ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ

ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

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

11 2009 (112)

СОДЕРЖАНИЕ

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Хейфец М.Л., Премент Г.Б. Технологическое управление эксплуатационными параметрами качества при механической обработке гильзы цилиндра и сборке двигателя . . . 3

Шахова К.И., Акопов Е.Ю. Повышение качества погружных центробежных насосов путем упрочнения комплектующих деталей . . . 9

Технологическая оснастка для сборки

Матвеев А.С. Устройства для сборки шарнирных узлов . . . 11

Шуваев В.Г., Папшев В.А. Устройство для пространственного ориентирования деталей при автоматизированной сборке путем формирования сложного колебательного движения . . . 15

Агапов С.И., Солтан С.П., Корпелянский О.Ф. Применение ультразвуковых колебаний при сборке и разборке соединений с натягом . . . 18

Современные технологии сборки

Комаишко С.Г., Кулик Г.Н., Моисей М.В., Суздаль К.В. Сборка колена реактора установки для изготовления полиэтилена высокого давления . . . 20

Давыдова Е.В., Прейс В.В. Аналитическая модель производительности бункерного загрузочного устройства с радиальными гнездами и кольцевым ориентатором . . . 23

Сборочно-сварочные работы. Пайка

Кулик В.И., Созонович Н.И., Гудков А.В., Ильинский А.М. Особенности электронно-лучевой сварки деталей из перспективных алюминиевых сплавов, легированных литием и скандием . . . 31

Питание сборочных линий. Комплектация. Складирование. Упаковка

Рабинович Л.А., Брискин Е.С., Макаров А.М. Автоматизация подачи мешков из ткани на рабочие позиции фасовочного оборудования . . . 35

Корниенко В.М. Гибкий производственный модуль склада промышленного предприятия . . . 40

Технологичность конструкции

Волков Г.Ю., Курасов Д.А. Рациональное конструирование зубчатых подшипников с учетом требований их изготовления и сборки . . . 45

Сборочное оборудование и его элементы

Журомский В.М., Трушкин Н.С. Включение индуктивной нагрузки по схеме последовательного резонанса . . . 52

Нормативная документация

Болты, винты и шпильки по ГОСТ Р 52627–2006 . . . 55

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; tsmm@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. ЖЕСТКОВА (зам. главного редактора)
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
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
ХАБАРОВСК
В.А. ЛАШКО

Украина
КИЕВ
А.С. ЗЕНКИН
В.А. МАТВИЕНКО
ДОНЕЦК
А.Н. МИХАЙЛОВ
СЕВАСТОПОЛЬ
Е.Л. ПЕРВУХИНА
ХАРЬКОВ
Б.М. АРПЕНТЬЕВ

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

Ответственные за подготовку и выпуск номера:
Н.М. КУЩ-ЖАРКО, Л.Д. ПАРШЕНКОВА

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”, 2009

THE MONTHLY NEWSMAGAZINE FOR SCIENTISTS AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

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

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

11 2009 (112)

CONTENTS

Quality assurance/ testing/ Monitoring

Kheifetz M.L., PREMENT G.B. Technological management in operational parameters of quality at machining a sleeve of the cylinder and assembly of the engine 3

Shakhova K.I., Akopov E.J. Quality improvement of immersible pumps by strengthening its parts 9

Technological equipment for assembly

Matveev A.S. Apparatus for assembly of hinged assemblies 11

Shuvaev V.G., Papshev V.A. Compound oscillatory motion forming device for space orientation of automatically assembling details 15

Agapov S.I., Soltan S.P., Korpeliansky O.F. Using of ultrasonic at the assembly and disassembly of connections 18

Modern technologies in assembly

Komaishko S.G., Kulik G.N., Moissey M.V., Suzdal K. V. Assemble of the reactor elbow of the plant for high-pressure polyethylene production 20

Davidova E.V., Preys V.V. Analytical model of productivity the hopper feeding device With radial nests and a ring orientator 23

Assembly Welding Works. Solder

Kulik V.I., Sozonovich N.I., Gudkov A.V., Iljinskiy A.M. Special features in electronic-beam welding method of perspective Aluminum-Lithium-Scandium alloys . 31

Feeding of assembly lines. Packaging arrangement. Stocking. Packing

Rabinovich L.A., Briskin E.S., Makarov A.M. Automation feed bags made of cloth into the working position of filling equipment 35

Kornienko V.M. Flexible industrial module of enterprise store 40

Manufacturability of a construction

Volkov G.Y., Kurasov D. A. Rational designing of gear bearings with the account of requirements of their manufacturing and assembly 45

Production Tools and Machinery for Assembly

Juromskiy V.M., Trushkin N.S. Connetion of inductin load in the series resonance circuit 52

Command papers

Bolts, screws and stads 55

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.
ZHESTKOVA I.N. (Deputy chief editor)
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.
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.
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.
KHARKOV
ARPENTIEV B.M.

