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

7 2011 (132)

СОДЕРЖАНИЕ

Современные технологии сборки

Сысоев С.Н., Еропова Е.В. Исследование граничных условий применения метода многократной коррекции положения сопрягаемых изделий . . . 3

Шуваев В.Г., Шуваев И.В. Инерционная ударно-импульсная затяжка резьбовых соединений с применением дополнительных ультразвуковых колебаний . . . 7

Крылов С.М., Богомолов Р.М., Носов Н.В., Дедов Н.И. Сборка секций бурового шарошечного долота . . . 10

Березин С.Я., Кулеш И.М. Влияние ультразвука на технологические параметры сборки соединений с крепежно-резьбообразующими деталями . . . 15

Сборочное оборудование и его элементы

Данилова Л.Н. Устройства для установки саморезов . . . 21

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Галиуллин Л.А., Зубков Е.В. Нейро-нечеткая настройка автоматизированной системы испытаний дизельных двигателей . . . 26

Кулишенко С.А., Потемкин А.Н. Повышение качества сборки резьбовых соединений за счет изменения конструктивных параметров сборочного оборудования . . . 31

Горячев В.Н. Мониторинг и функциональная диагностика металлорежущих станков . . . 35

В помощь конструктору, технологу

Мокрицкий Б.Я., Бурков А.А. Управление работоспособностью металлорежущего инструмента . . . 38

Амиров Ф.Г. Общие положения создания переналаживаемых автоматических станочных систем . . . 44

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

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

Редакционный совет

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

Региональные редсоветы

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

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

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

Ответственные за подготовку и выпуск номера:
Л.Д. ПАРШЕНКОВА, И.М. ГЛИКМАН

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

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

THE MONTHLY NEWSMAGAZINE FOR SCIENTISTS AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

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

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

7 2011 (132)

CONTENTS

Modern technologies in assembly

Sysoev S.N., Eropova E.V. Study of the boundary conditions of the method of multiple correction of the mating products . . . 3

Shuvaev V.G., Shuvaev I.V. Inertial with great dispatch-pulse inhaling of carving connections with application of additional ultrasonic fluctuations . . . 7

Krylov S.M., Bogomolov R.M., Nosov N.V., Dedov N.I. Assemblage of sections roller chisels . . . 10

Berezin S.Ya., Kulesh I.M. Effect of ultrasound on the technological parameters of threaded joints with self-tapping screws . . . 15

Production tools and machinery for assembly

Danilova L.N. Assembly tools for self-tapping screws . . . 21

Quality assurance. Testing. Monitoring

Galiullin L.A., Zubkov E.V. Neuro-fuzzy setting an automated testing system for diesel engines testing . . . 26

Kulishenko S.A., Potemkin A.N. Improving the quality of assembly of threaded connections due to changes in structural parameters of assembly equipment . . . 31

Goryachev V.N. Monitoring and functional diagnosis of metal-cutting machine . . . 35

Industrial and design engineer's aid

Mokritskiy B.Ya., Burkov A.A. Capacity control of metal-cutting tool by means . . . 38

Amirov F.G. General establishment reusable automatic machine systems . . . 44

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

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

Editors

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

Regional editors

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

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

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

Executive editors of current issue:
PARSHENKOVA L.D., GLIKMAN I.M.

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

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

УДК 621.7.067

С.Н. Сысоев, *д-р техн. наук,* **Е.В. Еропова,** *канд. техн. наук*
(Владимирский государственный университет)
E-mail: Eklipt@bk.ru

Исследование граничных условий применения метода многократной коррекции положения сопрягаемых изделий

Рассмотрена возможность применения метода многократной коррекции положения сопрягаемых элементов для сборки осесимметричных изделий, представляющих собой тела вращения. Определены граничные условия их сборки методом многократной коррекции.

Устранение рассогласования взаимного расположения изделий при их сопряжении позволяет повысить эффективность сборочных операций в машиностроении.

The region of application of the method of multiple correction of mating components during assembly products. Defined boundary conditions the assembly of axisymmetric products using multiple correction to the shift of axes allowed their relative position in the light of the gap between paired products.

Elimination of the mismatch relative position of products at their conjugation can improve the efficiency of assembly operations in engineering.

Ключевые слова: коррекция, смещение, метод, осесимметричные изделия, сопряжение, сборка.
Keywords: correction, offset, method, axisymmetric products, coupling, assembly.

В современных автоматизированных производствах для снижения себестоимости и повышения качества продукции необходимо обеспечить эффективность сборочных операций, при выполнении которых возникают ситуации, требующие устранения рассогласований взаимного расположения сопрягаемых изделий. Для компенсации возникающих рассогласований применяют технологии, которые можно подразделить на процессы с активной, пассивной и комбинированной адаптацией.

Использование технологии с активной адаптацией сборочного процесса к реальной текущей ситуации предполагает определение направления, величины требуемой коррекции информационных и энергетических потоков с применением датчиков для съема информации, ее обработку системой управления.

Пассивная адаптация сборки предполагает использование причинных взаимосвязей между физическими явлениями, происходящими в технологическом процессе.

Метод многократной коррекции сопрягаемых изделий [1] можно отнести к технологии комбинированной адаптации, требующей определения направления корректирующего движения по возникающему в процессе сборки перекосу изделий, т.е. учета существующих причинных взаимосвязей между физическими явлениями.

Данный процесс сопряжения, например, используется в способе многократной пошаговой установки плоского изделия на рабочую поверхность, ограниченную фиксаторами [2]. При подходе к рабочей позиции изделие отпускают до момента касания им рабочей поверхности и оно падает на рабочую позицию. Если изделие смещено относительно рабочей позиции, его край со стороны смещения попадает на фиксатор и оно перекашивается. По направлению перекоса изделия определяют требуемое направление его смещения. Опускают схват, поворачивая его плоскость до положения, параллельного плоскости изделия. При этом схват перемещается в направлении, противоположном требуемой коррекции. Затем захватывают и поднимают изделие, корректируя его положение. Эту последователь-

ность операций повторяют до полного соответствия требуемому положению изделия на рабочей позиции [3].

Критерием возможности применения данного метода служит вероятность возникновения перекоса изделия (на рис. 1, *а* заштриховано) при его смещенном положении по координатам X и Y относительно требуемого. Анализ показал, что при установке изделия на поверхность, ограниченную фиксаторами, величина зазора Δ между штифтами и изделием не влияет на возможность применения данного метода.

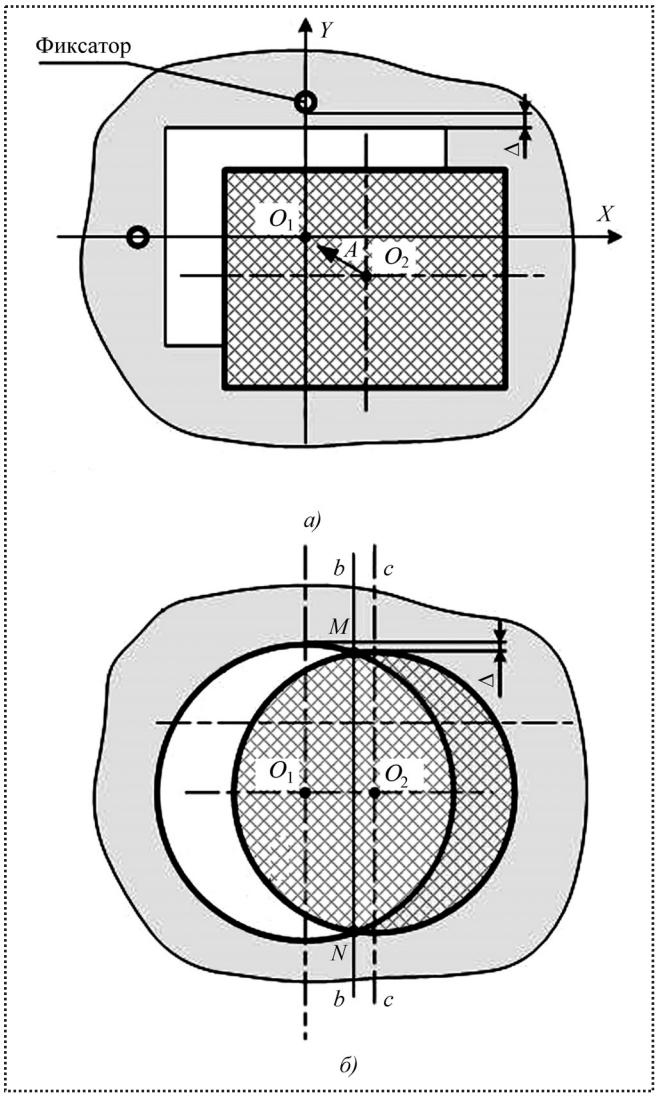


Рис. 1. Схемы вариантов взаимного расположения сопрягаемых элементов:
а – при установке плоского изделия на рабочую поверхность, ограниченную фиксаторами;
б – при сопряжении изделий типа вал–втулка

В автоматизированном производстве наиболее распространена сборка изделий осесимметричных типов – тел вращения, например, типа вал–втулка (на рис. 1, *б* вал заштрихован). В данном случае также необходимым условием возможности сопряжения вала и отверстия с предварительным смещением осей является возникновение угла наклона оси вала относительно оси втулки. При этом появляется отличная от ранее приведенного объекта исследования ситуация. Ось *b-b* контакта вала и отверстия расположена слева относительно центра вала O_2. Так как крутящий момент поворота вала относительно точек M и N направлен в противоположную сторону от центра O_1 отверстия, то в данном случае наклон вала невозможен. С увеличением зазора между валом и отверстием точки M и N перемещаются в направлении оси *c-c*. Расположение данных точек справа от оси *c-c* определяет условие обеспечения наклона вала в сторону отверстия. Таким образом, область применения метода многократной коррекции при сопряжении осесимметричных цилиндрических изделий ограничена величиной зазора между валом и втулкой.

В целях определения граничных условий сборки осесимметричных изделий методом многократной коррекции рассмотрим взаимосвязи параметров собираемых элементов. Возможность возникновения ситуации, при которой появляется наклон оси вала относительно оси втулки, ограничена величиной смещения Z оси вала относительно оси втулки (рис. 2). Предельное начальное смещение, при котором возможно возникновение крутящего момента относительно точек M, N, а следовательно, наклона оси вала относительно оси втулки, определяется выражением

$$Z_{\text{пр}} = \frac{1}{2}\sqrt{D_{\text{о}}^2 - d_{\text{в}}^2}, \qquad (1)$$

где $D_{\text{о}}$, $d_{\text{в}}$ – диаметры отверстия (внутренний диаметр втулки) и вала.

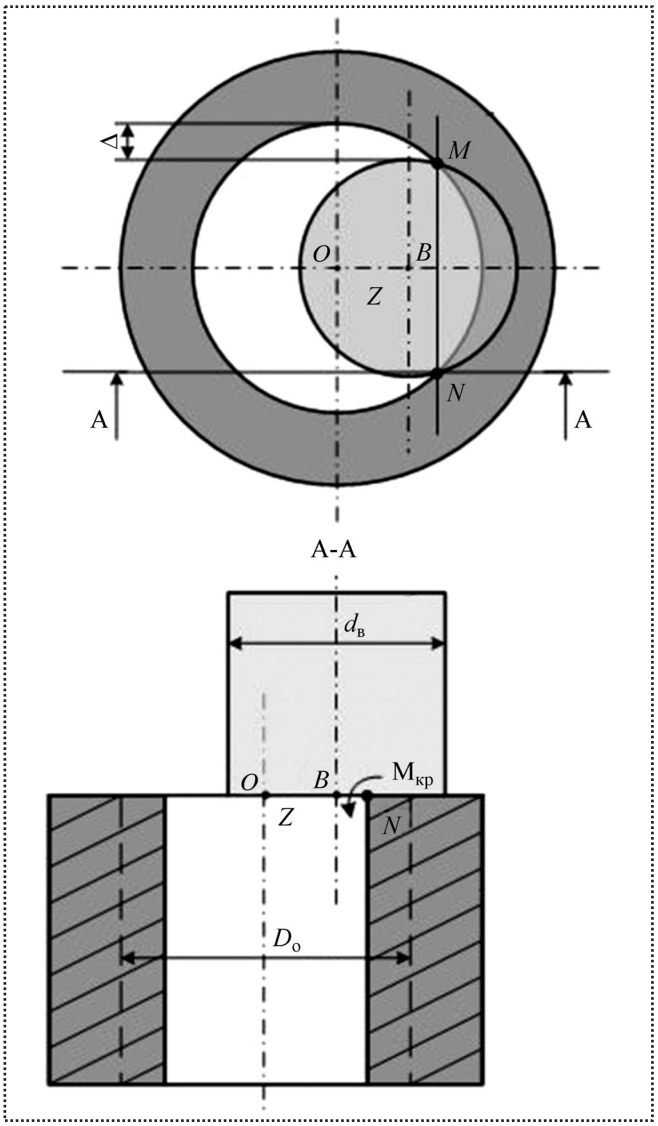


Рис. 2. Схема расположения сопрягаемых изделий с зазором

Из рис. 3 видно, что наклон оси вала относительно оси втулки может происходить лишь в том случае, если величина ее начального смещения Z находится в диапазоне от 0 до $Z_{пр}$. Поэтому возможность применения многократной пошаговой коррекции плоского изделия в загрузочно-разгрузочных операциях для коррекции одного элемента относительно другого в операциях сборки осесимметричных цилиндрических деталей ограничена не только величиной зазора Δ, но и точностью позиционирования манипуляционного механизма.

На рис. 4 представлен график зависимости предельно допустимой погрешности позиционирования от диаметров отверстия и вала, иллюстрирующий расчеты для номинальных размеров пар вал–втулка 3-го класса точности ходовой посадки в системе отверстия в соответствии с таблицей допусков и посадок.

Таким образом, при определении возможности применения метода многократной коррекции необходимо учитывать не только до-

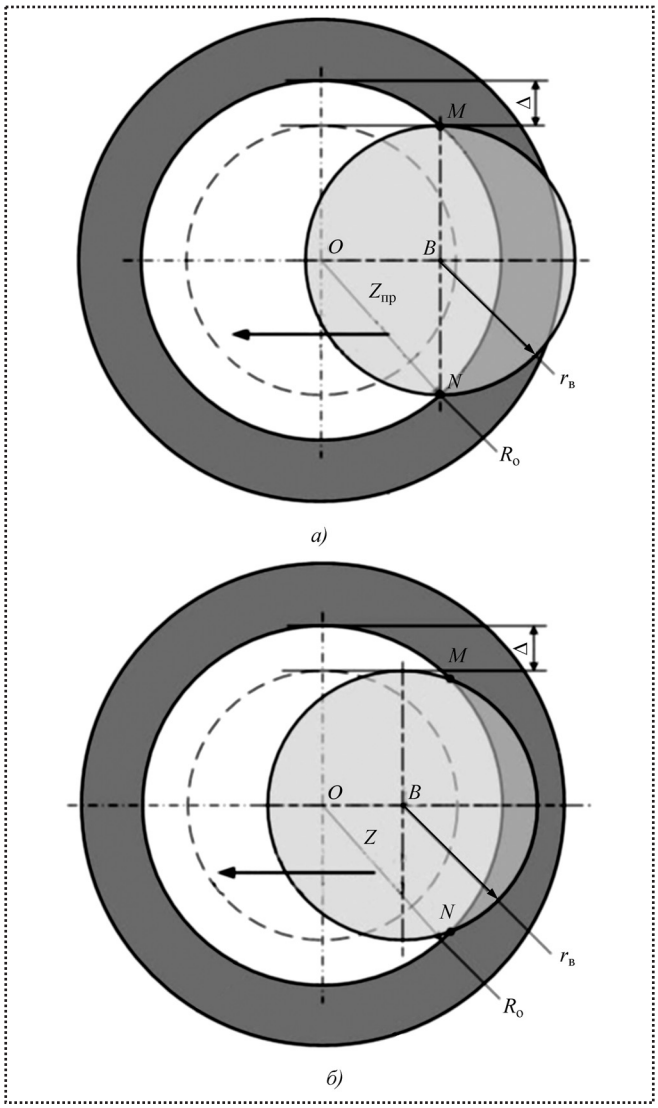


Рис. 3. Условие наклона вала при его установке на отверстие со смещением предельным (*а*) и допустимым (*б*):
$R_о$, $r_в$ – радиусы отверстия и вала;
стрелкой показано направление коррекции положения вала

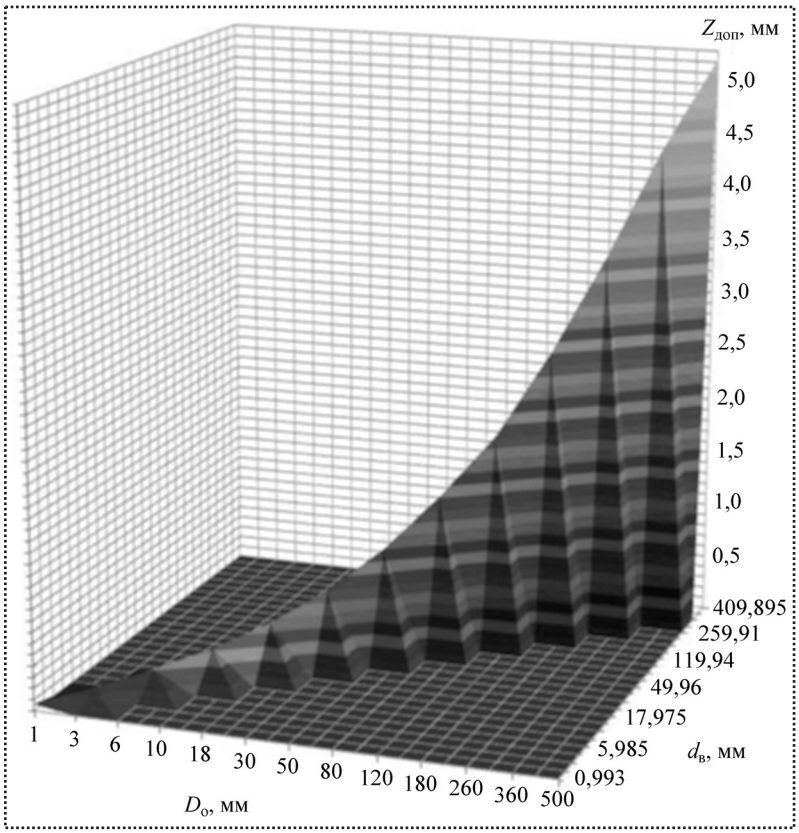


Рис. 4. График области применения метода многократной коррекции для ходовой посадки 3-го класса точности (система отверстия)

пустимое первоначальное рассогласование положения собираемых элементов изделий типа вал–втулка, но и зазор между ними. Полученные расчетные значения для каждого квалитета точности посадок с зазором позволяют найти предельно допустимую погрешность позиционирования манипуляционного механизма $Z_{доп}$, при которой возможен наклон оси вала относительно оси втулки, для любого номинального размера. Далее, сопоставив ее с погрешностью позиционирования манипуляционного механизма, применяемого в сборочной операции, можно сделать вывод о возможности или невозможности сопряжения собираемых элементов – тел вращения.

Библиографический список

1. **Пат. 1798178** РФ, МКИ^3 B25J 11/00. Способ установки плоской детали схватом на рабочую позицию / С.Н. Сысоев. № 766218/08; заявл. 08.12.89 ; опубл. 28.02.93. Бюл. № 8. 3 с.

2. **Пат. 1815217** РФ, МПК B 25J 15/06, B 65H 5/08. Вакуумное захватное устройство / С.Н. Сысоев, Ю.В. Черкасов. № 4744434/08; заявл. 11.08.89; опубл. 15.05.93. Бюл. № 18. 4 с.

3. **Сысоев С.Н.** Исследование метода многократной коррекции при сопряжении изделия с рабочей поверхностью, ограниченной фиксаторами / С.Н. Сысоев, Е.В. Еропова, В.А. Шапинская // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2010, № 12. С. 11–14.

СПРАВОЧНИК СВАРЩИКА

О.Г. Быковский, В.Р. Петренко, В.В. Пешков

2011. – 336 с. ISBN 978-5-94275-557-7

Цена 500 р.

В справочнике систематизирована информация о свариваемости сплавов на железной основе, технических возможностях известных электродных материалов и способов электрической и газовой сварки, наплавке и напыления сталей и сплавов. Приведены параметры, режимы этих технологических процессов, технические характеристики современного оборудования для ручных и механизированных способов сварки, резки, наплавки и напыления при изготовлении металлоконструкций.

Рассчитан на специалистов, работающих в области сборочно-сварочного производства, будет полезен студентам, обучающимся по специальности “Оборудование и технология сварочного производства” в учебных заведениях всех уровней аккредитации и рабочим-сварщикам.

107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; факс: (499) 269-48-97; e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98.
WWW.MASHIN.RU

УДК 621.883 (088.8)

В.Г. Шуваев, И.В. Шуваев, *канд-ты техн. наук*
(Самарский государственный технический университет)
E-mail: shuvaevvacheslav@yandex.ru

Инерционная ударно-импульсная затяжка резьбовых соединений с применением дополнительных ультразвуковых колебаний

Рассмотрены вопросы повышения эффективности ударно-импульсной инерционной сборки резьбовых соединений в условиях дополнительных ультразвуковых колебаний. Приведен защищенный патентом способ сборки резьбовых соединений, объединяющий достоинства ультразвуковой и ударной сборки.

Questions of increase of efficiency of with great dispatch-pulse inertial assemblage of connections in the conditions of additional ultrasonic fluctuations are considered. It is resulted developed a way of assemblage of the carving connections, uniting advantages of ultrasonic and shock assemblage.

Ключевые слова: резбовое соединение, затяжка, ударно-импульсная сборка, ультразвуковые колебания.
Keywords: carving connection, an inhaling, with great dispatch-pulse assemblage, ultrasonic fluctuations.

Резьбовые соединения, обеспечивающие возможность разборки и повторной сборки изделий без повреждения сопрягаемых поверхностей деталей, широко распространены в современном машиностроении – их доля составляет 20...35 % всех соединений, во многих случаях ответственных, определяющих прочность, надежность и безопасность всей конструкции. Поэтому к резьбовым соединениям предъявляют повышенные требования.

В общем балансе времени сборки резьбовых соединений на этап затяжки приходится до 40 % (0,5...2 с), причем именно на этом этапе происходит силовое замыкание деталей, сопровождаемое изменением напряженно-деформированного состояния соединения и микрогеометрии резьбы, и окончательно формируются эксплуатационные свойства резьбовых соединений. От того, насколько эффективно с точки зрения последующей эксплуатации сформированы функциональные показатели резьбового соединения (статическая и усталостная прочность, стопорящие свойства и их стабильность и т.д.), можно судить об эффективности и качестве процесса сборки.

