор РД поддерживает давление p в ДЕ на заданном постоянном уровне $p_з$, определяющем производительность ДУ. Прекращение дозирования реализуется посредством выключения тумблера α_2.

При порционном дозировании клапан К2 открывается на заданное время при подаче команды оператора от сенсорной кнопки СК. Время дозирования устанавливают на цифровом табло таймера и регламентируют дозу КС, подаваемую на позицию сборки.

Рассмотренную схему дозирования целесообразно использовать для гомогенных КС средней и повышенной вязкости в достаточно большом диапазоне изменения их доз и расходов. Для дозирования гетерогенных составов, содержащих взвеси, предлагается рассматриваемая далее схема САД с безарматурным ДУ, не содержащим гидрозапорную арматуру в линии транспортирования КС на позицию сборки.

Принцип дозирования с контролем отмеривания дозы по давлению сжатого воздуха в промежуточной (дозировочной) емкости заключается в организации подачи дозируемого КС из замкнутого расходного резервуара (РР) под давлением в дозировочную емкость (ДЕ) с одновременным истечением КС на позицию сборки [6]. При наполнении ДЕ дозируемым составом повышается избыточное давления p в ее газовой полости, представляющей собой глухую пневматическую камеру.

Процесс непрерывного дозирования осуществляется посредством наполнения ДЕ до заданной величины давления p и его последующей автоматической стабилизации на заданном постоянном уровне $p = p_з = \text{const}$ в течение требуемого времени истечения состава на позицию сборки с постоянным расходом, определяющим производительность ДУ.

По окончании времени дозирования оператор переключает УУ дозированием в исходное состояние, при котором производится продувка ДЕ и ее сливного насадка сжатым воздухом.

Процесс порционного дозирования осуществляется посредством плавного увеличения давления p от 0 до заданного значения $p_з$ (при порционном дозировании $p_з$ – это давление задания дозы) по одинаковому для каждого цикла порционного дозирования экспоненциальному закону и отсекания дозы путем переключения УУ в исходное состояние.

Принципиальная схема безарматурной САД, реализующей указанные алгоритмы управления дозированием, показана на рис. 4.

Система автоматизированного дозирования содержит безарматурное ДУ и пневматическое УУ дозированием.

В состав ДУ входят: герметичный РР, оборудованный нормально открытыми двухпозиционными пережимными пневмоклапанами К1 для подачи сжатого воздуха и К2 для быстрого стравливания воздуха; линия транспортирования КС (ЛТ); ДЕ с входным патрубком и сливным насадком, установленным на высоте истечения H_*; пусковая сен-

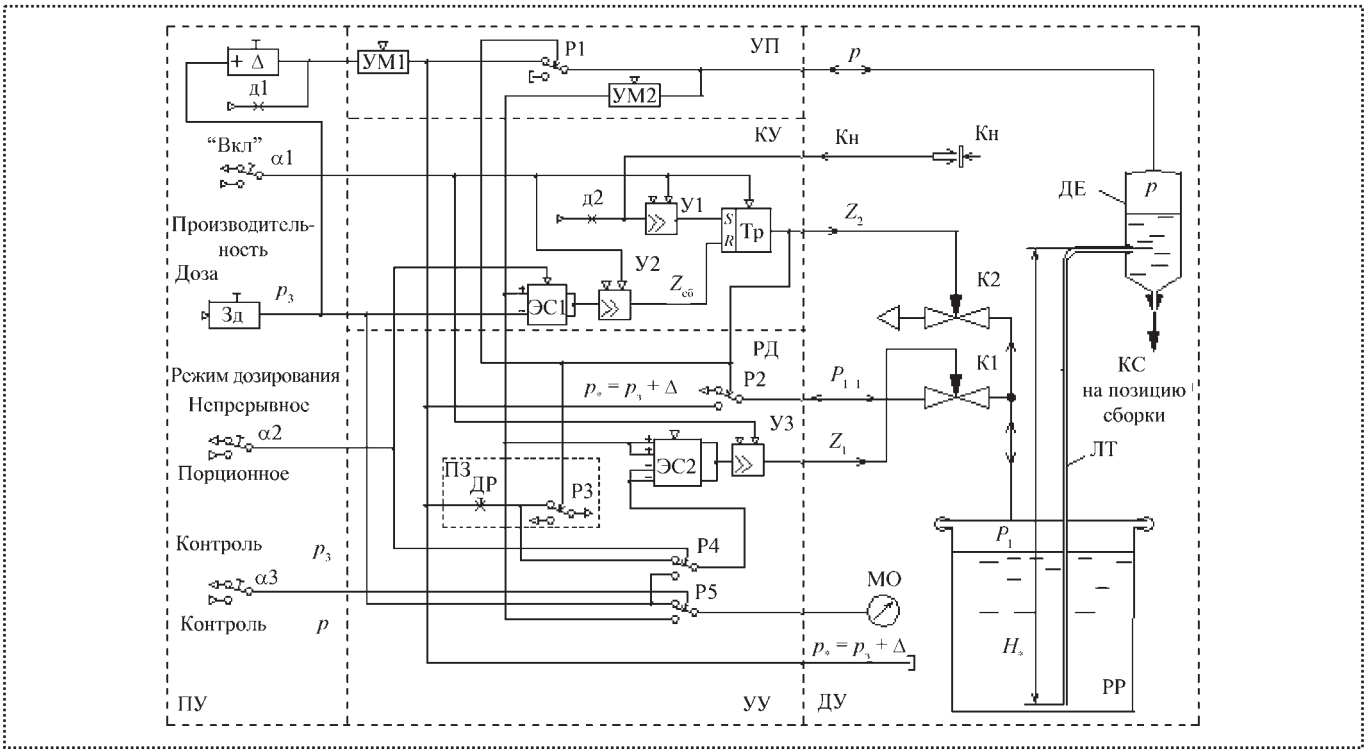

Рис. 4. Принципиальная схема безарматурной САД с контролем отмеривания дозы по давлению сжатого воздуха в ДЕ

Таблица 4

Спецификация пневмоэлементов УУ на рис. 4

Обозначение на схеме	Наименование и тип элемента	Число, шт.
ЭС1	Элемент сравнения трехмембранный П2ЭС.1	1
ЭС2	Элемент сравнения пятимембранный П2ЭС.3	1
Зд	Задатчик мощный П23д.4	1
+Δ	Повторитель давления со сдвигом П2П.2	1
УМ1, УМ2	Усилитель мощности П2П.7	2
д1, д2	Дроссель постоянный П2Д.4-2	2
Др	Дроссель регулируемый П2Д.2м	1
У1–У3	Усилитель давления и мощности П-1194	2
Р1–Р5	Реле РУП-1м	5
Тр	Ячейка памяти (триггер) ЯПП-1	1
α_1–α_3	Пневмотумблер П1Т.2	3

сорная пневмокнопка Кн и образцовый манометр (МО).

Устройство управления состоит из пульта управления (ПУ), узла продувки (УП), командного узла (КУ) и регулятора давления (РД). Спецификация используемых в УУ пневмоэлементов приведена в табл. 4.

***Пульт управления* (*ПУ*)** содержит следующие органы управления и контроля:

– *пневмотумблеры*:

• α_1 – "Вкл" – для подачи давлений питания на вторые каскады двухкаскадных усилителей У1–У3 и триггер Тр;

• α_2 – "Режим дозирования" – для выбора режима дозирования (непрерывного или порционного);

• α_3 – "Контроль $p_з$" или "Контроль p" – для выбора контролируемых по МО параметров: $p_з$ или p;

– *задатчик* Зд "Производительность/Доза" – для настройки по МО заданной величины ($p_з$) давления в ДЕ (при непрерывном дозировании давление $p_з$ регламентирует расход КС на выходе ДУ; при порционном дозировании давление $p_з$ регламентирует объем КС, подаваемый на позицию сборки за один цикл дозирования);

– *повторитель давления* со сдвигом +Δ с дросселем д1 в цепи питания повторителя.

***Узел продувки* (*УП*)** содержит усилители мощности УМ1 и УМ2, а также реле Р1 и производит коммутацию газовой полости ДЕ с заглушкой на реле Р1 на операции дозирования или с источником сжатого воздуха (усилителем мощности УМ1) в исходном состоянии УУ.

***Командный узел* (*КУ*)** предназначен для формирования командных сигналов на переход УУ из исходного состояния на операцию дозирования и обратный переход по окончании дозирования.

Командный узел содержит триггер Тр с раздельными входами с предвключенными на его взводящем входе усилителем У1 и дросселем д2 в цепи питания сенсорной пусковой кнопки Кн и трехмембранный элемент сравнения ЭС1 с усилителем У2 – на сбрасывающем входе.

***Регулятор давления* (*РД*)** обеспечивает стабилизацию на заданном постоянном уровне давления p в ДЕ ($p = p_з = \text{const}$) при непрерывном дозировании, а также плавное повышение давления p в ДЕ от 0 до давления задания дозы $p_з$ и отсекания дозы при $p = p_з$ путем переключения УУ в исходное состояние (на операцию продувки ДЕ) – при порционном дозировании.

Регулятор давления содержит:

– *пятимембранный элемент сравнения* ЭС2 *с усилителем* У3, выполняющие функцию двухпозиционного программного регулирования давления p;

– *программный задатчик* (ПЗ) *давления* p – регулируемый дроссель Др с реле-коммутатором Р3;

– *реле-коммутатор* Р2 давления $p_* = p_з + \Delta$, формируемого на выходе усилителя УМ1, со входом клапана К1;

– *реле-коммутатор* Р4 отрицательных входов элемента сравнения ЭС2 с задатчиком Зд – при непрерывном дозировании или с выходом ПЗ – при порционном дозировании;

– *реле-коммутатор* Р5 для контроля по МО давлений $p_з$ или p (по выбору оператора).

Давления сдвига + Δ настраивают на уровне $\Delta > \gamma H_*$ (где γ – плотность КС) и контролируют посредством подключения МО к штуцеру "$p_* = p_з + \Delta$" внешних соединений УУ.

Работает САД следующим образом.

В исходном состоянии УУ (перед началом очередного цикла непрерывного или порционного дозирования) РР через клапан К1 и реле Р2 и клапан К2 сообщается с атмосферой (избыточное давление p_1 в РР равно нулю), и производится продувка ДЕ и ее сливного насадка поступающим от усилителя УМ1 узла продувки сжатым воздухом.

Цикл непрерывного или порционного дозирования реализуется при включенном положении тумблера α_1 "Вкл" и соответствующем положении тумблера α_2 "Режим дозирования" посредством подачи команды оператора от пусковой кнопки Кн.

При касании кнопки взводится триггер Тр, закрывается клапан К2, газовая полость ДЕ подключается к заглушке на реле Р1, переключается реле Р2, и в РР через клапан К1 от усилителя УМ1 поступает сжатый воздух, вызывая подачу дозируемого КС в ДЕ под давлением $p_* = p_з + \Delta$.

При непрерывном дозировании, ввиду наличия в схеме РД реле-коммутатора Р4, на вход "Задание" РД (в отрицательные камеры элемента сравнения ЭС2) от задатчика Зд поступает давление $p_з = \text{const}$, в результате чего давление p в ДЕ повышается до указанного значения ($p = p_з$). Далее давление p автоматически поддерживается на постоянном уровне ($p = p_з = \text{const}$) посредством двухпозиционного регулирования подачи КС в ДЕ через клапан К1.

Прекращение дозирования реализуется посредством выключения тумблера α_1. При этом триггер Тр сбрасывается на "0" и УУ переходит в исходное состояние: сжатый воздух из РР быстро стравливается в атмосферу через открытые клапаны К1 и К2, и включается продувка ДЕ от усилителя УМ1 через реле Р1.

При порционном дозировании на вход "Задание" РД подается плавно нарастающее по экспоненциальному закону давление $p_з$ от программного задатчика ПЗ, в результате чего давление p в ДЕ повышается до заданного значения. При $p = p_з$ срабатывают элемент сравнения ЭС1 и усилитель мощности У1, на выходе которого формируется сигнал сброса на "0" ($Z_{сб} = 1$) триггера Тр. Выключение триггера вызывает переход УУ в исходное состояние.

Заключение

Достоинством предложенных в статье систем является их универсальность по отношению к операциям непрерывного и порционного дозирования. Это означает, что одну и ту же САД можно использовать как устройство непрерывного или порционного дозирования.

Выбор той или иной из представленных типовых схем построения САД зависит от многих дополнительных факторов:

• *технологического регламента процесса сборки (габаритов и конфигурации изделия, места клеевой*

сборки в технологическом процессе, типа производства, возможности применения конвейерной линии и пр.);

- *требуемой производительности;*
- *диапазона дозирования;*
- *физико-химических свойств КС, в частности, вязкости, плотности, условий полимеризации.*

Представленные в статье схемы построения САД для жидких термореактивных КС могут использоваться и при работе с пастообразными и термопластичными КС. При этом представленные принципиальные схемы типовых САД должны быть дополнены системами нагрева, стабилизации и контроля температуры КС, которые известны в технике автоматизации аналогичных процессов и не представляют новизну для данной публикации.

В следующей статье будут даны рекомендации по выбору принципиальной схемы построения типовой САД (из числа рассмотренных) с учетом условий отверждения (полимеризации) КС.

Библиографический список

1. **Игнатов А.В.** Применение клеев при сборке изделий в машиностроении. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 43 с.

2. **Безменов В.С., Игнатов А.В.** Принципы построения автоматизированных дозирующих устройств для нанесения клеевых композиций в процессах сборки в машиностроении // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 11. С. 33–43.

3. **Безменов В.С., Игнатов А.В.** Автоматизация сборки клеевых соединений в машиностроении с высоковязкими и пастообразными клеевыми композициями // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 1. С. 33–39.

4. **Государственная** система промышленных приборов и средств автоматизации ГСП. Универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики УСЭППА. Каталог. Т. 5. 1975. Вып. 1. 44 с.

5. URL: http: // gmstar.ru/moscow/1-96553-sts-elektroniks.html.

6. **Безменов В.С.** Способ дозирования жидкостей и устройство для его осуществления. Авт. свид. СССР № 1435945. Бюлл. изобр. 1988. № 41. С. 119.

УДК 658.527.011

А.А. Иванов, *д-р техн. наук (Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева)*
E-mail: ivanov_aa@nntu.nnov.ru

Магнитные системы кассетирования и сборки

Показаны примеры применения магнитных производственных систем для бесконтактного манипулирования легко деформируемыми заготовками и деталями из ферромагнитных материалов. Кроме неповреждаемости объектов, эти методы позволяют реализовать принцип групповой сборки и кассетирования, благодаря чему производительность производственных систем повышается в несколько раз.

The examples of successful employment of magnetic production systems for contactless manipulation of lightly deformed stocks and details from ferromagnetic materials are shown. These methods permit to realize the principle of group assembly and cassette laying. Besides they protect these objects from damaging. Consequently the productivity of production systems is considerably increased.

Ключевые слова: магнитная производственная система, бесконтактное взаимодействие, групповая сборка.

Keywords: magnetic production systems, contactless interaction, group assembly.

В случае бесконтактного манипулирования к объекту прикладываются силы, возникающие в процессе взаимодействия его с полем. Для целей бесконтактного манипулирования используют электрические и магнитные поля: постоянное, переменное, пульсирующее и их комбинации.

Магнитные системы применяют для манипулирования заготовками и деталями из ферромагнитных материалов. Их строят в основном по двум схемам: с размещением объекта внутри соленоидной катушки и в межполюсной зоне С-образного магнита. Магнитное поле успешно применяют для перемещения и фиксации деталей при сборке, например, в установке магнитной сборки опор качения на игольчатых подшипниках [1, 2].

Равновесное положение объекта, размещенного в магнитном поле без опоры, представляет большой практический интерес, так как может быть использовано для упорядоченного хранения легко повреждаемых деталей в магнитном накопителе. Применительно к технологической задаче детали *2*, подаваемые сплошным потоком из вибробункера *1*, могут укладываться в горизонтальный или вертикальный накопитель, состоящий из емкости *3* и ориентирующих электромагнитов *4* (рис. 1).

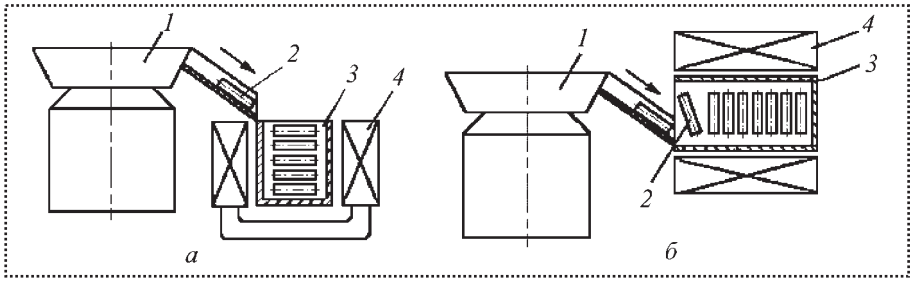

Рис. 1. Горизонтальный (*а*) и вертикальный (*б*) магнитные накопители деталей:
1 – вибробункер; *2* – деталь; *3* – емкость; *4* – ориентирующий электромагнит

В зависимости от типа накопителя поштучная выдача объектов может производиться горизонтальным или вертикальным роторными захватами (рис. 2). Горизонтальный роторный захват *2* предназначен для выдачи из магнитного накопителя *7* стержневых деталей *1* с гибкими элементами (рис. 2, *а*). Вдоль боковых раздвижных пластин *4* накопителя расположены катушки *3* ориентирующего электромагнита, а напротив захвата *2* – вращающийся кулачок *5*, который периодически раздвигает концы пластин *4*, создавая градиент напряженности поля, направленный в сторону захвата. При размещении пластин *4* под некоторым углом магнитное поле в зоне накопителя становится неоднородным, вследствие чего возникает сила, перемещающая детали к захвату. Пульсирующее магнитное поле, противодействующее слипанию деталей в зоне загрузки, создается магнитом *6*.

Разновидностью описанной системы является магнитный накопитель *8* для стержневых деталей *9* с вертикальным роторным захватом *10*, который имеет центральный электромагнит *11* с дисковыми полюсными наконечниками *12* (рис. 2, *б*). Полюса $N' - S'$ магнита *4* обращены к одноименным полюсам $N - S$ ориентирующей магнитной системы накопителя *1*, а на периферии захвата расположены гнезда по форме детали.

При использовании селективного захвата в магнитном накопителе допускается размещать детали, не прошедшие этап вторичной ориентации.

Пусть в вертикальный накопитель *1* из вибробункера поступают тонкие цилиндрические стержни *2*, один конец у которых расплющен в виде лопаточки (рис. 3, *а*). В накопителе стержни располагаются как лопаточкой вверх, так и вниз примерно с равной вероятностью. Конструкция шиберного захвата *4* должна обеспечивать выдачу из накопителя стержней, ориентированных лопаточкой вниз.

Селективный захват *4* содержит два полюсных наконечника *6* со специальными кромками для захвата стержней в нужном положении и катушки *7*, создающей постоянное магнитное поле одинаковой полярности с полем магнитной системы *3* накопителя (рис. 3, *б*).