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

Executive editors of current issue:
KUSH-ZHARKO N.M., PARSHENKOVA L.D.

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", 2009

УДК 658.512:621.9

М.Л. Хейфец, *д-р техн. наук, проф.,* **Г.Б. Премент,** *ассистент*
(кафедра "Технология и оборудование машиностроительного производства" Полоцкого государственного университета, Беларусь).
Тел.: 8-10-375-214-53-1265.
E-mail: mlk-z@mail.ru

Технологическое управление эксплуатационными параметрами качества при механической обработке гильзы цилиндра и сборке двигателя

Изучено влияние технологического наследования физико-механических и геометрических параметров качества внутренней поверхности гильзы цилиндра в процессе механической обработки и сборки двигателя внутреннего сгорания. Даны рекомендации по изменению технологического процесса и средств его оснащения для обеспечения параметров качества гильзы цилиндра при эксплуатации двигателя.

Influence of technological inheritance of physic mechanical and geometrical parameters of quality of an internal surface of a sleeve of the cylinder is investigated, during machining and assembly of the engine of internal combustion. Recommendations on change of technological process and means of its equipment for maintenance of parameters of quality of a sleeve of the cylinder are given at operation of the engine.

Ключевые слова: физико-механические и геометрические параметры качества, технологическая и эксплуатационная наследственность, гильза цилиндра, двигатель.

Key words: physic mechanical and geometrical parameters of quality, a technological and operational heredity, a sleeve of the cylinder, the engine.

Обеспечение надежности и высокого качества продукции на этапе создания и освоения производства и ремонта изделий заключаются в организации такой технологической подготовки и осуществлении производства, при которых продукция соответствовала бы требованиям конструкторской документации и не имела бы вредных последствий от технологических методов обработки. Поэтому все операции и их технологические переходы следует рассматривать не изолированно, а во взаимосвязи, так как конечные характеристики формируются всем комплексом технологических воздействий и изменяются при эксплуатации машины, ее техническом обслуживании [1, 2].

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

Процессом технологического наследования можно управлять, с тем чтобы свойства, положительно влияющие на качество детали, сохранить в течение всего технологического процесса, а свойства, влияющие отрицательно, ликвидировать в его начале [5].

Количественные связи технологического наследования позволяют определить, насколько велико влияние наследственности данного свойства на надежность работы детали в собранной машине.

Передача и взаимовлияние физико-механических и геометрических параметров качества.

При анализе передачи регламентируемых свойств гильзы цилиндра двигателя УМЗ-4173 за основной физико-механический параметр материала принимали интегральный, заложенный в технологической документации – твердость поверхностного слоя НВ. В качестве геометрических параметров точности и качества рабочей поверхности принимали конусность q, эллипсность на входе ε_1 и на выходе ε_2 и шероховатость поверхности R. Конусность характеризовала погрешности формы, эллипсность – точность обработки, а шероховатость – микрорельеф рабочей поверхности гильзы блока цилиндров.

В технологическом процессе изготовления гильзы блока цилиндров выделяли шесть этапов обработки внутренней рабочей поверхности:

– черновая и чистовая расточка на токарных полуавтоматах модели 1Н713;

– черновая и чистовая расточка на алмазно-расточных станках модели 2Е78;

– черновое и чистовое хонингование на хонинговальных станках модели 3Г833.

Контроль параметров качества проводили 8 раз после каждого из перечисленных этапов, после обкатки при сборке двигателя и после эксплуатации при возврате двигателя на ремонт.