В качестве резьбозавертывающего инструмента нашли применение устройства ударного действия, содержащие ударно-импульсный механизм, аккумулирующий кинетическую энергию, которая передается резьбовому соединению ударно-вращательными импульсами [1]. Такой инструмент позволяет получать значительные силы затяжки при сравнительно небольшой мощности привода, небольших размерах и массе гайковерта.

Цель данной работы – повышение эффективности процесса ударно-импульсной сборки за счет снижения сил трения при затяжке резьбовых соединений с применением дополнительных ультразвуковых колебаний.

Прикладываемый при затяжке к гайке или головке болта вращающий момент уравновешивается моментами сил трения в резьбе и по торцу гайки (головки винта) и соприкасающейся с ней детали, причем около 90 % затрачиваемой работы расходуется на преодоление сил трения и упругую деформацию деталей и только 10 % – на создание силы затяжки для обеспечения плотности и герметичности стыков в собираемом изделии [1]. Чем меньше коэффициент трения, тем меньшая часть работы расходуется на преодоления сил трения и тем бóльшая – на создание силы предварительной затяжки.

Одно из направлений повышения эффективности процесса сборки – применение ульт-

развуковых колебаний. В этом случае на обычную кинематическую схему процесса накладывают дополнительные колебания соединяемых деталей в направлении одной из координатных осей. Наложение вибраций сопровождается уменьшением нагрузок на технологическое оборудование и снижением энергетических затрат без ухудшения несущей способности соединения.

Механизм воздействия ультразвука на силы трения заключается в изменении кинематических условий контактирования поверхностей и характера напряженного состояния металла в зоне трения. Установлено, что в зависимости от схемы подведения колебаний при оптимальных амплитудах и от величины удельных нагрузок коэффициент трения снижается в 2–4 раза [2].

Предлагаем объединить ударно-импульсный и ультразвуковой способы сборки резьбовых соединений с одновременным приложением кинетической энергии ударного воздействия и энергии упругих механических колебаний. Технологические преимущества предлагаемого способа заключаются в том, что за счет приложения ультразвуковых колебаний совместно с ударными воздействиями в соединении происходят изменения кинематических условий контактирования поверхностей, снижается трение, а также изменяется характер напряженного состояния металла в зоне трения. Дополнительное наложение вибраций сопровождается уменьшением нагрузок на технологическое оборудование и снижением энергетических затрат без ухудшения несущей способности резьбовых соединений. Кроме того, изменяются физико-механические свойства и микрогеометрия контактирующих деталей [3], в результате повышается несущая способность формируемого резьбового соединения.

Энергия удара (Дж) гайковерта определяется соотношением

$$A_l = 0{,}4\frac{I_б\omega_б^2}{\left(1+\frac{1}{V'}\right)}, \qquad (1)$$

где $I_б$ – момент инерции бойка, кг·м^2;

$\omega_б$ – угловая скорость бойка перед ударом, 1/с;

V' – отношение момента инерции бойка к суммарному моменту инерции наковальни, шпинделя, головки и гайки.

Для расчета момента затяжки можно использовать выражение

$$M_i = 12{,}7\cdot 10^4 d^2\sqrt{A_l[1-(1-\zeta)^i]\frac{1}{l'}}, \qquad (2)$$

где M_i – момент затяжки после i-го удара;

d – наружный диаметр резьбы, м;

i – число ударов;

l' – длина резьбовой части болта, м;

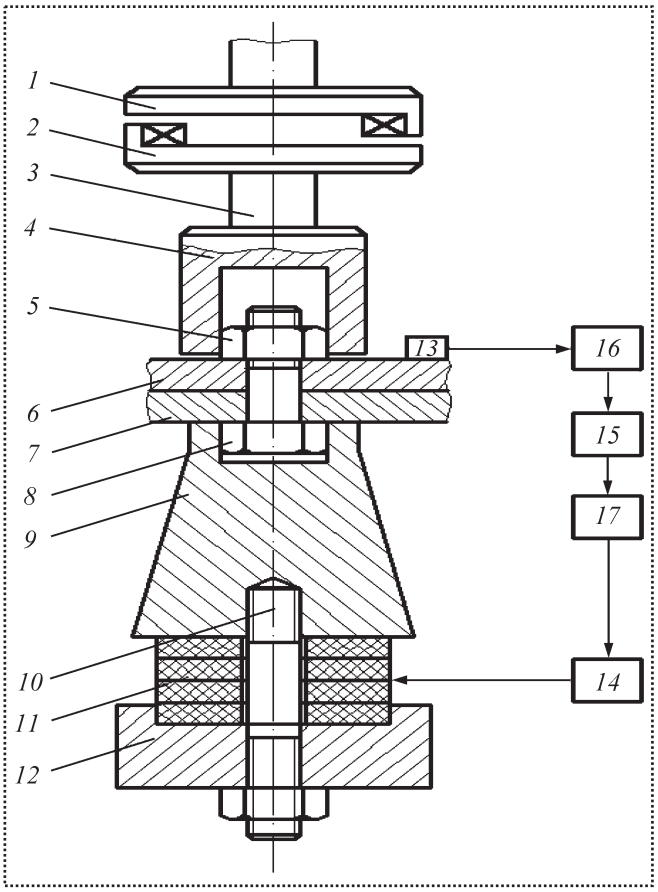
$\zeta = 0{,}02...0{,}04$ – структурный коэффициент, учитывающий характеристики трения и податливость резьбового соединения (большее его значение соответствует менее податливым резьбовым соединениям).

Из приведенного выражения следует, что введение ультразвука приведет к снижению ζ в 2–4 раза, существенно уменьшая момент затяжки [3].

На рисунке представлена схема разработанного гайковерта [4], отличительной особенностью которого является совмещение ультразвуковых и ударных воздействий в процессе формирования резьбового соединения.

К основным деталям ударного механизма относятся боек *1* и наковальня *2*. При их последовательных ударных взаимодействиях вращательные импульсы передаются через шпиндель *3* и ключ *4* на гайку *5*, которая затягивается с необходимой силой. Под действием силы затяжки болт *8* растягивается и соединяемые детали *6*, *7* сжимаются.

С помощью генератора *14* в пьезокерамическом преобразователе *11* возбуждают ультразвуковые механические колебания и затем усиливают их амплитуду концентратором *9*. Пьезокерамический преобразователь зажат посредством шпильки *10* между концентратором и частотопонижающим элементом *12* (демпфером). Пьезокерамический преобразователь набран из дискретных шайб осевой поляризации, кото-



Ультразвуковой гайковерт с ударным механизмом

рые механически соединены последовательно, а электрически включены параллельно.

В собираемых деталях *6*, *7* в процессе свинчивания возбуждают и принимают колебания, добиваясь резонанса. Колебания, прошедшие через соединение (болт, гайка и собираемые детали), воспринимаются датчиком вибрации *13*, закрепленным на одной из собираемых деталей, и преобразуются в электрический сигнал, который поступает на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП) *16* и после преобразования подается на вход персонального компьютера (ПК) *15*.

Для автоматической настройки на резонанс с выхода ПК сигнал в цифровом виде подается на вход цифроаналогового преобразователя (ЦАП) *17*, с выхода которого аналоговый сигнал поступает на перестраиваемый по частоте генератор ультразвуковых колебаний *14*. Одновременно осуществляется подача ударно-вращательных импульсов, под воздействием которых резьбовые соединения затягивают за несколько ударных циклов.

В качестве датчика вибрации использовали датчики типа KB-10 или KD-35 с пьезоэлектрической пластиной, работающей на изгиб. Благодаря высокой чувствительности и выгодной форме датчик обеспечивает определение различно направленных составляющих колебания.

Для сбора и предварительной обработки информации с датчика вибрации был использован 12-разрядный АЦП типа ЛА-2USB-12, позволяющий подключать до 32 однополюсных каналов к порту USB ПК, кроме того, в устройстве ЛА-2USB-12 размещен ЦАП.

Выводы

Одновременное использование ударных механизмов с частотой воздействия 3–40 ударов в секунду и высокочастотных ультразвуковых колебаний, рабочий диапазон частот которых составляет около 20 000 воздействий в секунду, способствует снижению энергоемкости и увеличению производительности процесса сборки резьбовых соединений до 20 %.

Использование максимальных усилий затяжки дает дополнительный эффект стопорения резьбовой пары за счет растяжения витков резьбы и изменения ее шага на первых трех – пяти витках.

Значительный эффект может дать применение разработанного устройства при разборке резьбовых соединений, охваченных коррозией, в условиях схватывания, при наличии различного рода наполнителей.

Библиографический список

1. **Машиностроение.** Энциклопедия. Технология сборки в машиностроении. Т. III-5 / А.А. Гусев, В.В. Павлов, А.Г. Андреев и др.; под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Машиностроение, 2006. 640 с.

2. **Марков А.И.** Ультразвуковая обработка материалов. М.: Машиностроение, 1980. 237 с.

3. **Повышение** работоспособности резьбовых соединений путем применения ультразвука при обработке и сборке / Б.Л. Штриков, В.В. Головкин, В.Г. Шуваев, И.В. Шуваев. М.: Машиностроение, 2009. 125 с.

4. **Решение** о выдаче патента на изобретение № 2009144402 от 01.10.2010. Способ сборки резьбовых соединений / В.Г. Шуваев, И.В. Шуваев.

УДК 622.23.05

С.М. Крылов, *технический директор,* **Р.М. Богомолов,** *д-р техн. наук*
(ОАО "Волгабурмаш", г. Самара),
Н.В. Носов, *д-р техн. наук,* **Н.И. Дедов,** *канд. техн. наук*
(Самарский государственный технический университет)
E-mail: nikolai_dedov@mail.ru

Сборка секций бурового шарошечного долота

Предложен новый способ сборки буровых шарошечных долот с базированием торца лап на штифтах и применением контрольного кольца, что значительно повышает точность сборки по сравнению с базированием на штифтах, расположенных на боковых поверхностях лап.

In article the new way of assemblage roller chisels with basing sections on a ring disk is considered. In difference about a method of assemblage of chisels with basing sections on three pins the offered method allows to raise significantly accuracy of assemblage sections consequently and, hence, a resource of a chisel.

Ключевые слова: долото, секция, штифт, точность, кольцевой диск, ресурс, сборка.

Keywords: chisel, section, pin, accuracy, control ring, resource, assemblage.

Показатели работы буровых шарошечных долот в значительной мере зависят от точности выполнения их выходных параметров, в частности, от радиального биения шарошек относительно оси присоединительной резьбы долота.

При радиальном биении, создаваемом различным расстоянием калибрующих конусов шарошек относительно оси долота, одна из шарошек во время бурения больше других контактирует со стенкой скважины, увеличивая ее диаметр. При этом меняется динамика нагружения. При перекатывании зубьев по забою дополнительно к их линейному перемещению по кольцевой траектории возникает радиальное биение с возвратно-поступательным перемещением и с проскальзыванием по радиусу скважины. Это резко увеличивает изнашивание породоразрушающих зубьев. Такое долото значительно быстрее выходит из строя по вине шарошки с наибольшим радиальным биением. Поэтому очень важно при изготовлении деталей, сборке секций и их сварке обеспечить минимальное радиальное биение долота.

Известно устройство (рис. 1) и способ сборки секций шарошечного долота [1], в котором базирование секций *2*, *3*, *4* долота на плите *1*, выравнивание их по высоте и подгонку по диаметру осуществляют с помощью ступенчатого стационарного контрольного кольца, выполненного в плите-основании, играющего одновременно роль и торцевого *8*, и радиального *9* регуляторов при последовательном перемещении расклинивающих стержней *7* в пространстве между сборочным кольцом *5* со сдвигающими болтами *6* и секциями *10* со стороны разделки под сварные швы, а окончательную сварку прихваченных предварительно секций проводят после удаления сборочного кольца *5* и расклинивающих стержней *7*.

Преимущества этого решения – простота конструкции приспособления, стабильность, жесткость и невозможность перекоса установочного базового кольца-калибра, являющегося частью установочной плиты, возможность получения точного диаметра долота без применения регулирующих прокладок-пластин.

Недостаток устройства – недостаточная точность получения разновысотности секций, поскольку при контакте с нижней плоскостью установки твердосплавные зубки или фрезерованные зубья трех различных секций обеспечивают различный уровень их подъема вдоль оси устройства из-за разницы шагов на кон-

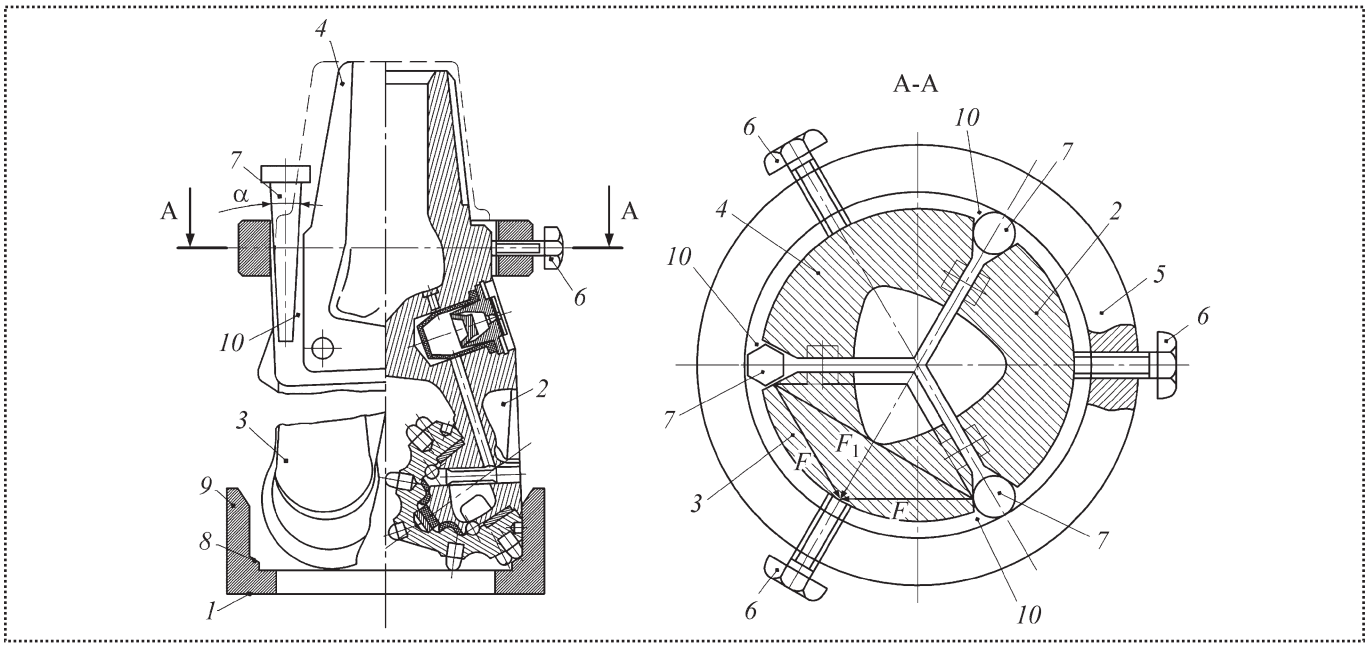


Рис. 1. Устройство для сборки секций шарошечного долота с базированием на контрольное кольцо и использованием расклинивающих стержней

тактирующих с базовой плоскостью периферийных венцах.

Предлагается новое устройство [2] для сборки секций бурового шарошечного долота, обеспечивающее возможность быстрого и более точного достижения сразу трех сборочных параметров – минимальных торцевого и радиального биения шарошек и размера долота по диаметру во время сборки без применения регулировочных прокладок-пластин.

На рис. 2 показана лапа бурового шарошечного долота и схема базирования лап при сборке: *1* – цапфа с радиальными подшипниками *2* и *3*, упорными торцевыми подшипниками скольжения *4* и *5*, шариковым замковым подшипником *6*, осью *7*; *8* и *9* – соответственно сбегающая и набегающая плоскости двухгранника; *10* – ось двухгранного угла; *11* – след плоскости симметрии спинки лапы, проходящий через ось двухгранника. На торце лапы находится базовое отверстие *12* диаметром d_2, глубиной l_{z2}, ось которого параллельна оси *10*. Дно *13* отверстия выполнено строго в соответствии с базовым расчетным размером l_{z1} от точки пересечения осей цапфы *7* и шариковой беговой дорожки *6*. Оси базовых отверстий *12* расположены на диаметре D_2 с координатами l_x и l_y или под углом β со стороны набегающей грани *9*.

Размещение эксцентрично расположенных базовых отверстий *12* на поверхности торцев лап обусловлено требованием обеспечения режущих свойств калибрующих элементов шарошки во время бурения, места толкателя – поворотника секций относительно базовых штифтов до их контакта с кольцом-калибратором. Этим требованием отвечает размещение центров отверстий *12* на сторонах острых углов β = 25...45° (см. рис. 2).

На рис. 3 изображена схема предлагаемого устройства, включающего поворотный стол *14* с подвижными кулачками *15*, обеспечивающими равномерное схождение секций к оси устройства *16*. На поворотном столе *14* размещена сменная (в зависимости от размеров собираемого долота) установочная плита *17*, на которой расположены установочные базовые штифты *18* диаметром d_1 по числу собираемых секций, ответные базовым отверстиям *12* в лапах, по форме и положению, на расстоянии D_1

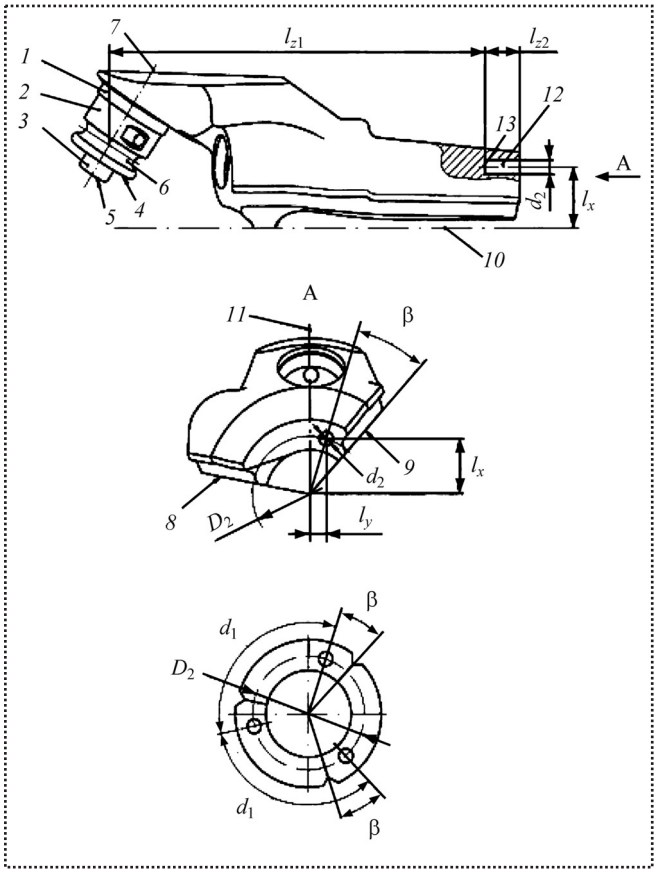


Рис. 2. Лапа бурового шарошечного долота и схема базирования лап при сборке

от оси и под углом друг к другу ($d_1 \cong d_2$; $\alpha_1 = \alpha_2$; $D_1 = D_2$).

Плиту *17* устанавливают для каждой группы буровых долот, отличающихся размерами конической стандартной присоединительной резьбы, например 3–76, 3–117 и др. Плоские или иные одинаковые, например сферические вершины штифтов *18*, расположены в одной плоскости, перпендикулярной оси *16*. Чтобы каждая секция при установке на штифт *18* всегда базировалась на его вершину, а не на плиту, должно соблюдаться условие: $l_{z3} > l_{z2}$.

Поскольку при штамповке необрабатываемая часть поверхности спинки лапы может иметь неодинаковые размеры относительно оси *16* (более или менее полной), подвижные кулачки *15* снабжены подпружиненными толкателями *19*, нивелирующими разницу в толщине за счет сжатия пружин *20* при контакте сдвигающихся кулачков *15* с поверхностью секции долота. Поверхность контакта *21* толкателей *19* с секцией может быть различной.