Ось симметрии захвата смещена относительно оси симметрии магнитной системы *3* накопителя на величину *e*, а захват имеет выступ *8*, служащий для наклонного расположения неправильно ори-

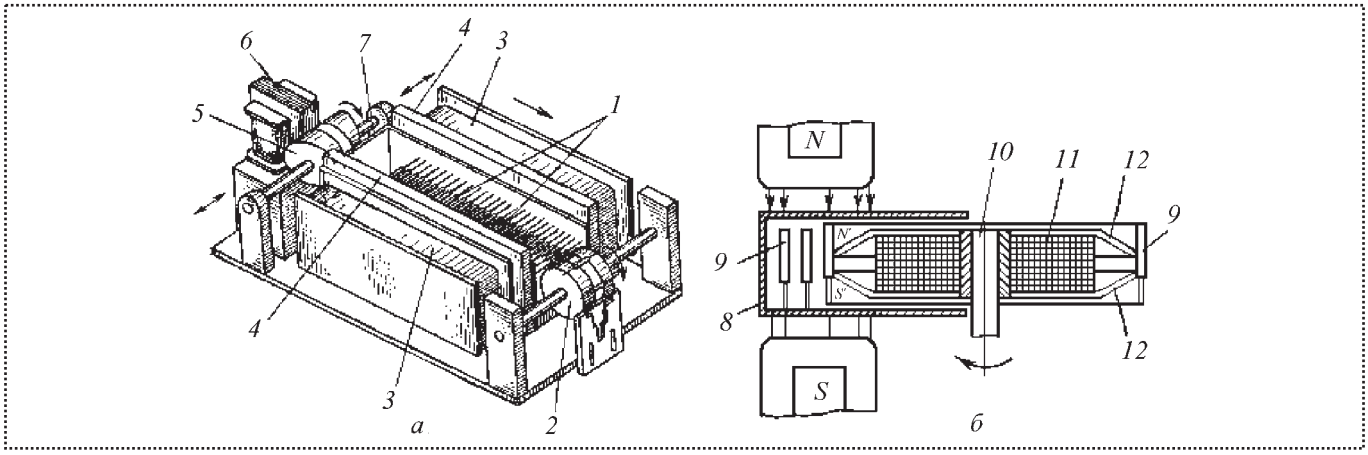

Рис. 2. Магнитные накопители с горизонтальным (*а*) и вертикальным (*б*) роторными захватами:
1 – стержневые детали; *2* – горизонтальный роторный захват; *3* – ориентирующие катушки; *4* – раздвижные пластины; *5* – вращающийся кулачок; *6* – магнит; *7*, *8* – магнитные накопители; *9* – стержневые детали; *10* – вертикальный роторный захват; *11* – центральный электромагнит; *12* – дисковый полюсный наконечник

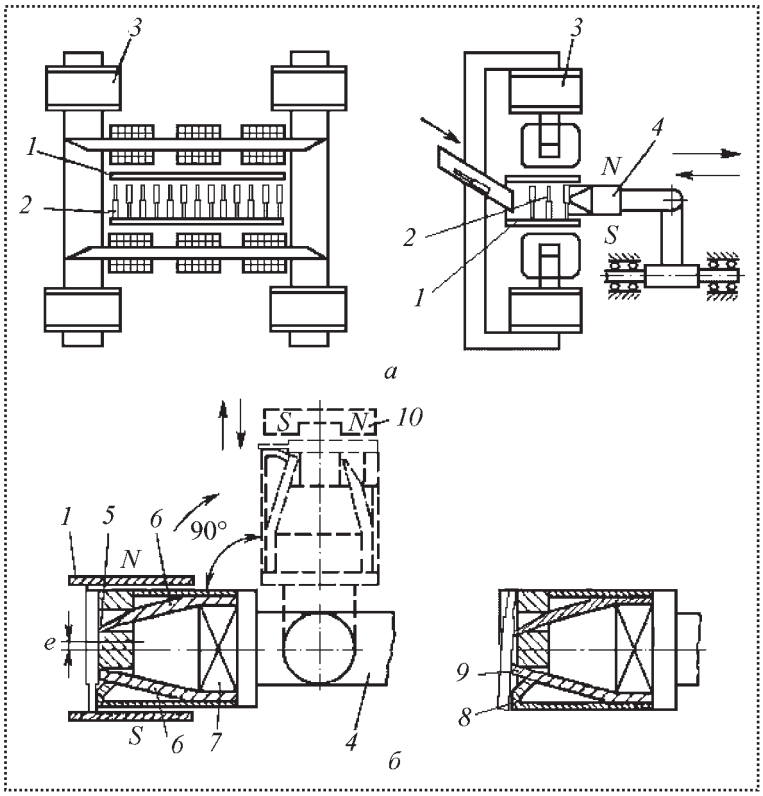

Рис. 3. Схема выдачи асимметричных стержней из магнитного накопителя с помощью шиберного захвата (*а*) и конструкция селективного захвата (*б*):
1 – вертикальный накопитель; *2* – стержни; *3* – магнитная система накопителя; *4* – шиберный захват; *5* – кромка; *6* – полюсные наконечники; *7* – катушка; *8* – выступ; *9* – торец; *10* – технологическая кассета

с сетчатым дном содержит вибробункер *1* с выходным радиусным лотком, приемную фальшкассету *2* из немагнитного материала с размещенным в верхней ее части фотодатчиком *3*, ориентирующую электромагнит *5* (рис. 4).

Фальшкассета *2* размещается между полюсами электромагнита *5*, установленного на качающемся рычаге, верхнее положение которого фиксируется рукояткой (на рис. 4 электромагнит *5* находится в опущенном положении). При заполнении фальшкассеты трубками по сигналу фотодатчика *3* отключается вибробункер *1* и подача деталей прекращается. Оператор поворотом фиксирующей рукоятки опускает рычаг с электромагнитом *5* постоянного тока в крайнее нижнее положение и специальным толкателем перегружает трубки *4* из фальшкассеты в технологическую кассету *6* с сетчатым дном. Плотная укладка трубок достигается при прочих условиях за счет специальных вырезов в сердечниках электромагнита. Производительность системы составляет около 10^5 шт./ч, что почти в 30 раз быстрее ручной укладки.

Другая магнитная система (рис. 5) предназначена для укладки с определенным шагом в гнезда однорядной кассеты *10* профилированного стержня. Кромка *5* верхнего полюсного наконечника *6* выполнена зауженной, а торец *9* нижнего полюсного наконечника срезан в направлении наклона стержня *2*.

После выдачи стержня из накопителя захват можно повернуть на 90° в вертикальной плоскости так, чтобы стержень расположился горизонтально для удобства загрузки его в технологическую кассету *10*. Конструкция приведенного захвата достаточно легко может быть изменена под задачу групповой выдачи стержневых деталей из накопителя.

В производстве на операциях обработки и сборки широко применяют разнообразные технологические кассеты, в которые объекты укладываются вплотную и вразрядку с определенным шагом и схемой расположения гнезд. Рассмотрим примеры кассетирования объектов для обеих групп укладки.

Магнитная установка для плотной укладки тонкостенных никелевых трубок *4* в круглую кассету *6*

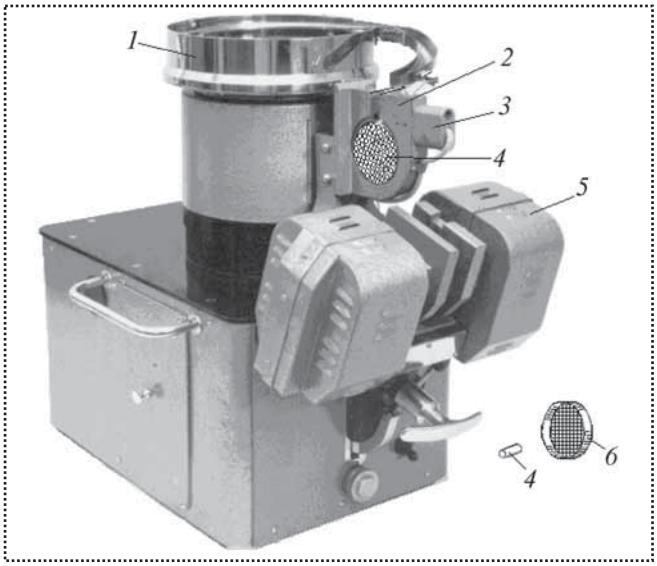

Рис. 4. Магнитная установка для плотной укладки тонкостенных никелевых трубок в круглую кассету с сетчатым дном:
1 – вибробункер; *2* – приемная фальшкассета; *3* – фотодатчик; *4* – трубка; *5* – электромагнит; *6* – кассета

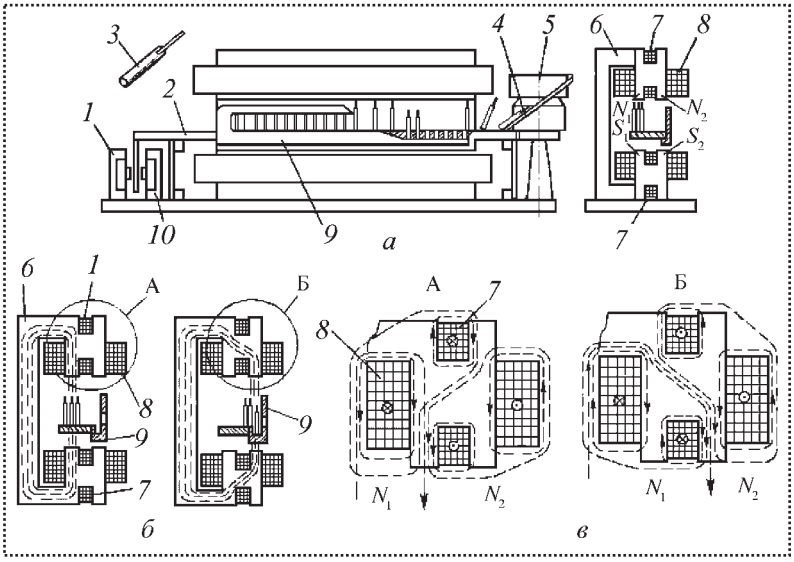

Рис. 5. Магнитная система для укладки в однорядную кассету с определенным шагом профилированных никелевых трубок с ленточным выводом:
а – общая схема; *б* – схемы размещения; *в* – схемы подключения намагничивающих и управляющих обмоток; *1*, *10* – вибраторы; *2* – вибротранспортер; *3* – трубка; *4* – наклонный лоток; *5* – вибробункер; *6* – магнитная система; *7*, *8* – катушки; *9* – кассета

ванных никелевых трубок *1* с гибким ленточным выводом (соединителем).

Трубки *3*, ориентированные выводом назад, поступают из вибробункера *5* по наклонному лотку *4* на вибротранспортер *2*, расположенный между полюсами магнитной системы *6* (рис. 5, *а*).

Так как в месте поступления деталей магнитное поле неоднородно, то ввиду наличия градиента напряженности поля трубки втягиваются в межполюсное пространство и ориентируются вдоль силовых линий, т.е. вертикально.

В соответствии с программой в определенной последовательности включаются вибраторы *1* и *10* с целью более равномерного распределения деталей на вибротранспортере. При этом трубки устанавливаются друг от друга на некотором расстоянии, так как между одинаково намагниченными концами деталей возникают отталкивающие силы.

С помощью катушек *7* и *8* осуществляется управление магнитным потоком в межполюсном пространстве магнитной системы *6*.

Катушки *8* образуют основной магнитный поток. Управляющие катушки *7*, обеспечивающие необходимое смещение магнитного потока, входят в пазы сердечника ориентирующих катушек *8*. При загрузке вибротранспортера управляющие катушки *7* включаются таким образом, что поле концентрируется между полюсами N_1 и S_1 наконечников и детали соответственно размещаются в зоне наибольшего магнитного потока (рис. 5, *б* и *в*).

Затем направление тока в управляющих катушках программно изменяется и за счет сдвига магнитного потока трубки перемещаются поперек вибротранспортера и устанавливаются между полюсами N_2 и S_2. За счет вибрации и силы тяжести трубки западают в гнезда кассеты *9*, закрепленной на вибротранспортере. После заполнения кассеты вновь изменяется направление тока в управляющих катушках и трубки, не запавшие в гнезда кассеты, перемещаются в исходное положение к полюсам N_1 и S_1.

Затем оператор снимает заполненную кассету, устанавливает новую и цикл повторяется. Заполненная кассета передается на последующие технологические операции (рис. 6).

Производительность автоматизированной магнитной системы составляет в среднем 8000 шт./ч для различных типоразмеров деталей. Это более чем в 5 раз превышает возможности ручной загрузки технологической кассеты. Кроме того, при ручной пинцетной укладке возможен брак по деформациям тонкостенных трубок. Применение описанной системы полностью исключает какую-либо деформацию деталей.

Заметим, что несмотря на определенную универсальность данной установки, она непригодна для кассетирования стержней сплошного сечения. Дело в том, что при западании сплошных стержней в гнезда кассеты с ними слипаются стержни, оставшиеся в накопителе. Слипание вызвано смещением стержней по высоте, а также тем, что характер

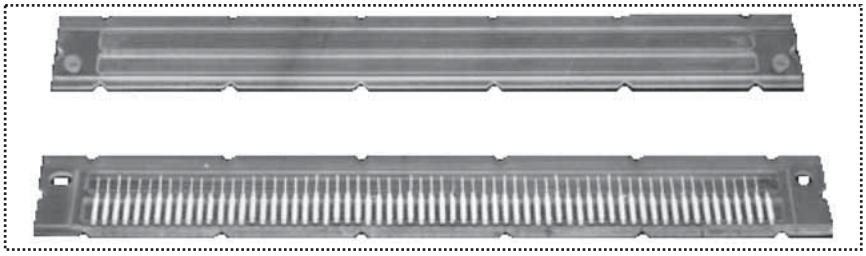

Рис. 6. Общий вид заполненной кассеты

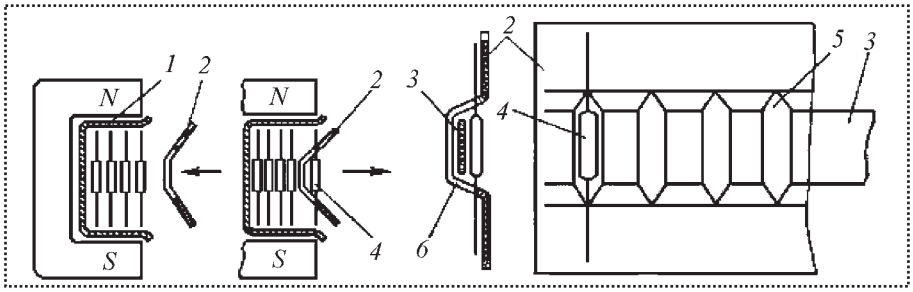

Рис. 7. Схема групповой упаковки полупроводниковых диодов с ферромагнитными контактными выводами в мерную картонную тару:
1 – накопитель; *2* – картонная полоса; *3* – картонный язычок; *4* – корпус диода; *5* – гнездо; *6* – зазор

намагниченности сплошных стержней иной, чем тонкостенных трубок.

Вертикальная магнитная система кассетирования стержневых асимметричных деталей может быть легко приспособлена для групповой упаковки деталей с гибкими ферромагнитными выводами (например, полупроводниковых диодов) в мерную картонную или пластмассовую тару.

Упаковочная тара представляет собой картонную полосу *2* специального профиля (рис. 7). Вдоль полосы в картоне с определенным шагом вырублены гнезда *5* под корпус диода *4*.

Уложенные в гнезда диоды опираются выводами в нижнюю поверхность полосы, а между корпусами диодов и верхней поверхностью картонной полосы образуется зазор *6*. В этот зазор вставляется картонный язычок *3*, удерживающий диоды от выпадания из окон. От продольного перемещения язычок удерживается за счет трения.

Магнитная установка упаковки состоит из вибробункера для первичной ориентации и поштучной выдачи диодов и вертикального магнитного накопителя. Внешний вид установки приведен на рис. 8.

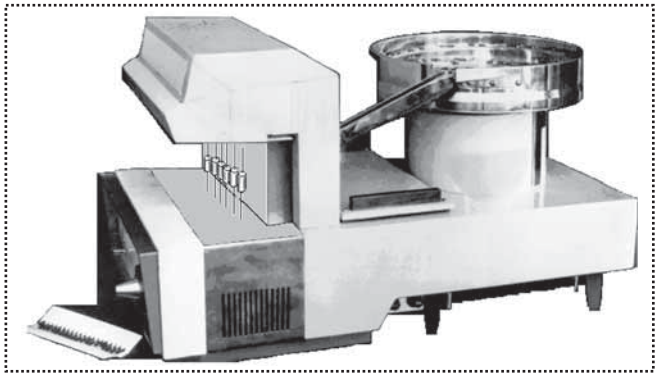

Рис. 8. Магнитная установка групповой упаковки диодов в мерную картонную тару

Оператор засыпает в вибробункер диоды, откуда они поступают в магнитный накопитель, где устанавливаются вертикально вдоль силовых линий поля. Магнитная система накопителя аналогична ранее описанной магнитной системе кассетирования. В накопителе размещается до 250 диодов. Емкость упаковочной тары составляет обычно 10...20 диодов. После накопления необходимого числа диодов фотодатчик, реагирующий на плотность заполнения накопителя, отключает вибробункер.

Оператор вводит картонную тару в межполюсное пространство накопителя, предварительно слегка согнув ее в продольном направлении для облегчения западания диодов в гнезда. За счет большого числа деталей в накопителе и достаточной напряженности магнитного поля диоды практически мгновенно заполняют все гнезда картонной тары. Затем оператор вставляет удерживающий язычок и вынимает упаковку из накопителя.

Таким образом, оператор избавлен от утомительного труда по раскладке деталей в гнезда упаковочной тары. Производительность упаковочной установки составляет более 400 упаковок в час при емкости тары 20 деталей.

Вывод

При бесконтактном силовом воздействии на объекты используют магнитные (стационарные и переменные) поля. Для определенной группы легко деформируемых объектов магнитное поле может обеспечить весьма эффективные технические решения при автоматизации самых различных процессов, например, ориентированного накопления и групповой выборки объектов из накопителя. Комбинация контактных и бесконтактных методов манипулирования оказывается плодотворной в большинстве случаев и особенно при автоматизации процессов групповой сборки и кассетирования объектов, трудоемкость которых составляет 35...55 % от трудоемкости технологической операции.

Библиографический список

1. **Иванов А.А.** Проектирование автоматизированных систем манипулирования объектами обработки и сборки. М.: Форум, 2012. 352 с.

2. **Иванов А.А.** Автоматизированные сборочные системы. Н. Новгород: НГТУ, 2007. 347 с.

УДК 621.981

А.В. Кочетков, *д-р техн. наук*
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет),
В.Б. Гнитько, *канд. техн. наук (ООО "Научно-технический центр технического регулирования"),*
И.Б. Челпанов, *д-р техн. наук, профессор (Санкт-Петербургский государственный политехнический университет)*
e-mail: soni.81@mail.ru

Объемное компьютерное моделирование конструкций технологических роботов для силовых операций гибки с растяжением

Предложены и проанализированы новые схемные и конструктивные решения манипуляторов роботов гибки с растяжением, эффективные в реальных условиях изменения в широких пределах размерно-механических параметров заготовок и шаблонов для многономенклатурного производства.

New circuit and constructive solutions of manipulators of robots are proposed and analysed changes in wide limits of dimensional and mechanical parameters of preparations and templates for multinomenclature production are flexible with stretching, effective in actual practice.

Ключевые слова: гибка с растяжением, авиастроение, деформирование, кривизна.

Keywords: flexible with stretching, aircraft industry, deformation, curvature.

Введение

Существующие до сих пор и наиболее распространенные технологии гибки ориентированы на использование специальных манипуляторов с гидравлическими приводами и ручным управлением, причем во многих случаях не удается обходиться без последующих трудоемких доводочных и подгоночных операций, поскольку разброс значений полученных размеров относительно среднего может превосходить на порядок максимальные отклонения, заданные чертежом. При изготовлении мелкосерийных и единичных партий деталей для изделий авиационной техники во многих случаях отсутствуют справочные данные о параметрах процесса и их простанственно-временных изменениях. Эффективность управления формообразованием во многом зависит от личного опыта рабочего.

Чтобы обеспечить высокие качество и надежность изготовляемых деталей, гибочно-растяжные машины с ЧПУ должны иметь достаточно сложные кинематические схемы манипуляторов с оптимальными параметрами, новые системы числового программного управления с расширенными функциональными возможностями, развитое программное обеспечение, они должны быть быстро переналаживаемыми, адаптивными, приспособленными к мелкосерийному производству.

По большинству признаков такие машины относят к специализированным технологическим роботам гибки с растяжением (ТРГР). Однако до сих пор большой накопленный опыт роботостроения применительно к выполнению технологических операций гибки с растяжением практически не использовался.

С другой стороны, в робототехнике вопросы создания промышленных роботов для выполнения силовых функций и сложных технологических операций, когда необходимо воспроизводить сложные законы с одновременным контролем координат и силовых факторов, разработаны недостаточно. Этот пробел дал импульс к проведению большой серии прикладных исследований, посвященных этой проблеме, при совместном участии сотрудников СГТУ и СПбГТУ [1–3].

Внешний вид робота ПГР-6АД, ранее использованного на ЗАО "Саратовский авиационный завод", представлен на рис. 1.

Кинематическая схема механизма позволяет дать представление о возможностях выполнения движений, однако она не несет информации о размерных параметрах и взаимном расположении эле-

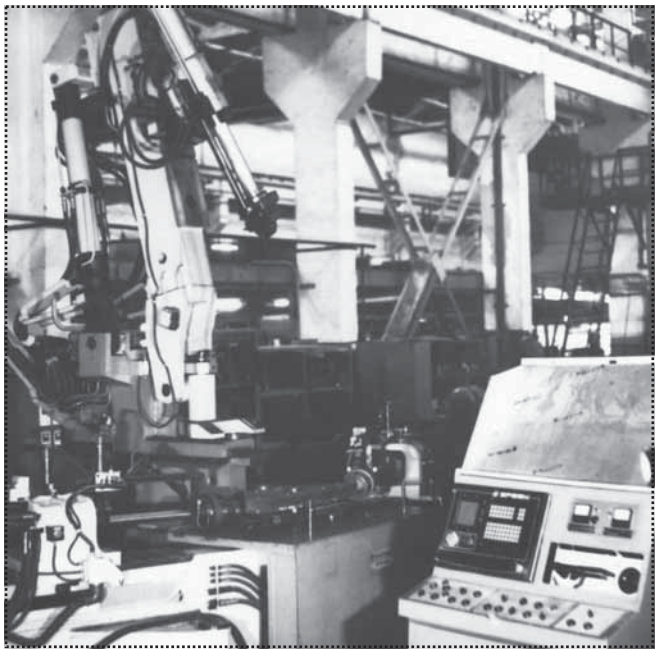

Рис. 1. Робот ПГР-6АД

ментов конструкции машины и, соответственно, об ограничениях, накладываемых на реально допустимые движения механизма [3].