Геометрические параметры качества замеряли на рабочей поверхности гильзы, которая является поверхностью трения и находится в контакте с другими деталями. Результаты измерений пяти гильз обрабатывали как средние для класса после каждой из операций механической обработки внутренней поверхности детали и обкатки двигателя, а затем заносили в таблицы. На основе табличных данных строили графики изменения физико-механических и геометрических параметров качества на различных этапах технологического процесса изготовления, сборки и эксплуатации гильзы цилиндра двигателя.

По экспериментальным данным рассчитывали коэффициенты передачи технологического и эксплуатационного наследования (табл. 1) и коэффициенты взаимовлияния свойств (табл. 2). Для оценки наследования по

Таблица 1

Коэффициенты передачи *K* и результирующие коэффициенты наследования $K_р$ для твердости *H*, отклонений формы ε_1 на входе и ε_2 на выходе внутренней поверхности, точности размеров *q* и шероховатости поверхности *Ra* гильзы цилиндра в процессе изготовления, сборки и эксплуатации двигателя УМЗ-4173

Операции изготовления и эксплуатация изделия	Коэффициенты передачи параметров качества гильзы блока цилиндров в процессе изготовления и при эксплуатации				
	K^H	K^{ε_1}	K^{ε_2}	K^q	K^R
Черновое растачивание – чистовое растачивание (K_1)	0,9940	2,7500	4,3333	4,6667	2,0204
Чистовое растачивание – предварительное растачивание (K_2)	1,0097	1,3333	–3,0001	0,5001	2,4385
Предварительное растачивание – окончательное растачивание (K_3)	0,9964	–10,0001	1,4286	10,0001	1,6007
Окончательное растачивание – черновое хонингование (K_4)	0,9996	–1,6667	–14,0001	1,4926	2,5845
Черновое хонингование – чистовое хонингование (K_5)	1,0008	4,5000	0,7143	3,5263	2,0485
$K_{ро} = K_1K_2K_3K_4K_5$	1,0004	275,000	185,7143	122,8070	41,7509
Черновое хонингование – обкатка (K_6)	0,9939	–1,4074	0,7000	1,9001	0,9921
Обкатка – эксплуатация (K_7)	0,9990	2,8536	0,0328	0,1010	0,4729
$K_{рэ} = K_6K_7$	0,9930	–0,0040	0,0230	0,1919	0,4692
$K_р = K_{ро}K_{рэ}$	0,9936	–1,1044	4,2623	23,5690	19,5877
Примечание: $K_{ро}$, $K_{рэ}$ – результирующие коэффициенты наследования соответственно при обработке и эксплуатации.					

Таблица 2

Коэффициенты взаимовлияния *K* и сравнения K_c при передаче физико-механических *H* и геометрических ε, *q*, *R* параметров качества внутренней поверхности гильзы цилиндра в процессе изготовления, сборки и эксплуатации двигателя УМЗ-4173

Операции изготовления и эксплуатация изделия	Коэффициенты взаимовлияния параметров качества гильзы блока цилиндров в процессе изготовления и при эксплуатации					
	$K^{H\varepsilon}$	K^{Hq}	K^{HR}	$K^{\varepsilon q}$	$K^{\varepsilon R}$	K^{qR}
Черновое растачивание – чистовое растачивание (K_1)	8270,0000	4962,0000	41,5439	2,6000	0,0218	0,0391
$K_c = K_{12} = K_1/K_2$	–0,3313	1,9880	0,4076	8,6667	1,7770	1,9137
Чистовое растачивание – предварительное растачивание (K_2)	–24960,0000	2496,0000	101,9191	0,3000	0,0122	0,0204
$K_c = K_{23} = K_2/K_3$	0,7068	0,1010	0,6308	–0,3000	–1,8742	0,3124
Предварительное растачивание – окончательное растачивание (K_3)	–35314,2857	24720,0000	161,5686	–1,0001	–0,0065	0,0654
$K_c = K_{34} = K_3/K_4$	–0,0712	0,6676	0,3856	0,9571	0,5527	3,8693
Окончательное растачивание – черновое хонингование (K_4)	496199,9999	37029,8508	419,0878	–1,0448	–0,0118	0,0169
$K_c = K_{45} = K_4/K_5$	1,3994	0,2835	0,4880	–3,9701	–6,8344	0,7286
Черновое хонингование – чистовое хонингование (K_5)	354571,4285	130631,5789	858,8235	0,2631	0,0017	0,0232
$K_c = K_{56} = K_5/K_6$	354571428,5	0,5267	1,0088	0,3759	0,7180	3,5544
Чистовое хонингование – обкатка (K_6)	0,0010	248000,0000	851,3560	0,7000	0,0024	0,0065
$K_c = K_{67} = K_6/K_7$	0,0001	9,8401	2,1019	6,9300	1,4803	4,0178
Обкатка – эксплуатация (K_7)	8180,6557	25203,0303	405,0487	0,1010	0,0016	0,0016