На рис. 3 показан вариант поверхности контакта со скошенной плоскостью, обеспечивающей наиболее беспрепятственный пово-

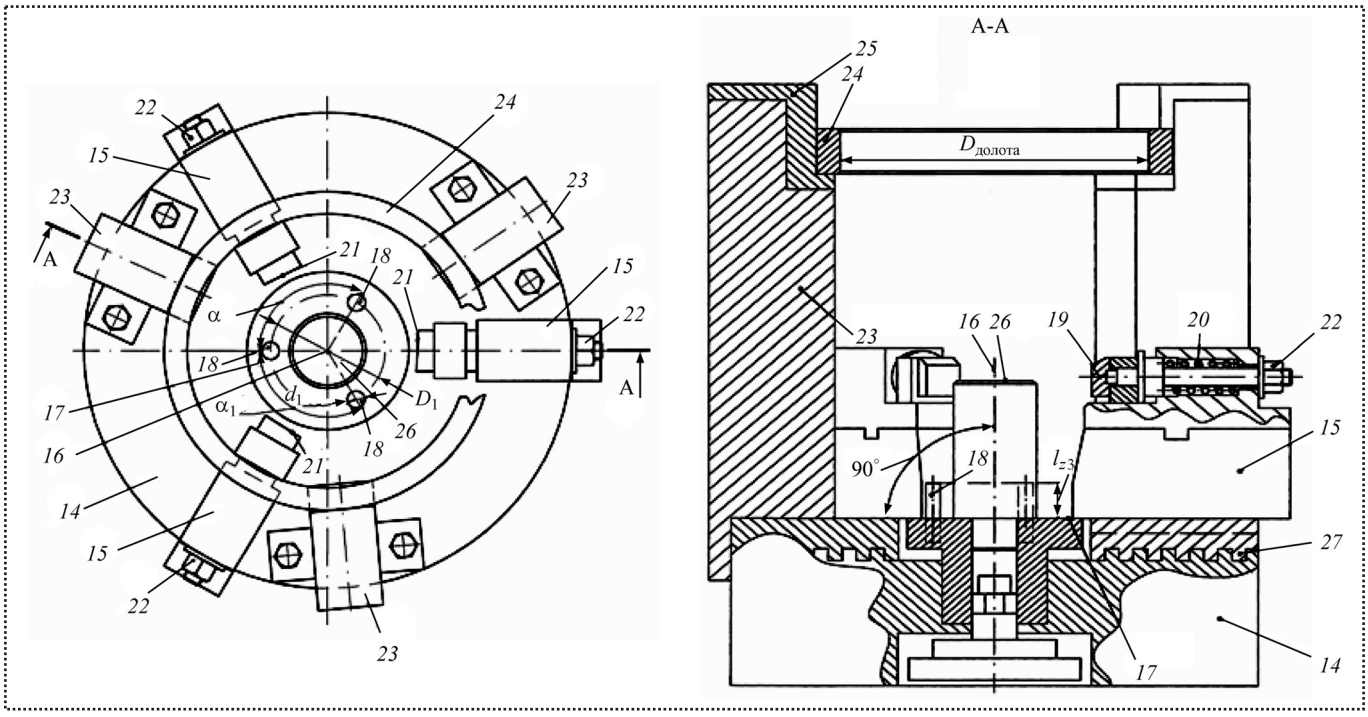


Рис. 3. Устройство для сборки шарошечного долота с базированием торца лап на штифтах с использованием контрольного кольца

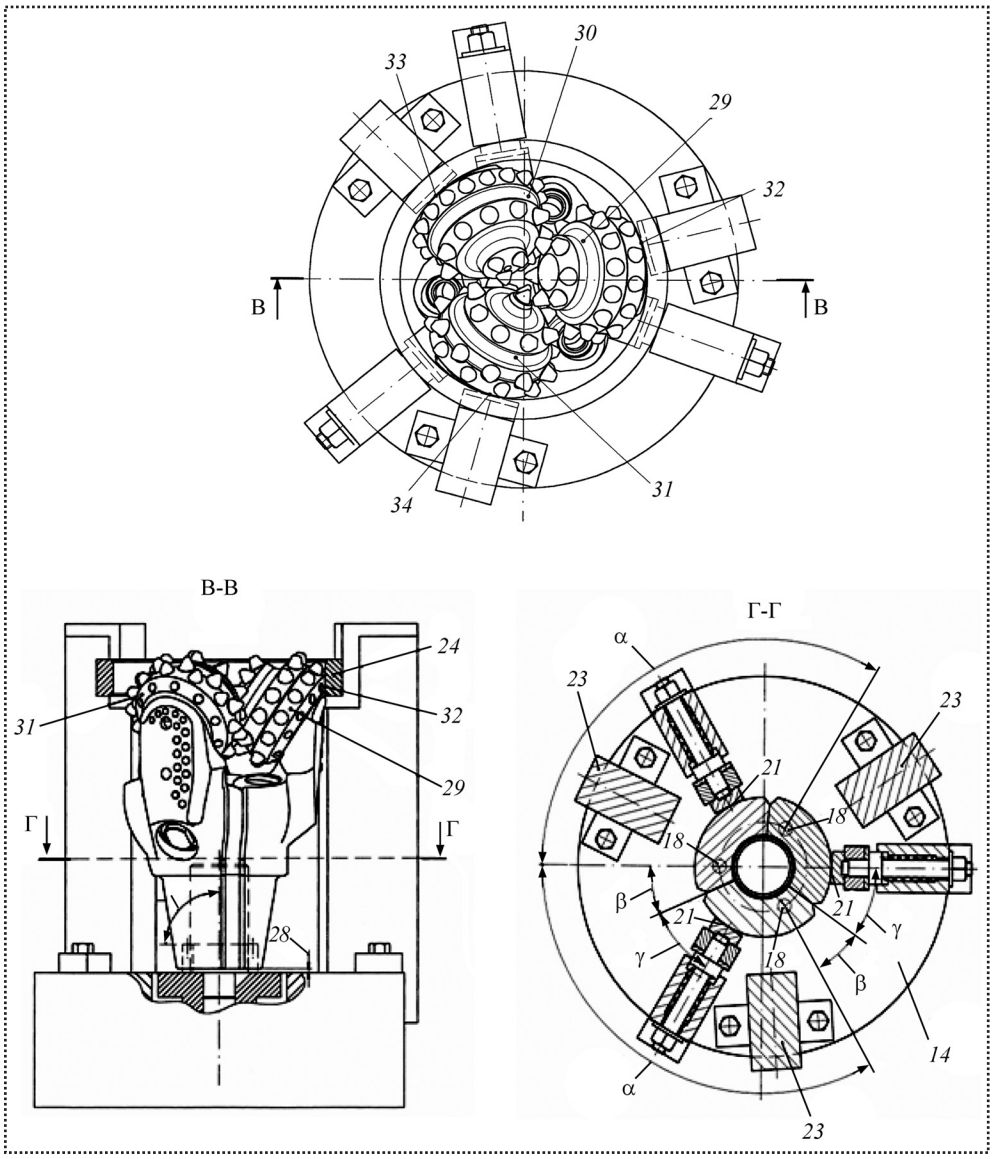


Рис. 4. Сборка шарошечного долота

рот секции относительно оси штифта. Здесь *22* – винтовой регулятор пружинного усилия; *23* – жесткие стойки для стационарного размещения диаметрального калибра-кольца *24* и, если необходимо, промежуточного сменного кольца *25*, позволяющего менять по диаметру и высоте несколько относительно близких по размеру различных калибров-колец для определенной группы долот с одинаковой резьбой; *27* – эвольвента для перемещения кулачков к центральной оси устройства.

В центре устройства установлен сменный цилиндрический валик *26*, поверхность которого служит направляющей для внутренней поверхности хвостовика лапы при ее установке на штифты. При сварке секций электронным тепловым лучом указанный валик может служить дополнительно предохранительным экраном от воздействия луча на противоположную секцию.

На рис. 4 изображено предлагаемое устройство с тремя установленными секциями. Поз. *28* обозначен необходимый торцевой зазор между сменной плитой и хвостовиками секций, *29–31* – шарошки I–III секций, *32–34* – точки контакта обратных конусов этих шарошек с калибром-кольцом *24*.

На разрезе Г-Г показана схема контакта точки *21* толкателей *19* с цилиндрическим пояском ("бочкой") на поверхностях спинок лап. Важное условие контакта шарошек с калибром-кольцом – обеспечение гарантированного расчетного бокового зазора между плоскостями двухгранных углов лап, без которого невозможно беспрепятственно повернуть секции вокруг базовых штифтов *18* до контакта обратных конусов шарошек с калибром-кольцом.

На рис. 5 обозначены следы центров базовых осей устройства O и штифта O_1 первой и O_2 второй секций. Отрезками AB и CD обозначены следы двухгранников первой и второй секций после их установки на базовые штифты с гарантированным между секциями долота за-

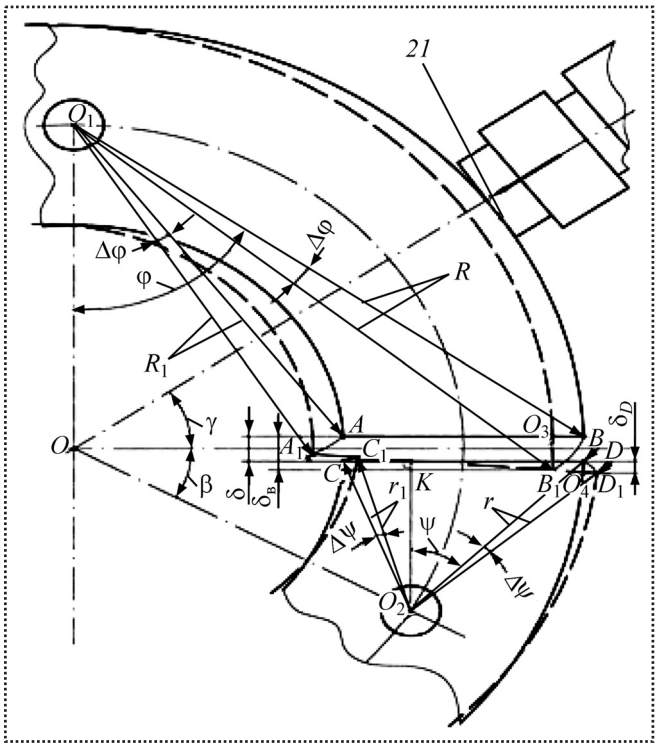


Рис. 5. Схема расчета зазора между плоскостями двухгранных углов

зором δ. Углы φ и ψ образованы линиями, исходящими из центров O_1 и O_2 радиусами R (O_1B) и r (O_2D) до дальних точек B и D на двухгранниках, а также перпендикулярами, восстановленными из этих же центров на следы соседних двухгранников (до их разворота). При развороте от воздействия толкателей *19* след от грани AB сдвинется до контакта с одновременно перемещающимся следом от грани CD. При этом точка B с радиусом R (O_1B) переместится на угол Δφ в точку B_1, точка A с радиусом R_1(O_1A) – на тот же угол в точку A_1.

След грани CD под действием толкателя тоже передвинется при повороте до контакта со следом грани AB. При этом точка D с радиусом r (O_2D) переместится на угол Δψ = Δφ в точку D_1, а точка C с радиусом r_1 (O_2C) – на тот же угол Δφ в точку C_1.

Наложение отрезков A_1B_1 и C_1D_1 – линия контакта двух секций при их одновременном развороте вокруг осей базовых штифтов на угол Δφ. Угол β определяет амплитуду возможного перемещения шарошки до контакта с калибром-кольцом. Чем больше угол β, тем больше амплитуда.

Гарантированный минимальный зазор, соответствующий выбранным углам β и Δφ, с достаточным для практических целей приближением определяется аналитически в виде алгебраической суммы проекций двух крайних точек B и D в B_1 и D_1 на вертикальную ось OO_1. Например, для β = 30° зазор δ можно определить следующим образом. Из треугольников BB_1O_3 и DD_1O_4 найдем δ_B и δ_D. Искомый зазор

$$\delta = \delta_B - \delta_D =$$
$$= R[\cos(\varphi - \Delta\varphi) - \cos\varphi] - r[\cos\psi - \cos(\psi + \Delta\varphi)],$$

где φ – угол OO_1B; ψ – угол KO_2D; $R = O_1B$; $r = O_2D$; Δφ = Δψ – углы поворота обеих секций вокруг базовых штифтов до касания двухгранников.

Поскольку для разных типов долот по диаметру, вооружению, величинам углового и линейного смещения осей цапф относительно оси резьбы долота амплитуда перемещения шарошек до контакта с внутренней поверхностью калибра-кольца тоже различна, для конкретного типоразмера долота ее величину выбирают экспериментально. Например, для долота диаметром 215,9 мм с твердосплавным вооружением амплитуда перемещения всех трех шарошек до касания с калибром-кольцом ΔD = 0,6 мм обеспечивается при δ = 0,287 мм и Δφ = 0,5°, ΔD = 1,2 мм – при δ = 0,578 мм и Δφ = 1° и т.д.

Устройство для сборки секций бурового шарошечного долота работает следующим образом.

Секции долота, прошедшие все необходимые виды обработки и сборки с учетом обеспечения гарантированных зазоров δ, устанавливают дном базовых отверстий *12* на торцевые поверхности базовых штифтов *18*, разворачивают вокруг их осей толкателями *19* до осуществления контакта обратных конусов шарошек *29–31* с внутренней поверхностью калибра-кольца *24*, а затем секции жестко соединяют в корпус долота с помощью сварки.

Предлагаемый способ сборки секций бурового шарошечного долота обеспечивает их торцевое и радиальное равноудаление по оси и от оси устройства, что исключает торцевое и радиальное биение шарошек во время работы долота. В свою очередь, отсутствие торцевого и радиального биения шарошек при бурении способствует равномерному распределению нагрузок по секциям на все три шарошки, исключает преждевременный износ одной из них, а значит, и выход бурового долота из строя. Это позволяет резко повысить показатели работы долота в бурении, его конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках.

Библиографический список

1. **Патент РФ** № 1665013, "Способ сборки шарошечного долота" от 23.07.1991 кл. E21B 10/08.

2. **Устройство** для сборки секций бурового шарошечного долота. Решение от 03.03.2008 г. о выдаче патента РФ по заявке № 2006108622/03 E21B 10/08.

УДК 621.757

С.Я. Березин, *д-р техн. наук,* **И.М. Кулеш** *(Читинский государственный университет)*
E-mail: kurlser@yandex.ru

Влияние ультразвука на технологические параметры сборки соединений с крепежно-резьбообразующими деталями*

Рассмотрены вопросы применения ультразвуковых колебаний в процессах сборки соединений с крепежно-резьбообразующими деталями. Исследовано влияние ультразвука на степень упрочнения, высоту образуемого профиля, крутящий момент при сборке с учетом различных параметров процесса.

The article deals with the questions of ultrasonic oscillations while assembling the screw-forming connections. The influences of ultrasonic on level strengthening, height profile formed assembly torque as to various process parameters are studied.

Ключевые слова: ультразвуковые колебания, крепежно-резьбообразующие детали, упрочнение, крутящий момент.

Keywords: ultrasonic fluctuations, technology is fastening-details, hardening, torque.

В Читинском государственном университете проводят исследования процессов завинчивания и условий работоспособности готовых соединений на образцах, имитирующих гнезда корпусных деталей, и на готовых корпусах компрессоров Читинского ОАО "Машзавод". Свинчивание и развинчивание (демонтаж) соединений исследуют на экспериментальных установках, включающих основное технологическое оборудование, комплексы контрольно-измерительных средств, технологическую оснастку и аппараты для ультразвукового воздействия с использованием генераторов УЗГ-5-1,6/22 и ИЛ10-1,8.

Экспериментально исследованы четыре схемы подвода ультразвуковых колебаний к собираемым деталям: к завинчиваемому крепежному элементу (рис. 1, *а*), к корпусной детали с приспособлением, если позволяют масса и габариты (рис. 1, *б*), к корпусной детали крупных размеров через прихват-волновод (рис. 1, *в*) и путем активизации СОЖ, в которую погружена деталь (рис. 1, *г*). Влияние ультразвукового воздействия на процесс сборки оценивали по коэффициенту эффективности

$$K_{uz} = \frac{M_{кр}^{uz}}{M_{кр}}, \qquad (1)$$

* Материалы научно-технического семинара "Прогрессивные технологии и оборудование механосборочного производства". М.: МАМИ, 3 декабря 2009 г.

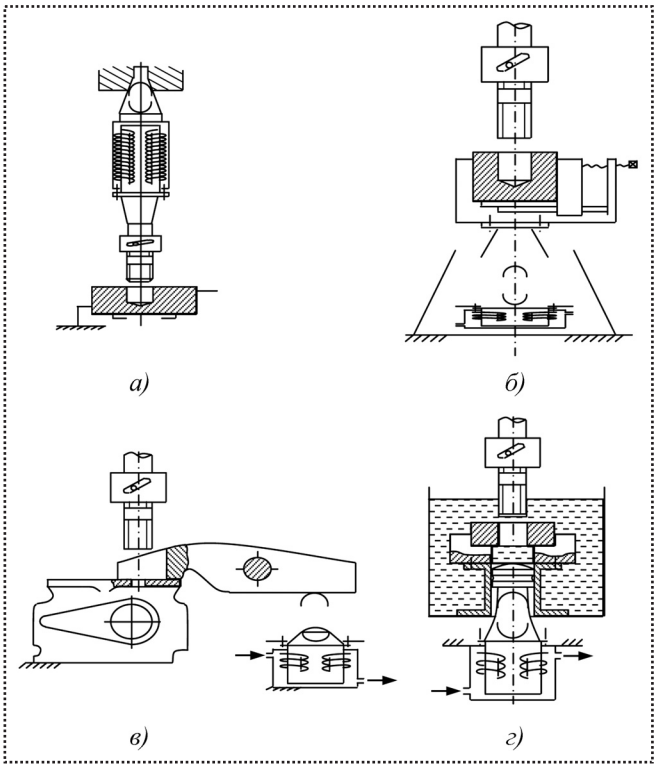


Рис. 1. Способы подвода ультразвуковых колебаний к собираемым деталям

где $M_{кр}^{uz}$, $M_{кр}$ – крутящие моменты соответственно с использованием ультразвуковых колебаний и без них.

Корпусные детали и образцы изготовлены из следующих материалов:

– литейных алюминиевых сплавов (АК9ч, АК7ч, АК5М7);

– алюминиево-магниевых сплавов (АМг);

– латуни Л59;

– серого чугуна СЧ15, СЧ18, НВ < 210;

– низкоуглеродистых сталей (Ст3, Ст5, НВ < 190).

Снижение коэффициента трения связано с динамическим изменением скоростей относительного скольжения во фрикционном контакте. Введение дополнительной ультразвуковой энергии снижает адгезионную и деформационную компоненты коэффициента трения, улучшает условия сборки и качество получаемых соединений.

Исследования влияния ультразвука на степень упрочнения

Микротвердость сформированных профилей измеряли на микротвердомере ПМТ-3. Определяли степень упрочнения профиля, его неравномерность, распределение давления деформации, характер течения металла, оптимальные режимы сборки, влияние различных факторов. Наибольшую твердость приобретают поверхностные слои, прилегающие ко впадине и ее уголкам. Вдоль боковых сторон профиля микротвердость неодинакова, она выше на сторонах, встречных направлению ввинчивания (рис. 2). Это подтверждает справедливость описанного в работе [1] механизма внедрения заходного витка. У профилей, сформированных по принципу открытого контура, микротвердость во всех направлениях ниже, чем у образованных по принципу закрытого контура.

Микротвердость уменьшается от впадины к вершине. В направлениях боковых сторон она

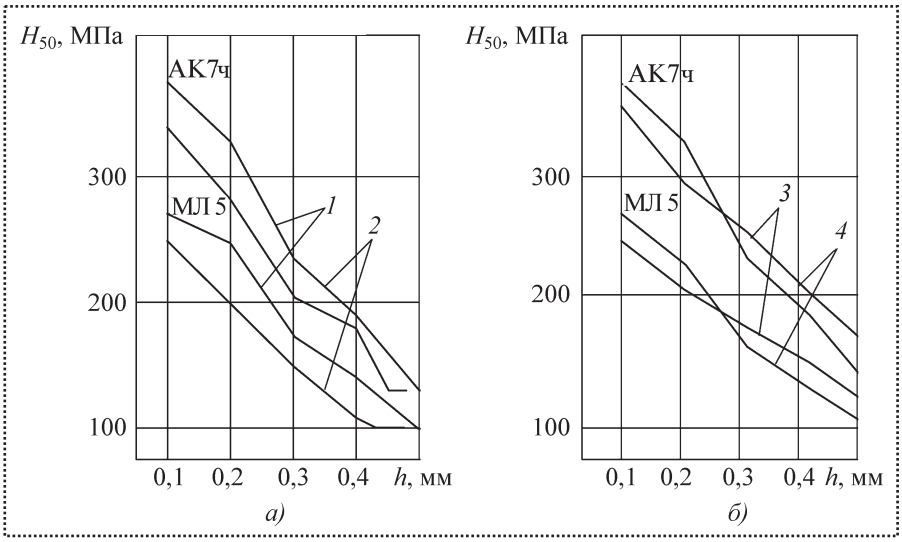


Рис. 2. Распределение микротвердости по сечению впадины резьбы образцов из легких цветных сплавов в зависимости от типа крепежного элемента (*а*) и влияния ультразвука (*б*):

1 – стандартные элементы;

2 – с овальной частью;

3, *4* – соответственно с применением ультразвуковых колебаний и без них

также уменьшается и минимальна в центре сечения или ближе к верхней боковой стороне. По вершине профиля микротвердость, как правило, увеличивается, а затем уменьшается и у основания витка приближается к исходной. Снижение микротвердости на вершинах по сравнению с другими участками можно объяснить тем, что при формировании резьбы по принципу открытого контура в вершине образуются пустоты и рыхлости (кратер). При закрытом профиле калибрующее воздействие поверхности впадины шпильки недостаточно для упрочнения вершины внутреннего профиля.

Результаты показывают, что наклеп распространяется на все сечения витка резьбы независимо от режимов свинчивания.

Применение ультразвука снижает на 1–2 % уровень упрочнения по впадинам резьбы для легких цветных сплавов и на 8–10 % – для сплавов черных металлов. Это связано с более высокой теплопроводностью цветных сплавов и, соответственно, с их меньшей чувствительностью к термическому разупрочнению. Однако с уменьшением микротвердости на близлежащих слоях впадины ультразвуковое воздействие вызывает увеличение глубины упрочненного слоя в среднем на 0,05–0,1 мм. Это ведет к возрастанию степени деформации и, соответственно, к изменению плотности посадки крепежных элементов в отверстиях, повышению стопорящих свойств и прочности соединений. Применение ультразвуковых колебаний требует коррекции расчетных параметров крутящих моментов, припусков под резьбу и диаметров отверстий, моментов отвинчивания и т.д.

Влияние ультразвуковых колебаний на высоту резьбового профиля

В процессе экспериментов исследовали высоту получаемых резьбовых профилей и степень деформации, определяемую по результатам измерения микротвердости по формуле

$$\psi = \frac{2hd_2}{d_k^2 - d_0^2}, \qquad (2)$$

где h – высота профиля резьбы;

d_2 – средний диаметр резьбы шпильки;

d_0 – диаметр отверстия для стационарного режима;

d_k – диаметр пластически деформированной зоны:

$$d_k = d + 2h_g,$$

здесь d – наружный диаметр резьбы;

h_g – глубина наклепанного слоя по впадине внутренней резьбы (по данным измерения микротвердости).