С целью устранения этих недостатков разработана методика моделирования конструкций манипуляторов с применением современных программных средств (учебного варианта системы автоматизированного проектирования SolidWorks).

С использованием данной методики создается объемная компьютерная модель манипулятора, дающая наглядное представление о его механике и возможностях движений с учетом конструктивных ограничений. Особенностью данной модели является представление элементов конструкции манипулятора в виде объемных тел при сохранении возможности их взаимных перемещений согласно заданным кинематическим параметрам (типам кинематических пар).

Созданный пример такой модели представлен на рис. 2.

Система SolidWorks предназначена для объемного моделирования. Программно система реализована для работы в средах Windows 95/98, NT. Базовыми понятиями системы являются "деталь" (part) и "сборка" (assembly).

"Деталью" называется объемная модель одиночного элемента (обязательно цельного, не имеющего не связанных между собой частей). "Сборкой"

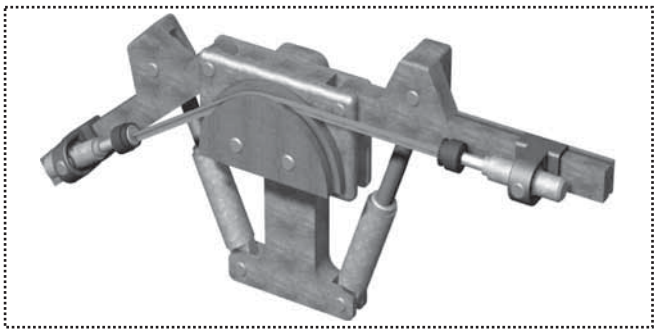

Рис. 2. Пример твердотельной модели робота для силовых операций

являются детали или другие сборки (подсборки), соединенные между собой с учетом используемых типов кинематических пар. Моделирование проводится в стандартной системе координат, которая задается в виде трех взаимно перпендикулярных плоскостей (Plane1, Plane2, Plane3) и точки начала отсчета координат.

Новая деталь создается командой "новая деталь" (New part). При создании детали вводятся понятия "эскиз" (sketch) и "метод" (feature).

Эскиз представляет собой плоское контурное изображение, являющееся основой для проведения объемных построений. Эскиз строится в заранее выбранной плоскости. Как правило, для эскиза первого элемента выбирают одну из базовых плоскостей, однако можно построить и дополнительную плоскость, используя команду "вставить вспомогательную плоскость".

Система предоставляет семь стандартных алгоритмов построения вспомогательных плоскостей:

- параллельным смещением на заданное расстояние относительно другой плоскости;
- поворотом на заданный угол вокруг указанной оси (линии) относительно другой плоскости;
- построение нормали криволинейной поверхности в указанной точке;
- построение плоскости, параллельной заданной в указанной точке;
- построение плоскости, перпендикулярной к кривой в указанной точке;
- построение плоскости, проходящей через заданные линию (ось) и точку;
- построение плоскости, проходящей через три заданные точки.

Под используемыми при построении плоскостями понимают не только специально построенные вспомогательные плоскости, но и плоские поверхности моделируемой детали. Система также позволяет строить вспомогательные оси. После указания плоскости эскиза, выбором команды "эскиз" (sketch) производится переход в режим черчения. В данном режиме для построения линий используют специальные инструменты, которые условно можно разбить на три группы:

1) построения:

- линии;
- дуги из центральной точки;
- дуги, как касательной;
- дуги через три точки;
- окружности;
- эллипса;
- сплайна;
- прямоугольника;
- точки;
- оси;

2) проведение преобразований:

- зеркало (симметричный перенос объектов относительно указанной оси);
- скругление (построение касательной дуги заданного радиуса между двумя указанными элементами чертежа);
- дополнение (дополняет указанный элемент до достижения другого элемента);
- преобразование объекта (позволяет получить для указанного объемного объекта его проекцию на плоскость эскиза, а также изменять размеры этой проекции);
- обрезка (позволяет интерактивно удалять отдельные объекты и элементы объектов);

3) настройка зависимостей:

- размер (позволяет задать точный размер объекта или его элемента, размер может быть задан в виде зависимости (формулы) от размерных параметров других элементов модели, а если размер элемента не соответствует заданному, то элемент будет преобразован так, чтобы соответствие выполнялось);
- добавление зависимостей (накладывает на указанные элементы чертежа геометрические условия, ограничения – такие, как вертикальность, горизонтальность, коллинеарность, перпендикулярность, параллельность, соосность, симметричность, зафиксированность и др.);
- поиск равных (ищет на чертеже элементы равной длины и устанавливает для них зависимость приравнивания);
- управление зависимостями (позволяет просматривать и удалять зависимости, наложенные на элементы).

Использование инструментов последней группы особенно эффективно в тех случаях, когда в дальнейшем по ходу моделирования требуется изменение какого-либо размерного параметра чертежа так, чтобы при этом остальные элементы эскиза тоже изменились заданным образом (или остались неизменны).

Методами называют совокупность преобразований, которые позволяют формировать свойства моделируемых объектов. Методы могут быть стандартными, встроенными в систему SolidWorks, библиотечными, подключаемыми отдельно, и пользовательскими, созданными пользователем.

К основным стандартным методам относят:

- экструзию (выдавливает, формирует из плоского эскиза призму с заданными параметрами);
- вырез экструзией (формирует из плоского эскиза вырез в теле модели в виде призмы с заданными параметрами);
- разворот (формирует из плоского эскиза, имеющего ось, объемное тело вращения);
- вырез разворотом (формирует из плоского эскиза вырез в теле модели в виде поверхности вращения);
- фаску (формирует на указанной кромке фаску с заданными параметрами);
- скругление (формирует для указанных поверхностей или кромок скругление (галтель) с заданными параметрами);
- изгиб (формирует изогнутый элемент, профиль поперечного сечения которого задается одним эскизом, а профиль изгиба – другим);
- "лофт" (loft, формирует объемную модель из указанной последовательности эскизов поперечных сечений заданным образом).

Пример поэтапного создания детали "основание", входящей в сборку моделируемого манипулятора (рис. 2), приведен на рис. 3, *а*. Деталь "основание" (рис. 3, *а*) является базовой деталью конструкции манипулятора, к которой крепятся остальные элементы конструкции в местной системе координат (рис. 3, *б*). На рис. 3, *в* представлен эскиз базового элемента детали "основание". Эс-

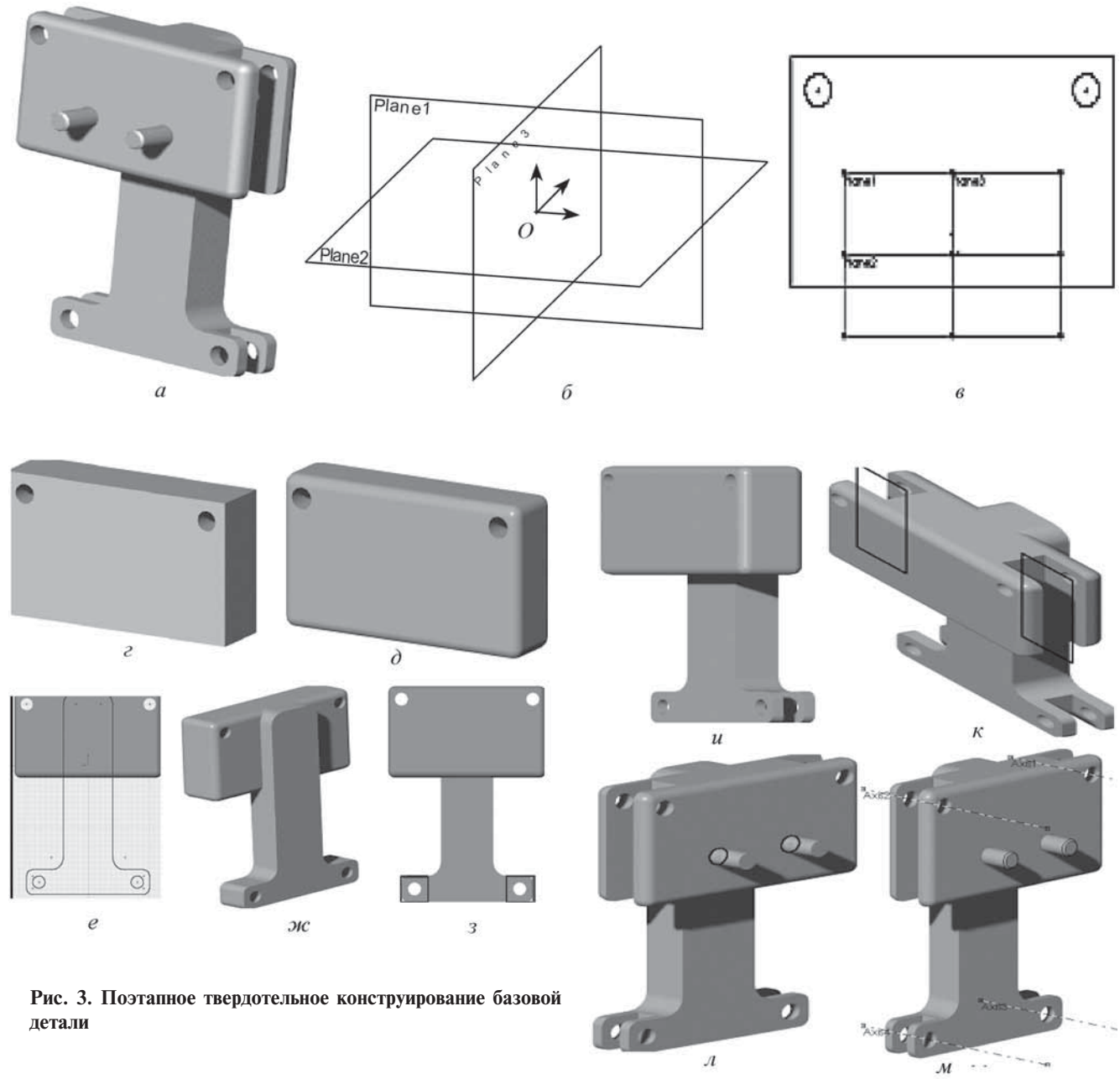

Рис. 3. Поэтапное твердотельное конструирование базовой детали

киз выполнен в плоскости Plane1, при его построении использованы инструменты "прямоугольник" и "окружность".

Для получения из эскиза объемного объекта воспользуемся методом "экструзия" (выдавливание). Задав величину экструзии, получим объемную деталь, представленную на рис. 3, *г*. Скруглим края модели с помощью метода "скругление", для которого задаем радиус скругления и указываем поверхности, края которых необходимо скруглить (рис. 3, *д*).

Путем параллельного смещения относительно плоскости Plane1, получим новую вспомогательную плоскость, в которой создадим эскиз (рис. 3, *е*), необходимый для дальнейших построений.

С использованием метода экструзии преобразуем полученный эскиз в элемент объемной модели (рис. 3, *ж*). Проведем построение нового эскиза (рис. 3, *з*) и методом выреза экструзией получим вырезы заданной ширины в теле модели (рис. 3, *и*).

Подобным образом сделаем вырезы и в другой части модели (рис. 3, *к*). Сформируем цилиндрические стержни для крепления изгибного шаблона, с этой целью во фронтальной плоскости детали построим эскиз в виде двух окружностей и применим к нему метод экструзии (рис. 3, *л*).

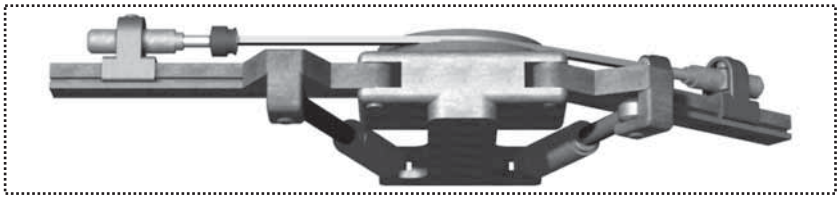

Рис. 4. Объемное компьютерное моделирование манипуляторов технологических роботов для силовых операций

На заключительном этапе сформируем, используя метод "фаска", на полученных стержнях фаски и создадим вспомогательные оси, проходящие через центры отверстий детали (рис. 3, *м*). Данные оси в дальнейшем будут использованы на этапе создания сборки.

Новую сборку создают командой "новая сборка" (New assembly). Компоненты детали и (или) подсборки в сборку вставляют либо в готовом виде из файла командой "вставить деталь из файла" (Insert component from file), либо сразу же и создается, и вставляется новый компонент (т.е. вначале создается новая деталь, затем записывается в файл и лишь потом вставляется в сборку) командой "вставить новую деталь" (Insert component new).

На этапе сборки появляются новые управляющие команды (инструменты):

• "редактировать деталь" – входит в режим редактирования указанной детали;

• "показать/спрятать компонент" – данный режим дает возможность временно прятать некоторые компоненты для упрощения работы со сборкой;

• "перемещать компонент" – позволяет поступательно перемещать выбранный компонент;

• "вращать компонент вокруг его центральной точки";

• "вращать компонент вокруг заданной оси";

• "соединить" – позволяет соединить заданной зависимостью два указанных компонента.

О последнем инструменте следует рассказать подробнее. Инструмент "соединение" позволяет наложить зависимости на поверхности, грани, вершины (особые точки детали), а также вспомогательные плоскости и оси двух указанных компонентов. Система предоставляет семь типов подобных соединений (зависимостей):

• совпадение (указанные элементы будут накладываться в пространстве друг на друга);

• перпендикулярность;

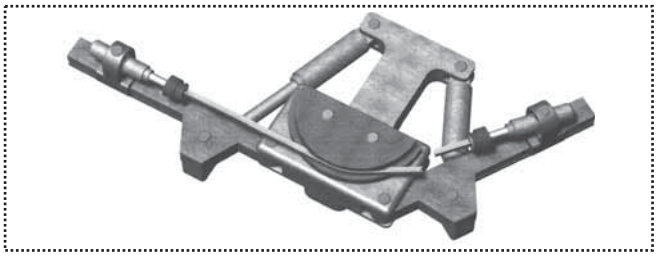

Рис. 5. Твердотельное моделирование обрыва профиля при гибке с растяжением

• тангенциальность (указанные элементы сопрягаются по касательной);

• соосность;

• дистанция (располагает указанные элементы на заданном расстоянии друг от друга);

• угол (располагает указанные элементы под заданным углом относительно друг друга).

Полученная модель дает наглядное представление о конструкции и возможных движениях манипулятора. Модель манипулятора на этапе изгиба с растяжением сложнопрофильной детали представлена на рис. 4. На рисунке отчетливо видны ограничения, накладываемые на движения манипулятора элементами конструкции.

Модель позволяет сформировать дополнительные критерии оценки параметров конструкции манипулятора на основании зависимостей между соотношением размеров элементов конструкции и технологическими характеристиками механизма.

Результаты твердотельного моделирования обрыва профиля в процессе гибки с растяжением представлены на рис. 5.

Выводы

1. *Для разработанной модели:*

• *максимальный угол изгиба заготовки, доступный манипулятору, зависит от соотношения*

расстояния между осями качания крыльев и ширины шаблона;

• *угол качания растяжного гидроцилиндра ограничен соотношением размеров гидроцилиндра и каретки;*

• *расстояние между плоскостью качания крыльев и плоскостью качания изгибных цилиндров влияет на величину паразитных изгибающих моментов в шарнирах поворота плечей;*

• *соотношение между размером изгибных гидроцилиндров и расстоянием между плоскостью качания крыльев и плоскостью качания изгибных цилиндров ограничивает максимальный доступный угол поворота крыльев.*

2. *Для моделируемых моделей манипуляторов система SolidWorks позволяет проводить исследования динамики механизма.*

3. *Средствами системы SolidWorks для моделируемых манипуляторов могут быть получены точные чертежи, в том числе чертежи в электронном виде, совместимые с форматом системы AutoCAD.*

Библиографический список

1. **Аналитическое** решение задачи гибки с растяжением / А.В. Кочетков, И.Б. Челпанов, В.Б. Гнитько, В.И. Ермолаев // Вестник машиностроения. 2000. № 7. С. 46–49.

2. **Кочетков А.В.** Формирование координатной сетки и структуры комбинированного программирования технологических роботов для силовых операций // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2012. № 12.

3. **Представление** профилегибочной машины как технологического робота для силовых операций / А.В. Кочетков, В.Б. Гнитько, В.И. Ермолаев, В.В. Ермолаева // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2012. № 11.

Читайте в следующем номере:

• **Чижиков В.И.** Управление упругим кинематическим соединением бесшарнирного манипулятора

• **Давыдов Е.В., Прейс В.В.** Теоретические основы проектирования дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором

• **Иванов А.А.** Бесконтактный захват промышленного робота

• **Житников Б.Ю., Житников Ю.З.** Многошпиндельное переналаживаемое завинчивающее устройство

• **Безменов В.С., Игнатов А.В.** Методика проектирования автоматизированных устройств нанесения и дозирования клеевых составов для сборочных производств с клеевыми соединениями

• **Шаломов В.И.** Особенности методики проектировочного расчета шпиндельных узлов шлифовальных станков с газостатическими частично пористыми опорами

• **Карабанов В.В., Бохоров И.О.** Пайка алюминия и его сплавов

УДК 66.045

А.Б. Голованчиков, *д-р техн. наук,* **С.Б. Воротнева**
(Волгоградский государственный технический университет)
E-mail: svetlanavorotneva@yandex.ru

Совершенствование конструкции и повышение ремонтопригодности реакторов и теплообменных аппаратов

Разработаны новые перспективные конструкции теплообменных аппаратов и реакторов со съемными рубашками, позволяющие интенсифицировать процесс удаления накипи, солевого камня и других термических отложений на теплопередающей поверхности рубашки, и повысить их ремонтопригодность.

New long-range designs of heat-exchange apparatus and reactors with demountable tank jackets, which render possible step up the process of removal scale, salt stone and other thermal sediments on the heat-exchange surface of tank jacket and which render upgrades of maintainability, were developed.

Ключевые слова: сборка, съемная рубашка, теплообменный аппарат, реактор, ремонт, механическая очистка, накипь, солевой камень.

Keywords: assembling, demountable tank jacket, heat-exchanger, reactor, repair, mechanical clearing, scale, salt stone.

Реакторы и теплообменные аппараты используют во всех технологических процессах химической, нефтехимической, металлургической, машиностроительной, атомной, горнодобывающей и других отраслях промышленности.

Жесткие требования к экологической и промышленной безопасности производства вынуждают производителей постоянно работать над совершенствованием технического и организационного обеспечения сервисного обслуживания теплообменного оборудования.

Поддержание теплообменной аппаратуры в исправном состоянии позволяет снизить риск выброса токсичных продуктов в окружающую среду, сократить непроизводительные ремонтные простои оборудования, уменьшить риск аварий и травматизма на производстве.

Регулярная очистка реакторов и теплообменного оборудования является необходимым условием, способным исключить дополнительные расходы на капитальный ремонт или замену аппарата. Поэтому разработка новых конструкций реакторов и теплообменников, позволяющих повысить ремонтопригодность этих аппаратов, является актуальным вопросом.

Согласно ГОСТ 25867–83 "Сосуды и аппараты. Сосуды с рубашками. Нормы и методы расчета на прочность" известны конструкции сосудов с U-образной рубашкой и с жестко закрепленной направляющей спиралью на боковой поверхности корпуса, предназначенной для создания ускоренного вращательного движения теплоносителя в рубашке вокруг корпуса.

К основным недостаткам этих конструкций относят невозможность удаления образовавшейся накипи, солевого камня и других термических отложений на теплообменной поверхности рубашки и низкие показатели ремонтопригодности из-за жесткого крепления направляющей спирали на корпусе.

Для устранения этих недостатков разработана новая конструкция теплообменного аппарата со съемной U-образной рубашкой, которая представлена на рис. 1.

Основной задачей разработки данной конструкции является повышение эффективности работы и ремонтопригодности аппаратов для нагрева или охлаждения реакционной массы в холодильной технике и подогревателях перерабатываемых жидких и газовых сред, котлов в теплоэнергетике, атомной промышленности, коммунальных службах и т.п.