технологическому маршруту и стадиям эксплуатации рассчитывали результирующие коэффициенты K_p, равные произведению соответствующих коэффициентов для параметров качества по всей последовательности операций и стадий. Для определения степени влияния наследования на различных технологических операциях и стадиях эксплуатации рассчитывали коэффициенты сравнения K_c, равные отношению коэффициентов взаимовлияния на предшествующих и последующих операциях или стадиях.

Механизмы наследования физико-механических и геометрических параметров качества. На основании обработки экспериментальных данных проведен анализ механизмов наследования физико-механических и геометрических параметров качества на операциях механической обработки детали при сборке и эксплуатации двигателя. Результаты измерений параметров качества в процессе изготовления и при эксплуатации гильзы блока цилиндра показывают закономерности их изменений с позиций технологической и эксплуатационной наследственности.

Твердость после предварительного растачивания стабилизируется, что объясняется окончательным снятием отбела на поверхностях чугунных заготовок. После окончательного растачивания твердость материала гильз выравнивается, приближаясь к твердости, заложенной в конструкторской документации. В этом проявляется устранение вредного влияния техноло-

гического наследования физико-механических параметров качества.

Анализ геометрических параметров качества рабочей поверхности гильзы цилиндра определил их взаимосвязи с физико-механическими характеристиками поверхностного слоя.

Исследование выявило большой разброс геометрических параметров качества после обработки растачиванием твердосплавным инструментом поверхности заготовки, полученной литьем.

Увеличение отклонений формы, а в результате и точности выполнения размеров особенно заметно у гильз, имеющих неравномерную твердость, отличную от заложенной в конструкторской документации. Чаще всего это следствие неполного удаления отбела с рабочей поверхности гильзы.

Изменение значений шероховатости рабочей поверхности гильзы в процессе обработки происходит постепенно. После каждого последующего вида обработки шероховатость поверхности улучшается все меньше. Это свидетельствует о рациональном наследовании параметров микрорельефа.

В процессе обкатки внутренняя поверхность гильзы цилиндра вступает в непосредственный контакт с поршневыми кольцами, прирабатывается и притирается, что сказывается на свойствах материала и геометрии рабочей поверхности.

При анализе результатов отклонений формы, точности размеров и шероховатости внутренней поверхности гильзы существенных различий между значениями, полученными после операций финишной обработки и после обкатки, не наблюдалось. Разброс значений по результатам измерений после обкатки для шероховатости – в пределах 0,1 мкм при снижении средней величины шероховатости. Это указывает на то, что в результате последовательности операций механической обработки получены оптимальные значения геометрических параметров качества.

При эксплуатации твердость поверхности только стабилизируется, а отклонения формы возвращаются к состоянию после предварительного растачивания алмазным инструментом. Точность размеров приходит к состоянию, обеспеченному окончательным растачиванием алмазным инструментом, а твердость – черновым хонингованием.

В результате структура материала, оцениваемая твердостью, влияет на остаточные напряжения, которые приводят к короблению детали и сказываются на точности размеров, взаимосвязанной с формой поверхности.

Таким образом, в процессе обработки и эксплуатации рабочей поверхности гильзы цилиндра вредное влияние технологического и эксплуатационного наследования проявляется прежде всего для прочностных физико-механических свойств материала (твердость), а затем для отклонений формы (эллипсность) и частично для точности размеров (конусность) и практически не влияет негативно на рельеф поверхности (шероховатость).

Управление наследованием для улучшения физико-механических и геометрических параметров качества. Изучение и анализ экспериментальных данных позволили определить основные механизмы технологического и эксплуатационного наследования физико-механических и геометрических параметров качества гильзы цилиндра в процессе изготовления, сборки и эксплуатации двигателя.