Результаты исследования степени деформации представлены в табл. 1. Как видно, она увеличивается в среднем на 12 %. Таким обра-

Таблица 1

Степень деформации ψ, %, и глубина h_g, мм, при внутреннем выдавливании резьбы М14×1,5 в корпусах из сплава АК5М7

Способ свинчивания	Витки резьбы						Среднее значение ψ
	первый		четвертый		восьмой		
	h_g	ψ	h_g	ψ	h_g	ψ	
Без ультразвукового воздействия	0,66	34,7	0,7	32,6	0,7	32,6	33,3
С использованием осевых колебаний	0,58	37,8	0,6	37,1	0,6	37,1	37,33
С использованием продольно-крутильных колебаний	0,59	37,2	0,61	37,0	0,62	36,8	37,0

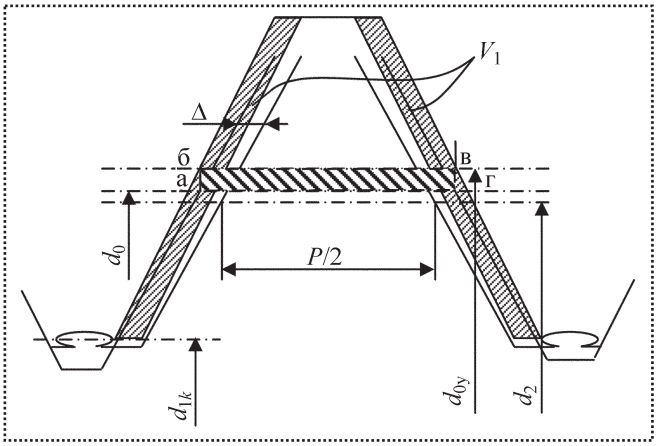


Рис. 3. Формирование профиля при осевых ультразвуковых колебаниях

зом, еще раз подтверждается необходимость внесенения корректировки в расчетный диаметр отверстия под резьбу.

Схема перемещаемых объемов представлена на рис. 3. Объем V_1 многократно деформируемого ультразвуковыми колебаниями металла должен быть скомпенсирован объемом кольца "абвг" в виде диаметральной поправки ($d_{0y} - d_0$).

Скорректированный диаметр отверстия

$$d_{0y} = d_0\sqrt{1 + K_1/K_2},$$

где K_1, K_2 – коэффициенты, учитывающие изменение объемов соответственно в радиальном и осевом направлениях:

$$K_1 = 1{,}813\frac{d^2 - d_k^2}{d_0^2};$$

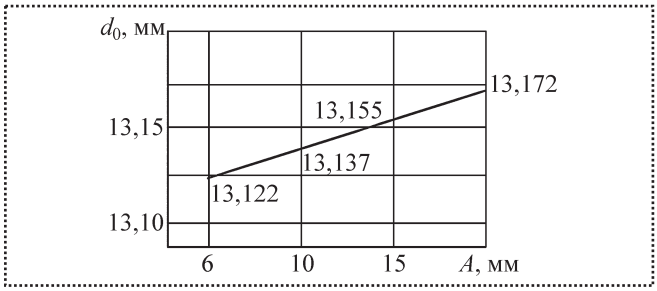


Рис. 4. Влияние амплитуды колебаний на изменение расчетного диаметра отверстия

$$K_2 = 0{,}785\left[\frac{P}{2} - 0{,}577(d_0 - d_2)\right] + 1{,}57A;$$

A – амплитуда ультразвуковых колебаний.

На рис. 4 представлены результаты расчетов диаметра отверстия для резьбы М14×1,5 при различных амплитудах колебаний. С их ростом необходимо вносить увеличивающие поправки на диаметр отверстия.

Влияние ультразвуковых колебаний на крутящие моменты при сборке

При исследованиях на образцах применялись все схемы, изображенные на рис. 1. Результаты показали, что схемы *б* и *г* для крупных деталей малоэффективны, так как требуют больших емкостей для СОЖ, а тяжелые приспособления с деталями невозможно установить на волноводах. Магнитострикционные преобразователи устанавливали либо в приспособлении, в котором закрепляли образец корпусной детали, либо в завинчивающей головке (схема *а*).

Для малых и средних деталей хорошие результаты показала схема *г*, хотя с эксплуатационной точки зрения она не всегда удобна. При сборке соединений данного класса смазку обычно наносят кисточкой на стенки отверстий.

По результатам экспериментальных исследований для удобства расчетов крутящих моментов принята величина их удельной интенсивности, Н·м/(мм^2·виток):

$$I_m = \frac{M_{кр}}{\pi P^2 dZ}, \qquad (3)$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент;

P – шаг резьбы;

Z – число ниток резьбы в сопряжении.

Физическая сущность данной величины представляет собой работу, затраченную на одном витке для формирования 1 мм^3 резьбового профиля. Проведя перерасчет крутящих моментов по ранее полученным регрессивным зависимостям на величины интенсивностей, была получена таблица значений последних

Таблица 2

Интенсивность крутящих моментов

Тип детали	Резьба	Алюминиевые и магниевые сплавы	Малоуглеродистые стали	Серые чугуны
Стандартные винты и шпильки	М5–М12	0,02 – 0,07 / 0,036	0,038 – 0,115 / 0,062	0,039 – 0,099 / 0,058
	М14–М20	0,03 – 0,107 / 0,057	0,046 – 0,173 / 0,085	0,049 – 0,137 / 0,081
Элементы с обратной конусностью посадочной части	М5–М12	0,0086 – 0,039 / 0,0175	0,016 – 0,073 / 0,039	0,018 – 0,063 / 0,035
	М14–М20	0,01 – 0,066 / 0,026	0,013 – 0,077 / 0,042	0,017 – 0,072 / 0,039
Элементы с овальной деформирующей частью	М5–М12	0,008 – 0,035 / 0,015	0,018 – 0,042 / 0,029	0,016 – 0,039 / 0,027
	М14–М20	0,004 – 0,028 / 0,017	0,01 – 0,071 / 0,032	0,013 – 0,076 / 0,029

Примечание. В знаменателе даны средние значения интенсивности.

(табл. 2), которой удобно пользоваться для расчета крутящих моментов, преобразовав выражение (3):

$$M_{кр} = I_m \pi P^2 dZ. \quad (4)$$

В результате экспериментов с резьбой М14×1,5 и образцами из сплава АК7ч в начале 1980-х гг. были получены формулы крутящего момента и момента трения. Последний регистрировали при выходе деформирующего витка из отверстия, когда в общем значении крутящего момента оставалась только фрикционная составляющая [2].

Установлено, что при увеличении скорости свинчивания влияние ультразвука менее заметно. Это можно объяснить уменьшением при больших скоростях времени свинчивания, что сказывается на объеме внешней энергии активизации электромеханических и термических процессов в контакте. Кроме того, увеличение скорости также приводит к снижению крутящего момента, поэтому на общем фоне его снижения влияние ультразвука менее заметно.

В общем случае для резьбы М14×1,5 в паре сталь – алюминиевый сплав применение ультразвуковых колебаний приводит к снижению крутящего момента в среднем на 25–44 % в диапазоне скоростей 0,05–0,073 м/с и припусков под резьбу (0,3–0,56)*P*. Момент трения снижается в среднем на 28–65 % при тех же условиях.

С ростом диаметра резьбы эффективность влияния ультразвука на снижение $M_{кр}$ сокращается с 35–42 % для резьб М6 до 18–22 % для М16 (рис. 5, *а*). Это связано с тем, что в зону формообразования малых резьб поступает значительно большее количество энергии активации на единицу площади, чем при крупной резьбе.

С ростом амплитуды колебаний для корпусов из сплава АК7ч крутящий момент снижается во всем диапазоне скоростей v = = 0,04...0,12 м/с (рис. 5, *б*). Для менее вязких сталей при нижних значениях скоростей свинчивания уменьшение $M_{кр}$ менее заметно, а при верхних – наблюдается его рост. Это объясняется тем, что с повышением упругих свойств

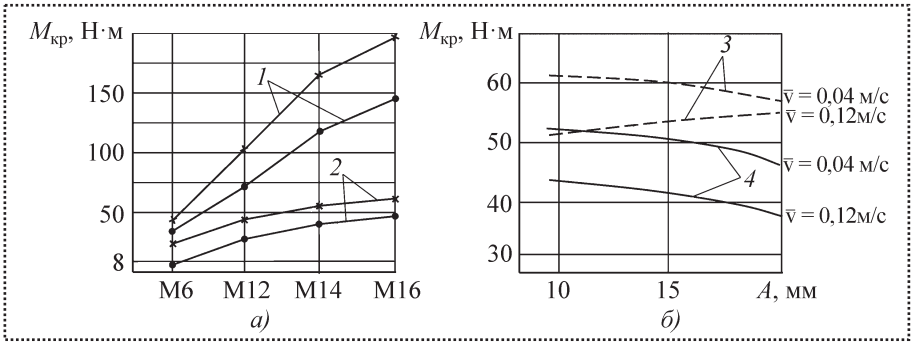


Рис. 5. Влияние ультразвука на крутящий момент при различных размерах резьбы (*а*) и амплитуде колебаний (*б*):
1, *2* – соответственно стандартные и с овальной частью крепежные элементы, материал АК7ч, 70НВ, v = 0,07 м/с, l/d = 2,5;
3 – сталь 20, 157НВ; резьба М12;
–•– – с применением ультразвуковых колебаний;
–×– – без них

материала время разрыва в контакте поверхностей стремится к минимуму, а с ростом амплитуды повышается длина пробега элементарного контакта, что увеличивает работу трения.

Таким образом, постановку крепежных резьбовых элементов в стальные корпуса рекомендуется проводить при A = 6...10 мкм, что согласуется с выводами работы [3]. Для всего резьбового диапазона введение ультразвуковых колебаний в контакт снижает $M_{кр}$ в среднем на 21–38 %. Наибольшая степень снижения до 35–42 % наблюдается для стандартных крепежных элементов при наибольшей длине сопряжения и до 28–30 % – для овальных при тех же условиях.

Вывод

Ультразвуковая сборка механических соединений с крепежно-резьбообразующими деталями способствует значительному снижению напряженности процесса, уменьшает нагрузки на технологическое оборудование и оснастку, повышает прочность и другие качественные показатели резьбовых соединений.

Библиографический список

1. **Семичевский Г.А., Березин С.Я.** Технология сборки гладкорезьбовых соединений. Чита: ЗабГПУ. 1998. С. 60–79.

2. **Березин С.Я.** Ультразвук в процессах резьбообразования и сборки. Чита: Изд-во ЧитГУ, 2009. 167 с.

3. **Нерубай М.С., Штриков Б.Л., Калашников В.В.** Ультразвуковая механическая обработка и сборка. Самара, 1995. С. 130–136.

ОСНОВЫ ТРИБОЛОГИИ И ТРИБОТЕХНИКИ: *учебное пособие.* 2-е изд.

Н.С. Пенкин, А.Н. Пенкин, В.М. Сербин

Цена 330 р.

2011 – 208 с. ISBN 978-5-94275-583-6

В учебном пособии в соответствии с программой дисциплины “Основы трибологии”, разработанной специалистами Ассоциации инженеров-трибологов России, изложены основные положения контактного взаимодействия твердых тел, свойства и топография их поверхностей, природа и виды внешнего трения, влияние различных факторов на трение.

Описаны различные виды изнашивания, роль смазки, температуры, фрикционности и антифрикционности материалов для деталей сопряжений, основные способы повышения износостойкости материалов и деталей машин. Приведены расчетные методы оценки интенсивности изнашивания наиболее часто встречающихся турбосопряжений.

Рассматриваются основные положения моделирования трибологических процессов, методы испытания на трение и изнашивание, а также роль трибологии в решении социально-экономических проблем, обусловленных трибологическими источниками: потери от недовыпуска продукции, потери всех видов ресурсов, ухудшение экологичности, энергетической эффективности различных видов транспорта и др.

Пособие рассчитано на студентов технических специальностей, изучающих эту дисциплину или ее разделы в других дисциплинах, аспирантов, научных и инженерно-технических специалистов в области трения, износа и смазки в машинах.

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

УДК 621.757:882.082.8

Л.Н. Данилова, *канд. техн. наук, доцент*
(Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт")
E-mail: ldanylova@bigmir.net

Устройства для установки саморезов

Рассмотрены конструкции устройств сборки гладкорезьбовых соединений, обеспечивающих жесткое базирование винта. Использование прогрессивных резьбовых соединений сокращает затраты и время на их установку и обеспечивает возможность применения средств автоматизации.

This article reviews the design of devices for the assembly with self-tapping screws, a feature which is to ensure the hard-based screw. Self-tapping screws provide an economical means of assembling component and time of installation and allows the use of automation.

Ключевые слова: гладкорезьбовые соединения, самонарезающие винты, винтозавертывающий механизм, автоматизированная сборка.

Keywords: smooth-screw connection, self-tapping screws, screving mechanism, automated assembly.

Самым распространенным видом соединений являются резьбовые. С их помощью выполняется более половины всех соединений в приборах и машинах. Однако соединения, выполняемые ввинчиванием, относятся к наиболее трудоемким и плохо поддающимся автоматизации. Трудоемкость их выполнения в значительной степени определяется типом соединения, от выбора которого зависит количество крепежных деталей, технологических переходов, исполнительных устройств. С этих позиций предпочтительны винтовые соединения.

В практике современного машино- и приборостроения широкое распространение получили винты, устанавливаемые в детали с гладким отверстием, и в частности самонарезающие, не требующие стопорения и дополнительных крепежных деталей. Установка таких винтов возможна с применением минимального количества исполнительных устройств.

Сборка с применением самонарезающих винтов заключается в последовательном выполнении сначала сверления, а затем раскатывания резьбы, а технологический процесс – в последовательном выполнении двух традиционных способов, выполняемых двумя инструментами, объединенными в одном теле. Сложность состоит в следующем: сверло требует жесткого базирования по двойной направляющей базе для предотвращения увода, или предварительного центрования, резьбовая часть направляется по просверленному концевой частью отверстию, при этом базирующие элементы должны обеспечивать проход головки винта в конце завинчивания [1].

В современных электродрелях используют цанговый сверлильный патрон, в котором сверло фиксируется несколькими (чаще тремя) симметрично расположенными кулачками. Шуруповерты имеют приспособление, например в виде втулки, позволяющее ограничивать глубину ввинчивания самореза. Используется магнитный держатель для перехода от сверления к завинчиванию шурупов и обратно. Для завинчивания винтов требуется универсальное приспособление, обеспечивающее жесткое базирование сверлящей части и в то же время пропускающее головку винта. Традиционный способ базирования винтов в гибких элементах, допускающих выход головки винта, не обеспечивает должной устойчивости при сверлении.

Ниже приведены устройства, отвечающие требованиям жесткого базирования винта по наружному или внутреннему диаметру резьбы или по кондукторной втулке и при этом оснащенные удерживающими элементами, пропускающими головку винта в конце завинчивания.

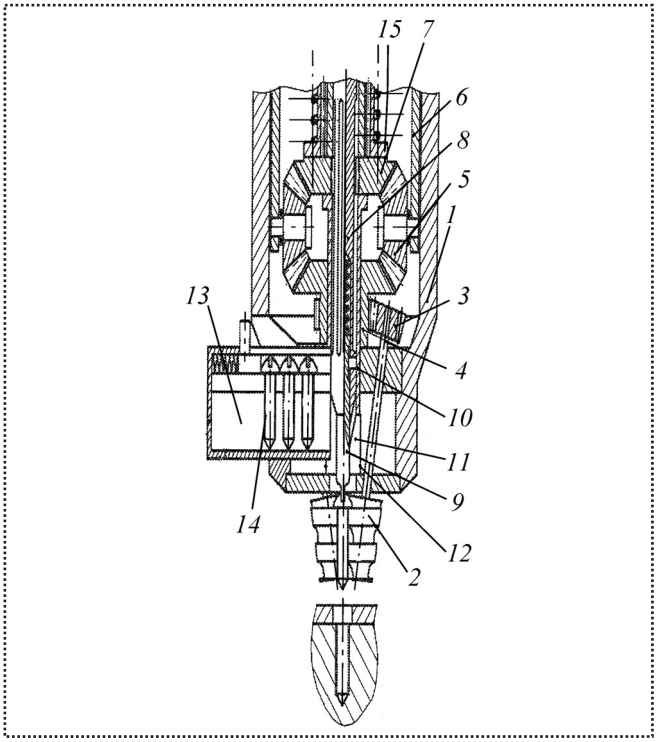


Рис. 1. Шнековый винтоверт с коническими шнеками

На рис. 1 показано устройство, базирующее винт по наружному диаметру резьбы между коническими шнеками. Устройство состоит из корпуса *1*, в расточках которого установлены под углом к его оси конические шнеки *2* с коническими шестернями *3*, зацепляющимися с центральным колесом *4*, выполненным совместно с шестерней дифференциала. Дифференциал состоит из сателлитов *5*, связанных с водилом *6*, и шестерни *7*, установленной на шлицах шпинделя *8*. Подпружиненная отвертка *9* расположена в шпинделе *8*, перемещающемся по неподвижно связанной с корпусом *1* втулке *10*, в окнах которой установлены вкладыши *11*, охваченные кольцевой пружиной *12*. К втулке *10* присоединен магазин *13* с винтами *14*. Шестерня *7* дифференциала оснащена тормозом *15*.

Винтоверт работает следующим образом. При отведенном вверх шпинделе *8* с отверткой *9* очередной винт *14*, центрируясь подпружиненными вкладышами *11*, попадает в пространство между шнеками *2* так, что его головка опирается на винтовые поверхности шнеков, а тело базируется по цилиндрическим образующим поверхностям. Таким образом, винт надежно удерживается в требуемом положении. При вращении водила *6* движение передается на шестерни. Так как шестерня *7* оснащена тормозом *15*, то в начальный момент вращаются шнеки *2* и подают винт до касания с деталью. Увеличение момента сопротивления в этом направлении приводит к вращению шестерни *7* и шпинделя *8* с отверткой *9*. Винт завинчивается в деталь. В зависимости от условий свинчивания вращательное движение с различными скоростями осуществляют одновременно шпиндель и шнеки.

Другое устройство (рис. 2) базирует винт в толкателях по внутреннему диаметру резьбы. Устройство состоит из корпуса *1* с центральным отверстием *2*, в котором расположен шпиндель *3*. В корпусе концентрическими рядами выполнены прорези *4* с установленными в них толкателями *5*, и отверстия *6* – с упорами *7*. На корпусе надеты кольца *8* с кожухами *9*, число которых равно числу рядов отверстий на корпусе. Кольца имеют прорези *10* – продолжения прорезей *4*, в которых неподвижно установлены толкатели, и ступенчатые пазы, расположенные напротив отверстий *6*.

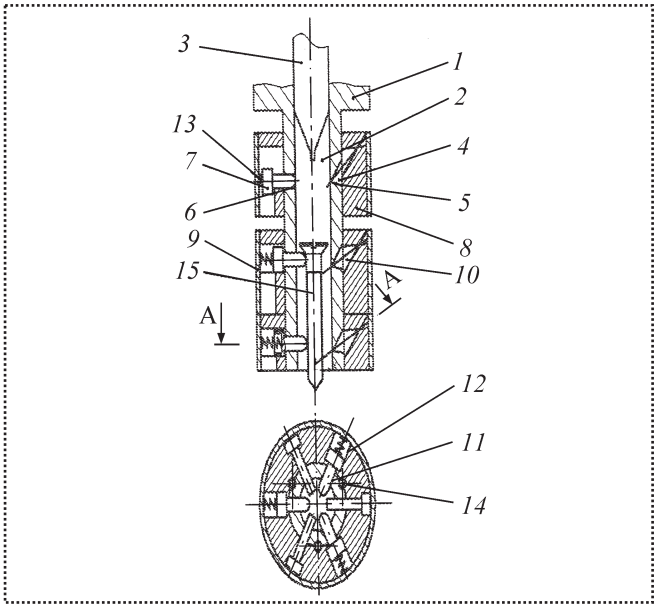


Рис. 2. Головка винтоверта

Ступень *11* паза служит для прохода меньшего диаметра упора *7* и в верхней части имеет отверстие, равное большему диаметру упора. Ступень *12* паза служит для прохода большего диаметра толкателя *7*. Упоры подпружинены относительно корпуса пружинами *14*.

Устройство работает следующим образом. В начале работы шпиндель *3* отведен вверх, винт *15* через прорезь в корпусе (на рисунке не показана) попадает в отверстие *2* и при перемещении шпинделя вниз ввинчивается в имитируемую толкателями *5* резьбу.

При дальнейшем перемещении шляпка винта нажимает на упор *7* и перемещает его в радиальном направлении, при этом больший диаметр упора выходит из отверстия паза *11* и попадает в паз *12*, меньший диаметр упора попадает в паз *11*, что обеспечивает их взаимное свободное перемещение, а кольцо *8*, освободившись от фиксации, устремляется вверх силой пружины *12*. При этом толкатели втягиваются в пазы *4* и *10*, пропуская шляпку винта. По мере ввинчивания поднимаются все кольца. Для начала следующего цикла необходимо поднять шпиндель и сдвинуть все кольца вниз, при этом отверстия пазов *11* совместятся с большими диаметрами упоров, которые благодаря пружинам войдут в отверстия, и кольца снова окажутся зафиксированными. Устройство готово к работе.

Головка винтоверта [2], показанная на рис. 3, также жестко базирует самонарезающий винт по наружному диаметру резьбы, обеспечивая проход головки винта в конце ввинчивания. Устройство состоит из корпуса *1*, в радиальных пазах которого установлены три кулачка *3*, положение которых относительно вертикальной оси регулируется в зависимости от диаметра винта *2*. В U-образном пазу кулачка установлен столбик шариков *4*, подпружиненный пружиной *5* в осевом направлении. Ближайшая к оси сторона U-образного паза имеет прорезь, ширина которого меньше диаметра шариков, поэтому они выступают из прорези, но не выпадают из кулачка.

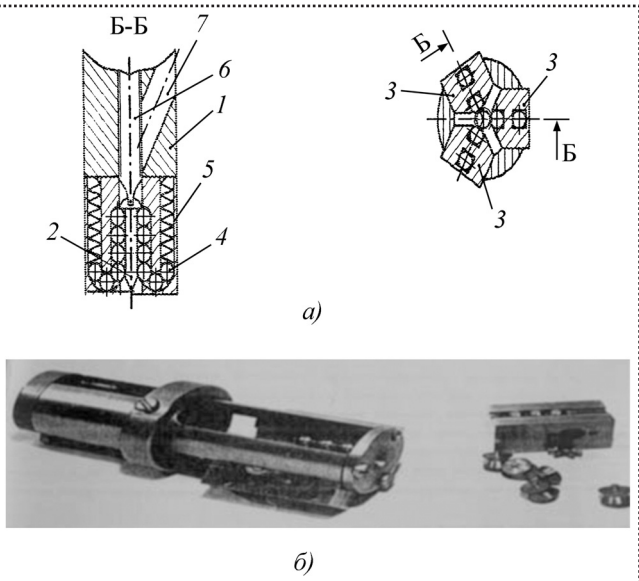


Рис. 3. Устройство (*а*) и внешний вид (*б*) головки винтоверта

Устройство работает следующим образом. В исходном положении пружина *5* разжата и столбик шариков поднят до упора в торец канавки. Винт *2* попадает из лотка *7* в осевое отверстие корпуса, затем под действием отвертки *6* подается в область между шариками, при этом шляпка винта опирается на столбики шариков. При перемещении винта вниз его шляпка давит на шарики, передвигая их вдоль паза, и сжимает пружину *5*. Когда последние шарики проходят прямолинейный участок паза, шляпка винта освобождается и свободно выходит. Как только область между шариками освобождается, они тут же возвращаются в исходное положение силой пружины. Перемещением вкладышей *3* в радиальном направлении устройство переналаживается на винты другого типоразмера.