Особенность данной конструкции теплообменного аппарата заключается в том, что на цилиндрический корпус *7* с эллиптическим днищем *8* надета» U-образная съемная рубашка *17*, в верхней час-

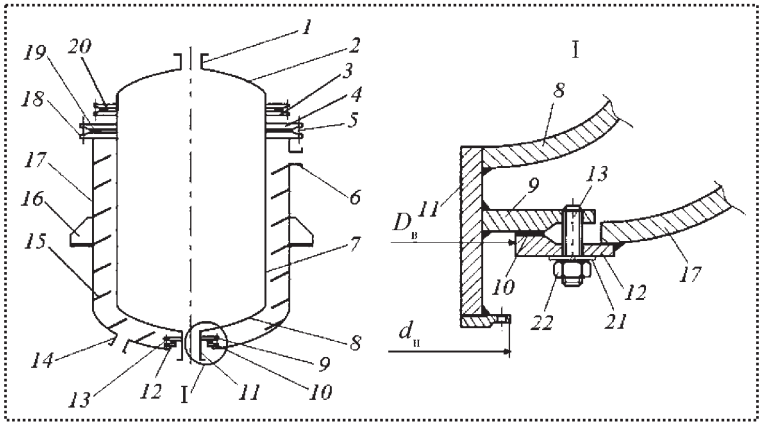

Рис. 1. Теплообменный аппарат со съемной рубашкой:
1, *11* – патрубки входа и выхода рабочей жидкости; *2* – крышка; *3*, *4*, *9*, *12*, *18* – фланцы; *5* – болты; *6*, *14* – патрубки для подачи и отвода теплоносителя; *7* – цилиндрический корпус; *8* – эллиптическое днище; *10*, *19*, *20* – прокладки; *13* – шпильки; *15* – направляющая спираль; *16* – опоры; *17* – U-образная съемная рубашка; *21* – шайба; *22* – гайка

ти которой установлен фланец *18*, а в нижней – фланец *12*, причем внутренний диаметр $D_в$ фланца *12* больше внешнего диаметра фланца $d_н$ патрубка *11*, т.е.

$$D_в > d_н .$$

Собирают предлагаемую конструкцию следующим образом. U-образную рубашку *17* устанавливают на опоры *16*.

За монтажные серьги или верхний фланец *3* подвешивают на кран-балке корпус *7*. В опорный фланец *9* вворачивают шпильки *13*, устанавливают прокладку *19* на фланец *18* и прокладку *10* на внутренний фланец *12*. Заводят корпус *7* внутрь U-образной рубашки *17* так, чтобы шпильки *13* совместились с отверстиями внутреннего фланца *12*.

Так как внутренний диаметр фланца *12* больше внешнего диаметра фланца патрубка *11* ($D_в > d_н$), то фланец патрубка *11* свободно проходит сквозь отверстие внутреннего фланца *12*.

Затем устанавливают шайбы *21* под шпильки *13* и завинчивают гайки *22*, уплотняя прокладки *10*. За счет уплотнения прокладок *10* создается герметичность между рабочими поверхностями фланца *9* и внутреннего фланца *12*.

Далее устанавливают болты, шайбы и гайки в отверстия фланцев *4* и *18*, герметично уплотняют рабочие поверхности этих фланцев. Убирают тросы кран-балки с верхнего фланца *3* и устанавливают на нем прокладку *20*. Затем с помощью кран-балки устанавливают на фланец *3* крышку *2* и герметично уплотняют их крепежными соединениями.

После накопления некоторого количества отложений на наружной поверхности корпуса *7* разбирают теплообменный аппарат в обратном порядке, т.е. откручивают гайки с болтов *5* и шпилек *13*, U-образную рубашку *17* снимают вместе с направляющей спиралью *15*, а отложения с наружной поверхности корпуса *7* удаляют известными методами (пескоструйная обработка, гидросмыв, абразивная обработка и т.д.) [1].

Таким образом, предлагаемая конструкция теплообменного аппарата со съемной рубашкой позволяет при образовании накипи, солевого камня или других термических отложений снимать рубашку вместе с направляющей спиралью с корпуса и днища сосуда, удалять эти термические отложения с наружной поверхности корпуса, что также увеличивает показатели ремонтопригодности данного аппарата.

Кроме съемных рубашек для емкостных аппаратов разработаны конструкции теплообменных аппаратов типа "труба в трубе", позволяющие облегчить разборку аппарата при ремонте.

Разработана конструкция двухтрубного теплообменника со съемной наружной трубой, являющейся рубашкой для внутренней трубы (рис. 2). Данная конструкция позволяет проводить периодическую очистку теплопередающей поверхности внутренней трубы от загрязнений после снятия наружной трубы.

В отличие от известных конструкций теплообменников типа "труба в трубе" [2] в данной конструкции на одном конце внутренней теплообменной трубы установлен неразъемно малый фланец, соединенный с помощью шпилек с внутренним фланцем наружной трубы, при этом отношение внешнего диаметра малого фланца внутренней теплообменной трубы и внутреннего диаметра наружной трубы составляет

$$\frac{d}{D} = 0{,}95 \ldots 0{,}98 , \qquad (1)$$

где d – внешний диаметр малого фланца внутренней теплообменной трубы;

D – внутренний диаметр наружной трубы.

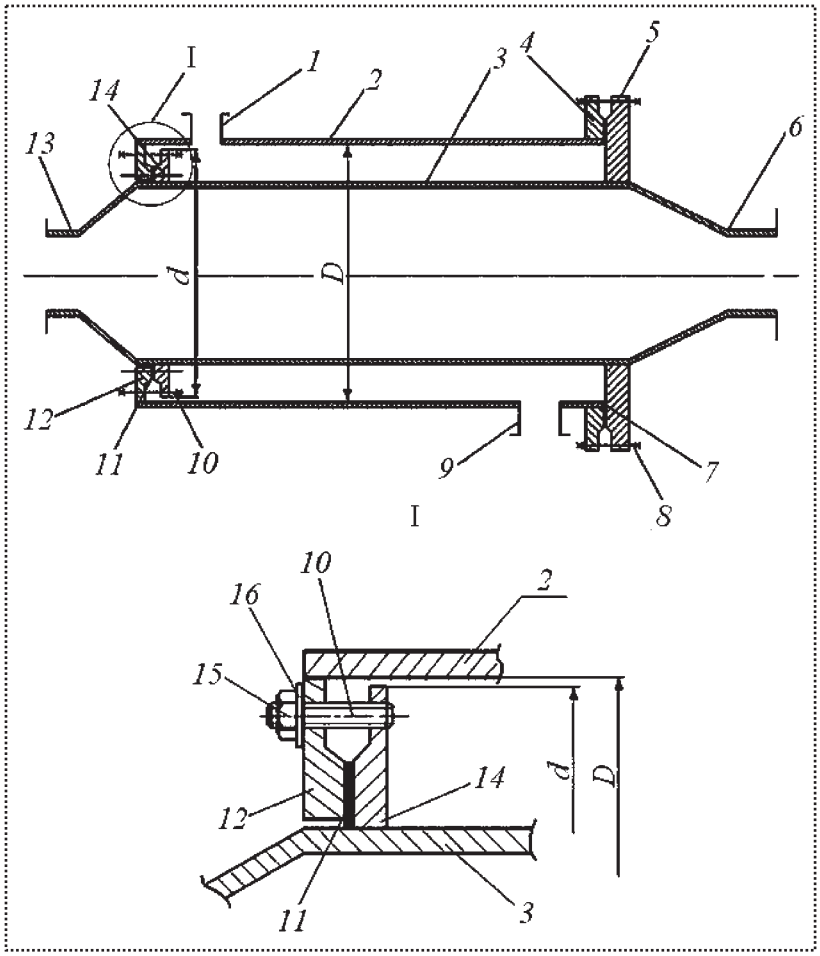

Рис. 2. Двухтрубный теплообменник со съемным кожухом:
1, *9* – патрубки входа и выхода одного теплоносителя; *2* – наружная труба; *3* – внутренняя теплообменная труба; *4*, *5*, *12*, *14* – фланцы; *6*, *13* – патрубки входа и выхода другого теплоносителя; *7*, *11* – прокладки; *8* – болтовое соединение; *10* – шпильки; *15* – гайка; *16* – шайба

Уменьшение отношения $\frac{d}{D}$ ниже заявляемого в выражении (1) условия $\frac{d}{D} < 0{,}95$ приводит к сложности завинчивания и отвинчивания гаек на шпильках внутреннего фланца наружной трубы из-за их возможного соприкосновения с поверхностью наружной трубы.

Увеличение отношения $\frac{d}{D}$ выше заявляемого в выражении (1) условия $\frac{d}{D} > 0{,}98$ приводит к сложностям при монтаже и демонтаже наружной трубы из-за малого кольцевого зазора между внешним диаметром малого фланца внутренней теплообменной трубы и внутренней поверхностью наружной трубы.

Собирают данный теплообменник следующим образом:

• устанавливают прокладку *7* на фланец *5* и прокладку *11* на уплотняемую поверхность малого фланца *14*;

• надевают наружную трубу *2* на внутреннюю теплообменную трубу *3*, продвигая ее слева направо до фланца *5*;

• завинчивают гайки болтов *8*, герметично уплотняя фланцы *4* и *5* на прокладке *7*;

• завинчивают гайки *15* шпилек *10*, герметично уплотняя фланцы *12* и *14* на прокладке *11*.

Для периодического удаления отложений накипи, солевого камня, продуктов деструкции и ржавчины с наружной теплопередающей поверхности внутренней теплообменной трубы *3* прекращают подачу обоих теплоносителей по патрубкам *1* и *13*.

Разбирают теплообменник следующим образом. Отвинчивают гайки с болтов *8* и шпилек *10* и снимают наружную трубу *2* с внутренней теплообменной трубы *3*, продвигая наружную трубу *2* справа налево.

Очищать загрязненные поверхности внутренней трубы *3* можно известными способами: щетками, абразивной или пескоструйной обработкой и т.п., которые в неразборных известных конструкциях двухтрубных теплообменниках применять нельзя.

Данная конструкция двухтрубного теплообменника имеет преимущества по сравнению с известными конструкциями теплообменных аппаратов типа "труба в трубе":

• установка малого фланца неразъемно на одном конце внутренней теплообменной трубы и соединение его с внутренним фланцем наружной трубы с помощью шпилек позволяет легко и герметично устанавливать и снимать наружную трубу с внутренней теплообменной трубы, обеспечивая свободный доступ к загрязненной ржавчиной, солевым камнем, продуктами деструкции или жизнедеятельности микроорганизмов;

• периодическая очистка теплопередающей наружной поверхности внутренней теплообменной трубы от загрязнений уменьшает термическое сопротивление, что способствует увеличению скорости теплопереноса.

Таким образом, предлагаемые новые конструкции теплообменных аппаратов и реакторов, выполненные со съемными рубашками и кожухами, позволяют облегчить доступ к загрязненной теплопередающей поверхности, сократить время ее очистки, повысить качество очистки, уменьшить энергозатраты и стоимость этой очистки, а также повысить показатели ремонтопригодности.

Библиографический список

1. **Полезная** модель 124188. Российская Федерация, МПК B 01 J 19/00. Теплообменный аппарат / А.Б. Голованчиков, С.Б. Воротнева, А.В. Ляпков, Н.А. Дулькина, Д.А. Павлов, Е.Г. Малая; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО "Волгоградский государственный технический университет". № 2012129395/05; заявл. 11.07.12; опубл. 20.01.13.

2. **Полезная** модель 56580. Российская Федерация, МПК F 28 F 1/00. Теплообменник "труба в трубе" / Д.Г. Амирханов, М.Р. Гайнутдинов, Е.Ю. Короткова, Р.Я. Гайнутдинов; заявители и патентообладатели Д.Г. Амирханов, М.Р. Гайнутдинов, Е.Ю. Короткова, Р.Я. Гайнутдинов. № 2005131819/22; заявл. 13.10.2005; опубл. 10.09.06.

УДК 621.717

А.И. Абрамов, *канд. техн. наук,* **И.В. Абрамов,** *д-р техн. наук,*
А.В. Петров, А.В. Романов *(Ижевский государственный технический университет)*
E-mail: stariy_35@mail.ru.

Гидропрессовые соединения с деталями из титановых сплавов

Показана эффективность применения гидропрессовой сборки для деталей из титановых сплавов. Проведенный анализ напряженно-деформированного состояния и результаты численного моделирования выявили особенности влияния физико-механических свойств и коэффициента трения титановых сплавов на нагрузочную способность гидропрессовых соединений.

Efficient of application hydropress assembly method for titan alloy parts is proved. Carried out analysis of deflected mode and the results of numerical simulation to determine of load capability identified features of the influence of physical and mechanical properties and friction of titanium alloys on the bearing capacity of hydropress interference fits.

Ключевые слова: гидропрессовое соединение, коэффициент трения, напряженно-деформированное состояние.

Keywords: hydropress interference fit, friction factor, deflected mode.

За последние десятилетия сплавы на основе титана стали одними из важнейших конструкционных материалов [1]. Уникальное сочетание высокой удельной прочности и коррозийной стойкости во многих агрессивных средах определило их применение в различных областях техники. Широкое использование титановые сплавы нашли в неразъемных соединениях, в том числе в соединениях с натягом. Однако из-за низких антифрикционных характеристик титана существуют сложности в формировании качественного сопряжения деталей с натягом, обусловленные высокой склонностью трущихся поверхностей к схватыванию, заеданию и задирам.

Авторы статьи выдвинули гипотезу о целесообразности применения гидропрессовой сборки для обеспечения качества соединений с натягом из титановых сплавов. При этом сопрягаемые детали разделены гарантированным слоем масла, т.е. процесс будет осуществляться в режиме жидкостного трения.

Рассмотрим данные численного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) деталей, соединенных с натягом, при различной комбинации материалов (сталь–сталь, сталь–титан, титан–титан). В качестве метода исследования используем метод конечных элементов (МКЭ).

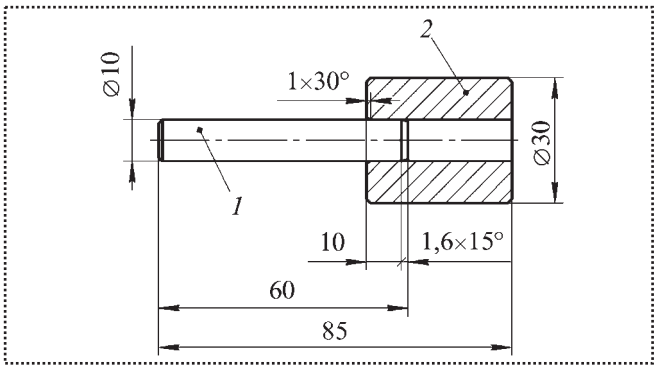

Рис. 1. Опытный образец:
1 – вал; *2* – втулка

Таблица 1

Характеристики материалов образцов

Материал	$\sigma_т$, МПа	$\sigma_в$, МПа	$E \cdot 10^{-3}$, МПа	μ	ρ, кг/м^3
Сталь 45	450	750	2,00	0,28	7826
Титан ОТ4	390	540	1,12	0,32	4550

Объектом исследования является соединение вала и втулки [2]. Геометрия деталей соединения представлена на рис. 1. Исследования проводили для соединений с длиной сопряжения l = 10 мм, с натягом N = 10 мкм. Характеристики материалов образцов представлены в табл. 1 [1].

Для анализа НДС соединения была использована сетка из 126 684 объемных элементов (рис. 2). Длина ребра элемента сетки составляет 1 мм. В качестве элементов применены 8-узловые параллелепипеды и призмы.

Выбор данных типов элементов обусловлен имеющимися вычислительными ресурсами (для расчетов используется меньшее процессорное время по сравнению с 10-узловыми тетраэдрами и 20-узловыми гексаэдрами).

Используемая сеточная модель обеспечивает приемлемую точность разбивки деталей на конечные элементы, что является основным условием получения адекватной конечно-элементной (КЭ) модели.

В предполагаемых зонах концентраций напряжений и их градиентов (контактные зоны и торцевые участки деталей) производится сгущение сетки (длина ребра 0,5 мм). Граничные условия представлены закреплениями торца соединения, ограничивающими вращение деталей относительно осей *X*, *Y*, *Z* и перемещение вдоль оси *Z* торца втулки, лежащего в плоскости *XOY*, и свободного торца вала.

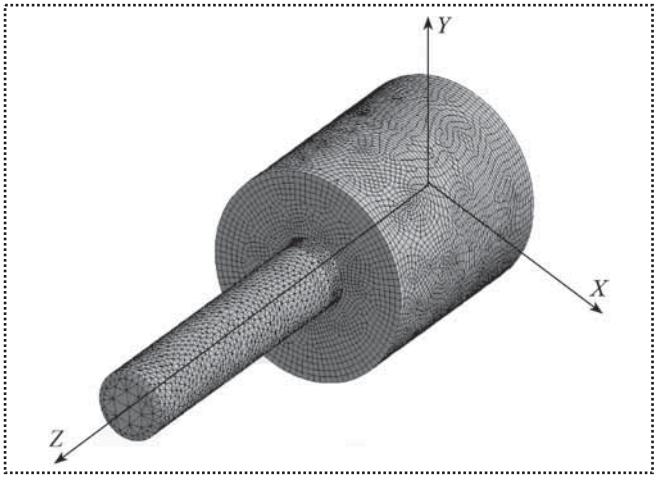

Рис. 2. Конечно-элементная модель соединения

Результаты моделирования НДС в виде распределения интенсивности напряжений и контактного давления по деталям соединения представлены на рис. 3 и 4 соответственно, из которых видно, что при одинаковой величине натяга распределение интенсивности напряжений по длине соединения неравномерно. Наибольшие значения достигаются в зонах концентрации напряжений у торцов вала и втулки.

При одинаковых геометрии и натяге интенсивность напряжений находится в одних и тех же зонах, но имеет разные значения. Максимальное значение интенсивности напряжений у торца втулки с фаской 30°: для соединения сталь–сталь 273,86 МПа, титан–сталь 223,13 МПа, титан–титан 149,89 МПа.

Сравнивая графики изолиний интенсивности напряжений, можно видеть, что напряженность деталей из титановых сплавов при прочих равных условиях на 45 % ниже, чем у аналогичных стальных деталей.

Контактные давления в среднем сечении соединения составляют (см. рис. 4): стальной вал – стальная втулка 100,5 МПа; титановый вал – стальная втулка 76,2 МПа; титановый вал – титановая втулка 55,7 МПа. Очевидно, что величина контакт-

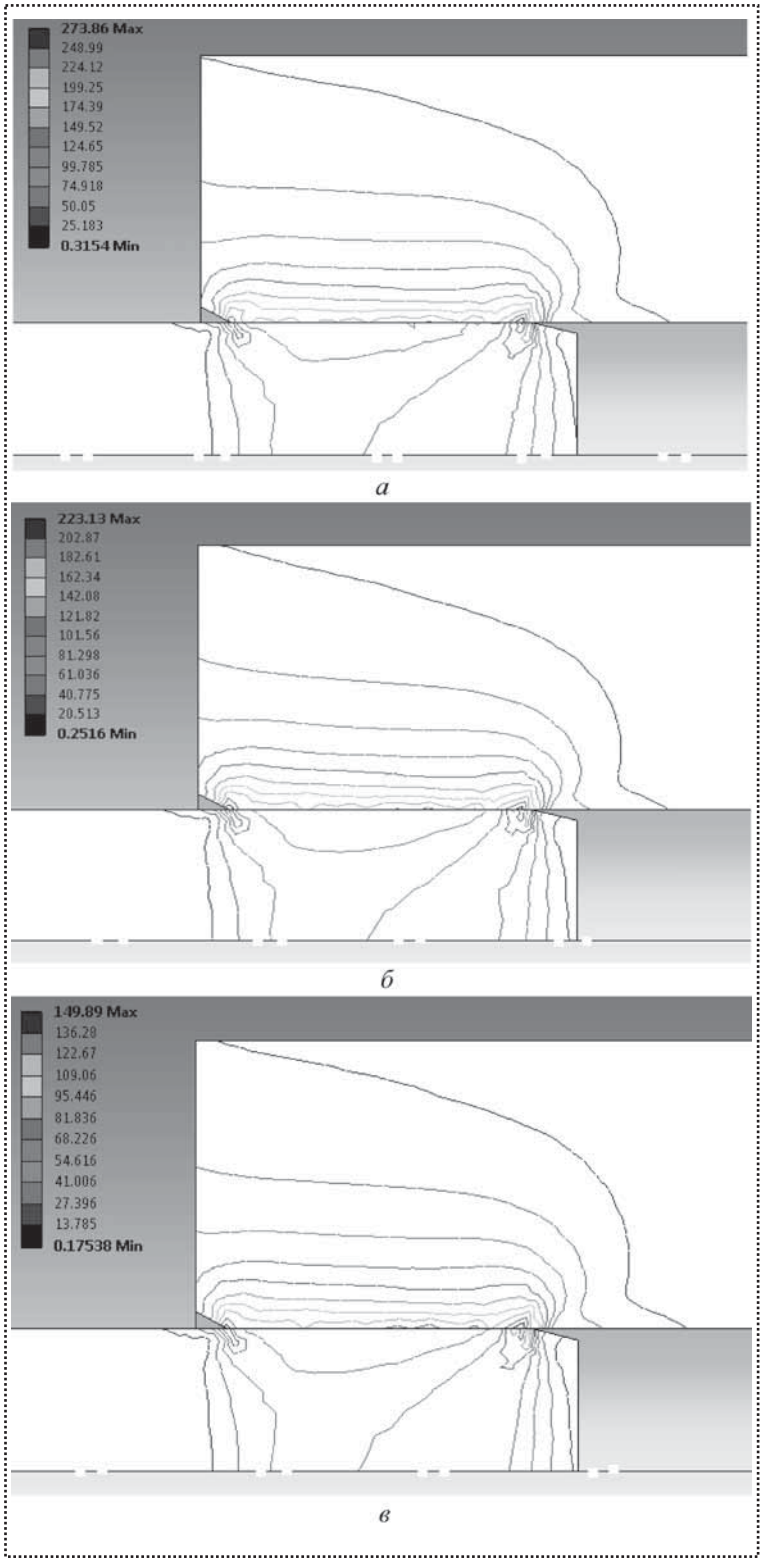

Рис. 3. Распределение интенсивности напряжений в соединении: *а* – сталь–сталь; *б* – титан (вал) – сталь; *в* – титан–титан

ных давлений в соединениях из титана почти в 2 раза ниже по сравнению со стальными деталями.