Значения коэффициентов наследования твердости на начальных операциях механической обработки существенно отличаются и постепенно стабилизируются вследствие того, что происходит снятие отбела и выравнивание неоднородностей материала заготовки.

Анализ наследования погрешностей формы и точности размеров рабочей поверхности после каждой операции механической обработки показывает, что коэффициенты наследования ступенчато, но стабильно улучшаются. При этом наиболее заметное улучшение происходит при повторных операциях растачивания

твердосплавным и алмазным инструментом, а также хонингования, вплоть до эксплуатации изделия.

Значения коэффициентов наследования шероховатости показывают, что на начальных операциях микрорельеф поверхности улучшается быстро и затем на операциях алмазной обработки и при обкатке постепенно достигает требуемых величин.

Коэффициенты передачи технологического наследования эксплуатационных параметров качества (см. табл. 1) показывают, что технологический процесс изготовления гильзы цилиндра составлен рационально. Согласно рекомендациям при механической обработке в процессе изготовления детали на начальных операциях следует устранять вредное влияние технологической наследственности [1, 2], т.е. обеспечивать большие коэффициенты наследования ($K >> 1$) для геометрических и небольшие – для физико-механических ($1 > K > 0$) параметров качества, а на заключительных операциях их стабилизировать ($K \to 1$). Необходимо отметить, что повторы операций растачивания твердосплавным, алмазным инструментом и хонингования также, но только ступенчато обеспечивают эти рекомендации.

Определяющие коэффициенты взаимовлияния выбирали согласно механизмам передачи свойств отдельных параметров качества и их приоритетов при технологическом и эксплуатационном наследовании. В первую очередь рассматривали коэффициенты влияния твердости на погрешность формы, затем на точность размеров и на шероховатость. Затем изучали влияние погрешности формы на точность и шероховатость и влияние точности на шероховатость.

Коэффициенты взаимовлияния (см. табл. 2) позволяют оценить значимость как технологических операций и стадий эксплуатации, так и факторов, влияющих на параметры качества при обработке, сборке и эксплуатации двигателя.

Твердость материала существенно влияет на геометрические параметры. Для отклонений формы поверхности, точности размеров и частично микрорельефа поверхности это влияние становится все более заметным на заключительных финишных операциях. Также при обкатке и эксплуатации наблюдается тенденция стабильного увеличения коэффициентов взаимовлияния по всем технологическим и эксплуатационным переходам. Взаимовлияние геометрических параметров поверхности – эллипсности, конусности и микрорельефа невелико после черновой и чистовой обработки рабочей поверхности гильзы блока цилиндров и практически устраняется на последних операциях хонингования.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что на наследование влияют как последовательность технологических операций и стадий эксплуатации, так и технологические особенности методов обработки и условия эксплуатации изделия.

Анализ влияния технологических факторов на наследование физико-механических и геометрических параметров качества дал возможность выявить определяющие процессы передачи свойств при изготовлении гильзы блока цилиндров и предложить рекомендации по улучшению качества обработки.

В связи с тем, что процессы хонингования предусматривают снятие минимальных припусков (черновые до 0,02 мм, а чистовые до 0,01 мм) необходимо обратить максимальное внимание на предварительную расточку рабочей поверхности гильзы. В случае нарушения геометрических параметров качества их невозможно эффективно исправить окончательной обработкой при хонинговании.

Поэтому при управлении качеством обработки особое внимание следует уделить контролю глубины резания и подачи резца на алмазно-расточных станках. Для получения параметров качества, отвечающих требованиям чертежа, необходимо тщательно по регламенту

проводить обкатку хонинговальных головок до полной приработки алмазных брусков.

Выводы

Проведенные исследования технологического и эксплуатационного наследования физико-механических и геометрических параметров качества внутренней поверхности гильзы цилиндра позволили выявить определяющие процессы передачи свойств при обработке, сборке и эксплуатации двигателя.

Технологическое и эксплуатационное наследование в процессе изготовления и применения изделия свидетельствует о рационально построенном механосборочном процессе, в котором на начальных операциях устраняется вредное влияние технологической наследственности, а на заключительных операциях, при сборке и эксплуатации параметры стремятся к улучшению и сохранению своих величин.