В устройстве, представленном на рис. 4, при завинчивании крутящий момент передается штоку *2* через шпиндель *3*, при этом пружина *5* отжимает гильзу *4*, расположенную в подшипнике *13*, до упора с гильзой *6*. В этом положении кулачки *8*, установленные осями *7* в гильзе, сведены и поджимают шляпку к торцу штока *2*. При вращении шток опускается, увлекая гильзу *6*, кулачки *8* и винт *14*. Так как

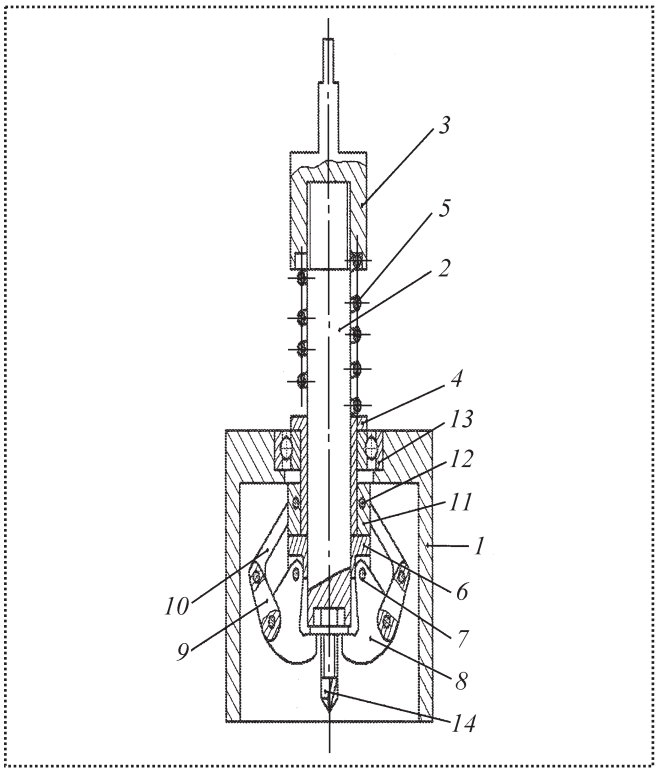


Рис. 4. Насадка на винтоверт

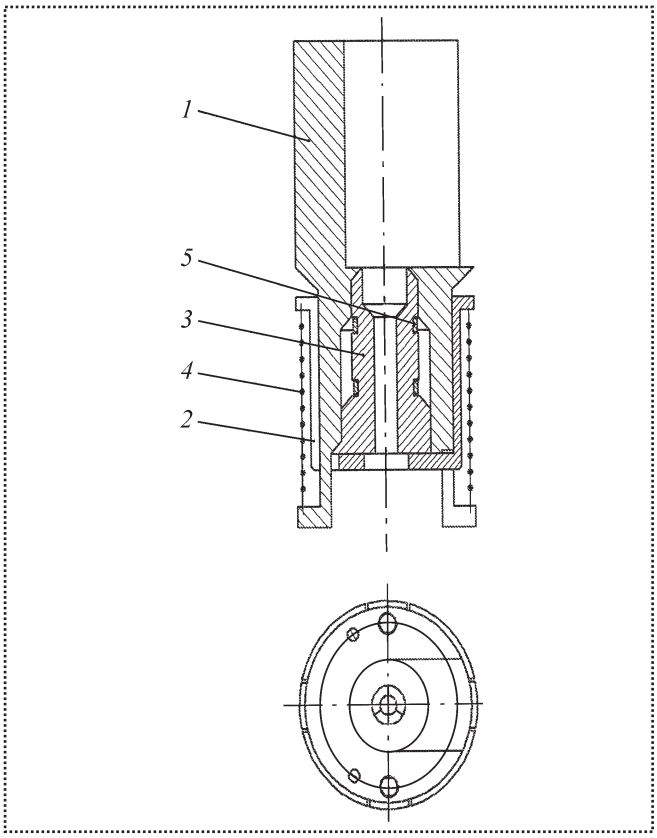


Рис. 5. Насадка на винтоверт

корпус *1* упирается торцом в верхнюю из собираемого узла деталь, то при опускании шпинделя расстояние между корпусом и переходником сокращается, сжимается пружина *5*, а между гильзой *6* и кольцом *12* появляется и постепенно увеличивается зазор, что приводит к повороту кулачков *8* и выходу их из рабочей зоны. После окончания ввинчивания и установки в отверстие следующего винта шпиндель поднимается, зазор сокращается, а усилие пружины *5* сохраняет фиксированное положение гильзы *4*, корпуса *1* и кольца *12*.

Насадка, показанная на рис. 5, работает следующим образом. В начальный момент пружина *4* разжата, стаканчик *2* находится в верхнем положении, при этом пружины *5* сжаты, а кулачки *3* сведены вместе, базируясь по внутреннему диаметру корпуса. Винт подается в устройство и занимает положение между кулачками, опираясь шляпкой на их фаску, при этом осуществляется жесткое базирование винта по наружному диаметру резьбы, так как кулачки базируются по большему диаметру отверстия корпуса.

При движении вниз винт увлекает за собой и кулачки, которые испытывают давление шляпки винта до тех пор, пока кулачки полностью не выйдут из зоны узкой части отверстия корпуса *1*. Как только кулачки оказываются в зоне большего диаметра, шляпка винта раздвигает их и беспрепятственно выходит. Дальнейшее ввинчивание происходит при базировании по уже сформированным виткам. При выходе шляпки винта из зоны кулачков они сводятся вместе силой пружин *5*, а стаканчик *2* силой пружины *4* возвращает кулачки в исходное положение.

Для ориентации шестигранных деталей, например головок винтов, можно применять устройство, изображенное на рис. 6. В исходном положении толкатель *9* находится в крайнем положении, клин *5* также отведен вправо пружиной *6*. Ориентатор *7* находится в пазу

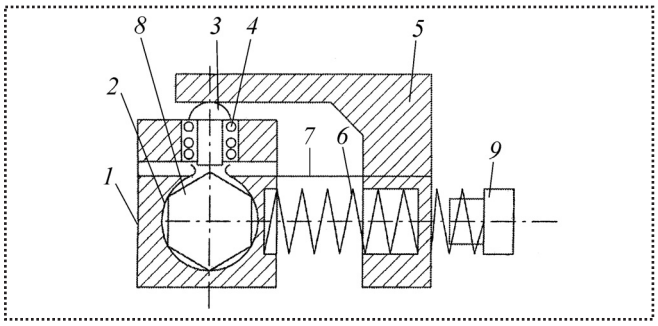


Рис. 6. Устройство для ориентации деталей

основания *1*, но выведен из лотка *2*. Штырь *3* отжат пружиной *4* до упора в горизонтальную плоскость клина *5*. Деталь поступает в лоток основания *1*. Упругий толкатель *9* перемещает клин *5* влево, сжимая пружину *6*. Ориентатор *7* скользит в пазу основания *1* и поворачивает упругим концом деталь до совмещения грани с плоскостью ориентатора. Штырь *3* отжат пружиной *4* до упора в горизонтальную плоскость клина *5*. При дальнейшем движении клин *5* скосом нажимает на штырь *3* и он зажимает сориентированную деталь. При движении толкателя вправо пружина *6* разжимается и клин *5* также отходит вправо, его скос сходит со штыря *3*, который пружиной *4* отжимается до упора в горизонтальную плоскость клина *5*. Ориентатор *7* скользит в пазу *8* основания *1* и в конце хода выходит из лотка *2*, освобождая его для новой детали [3].

Предложенные устройства являются универсальными сборочными приспособлениями для двух разных процессов – сверления, так как жестко базируют винт и исключают увод сверлящей концевой части самонарезающего винта и резьбоформирования, поскольку пропускают головку винта в конце свинчивания. Конструктивное объединение в одном приспособлении элементов, удовлетворяющих обоим процессам, усложняет реализацию процесса резьбозавинчивания, если не использовать компромиссные технологические режимы. В противном случае необходимы дополнительные устройства, обеспечивающие изменение режимов резания при переходе от сверления к резьбозавинчиванию. Найденные компромиссные решения позволяют реализовать их предложенными устройствами. Модели описанных приспособлений были изготовлены и опробованы, результат подтверждает возможность применения их в автоматизированных производствах или в качестве насадок на винтоверт.

Библиографический список

1. **Сборка** и монтаж изделий машиностроения: справочник / Под ред. В.С. Корсакова, В.К. Замятина. Т. 1. М.: Машиностроение, 1983. 480 с.

2. **А.с. 1808634 А1.** СССР. Головка адаптивного винтоверта / Л.М. Данилова, В.Н. Давыгора, В.А. Пасечник. Опубл. 15.04.93. Бюл. № 14.

3. **А.с. 1484582.** СССР. Устройство для ориентации деталей / Л.Н. Данилова, А.Г. Ярмош. Опубл. 07.06.89, Бюл. № 21.

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ.

А.Г. Холодкова, М.Г. Кристаль, Б.Л. Штриков

2010 г. 560 с. ISBN 978-5-217-03412-3

Цена 660 р.

Изложены основные принципы проектирования технологического процесса автоматической сборки. Приведены сведения для выбора схем базирования, расчета условий собираемости деталей, оценки пригодности изделий для автоматической сборки. Рассмотрены организационные формы сборки, опыт создания и эксплуатации сборочного оборудования и оснастки отечественного и зарубежного машиностроения.

Предназначена для конструкторов и технологов сборочного производства. Может быть полезна аспирантам и студентам вузов.

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

УДК 621.43.001.573

Л.А. Галиуллин, *аспирант,* **Е.В. Зубков,** *канд. техн. наук*
(Камская государственная инженерно-экономическая академия, г. Набережные Челны)
E-mail: galilenar@yandex.ru

Нейро-нечеткая настройка автоматизированной системы испытаний дизельных двигателей

Рассмотрено применение интеллектуальной модели для настройки автоматизированной системы испытаний дизельных двигателей. Спроектирована нейро-нечеткая сеть для выработки управляющего воздействия на дизель. Разработана методика проектирования базы знаний для управления режимами работы дизеля в процессе его испытаний.

The usage of intelligent model for customizing automated diesel testing system is considered. The neuro-fuzzy network for testing diesel engines is designed. The method of design of knowledge base for diesel engine control has been worked out.

Ключевые слова: дизельный двигатель, испытание, стенд, автоматизированная система испытаний, технология автоматизированного испытания, информационные технологии, база знаний, нечеткие правила, нейро-нечеткая сеть.

Keywords: diesel engine, test, test bench, automated testing system, information technologies, knowledge base, fuzzy rules, neuro-fuzzy network.

В жизненном цикле изделий, в том числе и двигателей внутреннего сгорания (ДВС), значительное место занимают различные технологические испытания как отдельных узлов, так и двигателя в целом. Современные требования к постоянному повышению технического уровня выпускаемых конструкций приводят к тому, что доля затрат на проведение испытаний дизелей при создании новых образцов все более возрастает. Особенно большими эти затраты становятся при несоответствии уровней автоматизации производства и научно-исследовательских работ. В связи с этим автоматизация и механизация технологических процессов испытаний являются одной из основных задач повышения технологического уровня производства и качества выпускаемых деталей.

Решение проблем создания, внедрения и успешной эксплуатации автоматизированных систем испытаний (АСИ) дизелей требует в свою очередь решения ряда важных задач по разработке их технического, математического, программного, информационного, лингвистического и организационно-методического обеспечения.

Необходимость широкого внедрения и эксплуатации АСИ в реальных условиях испытательных станций проектно-исследовательских институтов и серийных заводов требует создания средств автоматизированной настройки на любые технологии испытаний различных типов и модификаций дизелей. Это диктуется достаточно большой номенклатурой испытуемых двигателей, агрегатов и узлов, а также необходимостью частого внесения изменений в существующие алгоритмы и создания новых алгоритмов технологии, в особенности при проведении исследовательских и доводочных испытаний двигателей.

Технологический процесс автоматизированных испытаний дизелей [1]

Дизель за счет изменения нагрузки на вал с помощью тормоза, перемещения рейки топливного насоса и других управляющих воздействий выводят на определенный участок программы испытаний P_i, каждый из которых характеризуется желаемыми значениями совокупности параметров частоты вращения коленчатого вала $\omega(P_i)$, момента нагрузки на валу двигателя $M_н(P_i)$, часового расхода топлива $G_т(P_i)$, положения рейки управления топлив-

ным насосом $h(P_i)$, температуры охлаждающей жидкости $T_{ож}(P_i)$, масла $T_м(P_i)$ и топлива $T_т(P_i)$ и т.д. В общем режим P_i обозначится как $P\delta_I(\omega, M_н, h, T_{ож}, T_т, ...)$. На данном участке программы испытаний измеряют установившуюся совокупность параметров дизеля.

Далее двигатель переводят на следующий участок программы испытаний P_{i+1}, после чего проводится отображение значений установившихся параметров дизеля. Последовательность участков $P_1, P_2, ..., P_N$ составляет технологический процесс испытаний, который представлен в базе данных ЭВМ в виде программы испытаний.

Цель АСИ состоит в выработке управляющих воздействий на дизель в виде перемещения рейки топливного насоса, для того чтобы дизель с участка испытаний P_i перешел на участок P_{i+1}. В определенные промежутки времени в АСИ поступают по обратной связи текущие значения параметров дизеля, а также желаемые значения параметров участка P_{i+1} программы испытаний.

Проектирование гибридной нейро-нечеткой сети для настройки АСИ

Анализ особенностей автоматизированных испытаний дизелей показывает, что модель, описывающая функционирование АСИ, должна учесть следующие реальные факторы [2], имеющие место в технологическом процессе:

– многорежимность работы дизелей и его узлов с множеством технологических операций различной привилегированности;

– случайный характер подключения алгоритмов отдельных операций технологии испытания;

– возможность параллельной работы идентичных основных программно-аппаратных функциональных блоков системы;

– ненадежность технических средств и ограниченные ресурсы функциональных блоков АСИ дизеля.

Наиболее полно эти факторы могут быть учтены при использовании в АСИ дизелей интеллектуальной модели на основе нечеткой логики и нейронных сетей. Так, гибридная сеть ANFIS (Adaptive network for fuzzy inference system) представляет собой многослойную нейронную сеть [3]. Основная идея, положенная в основу модели гибридной сети, заключается в использовании существующей выборки данных для определения параметров функций принадлежности, которые лучше всего соответствуют системе нечеткого вывода.

В спроектированной гибридной нейро-нечеткой сети присутствуют три слоя (рис. 1). Задача слоя 1 заключается в расчете степени принадлежности входных параметров дизеля к соответствующим нечетким множествам:

$$\mu_{A_i^k}(x_i) = \frac{1}{1+\left(\frac{|x_i - z_i^k|}{\sigma_i^k}\right)^{2b_i^k}}, \qquad (1)$$

где z_i^k – центр гауссовой кривой;

σ_i^k – ширина гауссовой кривой;

b_i^k – форма гауссовой кривой.

При соответствующих коэффициентах функция Гаусса может быть вырождена в треугольные, сигмоидальные или трапецеидальные функции принадлежности [3].

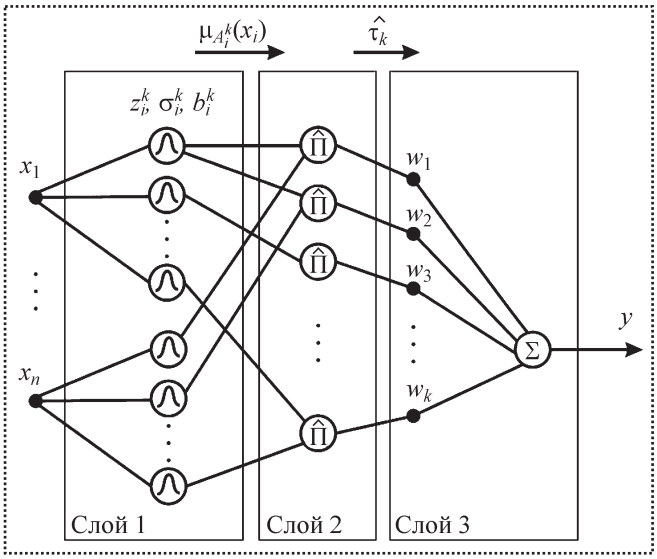


Рис. 1. Схема гибридной нейро-нечеткой сети ANFIS

Слой 2 определяет степень соответствия значений входных сигналов условиям правил базы знаний. Необходимые операции выполняются элементами, обозначенными символом $\hat{\prod}$.

Связи с предыдущим слоем устанавливаются так, чтобы получить все возможные комбинации функций принадлежности всех входных параметров дизеля.

Допустим, что пространство входных параметров разделено N_1 функциями принадлежности для сигнала x_1, N_2 – для x_2, N_3 – для x_3 и т.д. Другими словами, определено N_1 нечетких множеств $A_1^1, ..., A_1^{N_1}$ для первого входного сигнала, N_2 множеств $A_2^1, ..., A_2^{N_2}$ – для второго и т.д. В результате получится $N_1N_2N_3 \ ... \ N_m$ правил вида [4]:

$$R^k\text{: } IF \ (x_1 \in A_1^{n_1} \ \ AND \ \ x_2 \in \in A_2^{n2} \ \ AND \ \ldots \ AND \ \ x_n \in A_n^{n_m}) \ THEN \ \ y \in B_k, \tag{2}$$

где $n_1 = 1, ..., N_1$; $n_2 = 1, ..., N_2$ и т.д.;

R^k – k-е нечеткое правило;

$x_1, ..., x_n$ – входные параметры режима работы дизеля.

Степень соответствия значений входных сигналов условиям правил имеет вид:

$$\tau_k = \hat{\prod_{i=1,...,n}} \mu_{A_i^k}(x_i); \tag{3}$$

$$\hat{\tau}_k = \hat{\prod_{i=1,...,n}} \mu_{A_i^k}(x_i) = \frac{\tau_k}{\sum_{i=1}^{N} \tau_i}, \tag{4}$$

где τ_k – степень активности k-го правила,

$\hat{\tau}_k$ – нормированное значение τ_k.

Слой 3 реализует выражение

$$h = \sum_{k=1}^{N} \hat{\tau} c_k, \tag{5}$$

которое задает метод определения четкого значения положения рейки топливного насоса (дефазификацию). Сигнал на его выходе представляет собой сумму произведений весов связей w_k и нормированных степеней активности правил $\hat{\tau}_k$. Веса связей соответствуют константе (центрам функций принадлежности правой части нечетких правил) в правилах вида (2). Они должны иметь нулевые начальные значения, что отражает факт отсутствия заключений до начала обучения сети. Поэтому можно утверждать, что модификация этих весов в процессе обучения приводит к построению правил.

Формирование нечетких правил базы знаний АСИ дизеля

На вход гибридной нейро-нечеткой сети подается обучающий вектор входных параметров дизеля

$$X = (\omega, \ M_н, \ G_т, \ \ldots). \tag{6}$$

Выбор этих величин зависит от вида и программы испытаний.

В обучающей выборке для каждого вектора входных параметров содержится вектор выходного параметра в виде положения рейки топливного насоса:

$$D = (h). \tag{7}$$

Таким образом, для базы правил АСИ с r входами и одним выходом необходимы обучающие данные в виде множества пар

$$(x_1(i), \ x_2(i), \ x_3(i), \ \ldots, \ x_r(i), \ d(i)), \quad i = 1, \ 2, \ \ldots, \ N, \tag{8}$$

где $x_1(i), x_2(i), x_3(i), ..., x_r(i)$ – сигналы, подаваемые на вход модуля нечеткого управления (ω, $M_н$, $G_т$ и т.д.);

$d(i)$ – ожидаемое значение положения рейки топливного насоса;

N – величина обучающей выборки.

Задача заключается в формировании таких нечетких правил, чтобы сконструированный на их основе модуль управления при получении входных сигналов генерировал корректные (имеющие наименьшую погрешность) выходные сигналы.

Шаг 1. Разделение пространства входных и выходных сигналов на области.

По минимальным и максимальным значениям каждого сигнала можно определить интервалы, в которых находятся допустимые значения. Например, для входного сигнала x_1 такой интервал $[x_1^-, x_1^+]$. Если значения x_1^- и x_1^+ неизвестны, то можно воспользоваться обучающими данными и выбрать из них минимальное $x_1^- = \min(x_1)$ и максимальное $x_1^+ = \max(x_1)$ значения. Аналогично для сигнала x_2 и x_3 определим интервал $[x_2^-, x_2^+]$ и $[x_3^-, x_3^+]$, а для эталонного сигнала d – интервал $[d^-, d^+]$.

Каждый определенный таким образом интервал делится на $(2N + 1)$ областей (отрезков), причем значение N для каждого сигнала подбирается индивидуально, а отрезки могут иметь одинаковую или различную длину. Величина N зависит от желаемой нечеткой детализации каждого параметра. Чем больше N, тем больше получится нечетких множеств и будет больше база знаний в виде нечетких правил.

Для наглядности представления формирование базы правил приведено для двух входных параметров – ω и $M_н$.

Отдельные области обозначены следующим образом: M_N (малый N), ..., M_1 (малый 1), S (средний), D_1 (большой 1), ..., D_N (большой N) и для каждого из них определена одна функция принадлежности. На рис. 2 представлено такое разделение, где область определения сигнала x_1 (ω) разбита на пять подобластей ($N = 2$), сигнала x_2 ($M_н$) – на семь подобластей ($N = 3$), а область определения выходного сигнала y (положения рейки топливного насоса) – на пять подобластей ($N = 2$).

Каждая функция принадлежности имеет треугольную форму; одна из вершин располагается в центре области и ей соответствует значение функции, равное единице. Две других вершины лежат в центрах соседних областей, им соответствуют значения функции, равные нулю.