Нагрузочная способность соединения в осевом направлении P_p рассчитывается по общепринятой формуле

$$P_p = P_k \pi d l f. \quad (1)$$

Аналогично, передаваемый крутящий момент, Н·м

$$M_{кр} = 0{,}5\, P_k \pi d^2 l f, \quad (2)$$

где P_k – давление в зоне контакта, Па;

d – диаметр сопряжения, м;

l – длина зоны сопряжения, м;

f – коэффициент трения.

Полученные при моделировании НДС результаты были использованы для сравнительной оценки нагрузочной способности соединений (табл. 2).

Анализ результатов вычислительного эксперимента показывает, что значения осевой силы расспрессовки и передаваемого крутящего момента в образцах титан–сталь более чем в 1,5 раза превышают значения в стальных образцах.

Для экспериментальной проверки эффективности гидропрессовой сборки и нагрузочной способности соединений использовали опытные образцы с шероховатостями поверхности вала и втулки $Ra = 0{,}58...0{,}72$ и натягом $N = 10$ мкм. Запрессовку производили гидропрессовым методом на специально разработанной установке. Максимально допустимое давление масла определяли по формуле

$$q_м^{max} \le 0{,}58\, \sigma_т \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2\right], \quad (3)$$

и получили $q_м^{max} = 201$ МПа.

Рабочее давление масла было принято равным 65 МПа, что значительно превышало среднее контактное давление в зоне сопряжения титановых деталей (55,7 МПа).

В процессе запрессовки фиксировали значения давления жидкости, необходимого для раскрытия стыка в соединении. Скорость запрессовки регулировалась на программном уровне и составляла 5 мм/с.

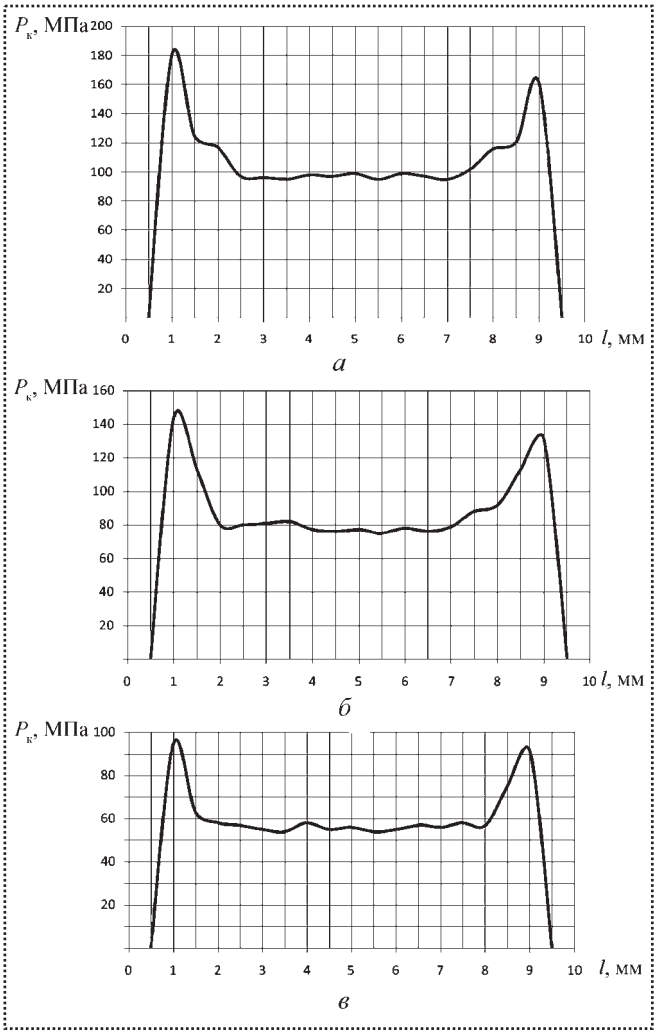

Рис. 4. Распределение контактных давлений P_k в соединении длиной l:
а – сталь–сталь; *б* – титан (вал) – сталь; *в* – титан–титан

Распрессовку осуществляли на гидравлической разрывной машине ГРМ-50. Во время проведения эксперимента фиксировали значение прилагаемой осевой силы в момент начала движения вала относительно втулки. Испытывали по три опытных соединения для каждого сочетания материалов. Были получены следующие результаты натурного эксперимента для различных материалов соединения:

Материал	Сталь–сталь	Титан–сталь	Титан–титан
P_p	4,80	7,85	9,20

Таблица 2

Результаты вычислительного эксперимента

Материалы соединения	P_p, кН	$M_{кр}$, Н·м	f
Сталь–сталь	4,70	23,66	0,15
Титан–сталь	7,18	35,89	0,30
Титан–титан	8,74	43,72	0,50

Фактические значения несущей способности соединения с использованием титана превысило значения в стальных образцах в 2 раза.

Следует отметить, что после "страгивания" вала в титановых образцах наблюдалось увеличение значения приложенного усилия, что объясняется схватыванием сопрягаемых поверхностей.

Выводы

1. Моделирование НДС показало более низкий уровень интенсивности напряжений (на 45 %) и контактных давлений (почти в 2 раза) в титановых деталях по сравнению со стальными.

2. Вычислительный и натурный эксперименты при прочих равных условиях показали более высокую нагрузочную способность титановых соединений по сравнению со стальными образцами.

3. Эксперименты подтвердили высокую эффективность гидропрессового метода для сборки соединений с натягом из титановых сплавов и их высокую нагрузочную способность.

Библиографический список

1. **Чечулин Б.Б., Ушков С.С., Разуваева И.Н., Гольдфайн В.И.** Титановые сплавы в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1977. 248 с.

2. **Абрамов И.В., Абрамов А.И., Синицын А.Н., Синицына В.В.** Теоретическое обоснование новых способов сборки и разборки соединений с натягом // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2011. № 3. С. 11–15.

УДК 629.113-223.2-55

И.А. Булавин, *канд. техн. наук,* **А.Ю. Груздев,**
А.В. Будыкин *(Московский государственный машиностроительный университет – МАМИ)*
E-mail: mosvao@yandex.ru

Технология сборки подшипниковых узлов с предварительным натягом в редукторах ведущих мостов автомобилей

Проведен анализ влияния трех физических величин (момент трения, осевое сжатие, осевая деформация) на предварительный натяг подшипников. Регулировка предварительного натяга подшипников обеспечивается силовым замыканием. Предварительный натяг оказывает влияние на долговечность подшипников. Основным параметром, принятым в производстве для контроля точности регулировки предварительного натяга, выбран косвенный параметр – момент трения как наиболее доступный в технологических процессах сборки. Точность силового замыкания при затяжке гайки хвостовика является важнейшим заключительным этапом регулировки предварительного натяга подшипниковых узлов.

Analyzes the influence of the three physical quantities (the friction moment, axial compression, axial deformation) on preliminary a tightness of bearings is carried out. Adjustment of a preliminary tightness of bearings is provided with power short circuit. The pretightness has impact on durability of bearings. Indirect parameter – the friction moment, as the most available in technological processes of assembly is chosen as the key parameter accepted in production for control of accuracy of adjustment of a preliminary tightness. Accuracy of power short circuit at an inhaling of a nut of a shaft is the most important final stage of adjustment of a preliminary tightness of bearing knots.

Ключевые слова: редуктор, подшипник, параметр предварительного натяга, регулировка, технологическая оснастка.

Keywords: reducer, bearing, parameter of a preliminary tightness, adjustment, technological equipment.

Любое устройство считается предварительно нагруженным, если отдельные звенья или узлы постоянно нагружены внутренними силами независимо от действия внешних эксплуатационных нагрузок.

Среди дефектов и причин повреждения подшипников качения основное место занимают завышенные нагрузки и контактные напряжения, вызывающие контактную усталость тел и поверхностей качения.

Влияние предварительного натяга (далее – преднатяга) подшипников на долговечность рассмотрено в работах Т. Харриса, А. Пальмгрена (Швеция), в материалах подшипниковых фирм SKF, Timken, в работах А.В. Воронина, Б.В. Шандрова.

В каталоге фирмы SKF приведены данные о значительном снижении долговечности подшипников только при значениях силы преднатяга, превышающих величину внешней осевой нагрузки на 40 %.

В работе Т. Харриса показано влияние преднатяга на долговечность подшипников (рис. 1). Преднатяг, увеличивая зону распределения нагрузки между телами качения, снижает нагрузку на наиболее нагруженное тело качения и тем самым повышает усталостную долговечность.

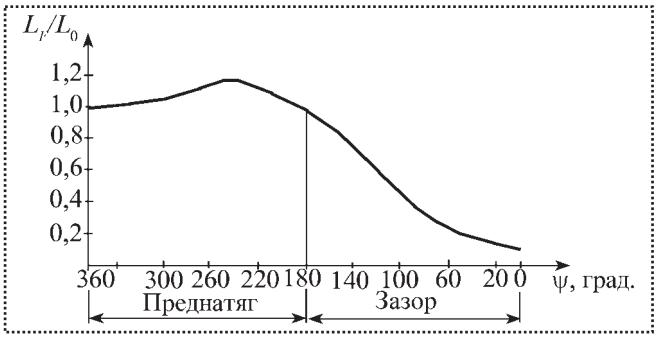

Рис. 1. Взаимосвязь зоны нагружения тел качения в подшипниках и их долговечности:
ψ – зона нагружения тел качения; L_F – долговечность с преднатягом; L_0 – долговечность по каталогу

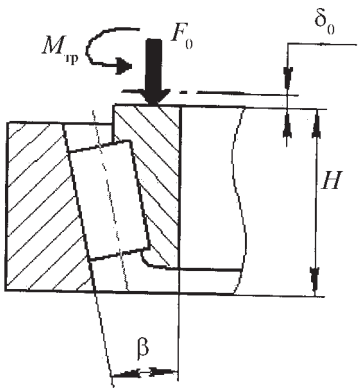

Рис. 2. Параметры преднатяга подшипников:
β – угол наклона поверхности качения наружного кольца; F_0 – осевая сила сжатия дуплексов; δ_0 –осевое упругое смещение колец в подшипниках; $M_{тр}$ – момент трения в подшипнике; H – монтажная высота подшипника с преднатягом

В работах А. Пальмгрена при анализе влияния преднатяга на долговечность подшипников указывается, что увеличение нагрузки на подшипник в 2 раза приводит к снижению долговечности в 10 раз.

Преднатяг является основным способом повышения жесткости подшипниковых узлов и заключается в создании в подшипниках предварительного нагружения равномерно распределенными между телами качения силами, создаваемого в процессе сборки узла.

Точность создания преднатяга подшипников является важнейшим показателем качества сборки редукторов ведущих мостов автомобилей.

Основными параметрами при создании преднатяга (рис. 2) являются:

- осевая сила сжатия дуплексов F_0;
- осевое упругое смещение колец в подшипниках δ_0;
- момент трения $M_{тр}$.

Исследования, проведенные на кафедре "Технология машиностроения" для широкого спектра конических роликоподшипников, позволили установить взаимосвязь трех физических величин, характеризующих преднатяг подшипников в дуплексах. Исследования проводились для подшипников с углами наклона поверхности качения наружного кольца в диапазонах β = 12...14° и β = 20...30°.

Момент трения $M_{тр}$ в технических условиях на сборку редукторов для регулирования преднатяга подшипников задают в диапазоне 2...4 Н·м. Зави-

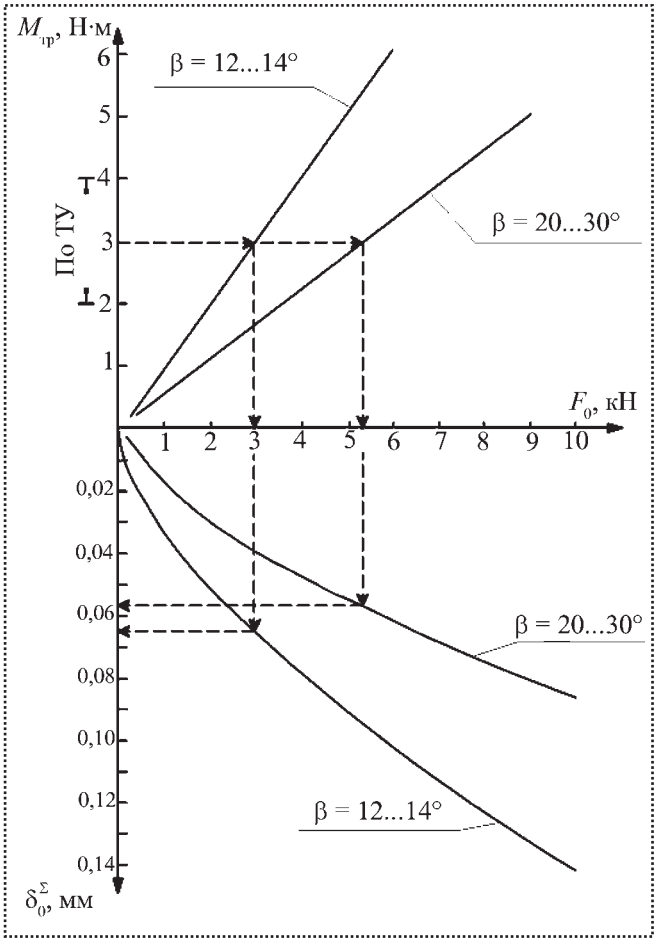

Рис. 3. Взаимосвязь параметров преднатяга для дуплексов конических роликоподшипников:
$M_{тр}$ – момент трения; F_0 – осевая сила сжатия дуплексов; δ_0^{Σ} – суммарная осевая деформация в дуплексе подшипников; β – угол наклона поверхности качения наружного кольца

симость этого параметра от осевой силы F_0 преднатяга, сжимающей дуплекс подшипников, как видно из рис. 3, является линейной и зависит от угла β наклона поверхности качения наружного кольца подшипника.

Другой физический параметр преднатяга – суммарная осевая деформация в дуплексе подшипников δ_0^{Σ} – имеет нелинейную характеристику, которая также зависит от угла β. Суммарная осевая деформация показывает, что осевое упругое смещение колец в подшипниках δ_0 = 0,055...0,075 мм, при этом осевая сила сжатия F_0 для среднего момента трения $M_{тр}$ = 3 Н·м составляет 3...5 кН.

При рассмотрении вопросов технологического обеспечения преднатяга в подшипниковых узлах ведущих шестерен главных передач автомобилей

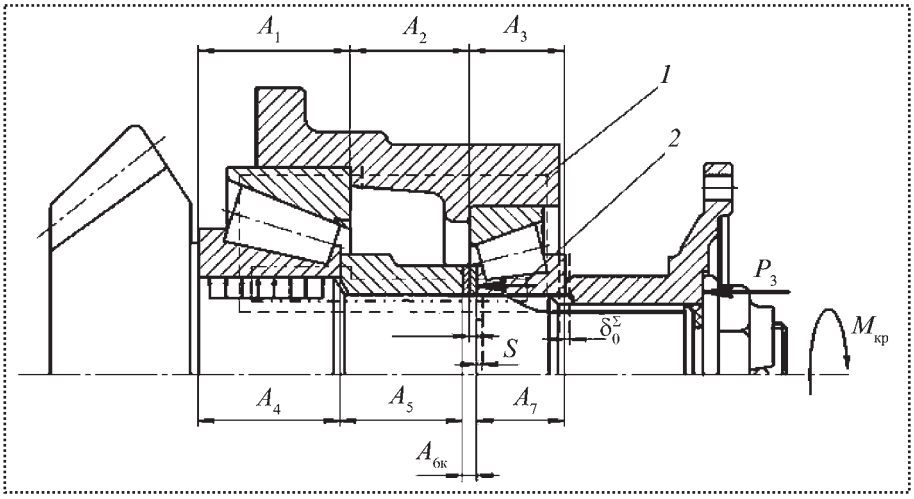

Рис. 4. Размерная цепь подшипникового узла с преднатягом:
1 – наружный контур; *2* – внутренний контур; A_1, A_3 – монтажная высота подшипников; A_2 – размер в корпусе; A_4, A_7 – размер внутренних колец; A_5 – размер дистанционной втулки; $A_{6к}$ – размер компенсации; S – исходный зазор до создания преднатяга; $M_{кр}$ – момент затяжки гайки; P_3 – сила, создаваемая гайкой

необходимо выполнить анализ размерной цепи подшипникового узла с преднатягом.

Узел ведущей шестерни и размерная цепь на преднатяг подшипников после силового замыкания показаны на рис. 4. Замыкающее звено δ_0^{Σ} – линейная величина преднатяга, равна сумме деформаций в каждом подшипнике:

$$\delta_0^{\Sigma} = \Delta A_1 + \Delta A_3 .$$

Для создания этой величины при регулировке с помощью компенсатора в процессе сборки необходимо обеспечить технологический зазор S до силового замыкания, который определяется в результате решения уравнения размерной цепи:

$$S = \delta_0^{\Sigma} = (A_1 + A_2 + A_3) - (A_4 + A_5 + A_{6к} + A_7) ,$$

где A_1, A_3 – монтажная высота подшипников;
A_2 – размер в корпусе;
A_4, A_7 – размер внутренних колец;
A_5 – размер дистанционной втулки;
$A_{6к}$ – размер компенсатора.

Как уже отмечалось ранее, регулирование преднатяга подшипников регламентировано в технических условиях на сборку редуктора по моменту вращения (проворота) вала после окончательной затяжки гайки хвостовика. Этот косвенный параметр, зависящий от целого ряда факторов, в том числе геометрии и состояния поверхностей качения подшипников, от скорости вращения при контроле момента трения, смазки и ряда других факторов, является единственно доступным в производстве при контроле качества сборки.

Главным параметром является осевая сила сжатия дуплексов (сила преднатяга) F_0. При исследовании влияния силовых и деформационных факторов в каждом подшипниковом узле определяли действительную характеристику момента трения от осевой силы.

При сборке главных передач одними из наиболее трудоемких и ответственных операций, определяющих качество и эксплуатационную надежность редукторов ведущих мостов, являются операции регулировки преднатяга подшипников ведущей шестерни и дифференциала, а также операция регулировки параметров зацепления главной передачи (пятна контакта, бокового зазора $\Delta_{б.з}$ между зубьями и осевого положения шестерен).

Как показывает многолетний опыт работы в этом направлении с заводами отрасли, эти операции в большинстве технологических процессов сборки слабо механизированы и имеют технологическое оснащение, не обеспечивающее точность выходных параметров. Требуемое качество сборки редукторов и производительность процесса достигаются главным образом за счет высокой квалификации и опыта рабочих на данной операции методом проб и ошибок. Эти операции сопровождаются постоянными переборками редукторов, на них уходит 10...30 % всего времени сборки.

Главным предназначением преднатяга подшипников является обеспечение осевой и радиальной жесткости подшипниковых узлов, ведущей шестерни и ведомого колеса, от которой и зависит стабильность параметров зацепления конической передачи.

Однако параметром, принятым в производстве для контроля точности регулировки преднатяга, выбран косвенный параметр – момент трения, как наиболее доступный в технологических процессах сборки, легко механизируемый и автоматизируемый на сборочных конвейерах. Этот параметр в различных отечественных и зарубежных автомоби-

лях задан в пределах 1,0...4,5 Н·м. При этом необходимо отметить, что какая-либо взаимосвязь с конструкцией самих подшипников или конструкцией редуктора не устанавливается. Конкретные пределы в различных конструкциях – 0,8...1,6; 1,5...3,5; 2,5...4,0, 3,0...4,0 Н·м – назначают по аналогам или на основании некоторых опытных данных.

Для достижения качественной и точной регулировки преднатяга подшипников в технологических процессах сборки редукторов необходимо:

1) определить точную характеристику момента трения в дуплексах регулируемых подшипников данной конструкции с учетом перечисленных факторов (в особенности – наличие смазки);

2) применить надежный метод измерения этого параметра и соответствующую технологическую оснастку для контроля;

3) выполнять контроль этого параметра по ходу технологического процесса сборки подшипниковых узлов с преднатягом после определенных операций сборки.

Сборка узла ведущей шестерни (рис. 5) начинается с запрессовки наружных колец подшипников в корпус. Для выполнения этой операции разработана технологическая оснастка, обеспечивающая точное центрирование одновременно двух колец и корпуса в процессе запрессовки. Сила запрессовки этих колец должна быть в пределах 2,0...2,3 кН. Далее осуществляется операция регулировки преднатяга, которая состоит из этапов:

1) определение (измерение) требуемой толщины пакета регулировочных колец компенсатора с распорной втулкой;

2) подбор этого пакета по толщине из комплекта регулировочных шайб, заданного типоразмера;

3) проверка правильности подбора в подсобранном узле с имитацией силы от гайки хвостовика с контролем момента проворота корпуса $M_{пр}$;

4) затяжка гайки хвостовика ведущей шестерни с заданным моментом.

Для выполнения первого этапа разработаны и изготовлены опытно-промышленные образцы стендов, позволяющие определять требуемый размер компенсатора $Б_к$ с учетом силовых, деформационных и динамических факторов в подшипниках, при постоянном контроле момента трения, за один (рис. 6) или два установа регулируемого узла.

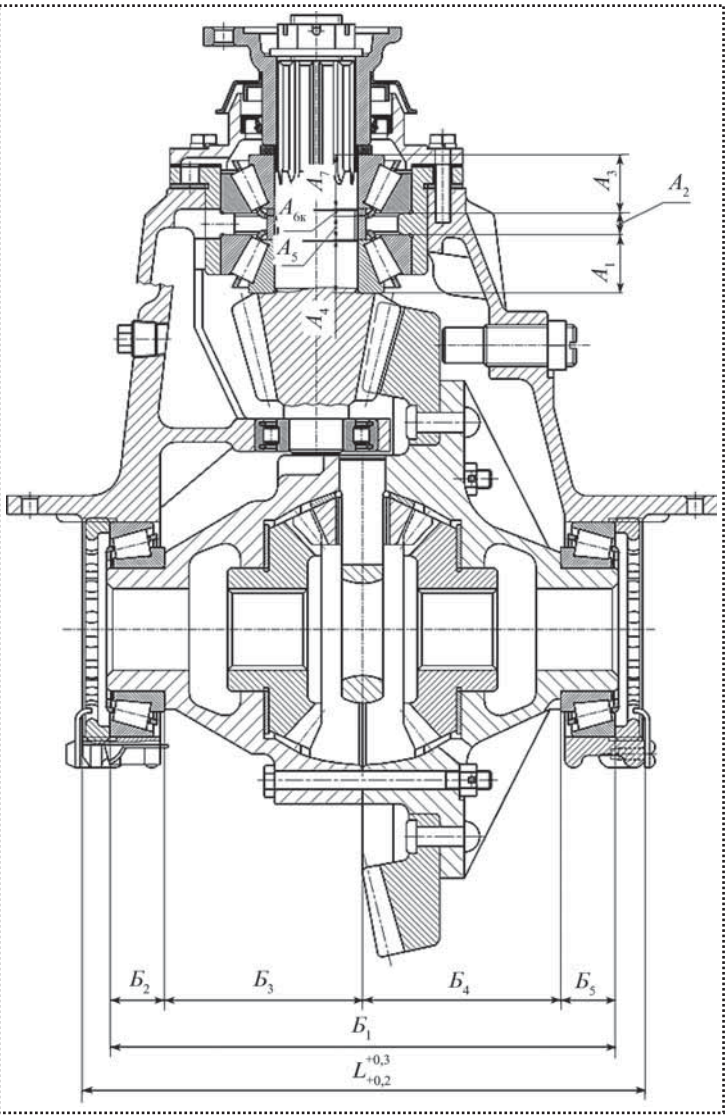

Рис. 5. Редуктор ведущего моста автомобиля и размерные цепи на преднатяг подшипников ведущей шестерни и ведомого колеса:
A_1, A_3 – монтажная высота подшипников; A_2 – размер в корпусе; A_4, A_7 – размер внутренних колец; A_5 – размер дистанционной втулки; $A_{6к}$ – размер компенсатора; $Б_2$, $Б_5$ – монтажный размер подшипников; $Б_3$, $Б_4$ – размеры чашек дифференциала; $Б_1$ – замыкающее звено; L – технологический монтажный размер

При этом технологическая (измерительная) сила

$$F_{тех} = \left(F_0^m - \frac{\delta_{в.к} + \delta_{0N}}{C_1 + C_2} \right)^{1/m},$$

где F_0 – осевая сила сжатия дуклексов;

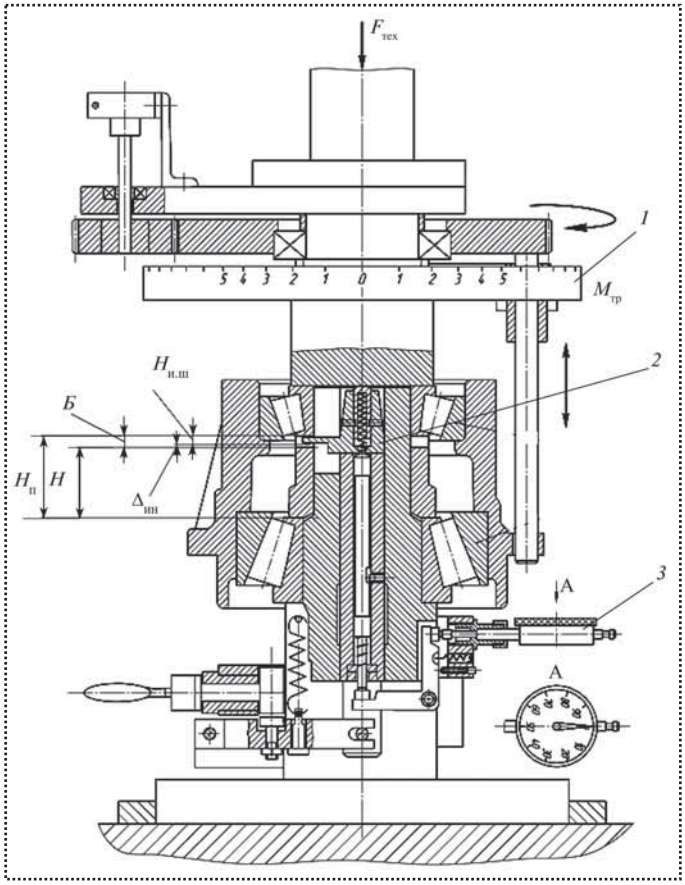

Рис. 6. Технологическая оснастка для измерения компенсатора за один установ регулируемого узла:
1 – торсионный измеритель момента трения $M_{тр}$; *2* – измерительный элемент, перемещаемый в зазоре *Б*; *3* – индикатор для определения $Δ_{ин}$; $F_{тех}$ – технологическая сила; $H_{и.ш}$ – размер измерительной шайбы; $H_п$ – расстояние между подшипниками; *H* – высота втулки; $Δ_{ин}$ – измеряемый зазор

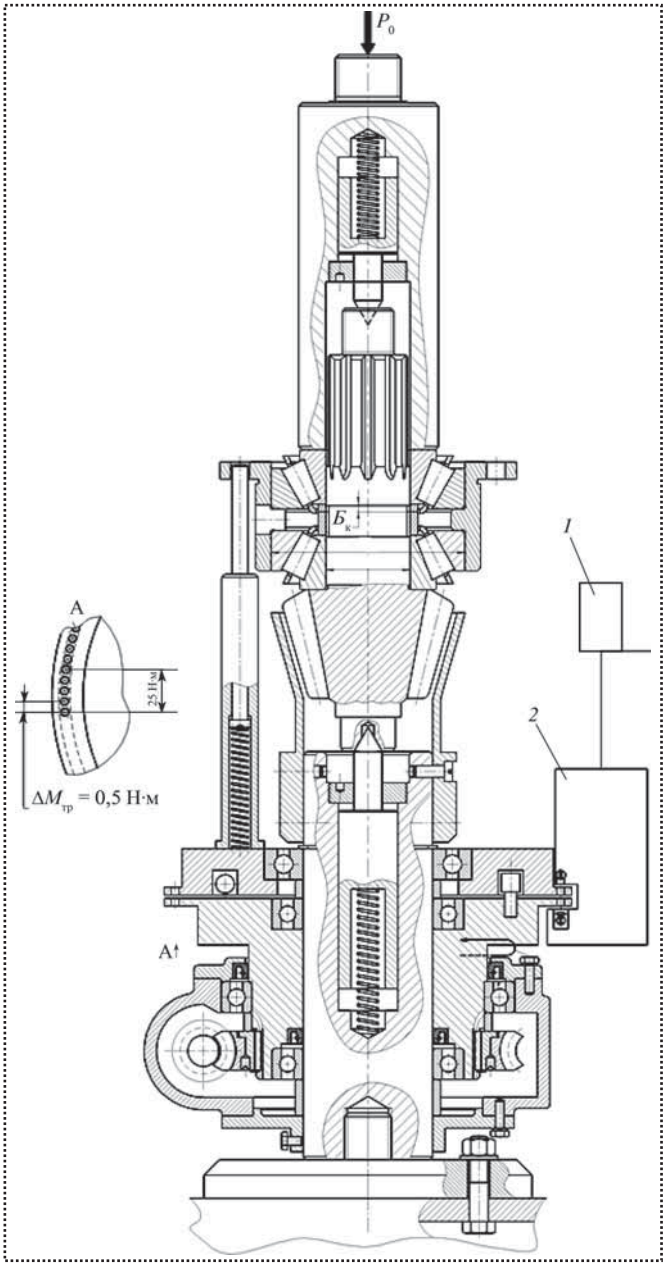

Рис. 7. Технологическая установка для контроля момента трения в подшипниках:
1 – счетчик импульсов; *2* – фотоэлектрический датчик импульсов; P_0 – осевая сила сжатия подсобранного узла; $Б_к$ – размер компенсатора на преднатяг; $ΔM$ – цена деления одного импульса

m – показатель степени, характеризующий осевую податливость подшипников, $m = 2/3$;

$δ_{в.к}$ – осевая деформация при сжатии внутреннего контура;

$δ_{0N}$ – осевое приращение монтажной высоты от запрессовки внутреннего кольца на вал шестерни;

C_1 и C_2 – постоянные коэффициенты осевой податливости подшипникового дуплекса.

Для выполнения второго этапа на базе винтового или гидравлического пресса (50 кН) разработана технологическая установка (рис. 7), позволяющая контролировать момент трения и точность регулировки преднатяга подшипников до силового замыкания. Если момент проворота $M_{пр}$ в дуплексе подшипников, с имитацией силы от гайки, не соответствует техническим условиям, то в подсобранном узле необходима корректировка размера набранного компенсатора (по второму этапу).

Для контроля момента трения используют торсионное вращающееся устройство с фотоэлектрическим датчиком, определяющим число импульсов.

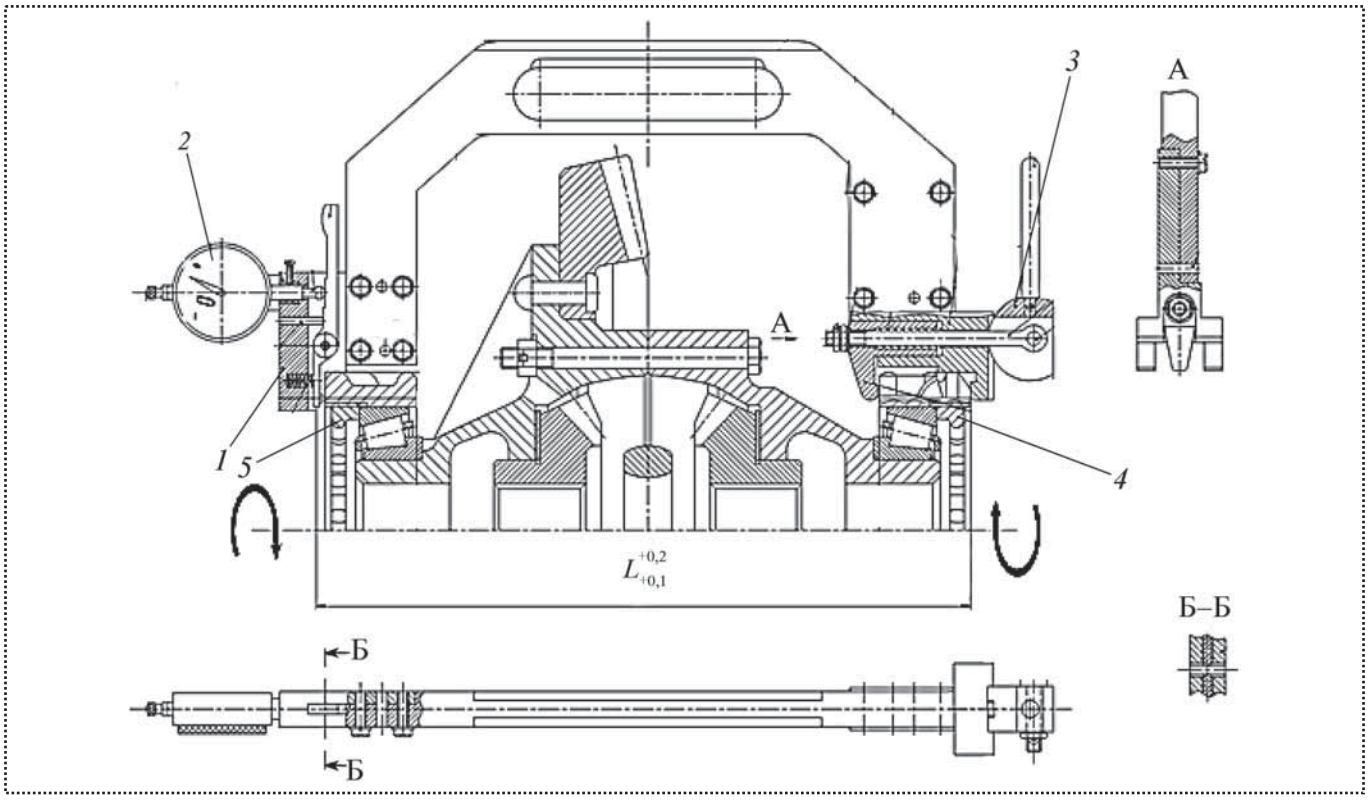

Рис. 8. Технологическая оснастка для регулировки преднатяга подшипников дифференциала редуктора:
1 – измерительная скоба; *2* – индикатор; *3* – эксцентриковый зажим для закрепления скобы; *4*, *5* – регулировочные резьбовые кольца для создания преднатяга

Вращение от торсионного диска передается на корпус подшипникового узла через палец.

После дополнительной подсборки подшипникового узла с крышкой, манжетными уплотнениями и карданным фланцем осуществляется навинчивание и затяжка гайки с одновременным вращением подшипников.

Точность силового замыкания при затяжке гайки хвостовика является важнейшим заключительным этапом регулировки преднатяга подшипниковых узлов, после которого должно приниматься решение о пригодности собранного узла для дальнейшей сборки редуктора. Погрешность силового замыкания непосредственно влияет на точность регулировки преднатяга.

Для выполнения этой операции разработан стенд, позволяющий реализовать взаимосвязь момента затяжки гайки по техническим условиям, силы осевого сжатия узла при сборке и силы, имитирующей затяжку гайки на стенде, при проверке момента трения подшипников, собранных с преднатягом.

Таким образом, в предлагаемом технологическом процессе сборки узла ведущей шестерни косвенный параметр преднатяга – момент трения в подшипниках контролируется на различных этапах пять раз. Такой многократный контроль и технологическая оснастка для его выполнения позволяют обеспечить высокую точность регулировки преднатяга.

Преднатяг подшипников дифференциала осуществляется с помощью резьбовых регулировочных колец с одновременным вращением подшипников, по деформации гнезд размера между крышками подшипников. Для контроля этого параметра разработана контрольная технологическая оснастка – скоба *1* (рис. 8).

Деформация гнезд также является косвенным параметром преднатяга подшипников и зависит от ряда параметров, главным из которых является качество затяжки болтов крышек. Как показали исследования затяжки болтов крышек и точности регулировки преднатяга, если точность указанного параметра технологически обеспечивается при сборке крышек, то характеристика деформации

крышек от осевой силы является линейной и практически не имеет разброса. Поэтому регулировка преднатяга по деформации при наличии фактора вращения подшипников позволяет обеспечить высокую точность силового параметра преднатяга.

Представленный комплекс технологической оснастки позволяет повысить точность регулировки преднатяга подшипников, снизить трудоемкость, повысить производительность и в целом улучшить качество сборки и работоспособность редукторов.

Библиографический список

1. **Булавин И.А., Груздев А.Ю.** Технологическое обеспечение преднатяга подшипников в редукторах ведущих мостов // Автомобильная промышленность. 2001. № 1. С. 33–34.

2. **Булавин И.А., Груздев А.Ю.** Взаимосвязь параметров преднатяга конических роликоподшипников. // Автомобильная промышленность. 2001. № 6. С. 22–24.

3. **Булавин И.А., Груздев А.Ю., Будыкин А.В.** Влияние силовых и деформационных факторов при сборке подшипниковых узлов редукторов автомобилей на точность регулирования преднатяга подшипников. // Машиностроитель. 2009. № 7. С. 32–34.

4. **Булавин И.А., Груздев А.Ю., Будыкин А.В.** Влияние сил и деформаций звеньев при сборке подшипниковых узлов редукторов автомобилей на точность регулировки преднатяга подшипников // Техника машиностроения. 2009. № 2. С. 32–36.

5. **Булавин И.А., Будыкин А.В.** Повышение точности сборки подшипниковых узлов с преднатягом в редукторах ведущих мостов автомобилей. Мат. Международного симпозиума "Автотракторостроение 2009" и 65-й Междунар. науч.-техн. конф. ААИ "Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров". М., 2009.

6. **Булавин И.А., Груздев А.Ю., Будыкин А.В., Киселев Ю.Б.** Технологическое оборудование и оснастка для исследования и сборки редукторов автомобилей. Сб. докл. междунар. науч.-техн. семинара: "Современные технологии сборки". М., 2011.

7. **А.С. СССР №1733944**. Способ создания осевого предварительного натяга в подшипниковом узле / И.А. Булавин. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР 15.01.1992.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

ХОЛОДНОТВЕРДЕЮЩИЕ СВЯЗУЮЩИЕ И СМЕСИ ДЛЯ ЛИТЕЙНЫХ СТЕРЖНЕЙ И ФОРМ

Справочник

С.С. Жуковский

Приведены номенклатура холоднотвердеющих связующих и смесей (ХТС) для изготовления стержней и форм, а также их производители в промышленно развитых странах и России. Представлены составы, анализ химических и технологических характеристик ХТС и связующих, методики исследовательских и производственных испытаний, методы управления свойствами. Описаны вспомогательные материалы для новых процессов: разделительные покрытия, средства очистки оснастки, клеи.

Рассмотрены вопросы, связанные с внедрением ХТС на стадии предварительной проработки и промышленного освоения: характеристики и правила применения противопригарных покрытий, технологические параметры изготовления стержней и форм, регенерация смесей, техника безопасности и экологические характеристики. Приведены примеры расчетов экономической эффективности для конкретных производств.

Для специалистов литейного производства, может быть полезен преподавателям, аспирантам и студентам вузов.