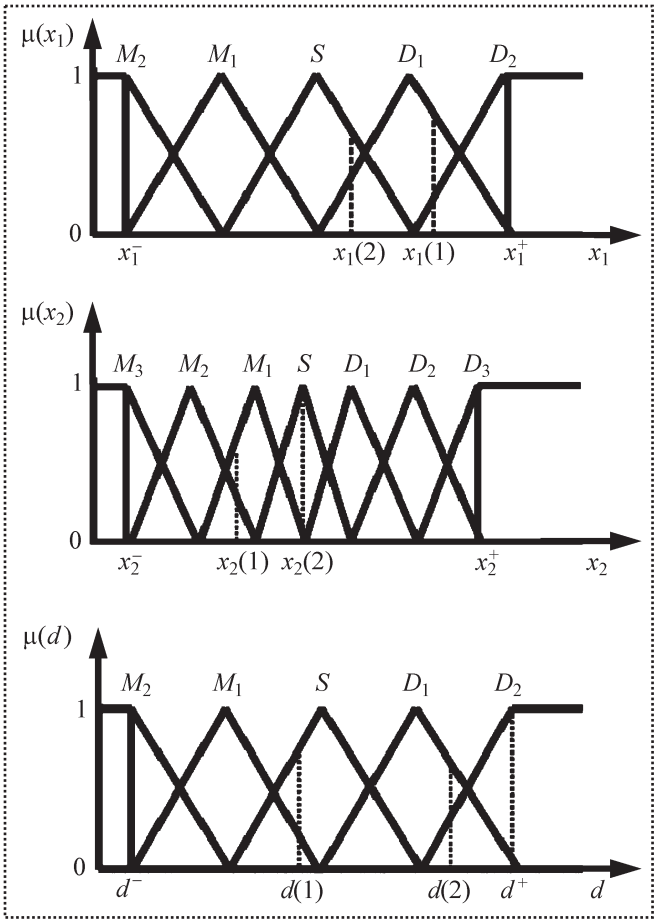


Рис. 2. Разделение пространств входных и выходных сигналов на области и соответствующие им функции принадлежности

Шаг 2. Построение нечетких правил на основе обучающих данных.

Вначале определяются степени принадлежности обучающих данных ($x_1(i)$, $x_2(i)$, $x_3(i)$, ..., $d(i)$) к каждой области, выделенной на шаге 1. Эти степени будут выражаться значениями функций принадлежности соответствующих нечетких множеств для каждой группы данных. Для случая, показанного на рис. 2, степень принадлежности параметра $x_1(1)$ к области D_1 составляет 0,8, к области D_2 – 0,2, а к остальным областям – 0. Аналогично для параметра $x_2(2)$ степень принадлежности к области S составляет 1, а к остальным областям – 0. Затем сопоставляются обучающие данные $x_1(i)$, $x_2(i)$ и $d(i)$ областям, в которых они имеют максимальные степени принадлежности: $x_1(1)$ имеет наибольшую степень принадлежности к

области D_1, а $x_2(2)$ – к области S. Окончательно для каждой пары обучающих данных можно записать одно правило:

$(x_1(1), x_2(1); d(1)) \Rightarrow$

$(x_1(1)[\max: 0{,}8$ в $D_1]$, $x_2(1)[\max: 0{,}6$ в $M_1]$; $d(1)[\max: 0{,}9$ в $S])\Rightarrow$

$R^{(1)}$: IF $(x_1 \in D_1$ AND $x_2 \in M_1)$ THEN $y \in S$; $\Rightarrow$

$(x_1(2), x_2(2); d(2)) \Rightarrow$

$(x_1(2)[\max: 0{,}7$ в $S]$, $x_2(2)[\max: 1{,}0$ в $S]$; $d(2)[\max: 0{,}7$ в $D_1])\Rightarrow$

$R^{(2)}$: IF $(x_1 \in S$ AND $x_2 \in S)$ THEN $y \in D_1$.

Шаг 3. Приписывание каждому правилу степени истинности.

Как правило, в наличии имеется большое количество пар обучающих данных, по каждой из них может быть сформулировано одно правило, поэтому существует высокая вероятность того, что некоторые из этих правил окажутся противоречивыми. Это относится к правилам с одним и тем же посылом (условием), но с разными следствиями (выводами). Один из методов решения этой проблемы заключается в приписывании каждому правилу степени истинности с последующим выбором из противоречащих друг другу правил того, у которого эта степень окажется наибольшей. Таким образом, не только разрешается проблема противоречивых правил, но и уменьшается их общее количество. Для правила вида (2) степень истинности

$$SP(R) = \mu_{A_1}(x_1)\mu_{A_2}(x_2)\mu_{A_3}(x_3)\mu_B(y). \qquad (9)$$

Таким образом, первое правило ($R^{(1)}$) из примера имеет степень истинности

$$SP(R^{(1)}) = \mu_{D_1}(x_1)\mu_{M_1}(x_2)\mu_S(y) = \\ = 0{,}8\cdot 0{,}6\cdot 0{,}9 = 0{,}432, \qquad (10)$$

а второе –

$$SP(R^{(2)}) = \mu_S(x_1)\mu_S(x_2)\mu_{D_1}(y) = 0{,}7\cdot 1{,}0\cdot 0{,}7 = 0{,}49. \qquad (11)$$

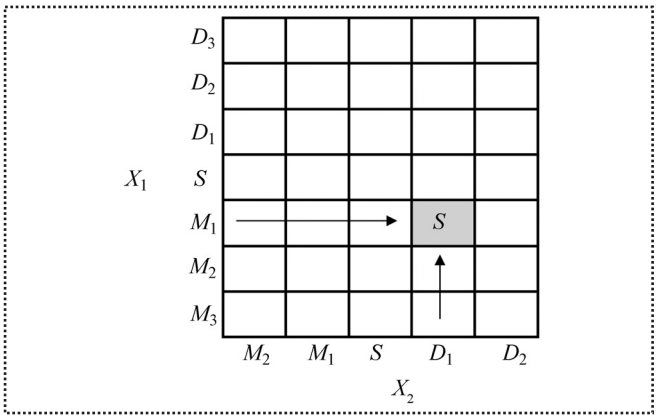


Рис. 3. Матрица базы нечетких правил для двух входных параметров

Шаг 4. Создание базы нечетких правил.

Способ построения базы нечетких правил представлен на рис. 3. База представляется матрицей, которая заполняется нечеткими правилами следующим образом: если правило имеет вид

$$R^{(1)}:\ IF(x_1 \in D_1\ \ AND\ \ x_2 \in M_1)\ THEN\ \ y \in S, \qquad (12)$$

то на пересечении строки D_1 (соответствующей параметру x_1) и столбца M_1 (параметр x_2) вписывается название нечеткого множества, присутствующего в следствии, т.е. S (соответствующее управляющему воздействию y). Если имеется несколько нечетких правил с одним и тем же посылом, то из них выбирается то, которое имеет наивысшую степень истинности.

Обучение нейро-нечеткой сети представляет собой проблему оптимизации – минимизации ошибки обучения:

$$E = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{k}(d_i - h(X_i))^2, \qquad (13)$$

где X_i, d_i – данные для обучения;

$h(X_i)$ – реальные параметры дизеля при входных данных X_i.

Оптимизация параметров нейро-нечеткой сети происходит при уже сформированной ее структуре следующим образом: по наборам экспертных данных подстраиваются коэффициенты z_i^k, σ_i^k, b_i^k нечетких множеств в первом слое, так чтобы ошибка, выдаваемая при рабо-

те АСИ, была минимальной. При этом формируются два набора данных – для обучения и тестирования. Настройка АСИ дизеля осуществляется на основе обучающей выборки, а проверка эффективности ее работы – на тестовой выборке.

Выводы

Рассмотренная методика формирования нечетких правил для АСИ дизеля может быть расширена на случай любого числа входных параметров двигателя. Методика служит основой для подготовки соответствующей программной реализации.

Применение нейро-нечеткой настройки автоматизированной системы испытаний дизелей позволяет в 5–10 раз повысить производительность труда технологов-испытателей, а следовательно, и объем тематических работ, выполнение которых связано с проведением испытаний при одновременном росте достоверности и качества выполняемых экспериментальных работ.

Библиографический список

1. **Райков И.Я.** Испытания двигателей внутреннего сгорания. М.: Высшая школа, 1975. 320 с.

2. **Зубков Е.В., Макушин А.А., Илюхин А.Н.** Правила, функции и схемы формирования моделей режимов испытаний автотракторных ДВС // Тракторы и сельхозмашины. 2009, № 5. С. 17–20.

3. **Ярушкина Н.Г.** Основы нечетких и гибридных систем: учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 2004. 320 с.

4. **Макушин А.А., Зубков Е.В., Илюхин А.Н.** Применение нечеткой логики для моделирования режимов испытаний двигателей внутреннего сгорания // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009, № 12. С. 39–44.

УДК 621.757

С.А. Кулишенко, А.Н. Потемкин, *канд-ты техн. наук*
(Пензенская государственная технологическая академия)

Повышение качества сборки резьбовых соединений за счет изменения конструктивных параметров сборочного оборудования*

Предложена технология сборки резьбовых соединений на основе совершенствования конструкции резьбосборочного оборудования и установления взаимосвязей между факторами, влияющими на процесс формирования показателей качества сборки.

A method is suggested for assembling the threaded connections through improvement of thread assembling equipment.

Ключевые слова: резьбовые соединения, гайковерт, показатели качества сборки.

Keywords: screw connection, screw driver, the quality of the build.

Сборка – завершающий этап производственного процесса в машиностроении, во многом определяющий качество изготавливаемой продукции. Особое место в конструкциях и технологии сборки машин занимают наиболее распространенные резьбовые соединения.

Во многих случаях они являются ответственными элементами, требующими строго нормированной затяжки, поэтому кроме высокой производительности сборочной операции необходимо обеспечивать и требуемое качество ее выполнения, т.е. достижение требуемой точности и минимального разброса контролируемого параметра затяжки, в частности, ее момента [1, 2].

Для сборки резьбовых соединений наибольшее распространение получили устройства, основу которых составляют пневматические двигатели ротационного типа. При их использовании в пневматических гайковертах статического действия разброс момента затяжки

* Материалы научно-технического семинара "Прогрессивные технологии и оборудование механосборочного производства". М.: МАМИ, 3 декабря 2009 г.

достигает ±25–35 % [2], а следовательно, требуемое качество сборки не всегда обеспечивается.

В последние годы большое внимание уделяется исследованиям, связанным с разработкой нового и совершенствованием существующего технологического оборудования для сборки и контроля затяжки резьбовых соединений в целях обеспечения заданной точности и минимального разброса затяжки. Для этого необходимо совершенствование технологии посредством установления влияния различных факторов на процесс формирования качества сборки резьбового соединения.

Установлено, что на качество сборки оказывают влияние группы факторов, связанные:

– с особенностями изготовления резьбового узла, применяемых материалов и покрытий;

– с особенностями используемого резьбосборочного оборудования (гайковертов), стабильностью его работы и скоростью сборки;

– со средствами контроля.

Совершенствование технологии сборки за счет резьбосборочного оборудования (пневматических гайковертов) может быть осуществлено двумя путями: применением систем активного контроля [2] или совершенствованием конструкции резьбосборочного оборудования, в частности, за счет изменения конструктивных параметров пневматического двигателя [2, 3].

В настоящее время вопрос о влиянии конструктивных параметров пневматического двигателя гайковерта на стабильность его работы, а вследствие его динамических взаимосвязей с затягиваемым соединением – и на формирование показателей качества сборки остается открытым. Это объясняется тем, что ранее с позиций технологии машиностроения данная проблема рассматривалась недостаточно. К тому же до настоящего времени не было предложено методики, позволяющей учитывать совместное влияние на разброс момента затяжки как конструкторских, так и технологических факторов.

Теоретические и экспериментальные исследования [3] проводили в два этапа. На первом изучали влияние конструктивных параметров ротационного пневматического двигателя гайковерта (число лопаток, эксцентриситет, углы подачи сжатого воздуха и начала выхлопа и др.) на стабильность его работы. В результате были выявлены нежелательные сочетания указанных конструктивных параметров, а также установлена нецелесообразность применения ротационного пневматического двигателя с величиной относительного эксцентриситета менее $e < 0{,}16$.

На втором этапе рассматривали влияние конструкторских и технологических факторов, выбранных на основании предварительных исследований и данных работ [2, 3], на разброс момента затяжки $\Delta M_{зат}$. Диапазоны изменения факторов представлены ниже.

Число лопаток РПД z, шт	Эксцентриситет (относительный эксцентриситет) e ($П_e$),мм	Угловая скорость шпинделя гайковерта ω, рад/с	Средний диаметр резьбы винта d_2, мм
4–6	2,50 (0,16)–2,75 (0,17)	18,85–25,13	5,114–5,324

Для получения более полной информации, а также для проверки достоверности и обобщенности выводов о влиянии конструкторских и технологических факторов на разброс момента затяжки эксперименты проводили на резьбовых парах, составленных как из одинаковых (сталь – сталь), так и из разных материалов (винт – сталь, плита – алюминиевый сплав АМг6 и винт – сталь, плита – медь М4).

На рис. 1, *а*, *б* представлены зависимости влияния указанных факторов на разброс момента затяжки при завинчивании резьбовых пар, составленных из одинаковых материалов (сталь – сталь), на рис. 1, *в*, *г* – для пар сталь – алюминиевый сплав АМг6, на рис. 1, *д*, *е* – для пар сталь – медь М4.

По сравнению с резьбовыми парами из одинаковых материалов отмечено общее снижение среднего уровня затяжки резьбового соединения на 1–8 % при общем увеличении

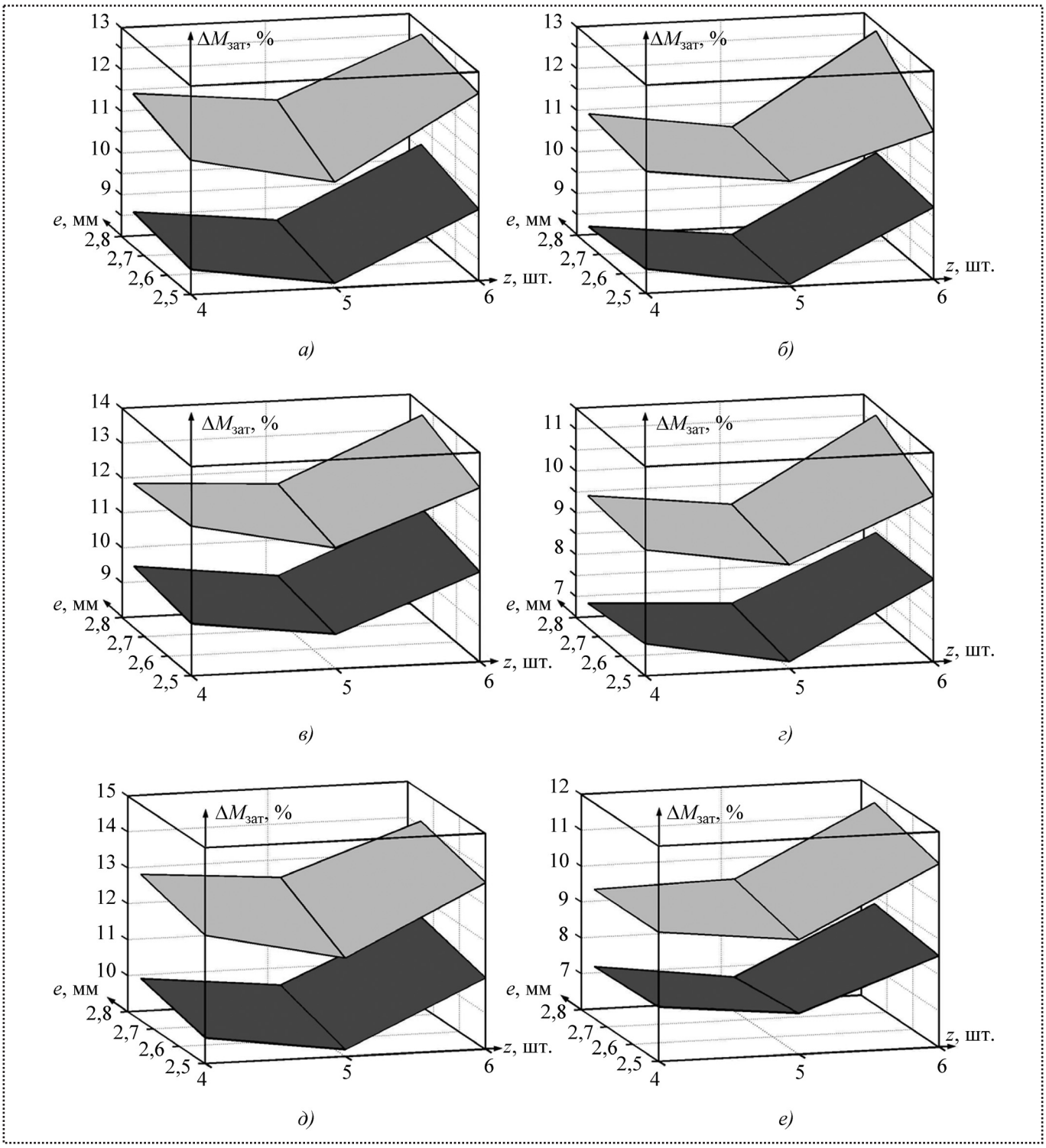


Рис. 1. Влияние конструктивных параметров пневматического двигателя гайковерта (числа лопаток *z* и эксцентриситета *e*) на разброс момента затяжки резьбового соединения $\Delta M_{зат}$:
ω = 25,13 (*а*, *в*, *д*) и 18,85 рад/с (*б*, *г*, *е*);
d_2 = 5,114 и 5,324 мм (соответственно верхняя и нижняя ломаные плоскости);
материал сталь – сталь (*а*, *б*), сталь – алюминиевый сплав АМг6 (*в*, *г*), сталь – медь М4 (*д*, *е*)

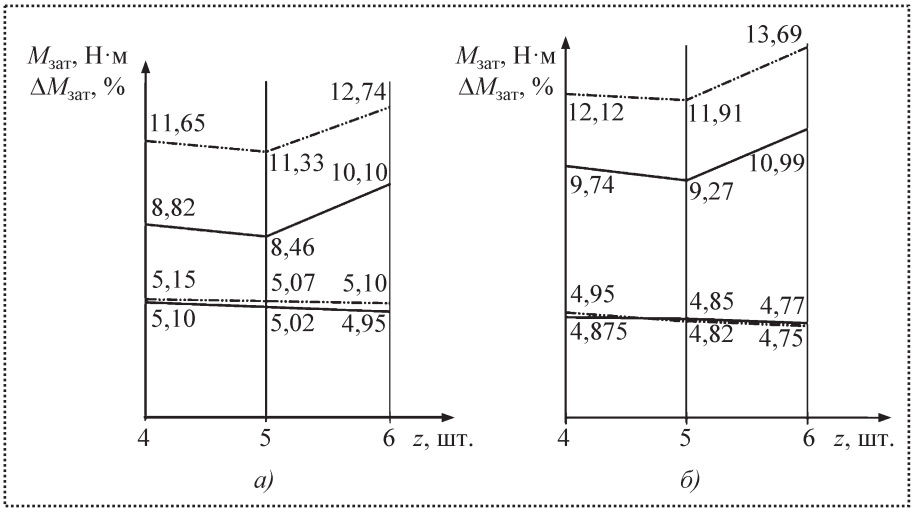


Рис. 2. Влияние числа лопаток *Z*-двигателя гайковерта на момент затяжки резьбового соединения $M_{зат}$ и его разброс $\Delta M_{зат}$ при завинчивании стальных винтов М6×1 в образцы из стали Ст3, ГОСТ 380–94 (*а*) и алюминиевого сплава АМг6, ГОСТ 4784–97 (*б*) (ω = 25,13 рад/с; *e* = 2,75 мм; $П_e$ = 0,17):
—— – d_2 = 5,324 мм;
— ·· — – d_2 = 5,114 мм

разброса момента затяжки на 1–3 % для пар сталь – алюминиевый сплав и соответственно на 3–6 и 1–11 % для пар сталь – медь (рис. 2).

Анализ полученных результатов показал, что выявленные закономерности влияния конструкторских и технологических факторов на разброс момента затяжки, полученные на резьбовых парах, из одинаковых материалов, характерны и для пар из разных материалов.

Установлено также, что при изменении числа лопаток пневматического двигателя гайковерта от 6 до 5 при прочих постоянных условиях наблюдается уменьшение разброса момента затяжки, которое проявляется при всех комбинациях исследованных факторов. Кроме того, влияние числа лопаток двигателя на разброс момента затяжки носит нелинейный характер, имеющий место также при всех комбинациях исследованных факторов, а увеличение разброса момента затяжки при z = 4 и 6 объясняется конструктивными особенностями ротационного пневматического двигателя гайковерта, вызывающими нестабильность его работы. Число лопаток z = 5 вместо наиболее часто применяемых z = 4 и 6 при определенном сочетании конструктивных параметров (эксцентриситета, углов подачи и выхлопа воздуха и др.) позволило повысить удельную мощность двигателя на 10–11 %.

Таким образом, с точки зрения формирования качества сборки резьбового соединения, обоснована возможность совершенствования конструкции существующего резьбосборочного оборудования, в частности, за счет изменения конструктивных параметров двигателя, и целесообразность применения в конструкциях ротационных пневматических двигателей гайковертов числа лопаток z = 5.

Выводы

По результатам теоретических и экспериментальных исследований установлено, что добиться эффективного управления качеством сборки резьбовых соединений пневматическими гайковертами (снижения разброса момента затяжки) можно только при совместном воздействии на конструкторские и технологические факторы.

Полученные результаты могут быть использованы при совершенствовании конструкций пневматических двигателей вновь проектируемых гайковертов, а также при назначении оптимальных по критериям качества сборки резьбовых соединений условий и режимов при использовании существующего резьбосборочного оборудования.

Библиографический список

1. **Замятин В.К.** Технология и автоматизация сборки. Учебник для машиностроительных специальностей вузов. М.: Машиностроение, 1993. 464 с.

2. **Ланщиков А.В., Моисеев В.Б.** Технология и оборудование автоматизированной сборки резьбовых соединений: Монография. Пенза: ПГУ, 1999. 216 с.

3. **Потемкин А.Н.** Обеспечение качества сборки резьбовых соединений пневматическими гайковертами. Реферат на соис. уч. степ. канд. техн. наук. Пенза: ПГУ, 2003. 185 с.

УДК 681.5

В.Н. Горячев, *зам. ген. директора (ОАО "ВНИИ "Сигнал", г. Ковров)*
E-mail: mail@vniisignal.ru

Мониторинг и функциональная диагностика металлорежущих станков

Обоснованы средства электрической, вибрационной и тепловой диагностики металлорежущих станков и их узлов.