2010
Объем 256 с.
Формат 60x88 1/16
Переплет
ISBN 978-5-94275-499-0
Цена 500 р.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 621.9.06

С.Я. Березин, *д-р техн. наук (Забайкальский государственный университет, г. Чита),*
Л.С. Романова, *канд. техн. наук (Забайкальский государственный гуманитарно-педагогический университет им. Н.Г. Чернышевского)*
E-mail: Kurlser@yandex.ru

Конструкции патронов со специальными функциями для резьбонарезных и сборочных операций

Рассмотрены конструкции патронов, применяемых в производственной и исследовательской практике для достижения целей, не связанных с традиционными функциями стандартной вспомогательной оснастки, ориентированной на обработку резьбы и завинчивание крепежных изделий.

The types of the chucks applied in manufacturing and research practice to achievement of the objectives, not connected with traditional functions of the standard supplementary equipment directed to tapping on processing of a carving and screwing up of fasteners are considered.

Ключевые слова: резьбонарезание, сборка, завинчивание, патрон, вспомогательная оснастка, шпиндель, метчик, крепежная деталь, копирование.

Keywords: thread-forming, assembly, screwing, tape, supplementary equipment, spindle, screw tap, fastener, copying.

Многообразие современных конструкций вспомогательной оснастки для сборки резьбовых соединений и нарезания резьб охватывает значительное число видов, широко представленных технической литературой и применяемых в современном производстве. Это в основном предохранительные, выключающиеся, реверсивные, компенсирующие и другие известные виды патронов.

Однако существует немало конструкций, выполняющих специфичные функции, описанные в малодоступных на сегодняшний день источниках информации и которые либо не попали в описания книг, справочников и т.п., либо незаслуженно забыты за давностью лет. Многие из них еще могут найти свое достойное применение в современном производстве, несмотря на устойчиво сформировавшееся мнение о том, что широкие технологические возможности современных станков во многом перечеркнули конструкторские изыски разработчиков вспомогательной оснастки.

Необходимо отметить, что далеко не все виды вспомогательной оснастки ориентированы на традиционные обрабатывающие операции. Многие разработаны для сборочных и исследовательских работ, для интенсификации операций, некоторые появились для недавно созданных технологий и т.д.

В некоторых зарубежных странах существует традиция успешного создания высокотехнологичного оснащения на основе собственных старых патентных разработок. Это наглядный пример исторической преемственности, заложенный в основу эффективной работы компаний. В данной статье рассмотрены образцы патронной оснастки, мало освещенные в технической литературе.

Патроны для ударно-импульсной и вибрационной обработки резьбы

Вибрационный метод резания с тангенциальными колебаниями обеспечивает улучшение обрабатываемости не только при точении, но и при развертывании, резьбонарезании, шлифовании, разрезке материалов и других процессах.

Известные методы вибрационного резания с наложением синусоидальных колебаний в дальнейшем были заменены на применение ударно-импульсных режимов с высокими скоростями и ускорениями. Такие методы широко применяют при нарезании и калибровке глухих резьб. Они обеспечивают повышение стойкости метчиков в 3–3,5 раза и значительно увеличивают производительность, так как нарезание полного профиля резьбы может быть осуществлено одним метчиком вместо применяемых двух–трех. Подобные режимы обработки реализуют с использованием специальной вспомогательной оснастки. Общий вид та-

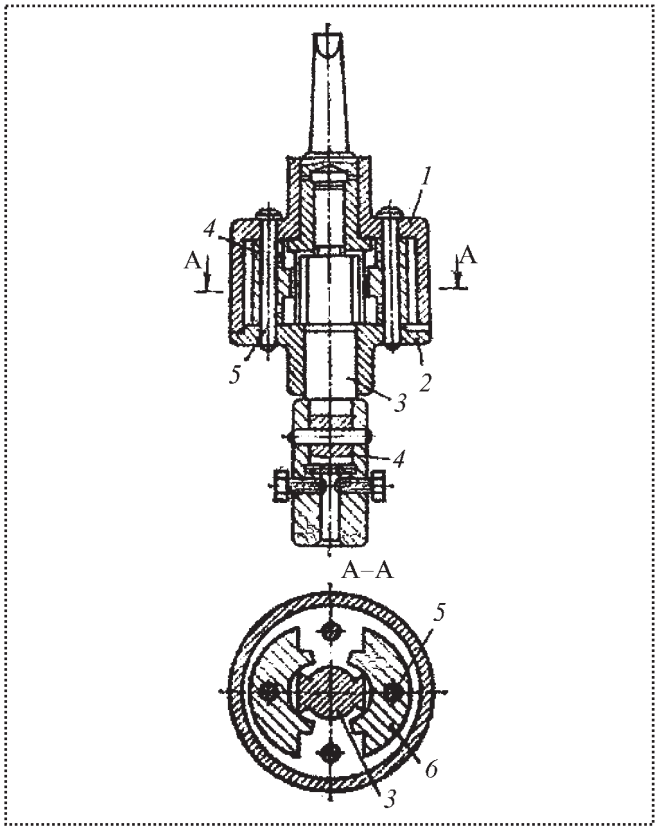

Рис. 1. Патрон для ударно-импульсного нарезания резьб

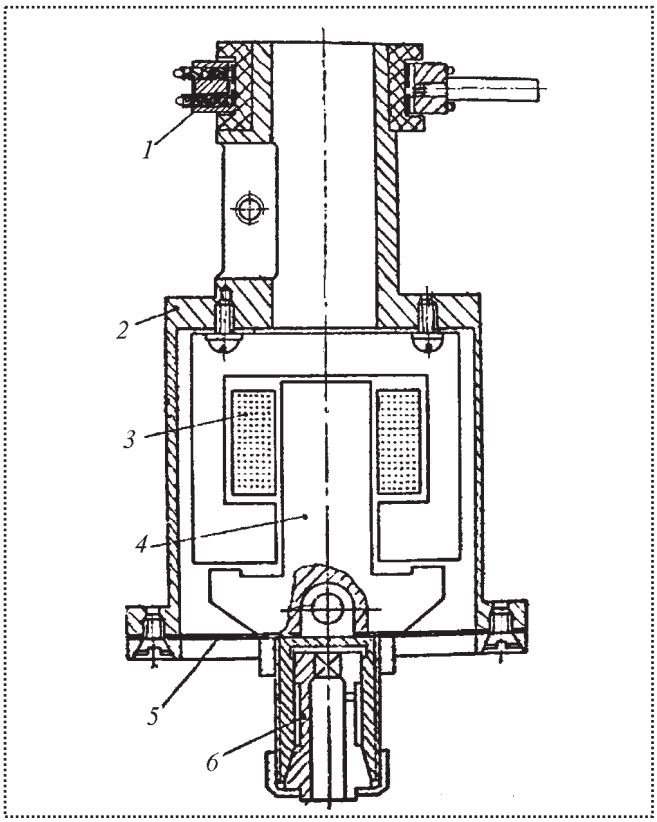

Рис. 2. Резьбонарезной патрон для вибрационной обработки

кого патрона для ударно-импульсной обработки резьб приведен на рис. 1 [6].

Патрон состоит из корпуса *1* с крышкой *2*, в котором на осях *5* установлены два бойка *6*. В расточке хвостовика патрона установлена поводковая ось *3*, заканчивающаяся инструментальным наконечником *4*.

Кулачковое зацепление бойков с поводками оси приводит к тому, что в начальный момент бойки ударяют по поводкам, протаскивая их и затем освобождая, при этом приобретенная при ударе энергия оси переходит в работу резания. После удара боек под действием силы, направленной во внешнюю сторону от оси вращения, соскакивает с кулачка и обходит его, а затем вновь разворачивается в положение, при котором может быть нанесен удар по следующему кулачку.

Таким образом, каждый боек за один оборот шпинделя наносит два удара по поводкам ведомой оси. Поводки оси *3* при холостом вращении находятся между бойками. Если к метчику приложен крутящий момент резания, то поводки оси *3* раздвигают бойки *6* и после выхода их из зацепления происходит очередной удар.

Подобные патроны можно использовать и при сборке резьбовых деталей для обеспечения ударной затяжки соединения. На аналогичном принципе работают редкоударные гайко- и шпильковерты, резьбонарезатели и другая импульсная техника.

Известны разработки специальной шпиндельной оснастки для вибрационного резьбонарезания метчиками, плашками и другими инструментами (А.с. 319396, 1632761).

Один из таких образцов представлен на рис. 2. В данном патроне применен электромагнитный преобразователь для придания метчику осевых колебаний. От преобразователя частоты, вырабатывающего переменный ток необходимой частоты, энергия поступает на токосъемное устройство *1*, размещенное на хвостовой части корпуса *2*. Внутри корпуса установлена катушка *3* электромагнита, якорь *4* которого закреплен на упругой мембране *5* вместе с цангой *6*, служащей для крепления инструмента. Хвостовая часть корпуса крепится на шпинделе резьбонарезного станка.

При обычном, безвибрационном, нарезании резьбы крутящий момент от шпинделя станка передается на корпус патрона, а от него на упругую мембрану, цангу и инструмент. При этом мембрана играет роль компенсатора разницы осевой подачи шпинделя станка и шага метчика, уменьшая осевое усилие на последнем.

При вибрационном нарезании резьбы переменное напряжение необходимой частоты поступает через токосъемное устройство на обмотку катушки электромагнита, что заставляет якорь вибрировать в осевом направлении, а следом за ним и цангу с метчиком.

Дополнительные осевые вибрации инструмента-метчика или раскатника повышают их стойкость и облегчают процесс резьбообразования.

Для питания обмотки электромагнита применяют переменный ток частотой 400...500 Гц, так как, по мнению разработчиков, именно такая частота обеспечивает максимальное снижение крутящего момента и повышение стойкости при нарезании резьбы М2,5...М8 в большинстве материалов, в том числе в коррозионно-стойких и жаропрочных сталях и сплавах.

Изолирующие патроны для устранения или измерения термотока в технологической системе станка

Одним из важнейших мероприятий по увеличению надежности металлорежущих инструментов является повышение их износостойкости. Один из путей такого повышения предложен А.А. Рыжкиным, В.С. Дмитриевым, В.Г. Солонеко и др. [1]. Он заключается в электрической изоляции инструмента или детали от системы станка.

Введение изолятора в конструкцию патрона приводит к устранению вредного влияния термотока и повышает стойкость метчиков в 1,5–2,5 раза. Конструкция патрона для разрыва электрической цепи термотока, возникающего при работе метчика, представлена на рис. 3.

В корпусе *1* установлен текстолитовый стакан *2* и втулка *3*, в которой винтами *4* фиксируется метчик *5*. Корпус, стакан и втулка склеены между собой для обеспечения прочности соединения.

В качестве критерия затупления метчика принимают его максимальный износ по задним поверхностям зубьев на заборном конусе. Метчики снимали с испытаний, если проходная сторона резьбового калибра-пробки не ввинчивалась в отверстие, что соответствовало затуплению по задним поверхностям в пределах 0,9...1,5 мм.

Измерения износа метчика проводили через одинаковые периоды работы и после окончательного затупления.

Было установлено, что максимальная величина износа задних поверхностей метчиков, работающих в условиях разрыва цепи термотока, меньше, чем у метчиков, работающих в обычных условиях.

При разрыве электрической цепи стойкость метчиков М12, М16, М18 из инструментальных сталей увеличивается соответственно в 1,23; 1,56 и 1,78 раза, а гарантийная (при вероятности 0,9) – в 1,4; 1,65 и 1,5 раза.

В исследовательской практике часто возникает потребность в измерении температуры в контакте метчика или резьбовыдавливающего винта со стенками отверстия детали. Измерение производят методом естественной термопары и для этой цели необходимо отводить термоЭДС к измерительному устройству. В этом случае применяют оснастку с токоотводящими контактными кольцами. Пример такого патрона приведен на рис. 4. Он применялся авторами данной статьи при исследованиях термоЭДС в процессе завинчивания резьбовыдавливаю-

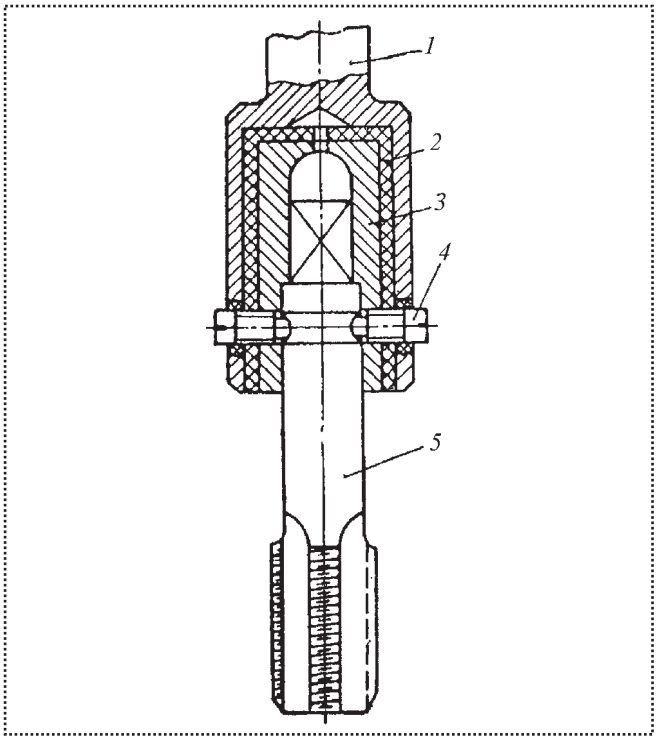

Рис. 3. Изолирующий патрон для разрыва электрической цепи в системе резьбонарезания

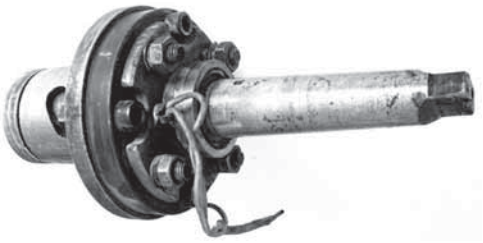

Рис. 4. Патронная оправка для измерения термотка в цепи резьбонарезания

щих шпилек в гладкие отверстия латунных и алюминиевых корпусов. Исследования проводились в Забайкальском государственном университете.

Хвостовая часть оправки изолирована от инструментальной с помощью текстолитового кольца.

Инструментальный наконечник имеет два клиновых паза для затяжки гаечного конца шпилек при появлении крутящего момента завинчивания. Токоотводящее кольцо установлено на изолирующей втулке хвостовой части и электрически связано с инструментальным наконечником. На пиноли шпинделя закреплена клемма, несущая подпружиненную графитовую щетку, контактирующую с токоотводящим кольцом.

Отводимая термоЭДС регистрировалась сейсмографическим измерительным комплексом, включающим усилитель постоянного тока И37 и самопишущий потенциометр Н37. С помощью такого устройства удалось измерить термоЭДС в резьбовых парах и установить температуру резьбообразования при изменениях скорости завинчивания, припусков под резьбу, а также оценить характер влияния ультразвука, подводимого к зоне резьбового контакта на его температуру.

Шпилечные патроны с раскрывающимися губками

Такие патроны предназначены для ручного и автоматизированного ввинчивания шпилек любого диаметра и длины. Их устанавливают в шпиндель шпильковерта или станка и работают они без остановки вращения привода, автоматически включаясь в момент начала и выключаясь в момент окончания завинчивания, сокращая вспомогательное время [2, 3].

Один из таких вариантов патрона приведен на рис. 5. Патрон состоит из двух механизмов: механизма цанги, осуществляющего захват шпильки за

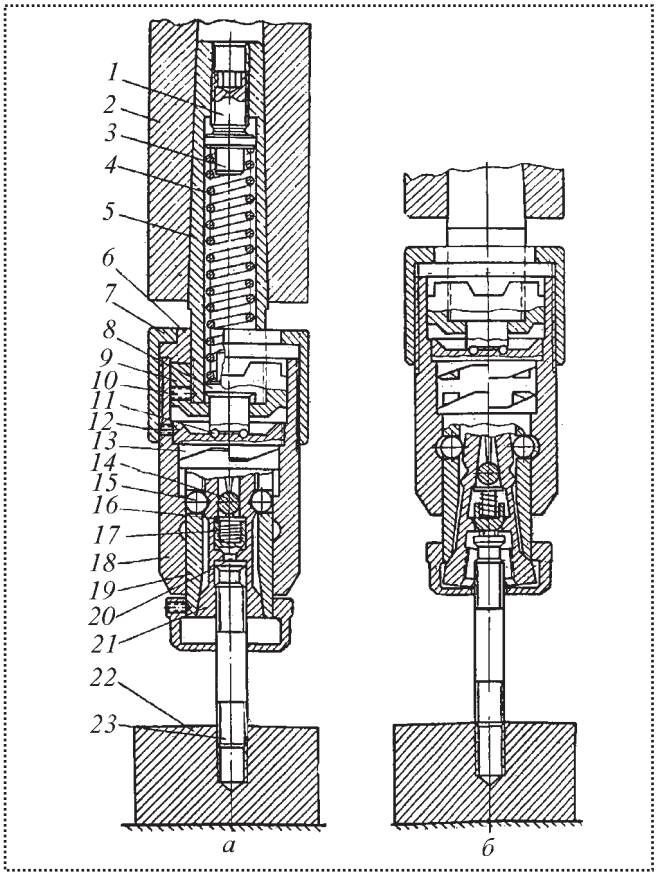

Рис. 5. Раскрывающийся шпилечный патрон

резьбу в момент включения патрона и механизма пружинной предохранительной муфты, производящей выключение патрона по окончании ее завинчивания в отверстие детали *22* (рис. 5, *а*) и раскрывающего цангу.

Работает патрон следующим образом. Разрезная цанга *21*, удерживающая шпильку *23* при ввинчивании, имеет две половинки, вращающиеся вокруг валика *14*. Внутри цанги помещается упор *20* и пружина *17*, упирающаяся одним торцем в дно отверстия упора, а другим – в грибок *16*. Цанга вставлена во втулку *19*, в продольное окно которой входит валик *14*. Собранная цанга может перемещаться в пределах длины окна вдоль оси втулки *19*. В том случае, когда валик будет опираться в нижнюю часть окна втулки *19*, цанга открывается и дает возможность свободно вставить шпильку в патрон (рис. 5, *б*) или вынуть ее из патрона. Если валик будет упираться в верхнюю часть окна втулки, цанга закрывается (см. рис. 5, *а*).

В этом положении шпильку захватывает резьба цанги, упираясь торцем в упор *20*. Закрытая цанга *21* и торец упора *20* образуют глухое резьбовое отверстие, охватывающее гаечный конец шпильки.

По окончании ввинчивания достаточно потянуть стакан *18* вверх, втулка *19* пойдет вниз, шарики *15* попадут в кольцевую проточку стакана, освободят цангу и она раскроется действием разжимающей силы пружины *17*. Сверху механизма цанги в стакане корпуса *18* установлена муфта *13*, закрепленная в нем винтами *12*. Фиксирующие шарики *15* находятся в отверстиях втулки *19* и могут входить в кольцевую проточку цанги *21*, закрывая ее, или в проточку стакана *18*, закрывая цангу с захваченной шпилькой.

Так как при работе патрона шпиндель *2* опускается, то в момент захвата шпильки шарики *15* выйдут из кольцевой проточки стакана и западут в проточку цанги, зубья муфты *13* сцепятся с зубьями втулки *19* и вращение начнет передаваться на шпильку.

В верхнюю часть стакана вставлен хвостовик *5*, в отверстии которого находятся пружина *4*, опирающаяся одним концом на упорный палец *8*, а другим – на упорный палец *3*. На нижнюю часть хвостовика одета торцовая полумуфта *6*, смыкающаяся с полумуфтой *9*, зафиксированной в хвостовике винтами *10*.

Весь предохранительный механизм установлен в верхней части стакана *18*. Упорный палец *8* опирается на шариковый подшипник *11*, нижняя обойма которого законтрена в стакане винтами *12*. Сверху механизм смыкается накидной гайкой *7*. Момент срабатывания предохранительной муфты *6–9* регулируется сжатием пружины *4* винтом *1*.

По окончании завинчивания шпильки вращение стакана остановится, но закрепленный в шпинделе *2* хвостовик *5* вместе с полумуфтой *9* будет продолжать вращаться; зубья полумуфты *6* начнут подниматься по наклонным поверхностям зубьев полумуфты *9*, поднимая стакан патрона, с которым полумуфта *6* скреплена накидной гайкой *7*.

Подъем стакана через упорный подшипник *11* и упорный палец *8* вызовет сжатие пружины *4* и срабатывание муфты и затяжку шпильки. При этом вместе с полумуфтой *6* поднимается и стакан *18*, а втулка *19* остается на месте, муфта *13* размыкается.

Когда вращение втулки прекратится, следует поднять шпиндель *2*, цанга *21* выйдет из втулки, раскроется и освободит шпильку. Процесс на этом закончится.

Известны конструкции аналогичных патронов по А.с. № 841894 от 30.06.1981 г., № 846256 от 15.07.1981 г. и масса иностранных патентов на подобные конструкции: патенты США № 4470329, 4476749 (1984 г.), 4513646 (1985 г.), 4590826 (1986 г.), патенты Великобритании № 920402 (1963 г.), 1334909 (1973 г.) и др. Указанные патенты США принадлежат известной компании Titan Tool Co. и ее разработчику John A. McKean. На их основе в настоящее время компания производит фирменные автоматические патроны серий 100 "CD", Lancer и Target для завинчивания шпилек в отверстия, в том числе и в гладкие. Патрон данной серии показан на рис. 6. Он снабжен шариковым устройством захвата шпильки из загрузочного устройства и ее удержания, автоматом раскрывающихся губок и шариковым предохранительным устройством от предельного момента.

Патроны с функцией резьбонарезания по копиру

Процесс нарезания резьбы метчиками осложняется тем, что при работе самозатягиванием осевое усилие наживления не согласовано с шагом нарезаемой резьбы, поэтому конфигурация первых ниток гнезда искажается. Контролирующими устройствами фиксируется разбивание среднего диаметра первых 2–4 ниток [4].

Наиболее эффективным средством борьбы с отрицательным влиянием несбалансированной осевой составляющей является работа по копиру. Копирное устройство должно непосредственно без осевых податливых элементов направлять движение метчика. В этом случае осевые усилия, возникающие при резании, воспринимаются копиром и, практически полностью, компенсируются.

Сменная насадка для сверлильных станков, работающих

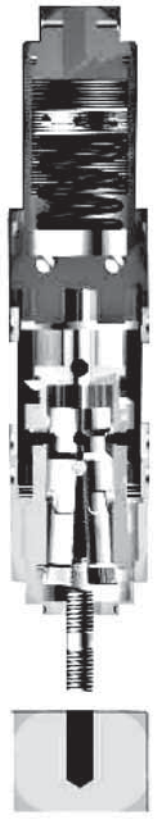

Рис. 6. Патрон для завинчивания шпилек компании Titan Tool (США)

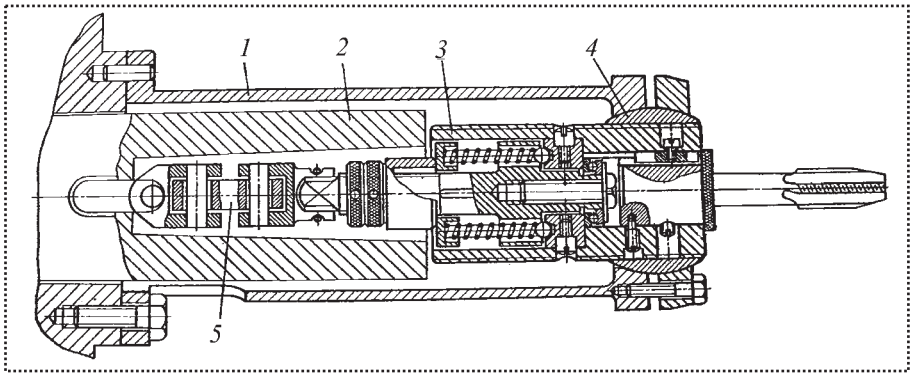

Рис. 7. Патронная насадка к сверлильному станку с механизмами нарезания резьбы по копиру

по схеме самозатягивания (А.с. 241208 от 01.01.1969) представлена на рис. 7. Она разработана в бывшем Челябинском политехническом институте (ныне Южно-Уральский государственный университет) В.В. Матвеевым, В.Н. Выбойщиком, И.Я. Мирновым.

В корпусе *1* насадки установлена винтовая пара, состоящая из копира *3* и копирной гайки *4*. Передача крутящего момента от шпинделя *2* станка копиру производится через шарнир *5* и предохранительное устройство, расположенное внутри копира и позволяющее нарезать резьбу в глухих отверстиях. Метчик установлен в переходной сменной втулке без осевого зазора.

Применение сменных втулок дает возможность использовать один копир для нарезания резьб разного диаметра, но одного шага.

Копирная гайка *4* имеет сферическую наружную поверхность и закрепляется в гнезде корпуса *1*. Установка копирной гайки в сферической опоре и использование шарнирной подвески для связи копира со шпинделем станка дает возможность устранить влияние биения и несоосности шпинделя, а также несовпадения осей деталей насадки на точность нарезаемой резьбы. Кроме того, благодаря такой связи шпинделя с метчиком, насадку можно использовать для нарезания резьб в отверстиях привалочных поверхностей, наклоненных относительно оси шпинделя.

Патроны с аналогичными функциями разрабатывали и в дальнейшем. Известны изобретения по А.С. № 400422 от 01.01.1973 г., № 418282 от 05.03.1974 г., № 582925 от 05.12.1977 г., № 621507 от 30.08.1978 г., № 844171 от 07.07.1981 г. и др. Принцип, заложенный в конструкциях копирных патронов, применяется и в резьбовых копирных пинолях агрегатных и специальных станков [5].

Патроны для получения отбортованных отверстий под резьбу фрикционным термическим сверлением

Более 15 лет в Германии, Бельгии, Голландии и других странах Европы применяют технологию термического сверления, формирования отбортованного отверстия и нарезания в нем резьбы. Она носит названия Flowdrill, Formdrill, Centerdrill в соответствии с теми компаниями, которые призводят для нее оборудование и технологическое оснащение. Компания "Unimex-Formdrill" (Бельгия) предлагает технологию безотходного термического сверления тонкостенных профилей с возможностью дальнейшей накатки резьбы в полученном отверстии. Кроме того, в этом же направлении работают немецкие компании Shtray, R&B Wagner Inc., J.G. Braun Co. и др. [7–9].

Термическое сверление – процесс пластического формирования сквозного отверстия в тонкостенной металлической заготовке при помощи нагрева трением специального быстро вращающегося твердосплавного пуансона о заготовку. При разогреве стенок формируемого отверстия с обеих сторон образуются кольцевые буртики, однако со стороны пуансона буртик придавливается его цилиндрической шейкой с образованием обрамляющего кольца. С нижней стороны буртик вытягивается конусом пуансона и формируется отбортованный выступ, в котором в дальнейшем бесстружечным метчиком накатывается резьба (рис. 8).

Основным инструментом является пуансон или наконечник. Иногда его называют сверлом. Их изготавливают из карбида вольфрама. Наконечник может разогреваться до температуры 900 °С, а очаг сверления заготовки – до 700 °С. Для предотвращения перегрева наконечника патрон, в который он установлен, снабжается мощным радиатором охлаждения (рис. 9).

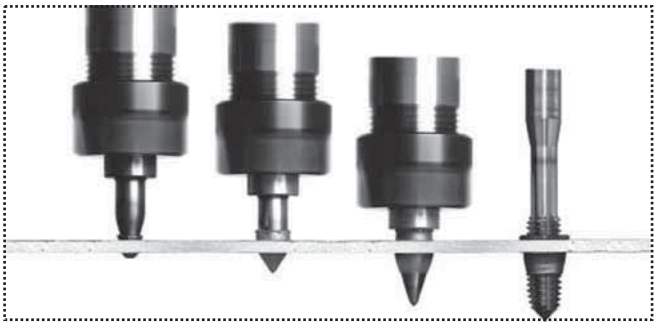

Рис. 8. Пластическое формирование отверстий термическим сверлением

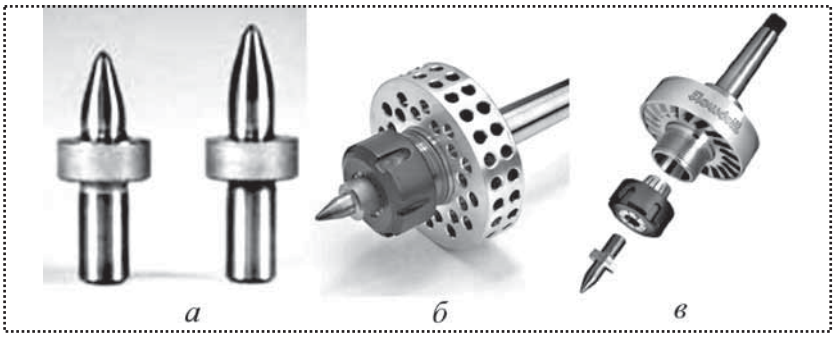

Рис. 9. Торцующие пуансоны (*а*) и виды патронов (*б* и *в*) для их крепления

Стандартные фасонные пуансоны Centerdrill бывают с короткой и удлиненной цилиндрической частью. При этом угол конической части у них одинаковый. При использовании этих версий пуансонов материал, перемещаемый против направления подачи, остается на поверхности рабочей детали и образует обрамляющее кольцо. Существуют также короткие и удлиненные торцующие пуансоны. Отличие заключается в конструкции фланца, который имеет специальную часть для срезания обрамляющего кольца после завершения формирования отверстия. Она позволяет сразу получать плоскую поверхность за одну операцию формовки.

Данная технология позволяет обойтись без операций вкручивания резьбовых втулок и приварки шпилек и гаек, поэтому может быть использована на универсальных сверлильных и фрезерных станках, а также на станках с ЧПУ. Патрон для сверлильной операции представляет собой жесткую оправку с хвостовой частью, заканчивающейся цилиндрическим стаканом, на наружную часть которого установлен охлаждающий радиатор, а внутрь вставлена сменная цанга для закрепления пуансонов. Радиаторы различаются размерами и конфигурацией охлаждающих элементов.

Технологическая оснастка для термического сверления находит широкое применение на предприятиях России, Украины, Белоруссии и других стран.

Ограниченные рамки объема статьи не позволяют охватить весь накопленный авторами материал, поэтому тема статьи будет продолжена в последующих выпусках журнала.

Библиографический список

1. **Рыжкин А.А., Дмитриев В.С., Солоненко В.Г., Матвеев Ю.А.** Повышение надежности метчиков в автоматизированном производстве // СТИН. 1971. № 12. С. 19–21.

2. **Замятин В.К.** Технология и оснащение сборочного производства машино-, приборостроения: справочник М.: Машиностроение, 1995. 608 с.

3. **Машиностроение**: энциклопедия в 40 т. / под ред. К.В. Фролова. Т. III-5. Технология сборки в машиностроении / А.А. Гусев, В.В. Павлов, А.П. Андреев и др. / под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Машиностроение, 2006. 637 с.

4. **Матвеев В.В.** Нарезание точных резьб. М.: Машиностроение, 1978. 88 с.

5. **Шатин В.П., Шатин Ю.В.** Шпиндельная оснастка: справочник / под ред. И.М. Рыбкина. М.: Машиностроение, 1981. 440 с.

6. www.technologysmash.ru.

7. www.prof-tool.com.

8. www.prof-tool.blogspot.com.

9. www.v-s.mobil/vieww/.

(Продолжение следует.)

УДК 621.039.566.6

А.В. Тимофеев, В.И. Шапкин, С.А. Душев, *канд. техн. наук,*
В.В. Москаленко, С.Д. Данилов *("ОКБМ Африкантов", г. Нижний Новгород)*
E-mail: dushev@okbm.nnov.ru

Выполнение опытных работ для обеспечения выгрузки отработанного ядерного топлива из баков хранилища плавучей технологической базы "Лепсе"

Рассмотрены вопросы выполнения опытно-конструкторских работ в подтверждение конструкторских решений, заложенных в проекте оборудования выгрузки отработавших тепловыделяющих сборок из баков хранилища плавучей технологической базы "Лепсе".

Development activities to validate design solutions made for the design of equipment for fulfilled heatallocating assembly unloading from tanks in the floating technological base "Lepse" storage facility were reviewed.

Ключевые слова: утилизация, переходник, пенал, пенал тонкостенный, кессон.

Keywords: dismantling, adapter, tube, thin-walled overpack, caisson.

Госкорпорация "Росатом" уделяет большое внимание реабилитации "ядерного наследия" – ядерно- и радиационно опасных объектов, на которых скопилось значительное количество отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов, образовавшихся в результате эксплуатации средств военного и гражданского назначения.

Первоочередной задачей реабилитации является удаление отработанного ядерного топлива (ОЯТ), которое позволило бы перевести эти объекты в ядерно-безопасное состояние и значительно снизить уровни радиационных излучений.

Одним из ядерно- и радиационно опасных объектов на северо-западе России является плавучая технологическая база ПТБ "Лепсе", которая обеспечивала перезарядку ядерным топливом реакторов атомных ледоколов, ремонт и замену оборудования реакторных установок. В хранилище ПТБ "Лепсе" размещено ядерное топливо, значительная часть которого имеет различные повреждения и не может быть удалена по штатной схеме.

В 2011–2012 гг. ОАО "ОКБМ Африкантов" в рамках проекта комплексной утилизации ПТБ "Лепсе" разработало технический проект оборудования выгрузки ОЯТ, целью которого являлись выбор и обоснование оптимальной транспортно-технологической схемы удаления топлива, размещенного в хранилище ПТБ "Лепсе", и разработка специального технологического оборудования для ее осуществления.

Основными требованиями при проектировании оборудования были:

• обеспечение безопасной выгрузки ОЯТ за счет автоматизации и механизации основных работ;

• исключение возможности дальнейшего повреждения дефектных отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС), находящихся в пеналах и кессонах хранилища, а также возможных просыпей топлива при выгрузке, транспортировке и последующей переработке дефектного ОЯТ на заводе регенерации топлива (РТ);

• максимальное сокращение времени нахождения обслуживающего персонала в помещении хранилища при выполнении ручных работ в условиях неблагоприятной радиационной обстановки.

Для достижения поставленных целей в процессе разработки технических средств и технологии выгрузки были приняты следующие решения:

• дефектные ОТВС, находящиеся в пеналах хранилища, выгружают совместно с последними, предварительно вырезав их из трубной доски хранилища (рис. 1);

• поврежденные ОТВС, находящиеся в кессонах хранилища, после извлечения помещают в специальные тонкостенные герметичные пеналы,

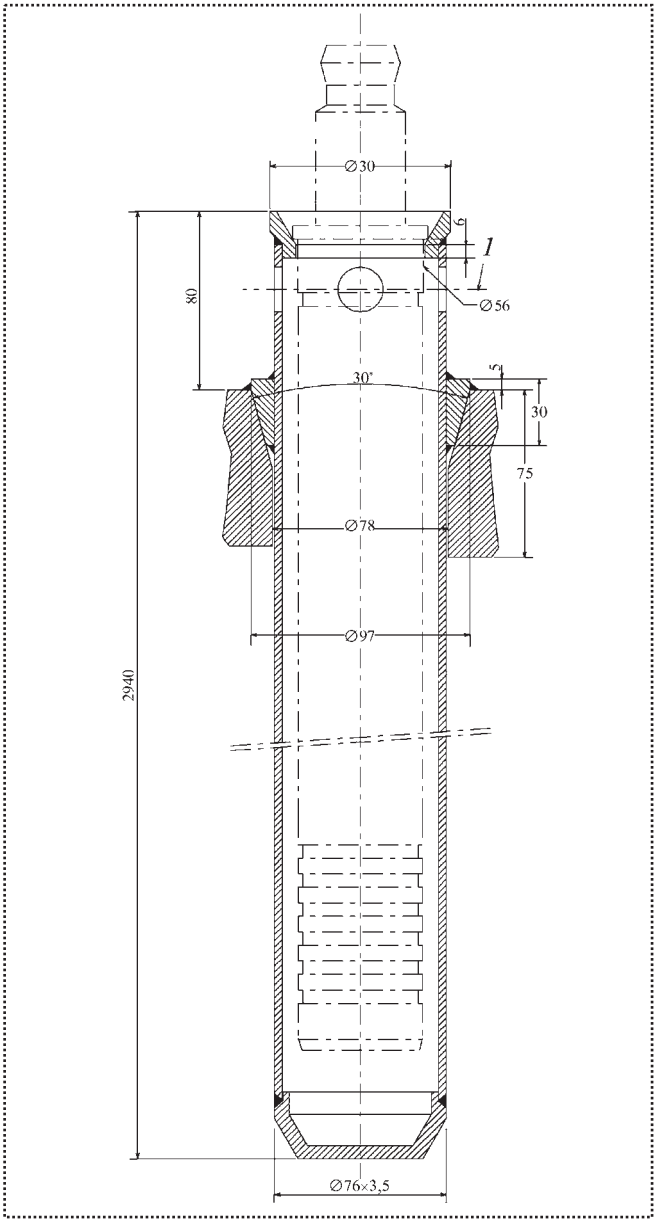

Рис. 1. Пенал бака хранилища с ОТВС:
1 – отверстия для циркуляции воды

подлежащие последующей переработке на заводе РТ совместно с ОТВС.

При разработке оборудования выгрузки ОТВС из хранилища ПТБ "Лепсе" наряду со многими сложными проблемами, требующими отработки конструкторских решений на опытных образцах, оказались задачи по созданию быстросъемных переходников, устанавливаемых на вырезанные пеналы с целью их дальнейшего извлечения с помощью защитных контейнеров, и тонкостенных герметичных пеналов, аналогов которым для обращения с дефектными ОТВС транспортных установок не было.

При разработке конструкции переходника и герметичного пенала учитывали следующие требования.

Переходник с помощью специального ключа должен легко устанавливаться и надежно фиксироваться на вырезанном пенале, находящемся на глубине около 1 м, а также легко сниматься.

Герметичный пенал должен:

• обеспечивать возможность разделки на заводе РТ совместно с находящейся внутри ОТВС;

• вписываться в существующее оборудование для транспортировки ОЯТ (чехлы, транспортные контейнеры);

• обеспечивать герметичность внутренней полости при погружении в воду на глубину до 4 м и иметь отрицательную плавучесть;

• обеспечивать удобство и простоту в обращении при выполнении работ.

Разработанные в соответствии с данными требованиями и изготовленные опытные образцы переходника (рис. 2 на стр. 2 обложки) и тонкостенного пенала (рис. 3 на стр. 2 обложки) были испытаны в ОАО "ОКБМ Африкантов" на ранее изготовленном полномасштабном стенде-имитаторе хранилища ПТБ "Лепсе", предназначенном для испытаний изготовленного оборудования выгрузки и практической подготовки специалистов по работе с этим оборудованием.

Проведенные испытания подтвердили правильность выбранных конструкторских решений и технологии выполнения операций по обращению с дефектными ОТВС.

Так, переходник с помощью ключа свободно монтировался и демонтировался с имитатора вырезанного пенала (рис. 4 на стр. 3 обложки). Шариковое захватное устройство, встроенное в переходник, надежно фиксировало его на имитаторе пенала даже при осевых усилиях, превышающих 3900 Н.

Испытания герметичного тонкостенного пенала подтвердили удобство работы с ним. Крышка пенала легко устанавливалась в корпус и надежно фиксировалась двумя подпружиненными замками. Герметичность тонкостенного пенала обеспечивалась уплотнительными кольцами, установленными в канавках крышки.

Проверка герметичности уплотнений при погружении пенала в бассейн и созданием давления воздуха внутри пенала 0,04±0,005 МПа в течение 1 ч подтвердила правильность выбранных конструкторских решений уплотняющего узла (рис. 5 на стр. 3 обложки).

Также была подтверждена отрицательная плавучесть тонкостенного пенала.

Вывод

Полученные результаты ОКР позволяют рекомендовать применение разработанных технических средств в составе оборудования выгрузки ОЯТ при выводе из эксплуатации ядерно- и радиационно опасных объектов.

Библиографический список

1. **Обращение** с дефектным ОЯТ транспортных ЯЭУ в Северо-западном регионе / Н.Г. Сандлер и др. М., 2008.

2 **Тимофеев А.В., Душев С.А.** Принципиальные технические решения обращения с ОЯТ ПТБ "Лепсе". Проблемы и их решение. Доклад для представления на семинаре КЭГ МАГАТЭ "Обращение РАО ядерного наследия: переработка, кондиционирование и хранение", 17–19 мая 2011 г., Херингсдорф, остров Узедом, Германия. Материалы семинара 11-16831. Херингсдорф. 2011.

ООО "Издательство Машиностроение"
продолжает подписку на журнал
"СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ"

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

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

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

ООО "Издательство **Машиностроение**", 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**".
Адрес электронной почты издательства: **mashpubl@mashin.ru**;
редакции журнала: **sborka@mashin.ru, http://www.mashin.ru**
Телефон редакции журнала: (499) 268-38-42; тел./факс (499) 268-85-26; факс 269-48-97.
Технический редактор *Жиркина С.А.* Корректоры *Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.*
Сдано в набор 11.04.13 г. Подписано в печать 20.05.13 г. Формат 60×88 1/8.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Издательство Машиностроение".
Отпечатано в ООО "Белый ветер", 115407, г. Москва, Нагатинская наб., д. 54, пом. 4.