A means of electricity, vibration and thermal diagnostics of metal-cutting machine and their components has been substantiated.

Ключевые слова: электрическая, вибрационная, тепловая диагностики, металлорежущий станок, редуктор, шпиндель.

Keywords: electrical, vibration, thermal diagnostics, metal-cutting machine, gearbox, spindle.

В последнее время на крупных предприятиях наметилась тенденция к разработке систем мониторинга по выявлению отказов металлорежущего оборудования, связанная с необходимостью получения оперативной и достоверной информации о его техническом состоянии.

Мониторинг и функциональная диагностика металлорежущих станков обеспечивается программно-аппаратными комплексами, осуществляющими:

• получение и хранение первичной диагностической информации от станка;

• ее переработку в функциональные диагностические признаки, определяющие фактическое состояние станка;

• выявление узлов, нуждающихся в дополнительной инспекции и ремонтных действиях;

• разработку графиков ремонтов станков по фактическому техническому состоянию.

В качестве первичной диагностической информации от станка могут быть получены данные электрической, вибрационной и тепловой диагностики.

Электрическая диагностика предусматривает определение параметров электрической сети, потребляемой исполнительными механизмами станка. Реализуется путем включения в сеть приборов контроля ее качества. Основной диагностической информацией являются ток, напряжение и потребляемая мощность. Решение задачи может быть осуществлено путем измерения:

– общих электрических характеристик, потребляемых всеми работающими приводами станка. В этом случае программное обеспечение должно оценивать баланс мощностей во всех режимах его работы;

– электрических характеристик, потребляемых каждым приводом станка в отдельности. В этом случае программное обеспечение точно оценивает баланс мощностей станка с соответствующим анализом предельных возможностей по мощности всех работающих приводов.

Электрическую диагностику рассматривают как основной вид онлайн-диагностирования всех режимов работы станка: пусковом, холостого хода и рабочем. Закладывают также возможность оценки потребляемой мощности с выходом на силы и режимы резания и запаса по мощности станка. Кроме того, диагностируют аварийные ситуации.

Вибрационная диагностика предусматривает безразборную диагностику узлов и отдельных деталей станка. Реализуется путем установки виброметров в определенных местах станка в зависимости от его компоновочного решения. Основная диагностическая информация – виброскорость.

Поскольку станок работает в нестационарных условиях, нельзя сопоставлять амплитудные характеристики в выбранных применительно к его узлам и деталям полосах частот, а следовательно, невозможно сопоставить уровень амплитуд и оценить степень изнашивания. Для сопоставления результатов измере-

ния искусственно добиваются условий стационарности работы станка регламентированием испытательных режимов. Это может быть реализовано двумя способами:

– периодической вибрационной диагностикой станка по отдельной испытательной программе – динамической паспортизацией станка.

– вибрационной диагностикой при обработке похожих деталей.

Первый способ более точен. Его обычно совмещают с периодической проверкой паспортных характеристик станка по геометрической и технологической точности, жесткости и др. Второй способ не требует вывода станка из производственной программы.

Первичные преобразователи в местах замера можно разместить постоянно путем вживления проводных или беспроводных виброметров или установить виброметры в местах замера с помощью магнитных подушек, резьбовых соединений или клея на время проведения диагностики.

В первом случае необходимо периодически демонтировать виброметры для поверки.

Вибрационная диагностика осуществляется периодически. Для ее реализации режим "онлайн" не требуется. Периодичность вибрационной диагностики для финишного оборудования – один раз в 1–3 мес., для остального оборудования – один раз в 6–12 мес.

Тепловая диагностика позволяет контролировать температурные деформации в станках, источниками которых являются пары трения качения и скольжения в приводах, зона резания и места установки люнетов. Реализуется путем установки термометров в системах подачи масла в приводах и люнетах, а также тепловизорных систем в зонах резания и обслуживания станка.

Отдельные современные станки имеют встроенную систему подогрева и охлаждения масла в системах смазки приводов, обеспечивающую компенсацию температурных деформаций соответствующих узлов. Тепловая диагностика для таких станков не требуется.

В качестве альтернативы может быть реализована оптическая система непосредственных измерений тепловых деформаций узлов станка с использованием приборов лазерной виброметрии, однако данное направление работ требует проведения комплекса экспериментальных исследований.

Поскольку данные с первичных преобразователей поступают непрерывно, тепловая диагностика может реализовываться в режиме "онлайн". При этом программное обеспечение должно осуществлять:

• хранение и математическую обработку данных от первичных преобразователей;

• анализ изменений в станке;

• коррекцию управляющих программ для компенсации температурных деформаций.

Нестационарные условия работы станка не позволяют сопоставлять в режиме непрерывного мониторинга амплитудные и частотные характеристики в выбранных полосах частот узлов и деталей станка, в первую очередь закрытых приводов редукторного типа, приводных двигателей, шпиндельных узлов, механических структур.

К числу закрытых приводов редукторного типа относятся коробки скоростей, шпиндельные бабки и редукторы. Их основные элементы – подшипники и зубчатые передачи. Объектами диагностирования в подшипниках являются наружная обойма, сепаратор, шарики (ролики), внутренняя обойма, каждый из которых имеет свою полосу частот при вибрационной диагностике, смещающуюся при изменении частоты вращения. В таком редукторе, как правило, установлено от 20 до 80 подшипников.

При общей диагностике узла в частотном спектре происходит наложение равных по частоте и кратных гармоник. Информативный сигнал зашумляется взаимным наложением частотных характеристик подшипников и их элементов.

Данная проблема частично решается приближением первичного преобразователя к фактическому месту размещения каждого подшипника. В этом случае динамические характеристики данного подшипника, отображаемые на виброграмме, доминируют по отношению к характеристикам других подшипников и возможно диагностирование его состояния

по сравнению с предыдущими замерами, но только в условиях строго повторяющегося стационарного режима.

Диагностику зубчатых передач (в редукторе их может быть от 2 до 20) проводят с целью выявления изнашивания и дефектов зубьев, влияющих на кинематическую точность станка. Диагностику осуществляют в полосах зубцовых частот передач с учетом частот вращения зубчатых пар. Методики и регламенты испытаний подшипников зависят от вида передачи.

Общая диагностика редукторного узла не информативна и не должна осуществляться в режиме "онлайн". Такие узлы диагностируют периодически по отдельным регламентам с соответствующей переустановкой первичных преобразователей в места локальных замеров.

Диагностика приводных двигателей не может ограничиваться только измерением вибраций. Она должна сопровождаться электрической диагностикой с определением углов сдвига фаз, мощности и сопротивления в обмотках. Кроме основных двигателей на станке насчитывается до 10 и более вспомогательных двигателей. Выход из строя любого из них может привести к отказу как мгновенному, так и через некоторое время. Статистика отказов свидетельствует о наличии как диагностируемых, так и недиагностируемых отказов.

Онлайн-диагностика всех двигателей невозможна из-за большого объема диагностического оборудования и чрезвычайной сложности обслуживания информационных потоков, отдельных двигателей – не решает проблему отказов.

Целесообразно проводить онлайн-диагностику двигателя привода главного движения по электрическим характеристикам (ток, напряжение, активная мощность). Это даст возможность фиксировать перегрузки в станке во время обработки заготовок. Методически правильная обработка информативного сигнала позволит построить баланс мощностей в станке вплоть до выхода на определение реальных сил резания. Станочник, зная, что данный параметр фиксируется, не будет нарушать технологическую дисциплину.

Всю диагностику приводных двигателей целесообразно перевести на периодический режим по отдельным регламентам с соответствующим подключением первичных преобразователей.

В шпиндельном узле определяющим элементом является передняя опора. Диагностированию подлежат зазоры (натяги) в передней опоре, а также состояние подшипников в передней, задней и промежуточных опорах. При наличии выдвижного шпинделя методика диагностики усложняется. Диагностику шпиндельного узла (вибрационную и контроль состояния по отдельным паспортным позициям) целесообразно проводить периодически по отдельным регламентам.

Механические структуры станка включают несущую систему (в том числе направляющие), суппортную группу (включая скалки), а также шпиндельные узлы, коробки скоростей и подач (или отдельные приводы), редукторы и шпиндельные бабки.

Диагностика несущей системы осуществляется только в периодическом режиме при неработающем станке путем регламентированной паспортом проверки геометрической точности взаимного расположения узлов, отклонения направляющих от прилегающей плоскости, а также выставки станка.

Диагностику суппортной группы проводят периодически методами виброметрии с переустановкой первичных преобразователей в соответствии с методиками и регламентами испытаний, в которые включают отдельные проверки в соответствии с паспортом станка.

Гидро-, электрооборудование, системы управления и предельные возможности станка проверяют по отдельным методикам, работоспособность узлов и станка в целом – в тестовых рабочих режимах.

Мониторинг и функциональная диагностика металлорежущего оборудования – дорогостоящие мероприятия. Рациональное сочетание режимов онлайн-мониторинга и периодической функциональной диагностики позволяет существенно сократить отказы станков, связанные с выходом из строя их отдельных узлов, а также регламентировать необходимые ремонтные действия, упреждающие аварийные ситуации.

УДК 621.9

Б.Я. Мокрицкий, *канд. техн. наук,* **А.А. Бурков,** *д-р техн. наук*
(Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет)
E-mail: boris@knastu.ru

Управление работоспособностью металлорежущего инструмента

Рассмотрен эффективный подход к разработке технологического процесса изготовления металлорежущего инструмента. Процесс "собирают" из отдельных типовых технологических приемов путем их добавления или изъятия до достижения нужного эксплуатационного показателя.

Each technological process of metal-cutting tool production is effective under certain operational conditions. It can be "assembled" from separate typical technological techniques by means of adding or extracting them up to necessary level of performance figure.

Ключевые слова: работоспособность инструмента, концепция многостадийного упрочняющего воздействия, технологический процесс изготовления инструмента.

Keywords: tool capacity, a concept of multistage reinforcing action, a technological process of tool production.

Доминирование импортного металлорежущего инструмента на российском рынке привело к тому, что затраты на инструмент достигают 30–70 % цены обрабатываемого изделия. При этом высок риск несвоевременной поставки, нестабильного качества и чрезмерного разброса периода стойкости инструмента.

Это и ряд других причин привело к тому, что на предприятиях созданы собственные участки или цеха для изготовления или упрочнения металлорежущего инструмента.

На предприятиях, специализирующихся на обработке труднообрабатываемых и специальных материалов, такие участки ориентированы на доработку твердосплавного и быстрорежущего отечественного инструмента и как минимум оснащены технологическим оборудованием для повышения его работоспособности путем нанесения высокопрочных износостойких покрытий.

В такой ситуации покупаемый инструмент является для данного предприятия заготовкой и его необходимо довести до нужного уровня работоспособности.

Изложим основы методологии комплексного подхода к управлению работоспособностью металлорежущего инструмента путем многостадийного упрочняющего воздействия на каждом этапе его изготовления.

Любой технологический процесс изготовления инструмента необходимого качества состоит из нескольких этапов, а на каждом из них имеется несколько вариантов (технологических приемов) упрочнения исходного инструментального материала. Допустим, что есть три этапа, на каждом из которых пять вариантов упрочнения. В результате можно изготовить инструмент по любому из 15 технологических процессов, выбирая наиболее эффективный для конкретных условий.

Этот арсенал может быть расширен за счет вариантов упрочнения на любой стадии изготовления инструмента. С учетом нескольких групп инструментальных материалов (быстрорежущий, твердый сплав, керамика, сверхтвердые инструментальные материалы) число возможных технологических процессов растет во фрактальной зависимости.

Это позволяет осуществлять целенаправленный выбор необходимого технологического процесса изготовления эффективного инструмента с необходимым уровнем его работоспособности по алгоритму последовательного

достижения эффекта за счет роста количества применяемых упрочняющих воздействий.

Например, работоспособность инструмента в исходном состоянии (заготовка инструмента покупная или собственного производства) условно равна единице. Однако в данных условиях эксплуатации этого недостаточно и работоспособность требуется поднять до двух единиц. Для этого на первом этапе изготовления применением i-го технологического приема (варианта) упрочнения можно поднять качество инструмента в 1,5 раза, на втором этапе применением j-го приема – в 1,3 раза, на третьем этапе применением q-го приема – еще в 1,3 раза. В результате работоспособность возрастет (если это простая сумма эффектов) в 2,1 раза, что достаточно для заданных условий.

Следовательно, технологический процесс изготовления инструмента требуемого качества содержит три этапа изготовления, на каждом из которых реализовано по одному варианту (i, j, q) упрочнения. Если бы этого оказалось недостаточно, то на каком-то из этапов можно было реализовать не один, а несколько вариантов упрочнения, если избыточно, то какие-то варианты или этапы могут быть пропущены. Схема, иллюстрирующая данную концепцию, приведена на рис. 1.

Такой подход к управлению качеством инструмента в модельном виде является по сути выбором эффективного технологического процесса изготовления инструмента из некоторого заранее отработанного арсенала технологических процессов. Остается лишь создать его как набор некоторых технологических приемов и пользоваться для выбора эффективного решения в каждом конкретном случае эксплуатации инструмента.

На рис. 2 приведены отдельные результаты разработки арсенала технических решений для обеспечения управления качеством инструмента твердосплавного, керамического и их сверхтвердого материала. Использование концепции многостадийного комплексного подхода позволило создать банк (арсенал) из более 800 технологических способов изготовления инструмента [1–3].

Можно выделить следующие этапы изготовления режущего инструмента из заготовки в исходном состоянии:

– упрочнение основы материала (с целью подготовки под нанесение покрытия или по-

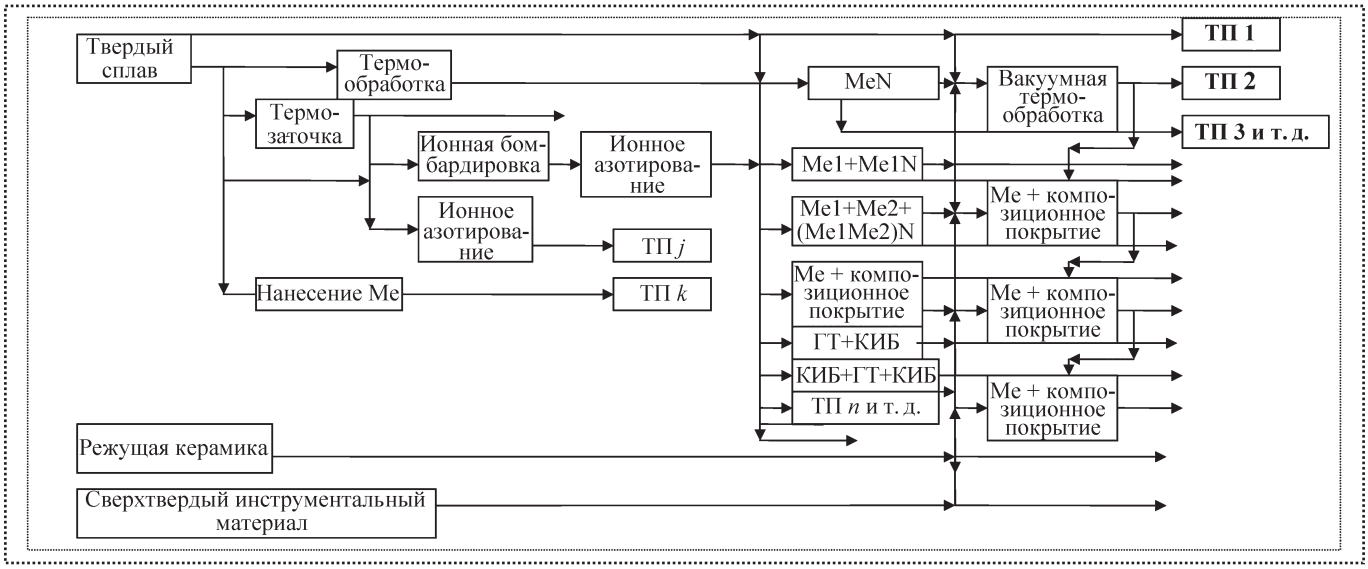


Рис. 1. Схема концепции многостадийного комплексного подхода к повышению работоспособности инструмента:
ТП – технологический процесс изготовления инструмента;
Ме – металл;
MeN – химическое соединение;
ГТ – газотермическое покрытие;
КИБ – нанесение покрытия конденсацией с ионной бомбардировкой

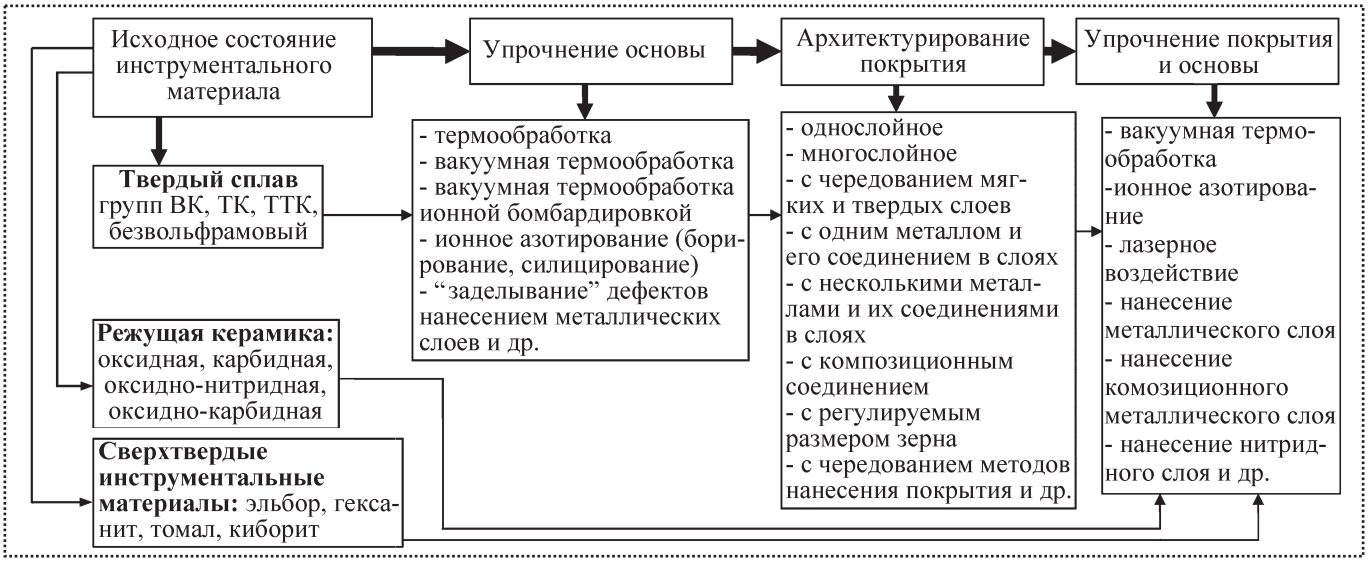


Рис. 2. Структура концепции многостадийных технологических процессов изготовления инструмента

вышения эксплуатационных свойств без покрытия);

– архитектурирование покрытия (термин проф. А.С. Верещаки) – проектирование конструкции, химического состава, толщин слоев, методов нанесения слоев покрытия и т.д.;

– упрочнение покрытия(с целью снижения дефектности покрытия и основы инструментального материала).

Еще один этап, предшествующий первому, – нулевой – возможен в том случае, когда заготовку режущей пластины не покупают как готовое изделие, а изготавливают самостоятельно. В этом случае еще и на этапе изготовления основы инструментального материала можно осуществить ряд упрочняющих воздействий, например стадийное спекание [4], или создать многослойную конструкцию режущей пластины из совокупности инструментальных материалов [5].

На каждом из этих трех этапов возможны свои варианты упрочняющих воздействий, сведения о которых частично даны на рис. 1 и 2. Суммарный эффект от их применения будет функцией эффектов, достигнутых на каждом этапе при реализации одного или нескольких вариантов. Причем суммарный эффект повышения эксплуатационных свойств инструмента может быть не равен сумме отдельных эффектов.

Наиболее интересны случаи, когда суммарный эффект больше суммы отдельных эффектов. Это возможно, если задействовано несколько механизмов упрочнения на разных иерархических уровнях [1]. В этом случае можно проектировать технологический процесс изготовления инструмента, наиболее эффективный для конкретных условий эксплуатации.

Важно определиться с понятием эффективности. Предприняты попытки оценивать ее по экономическому эффекту, получаемому от использования инструмента, изготовленного по такому технологическому процессу. Однако они признаны неудачными из-за хаоса цен на рынке инструмента и оборудования для его упрочнения. Под эффективностью можно также понимать срок изготовления инструмента, затраты, его эксплуатационные параметры. В данной работе принято, что эффективный технологический процесс должен обеспечивать изготовление инструмента с требуемым периодом стойкости.

Предположим, что базовым вариантом является инструмент, изготовленный по технологическому процессу ТП1 (табл. 1) с периодом стойкости Т1 и стоимостью С1. Его использование обеспечивает получение экономического эффекта Э1. В качестве альтернативы рассмотрим, например, технологический

Таблица 1

Схема построения эффективного технологического процесса изготовления инструментов

ТП	Инструментальный материал	Этапы ТП изготовления инструмента									Показатели качества ТП		
		Основа				Покрытие					Период стойкости инструмента	Стоимость инструмента	Экономический эффект
		Изготовление		Упрочнение		Архитектурирование			Упрочнение				
		Типовой ТП	Разработанные варианты ТП	Термомеханическое упрочнение	Разработанные варианты ТП	Однослойное или многослойное покрытие	С чередованием слоев	Разработанные варианты ТП	Воздействие лазером	Разработанные варианты ТП			
ТП1	Твердый сплав	+				+					Т1	С1	Э1
ТП2		+		+		+	+		+		Т2	С2	Э2
ТП3		+			+	+	+	+		+	Т3	С3	Э3
ТП4			+	+		+	+		+	+	Т4 = Т3	С4	Э4
ТП5	Керамика	+									Т5	С5	Э5
ТП6		+			+						Т6	С6	Э6
ТП7		+			+	+					Т7 = Т3	С7 = С3	Э7
ТП8	СТМ	+									Т8	С8	Э8
ТП9		+			+	+					Т9	С9	Э9

Примечание: ТП – технологический процесс; курсивом выделены типовые процессы для инструментальных материалов; жирным шрифтом – показатели, совпадающие для вариантов ТП; разработанные варианты ТП – один или несколько технологических приемов упрочняющего воздействия для данного этапа изготовления инструмента.

процесс ТП4, в котором для изготовления основы твердосплавной режущей пластины применена стадийная технология [4] спекания твердого сплава, основа подвергнута термомеханическому упрочнению, например термозаточке [1], нанесено многослойное композиционное [1] покрытие с неоднократным чередованием (принцип сэндвича) "мягких" металлических и "твердых" высокопрочных слоев, подвергнутое упрочняющему воздействию, например лучом лазера, и "заделыванию" [1] микротрещин в покрытии.

Изготовленный по ТП4 инструмент имеет период стойкости Т4 > Т1, стоимость С4 > С1, экономический эффект Э4 > Э1. Несмотря на то, что С4 > С1, отдаем предпочтение ТП4, так как он более эффективен. Теперь сравним ТП4 и ТП3. При равном периоде стойкости стоимость изготовления инструмента по ТП3 может быть значительно ниже, а экономический эффект уступает лишь немного. В этом случае трудно сделать вывод о том, какой из техпроцессов более эффективен, однако, скорее всего, предпочтение будет отдано ТП3.

Рассмотрим варианты с разными инструментальными материалами, сопоставив технологические процессы ТП3 и ТП7. Более эффективным является ТП7 хотя бы потому, что эффект от применения инструмента из режущей керамики выше за счет более высокой скорости резания, т.е. за счет прироста производительности обработки.

Аналогично для каждой группы инструментальных материлов можно построить таблицы сравнения эффективности технологических процессов (табл. 2), число которых можно уве-

Таблица 2

Схема построения рационального технического метода (приема) изготовления твердосплавного инструмента

Вариант изготовления	Изготовление основы			Упрочнение основы								
	Типовой материал	Слойный материал	Двухстадийное спекание	Термомеханическое упрочнение			Термообработка на воздухе	Ионная термообработка	Ионная активация или пассивация			"Заделывание" дефектов
				Термоциклирование	Термозаточка	Термообработка в газовой среде			Азотирование	Борирование	Силицирование	
А	+											
А1	+											
А2	+				+				+			
Б			+						+			+
Б1			+		+			+		+		+

Вариант изготовления	Архитектурирование покрытия						Упрочнение покрытия				
	Однослойное или многослойное покрытие	С чередованием мягких и твердых слоев	С одним металлом (Me1) или с несколькими (Me1, Me2, Me3)	С одним металлом (Me1)C или с несколькими (Me1)C+ +(Me2)N+ +(Vt3)CN	С одним методом нанесения или несколькими (ГТ+КИБ), (КИБ+ +ГТ+КИБ)	И т.д. по описанным методам	Воздействие лазером	Вакуумная термообработка	Ионное азотирование	Нанесение металлического слоя	Нанесение слоя из соединения элементов
А	+										
А1	+	+		+			+				
А2	+	+		+			+			+	
Б	+	+	+					+			
Б1	+	+	+					+			

личивать неограниченно для выбора наиболее эффективного из них.

Упрочнение твердосплавного инструмента предложено реализовать на трех этапах его изготовления:

– "залечивания" дефектов твердосплавной основы за счет термомеханического упрочнения;

– нанесения покрытий на основу за счет обеспечения составом и конструкцией покрытия требуемых функций;

– "залечивания" дефектов покрытия и улучшения их эксплуатационных свойств за счет термического или термомеханического воздействия.

В качестве арсенала методов повышения работоспособности твердосплавного инструмента обоснованы и предложены:

– алмазная термозаточка основы, заключающаяся в термомеханическом упрочнении за счет создания и стабилизации высокопрочных структур в поверхностном слое и интенси-

фикации диффузионных процессов в объеме твердосплавной пластины;

– термомеханическое упрочнение путем силового воздействия металлической щетки на поверхность нагретой основы;

– регулирование размера зерна в покрытии путем уменьшения его размера от основы к поверхности за счет снижения температуры нанесения покрытия или изменения состава газовой среды, из которой осаждают покрытие;

– комплексное сочетание методов (ГТ+КИБ) осаждения покрытия;

– многослойные покрытия с промежуточными металлическими слоями для улучшения взаимодействия нитридных и карбидных слоев;

– металлические слои покрытия для "залечивания" дефектов предшествующего слоя;

– композиционный состав и многослойные конструкции покрытий.

Выводы

Предложенный подход позволяет создать арсенал средств управления работоспособностью режущего инструмента для конкретных условий. Единственного лучшего (по показателю работоспособности инструмента) решения нет, каждое имеет рациональную область применения.

Работоспособность инструмента растет с реализацией более сложных механизмов упрочнения, однако это сопряжено с усложнением технологического процесса изготовления инструмента и ростом затрат.

Основной технологический прием повышения работоспособности режущей керамики и сверхтвердых материалов – термообработка и легирование при нанесении металлических покрытий.

Библиографический список

1. **Мокрицкий Б.Я.** Повышение работоспособности металлорежущего инструмента путем управления свойствами инструментального материала. Владивосток: Дальнаука, 2010. 232 с.

2. **Мокрицкий Б.Я.** Управление работоспособностью инструмента при нанесении покрытий // СТИН. 2010, № 11. С. 11–16.

3. **Мокрицкий Б.Я.** Управление работоспособностью металлорежущего инструмента путем нанесения покрытий, механической упрочняющей обработки и контроля качества // Упрочняющие технологии и покрытия. 2010, № 9. С. 38–47.

4. **Фадеев В.С.** Научные основы разработки и получения слоистых материалов на поверхности твердых сплавов и оксидной керамики для повышения работоспособности режущего инструмента. Дисс. ... д-ра техн. наук. Якутск, 2005. 44 с.

5. **Повышение** прочности и износостойкости режущего инструмента при обработке титановых сплавов / Ю.Г. Кабалдин, В.М. Терентьев, Б.Я. Мокрицкий и др. // Авиационная промышленность. 1986, № 8. С. 12–14.

КРАНЫ ШАРОВЫЕ

ДЛЯ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А.А. Рязанов

2011. – 152 с. ISBN 978-5-94275-561-4 **Цена 250 р.**

В книге приводятся классификация и анализ технических параметров шаровых кранов. Определено понятие проектирование. Изложены методики проработки технического задания, инженерного анализа конструктивных схем. Приведены основные принципы конструирования и подготовки производства. Дана методика расчета шаровых кранов и динамики пневматических приводов.

Книга предназначена для инженеров-конструкторов машиностроительных предприятий, а также будет полезна преподавателям и студентам вузов.

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

УДК 621.9.06

Амиров Ф.Г., *канд. техн. наук*
(Азербайджанский государственный технический университет)
E-mail: fariz.67@mail.ru

Общие положения создания переналаживаемых автоматических станочных систем

Рассмотрены вопросы создания станочных систем для многономенклатурного производства с требуемым уровнем автоматизации, а также повышения производительности общественного труда при создании системы переналаживаемых станочных автоматических линий. Показано, что структура автоматических станочных систем оптимальна, если включает в себя минимальное число единиц оборудования и обеспечивает рациональную концентрацию операций на каждой позиции обработки.

The author examines the relevance of the creation of machine tool systems multinomenclature production with the required level of automation and also improve the productivity of labor in creating system readjustable machining transfer lines. The paper shows that the structure of the automatic machine systems is the best, if included in the minimum number of pieces of equipment and provides a rational concentration of operations on each item of treatment.

Ключевые слова: автоматические станочные системы, переналаживаемые автоматические линии, многономенклатурное производство, гибкость производства.

Keywords: automatic machine tools, readjustable machining transfer lines, multinomenclature production production flexibility.

Современное машиностроительное производство отличается многономенклатурностью, выпуском изделий, часто сменяемыми мелкими сериями. Продукция машиностроения характеризуется повышенной конструктивной сложностью, что значительно удлиняет сроки производства. В связи с этим возрастают требования к сокращению сроков технологической подготовки производства и созданию станочных систем, которые можно мобильно и оперативно перестраивать на выпуск новой продукции.

Наиболее полно требованиям многономенклатурного производства отвечает металлорежущее оборудование, объединенное в автоматизированные станочные системы (АСС). Однако опыт внедрения показывает их низкую эффективность, поскольку в отечественном машиностроении не создана соответствующая инфраструктура и организационно-технические условия. Чрезвычайно актуально создание станочных систем многономенклатурного производства с требуемым уровнем автоматизации. При этом повышение эффективности связано с организацией производства и управления, полностью отвечающей ее принципам, в частности с централизацией как можно более полной обработки деталей на одной операции, на одном рабочем месте.

В отличие от традиционного, гибкое автоматизированное производство решает многочисленные проблемы производства изделий широкой номенклатуры: отставание роста производительности труда от роста производительности машин, сокращение машинного времени и рост общего времени нахождения деталей в цехах, уменьшение объема основного и повышение объемов вспомогательного и обслуживающего труда, рост фондовооруженности труда и снижение фондоотдачи и т. п.

Переход к концепции гибкого производства требует изменения организационной структуры предприятия, повышения роли унификации и стандартизации, что приводит к росту эффективности оборудования уже на переходном этапе от традиционного производства к гибкому.

На переходном этапе складывается программный подход [1] к совершенствованию ор-

ганизации многономенклатурного производства, выражающийся во внедрении групповой технологии, сплошного контроля и управления качеством, планирования производственных потребностей, организации производства по принципу "все тогда, когда нужно", автоматизации инструментального обеспечения, интеграции материальных и информационных потоков, компьютерной интеграции производства с автоматизацией конструкторской, технологической и управленческой деятельности предприятия.

К числу важнейших особенностей многономенклатурного производства, построенного на принципах гибкости, можно отнести следующие [2]: обеспечение малооперационной переналаживаемой технологии с применением средств активного контроля; реализацию комплектной технологии, при которой в одной АСС изготавливается комплект деталей для одной машины; построение технологии на модульном принципе; изготовление изделий в гибком цикле при использовании принципиально новых технологических процессов обработки; ситуативное проектирование технологии [3] в зависимости от изменения параметров технологического процесса; использование принципов оптимальности и завершенности станочных систем; переход к "безлюдной технологии" на основе применения компьютеризированных станочных систем и технологий [4]; создание САПР АСС [5, 6].

Проблема малооперационной технологии особенно актуальна при использовании принципа концентрации операций на обрабатывающих центрах [2]. Структура АСС оптимальна, если включает в себя минимальное число единиц оборудования и обеспечивает рациональную концентрацию операций на каждой позиции обработки.

Переналаживаемая технология предусматривает возможность автоматизированного изменения условий производства в целях его оптимизации по заданному критерию в заданном интервале времени. Прежде всего она связана с обоснованием многовариантных технологических решений, созданием адаптивно-управляемых процессов обработки, разработкой средств регулируемой автоматически переналаживаемой оснастки.

Ситуативное проектирование технологии обеспечивает возможность оперативного изменения не только маршрута выполнения ранее фиксированных операций, но и состава самих операций, что существенно сокращает общее время нахождения детали в производственной системе, при условии, что время, затраченное на принятие решения, достаточно мало [3]. Реализация принципов проектирования технологии с учетом производственной ситуации возможна при создании соответствующей автоматизированной системы, способной выдавать решения на этапах как проектирования, так и эксплуатации АСС.

Комплектная технология в значительной степени решает проблемы уменьшения объемов незавершенного производства, организации ритмичной работы сборочных конвейеров и цехов в целом. При обработке основных деталей машины комплектом повышается коэффициент загрузки оборудования, полнее используются его технологические возможности [2].

Модульная технология основывается на том, что любая деталь может быть представлена совокупностью модулей поверхностей, выбранных из ограниченной номенклатуры. Для каждого из них может быть разработано несколько типовых технологических процессов, учитывающих разнообразие материалов, размеров, требований к геометрической точности, качеству поверхности и т.п. Сочетание модульной и групповой технологии создает базу для разработки станочных систем на основе агрегатирования исполнительных узлов технологического оборудования, что ведет к его типизации вплоть до создания типовых систем.

В основе принципа завершенности гибкой технологии лежит требование выполнения всех операций в пределах одной станочной системы без промежуточной передачи полуфабрикатов в другие подразделения или вспомогательные отделения. Создание АПС (авто-

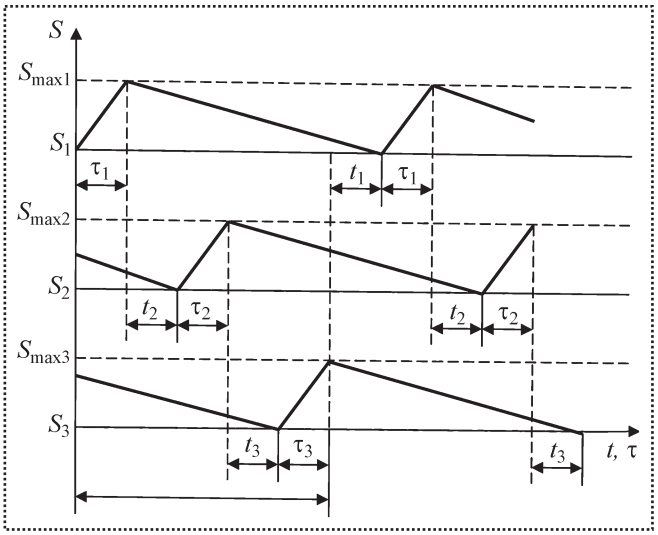


График изменения запаса деталей на складе при полном обеспечении работы сборочного конвейера:
τ_1, τ_2, τ_3 – интервалы времени работы ПАЛ для выпуска первой, второй и третьей деталей;
t_1, t_2, t_3 – соответствующее время переналадки;
S_{max1}, S_{max2}, S_{max3} – максимальные запасы деталей;
τ_0 – полный цикл выпуска всех деталей для обеспечения максимального выпуска S_{maxi} каждой детали

матизированных проектированных систем) немыслимо без соблюдения принципа завершенности.

Большинство технологических процессов, осуществляемых в рамках работающих в настоящее время АПС, имеют незаконченный характер, так как для их завершения требуется термообработка, снятие заусенцев, заделка вскрытых после черновой обработки раковин и других дефектов, отделка, зубонарезание и т.п. Соблюдение принципа завершенности требует создания нового и расширения возможностей существующего оборудования с ЧПУ, организации в составе АПС специальных позиций и рабочих мест [2].

При создании системы переналаживаемых станочных автоматических линий (ПАЛ) необходимо минимизировать число технологического и вспомогательного оборудования с обеспечением заданной комплектности выпускаемых деталей. При этом возможны две постановки задачи:

– установить такой режим работы ПАЛ, чтобы не было простоев сборочного конвейера. В этом случае необходимо определять производительность ПАЛ для каждой детали, период переналадки, интервал времени работы по выпуску всех деталей;

– по заданному числу переналадок ПАЛ для выпуска отдельных деталей определить производительность и структуру системы ПАЛ для выпуска всех деталей.

На рисунке приведен график изменения запаса деталей на выходе ПАЛ для трех деталей.

Для системы ПАЛ по обработке n деталей можно составить следующий баланс времени:

$$\tau_0 = \sum_{i=1}^{n}(t_i + \tau_i). \quad (1)$$

Максимальный выпуск деталей за период τ_0 определим из программы выпуска за год. Допустим, что задана программа выпуска деталей Q_1, Q_2, Q_3. Интенсивность расходования деталей за единицу времени

$$q_i^- = \frac{Q_i}{\Phi},\ i = 1,\ 2,\ \ldots,\ n, \quad (2)$$

где Ф – годовой фонд времени.

Тогда

$$\tau_i q_i^+ = \tau_0 q_i^-, \quad (3)$$

где q_i^+ – производительность ПАЛ при выпуске i-й детали.

Максимальный запас i-й детали

$$S_{\max i} = \tau_i (q_i^+ - q_i^-), \quad (4)$$

а с другой стороны,

$$S_{\max i} = q_i^-[\tau_0 - (t_i - \tau_i)]. \quad (5)$$

С учетом (4) и (5)

$$q_i^+ = (\tau_0 - t_i) q_i^- / \tau_i. \quad (6)$$

Число выпускаемых и расходуемых за период τ_0 деталей

$$S_i^{\text{вып}} = \tau_i q_i^+; \quad (7)$$

$$S_i^{\text{рас}} = \tau_i q_i^-. \quad (8)$$

Из условия их равенства

$$\tau_i q_i^+ = \tau_0 q_i^-. \quad (9)$$

Период τ_0 определяется числом запусков системы ПАЛ на производство всех деталей. Если считать это число варьируемым параметром N, то можно записать:

$$\tau_0 = \Phi / N. \qquad (10)$$

Если считать, что интервал τ_i выпуска i-й детали пропорционален программе выпуска, то

$$\tau_i = (\tau_0 - \sum_{j=1}^{n} t_j) Q_i / \sum_{j=1}^{n} Q_i. \qquad (11)$$

С учетом выражений (9) и (2) получим

$$q_i^+ = \tau_0 \sum_{j=1}^{n} Q_i / [\Phi(\tau_0 - \sum_{j=1}^{n} Q_i)]. \qquad (12)$$

Из формулы (12) следует, что предположение о прямой пропорциональности длительности τ_i выпуска i-й детали программе ее выпуска Q_i приводит к равенству требуемой производительности ПАЛ для всех деталей. Однако это трудно реализовать на практике, поэтому выражение (12) запишем в следующем виде:

$$q_i^+ \geq \tau_0 \sum_{j=1}^{n} Q_i / [\Phi(\tau_0 - \sum_{j=1}^{n} t_j)] \qquad (13)$$

или

$$q_i^+ \geq \sum_{j=1}^{n} Q_i / (\Phi - N \sum_{j=1}^{n} t_j). \qquad (14)$$

Если считать, что для обработки деталей выбраны самые производительные операции, то согласно формуле (14) с ростом N требуется большая производительность для всех деталей. Следовательно, необходимо усложнять структуру системы, а это приведет к дополнительному увеличению времени ее переналадки. Другими словами, время переналадки ПАЛ для выпуска i-й детали в общем случае является функцией числа N. Тогда

$$q_i^+ \geq \sum_{j=1}^{n} Q_i / [\Phi - N \sum_{j=1}^{n} t_j(N)]. \qquad (15)$$

Необходимо отметить, что с точки зрения уменьшения незавершенного производства необходимо увеличивать N, а это в свою очередь приводит к увеличению числа технологического оборудования.

Анализ формулы (15) показывает, что построение ПАЛ для деталей типа тел вращения базируется на теории производительности автоматических линий с гибкой транспортной связью. Оптимальная структура ПАЛ включает в себя минимальное число единиц оборудования и обеспечивает рациональную концентрацию операций на каждой позиции обработки.

Библиографический список

1. **Амиров Ф.Г.** Повышение эффективности и обеспечение надежности автоматических линий // Вестник Машиностроения. 2004, № 5. С. 77–78.
2. **Вагнер Г.** Основы исследования операций. Т. 3. М.: Мир, 1973. 501 с.
3. **Пути** повышения эффективности автоматических линий для обработки деталей типа тел вращения / А.М. Саксин, В.Д. Зльянов и др. // Станки и инструмент. 1975, № 4. С. 9–11.
4. **Владзиевский А.П., Белоусов А.П.** Основы автоматизации производства в машиностроении. М.: Высшая школа, 1974. 352 с.
5. **Сборник** задач по теории надежности. М.: Советское радио, 1972. 407 с.
6. **Первозванский А.А.** Математические модели в управлении производством. М.: Наука, 1975. 615 с.

ООО "Издательство **Машиностроение**", 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**".
Адрес электронной почты издательства: **E-mail: mashpubl@mashin.ru**;
редакции журнала: **sborka@mashin.ru, http://www.mashin.ru**
Телефон редакции журнала: (499) 268-38-42; тел./факс (499) 268-85-26; факс 269-48-97.
Технический редактор *Жиркина С.А.* Корректоры *Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.*
Сдано в набор 10.05.11 г. Подписано в печать 14.07.11 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч.-изд. л. 5,65. Заказ 456. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Издательство Машиностроение".

Технологическая свариваемость и прочность при растяжении углеродистых сталей

Марка	$\sigma_в$, МПа	δ, %	Группа свариваемости		Рекомендуемые способы сварки*2
	не менее*1		сварка плавлением	контактная сварка	
Ст0	304	20	I	I	Р, ПФ, ПЗ, ЭШ, К, Г
Ст1	304	31	I	I	Р*3, ПФ*3, ПЗ*3, ЭШ, К, Г
Ст2, Ст2Г	323	29	I	I	То же
Ст3, Ст3Г	362	23	I	I	"
Ст5, Ст5Г	450	17	II	I	Р*4, ПФ*4, ПЗ*4, ЭШ, К
Ст6, Ст6Г	588	12	II	–	Р*4, ПФ*4, ПЗ*4, ЭШ
08, 08кп	330	33	1	I	Р, ПФ, ПЗ, К, Г
10, 10кп	340	31	I	I	То же
15, 15кп	380	27	I	I	"
20, 20кп	420	25	I	I	"
25	460	23	I	I	"
30	490	21	II	I	Р, ПФ, ПЗ, ЭШ, К, Г*4
35	530	20	II	I	Р*4, ПФ*4, ПЗ*4, ЭШ, К, Г*4
40	570	19	II	I	То же
45	600	16	III	II	Р*5, К, Г*4
50	620	14	III	II	То же
55	645	13	IV	III	К*6, Г*4
60	675	12	IV	III	К*6
75	1080	7	IV	III	К*6
85	1127	6	IV	III	К*6
У7, У7А	–	–	IV	III	К*6
У8, У8А	–	–	IV	III	К*6
У10, У10А	–	–	IV	III	К*6
У12, У12А	–	–	IV	III	К*6
15Л	400	24	I	–	Р, ПЗ, ЭШ, Г
20Л	420	22	I	–	То же
25Л	450	19	II	–	Р*4, ПЗ*4, ЭШ, Г
30Л	480	17	II	–	То же
35Л	500	15	II	–	"
40Л	530	14	III	–	Р*5, Г*4
45Л	550	12	III	–	Р*5, Г*4
50Л	580	11	III	–	Р*5
55Л	600	10	III	–	–

*1 После нормализации.

*2 Обозначения способов сварки: Р – ручная дуговая; ПЗ – плавящимся электродом в защитном газе; НЗ – неплавящимся электродом в защитном газе, ПФ – под флюсом, ЭШ – электрошлаковая; К – контактная, Г – газовая.

*3 Для толщины не более 36 мм рекомендуются подогрев и последующая термообработка.

*4 Рекомендуются подогрев и последующая термообработка.

*5 Необходимы подогрев и последующая термообработка.

*6 С последующей термообработкой.

Примечания. 1. $\sigma_в$ – предел прочности; δ – относительное удлинение.

2. Группы свариваемости: I – хорошая; II – удовлетворительная; III – ограниченная; IV – плохая.