В целом по всему технологическому и эксплуатационному процессу физико-механические характеристики сохраняются, геометрические при обработке улучшаются, а при эксплуатации ухудшаются в допустимых пределах.

При технологическом и эксплуатационном наследовании свойств в процессе изготовления и применения изделия проявляется взаимосвязь физико-механических и геометрических параметров качества детали. Твердость материала существенно влияет на отклонение формы детали, а также на точность размеров поверхностей.

Влияние на шероховатость геометрических и физико-механических параметров качества постепенно стабилизируется после каждой операции механической обработки вследствие выравнивания неоднородности материала.

При управлении качеством обработки внутренней поверхности гильзы цилиндра следует регламентировать глубину резания и подачу резца на алмазно-расточных операциях, а на последних операциях механической обработки необходимо строго по регламенту производить обкатку хонинговальных головок до полной приработки алмазных брусков.

Библиографический список

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

2. **Технологическая** наследственность в машиностроительном производстве / А.М. Дальский, Б.М. Базров, А.С. Васильев и др. – М.: МАИ, 2000. 364 с.

3. **Хейфец М.Л.** Формирование свойств материалов при послойном синтезе деталей. – Новополоцк: ПГУ, 2001. 156 с.

4. **Ящерицын П.И., Скоринин Ю.В.** Работоспособность узлов трения машин. – Минск, 1984. 288 с.

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

УДК 622.61/.62; 622.673

К.И. Шахова, *доцент, канд. техн. наук,* **Е.Ю. Акопов,** *аспирант*
(каф. технологии машиностроения и ремонта горных машин
Московского государственного горного университета)
E-mail kaftmr@msmu.ru

Повышение качества погружных центробежных насосов путем упрочнения комплектующих деталей

Рассмотрены технологические вопросы повышения долговечности погружных нефтяных насосов путем упрочнения исполнительных поверхностей комплектующих деталей.

The article describes technological aspects of longevity improvement of immersible petroleum pumps by strenghtening the work surfaces of its main parts.

Ключевые слова: качество, погружной центробежный насос, упрочнение, исполнительные поверхности.

Key words: quality, immersible pump, strenghtening, work surfaces.

Погружные центробежные насосы предназначены для откачки из нефтяных скважин пластовой жидкости, содержащей нефть, воду, газ и механические примеси. Основными частями центробежного насоса являются посаженное на вал рабочее колесо с изогнутыми лопатками, аппарат с расположенным в нем рабочим колесом и неподвижный корпус, изолирующий колесо и аппарат от внешней среды.

Энергия передается потоку жидкости от вала при помощи рабочего колеса, внутренняя полость которого образуется двумя фасонными дисками и несколькими профилированными лопатками. При вращении рабочего колеса жидкость внутри аппарата увлекается лопатками и под действием центробежной силы движется от центра колеса к периферии вдоль лопаток, а затем выбрасывается в канал, окружающий колесо. В результате на входе в колесо в том месте, где всасывающая труба примыкает к корпусу, создается разрежение, под действием которого жидкость всасывается в насос. Таким образом устанавливается непрерывное движение жидкости из скважины вертикально вверх.

При работе насоса большая часть нагрузки приходится на рабочие органы – исполнительные поверхности группы рабочих колес и охватывающего их аппарата. Именно исполнительные поверхности набранных пакетом рабочих колес в большей степени подвергаются изнашиванию вследствие воздействия различных примесей, включающих песок и мелкий гравий, которые входят в состав добываемой нефти.

Следствием гидроабразивного изнашивания исполнительных поверхностей рабочих колес и аппарата является усиление вибраций и перегрев двигателя, что приводит к отказу насоса и возникновению аварийных ситуаций.

Для повышения износостойкости литых деталей центробежных насосов, работающих в условиях интенсивного гидроабразивного изнашивания, предложено поверхностное упрочнение их исполнительных поверхностей с использованием боридных смесей.

Борирование осуществляется окраской литейной формы. В качестве упрочняющей боридной смеси применяли краску на основе этилсиликата с порошком карбида бора. Покраску формы осуществляли вручную в два-три слоя с последующей просушкой в течение 12 ч на спокойном воздухе, после чего производили заливку.

Получаемые отливки рабочих колес с упрочненной исполнительной поверхностью имеют матово-серый оттенок, характерный для борированных слоев. При этом на испол-

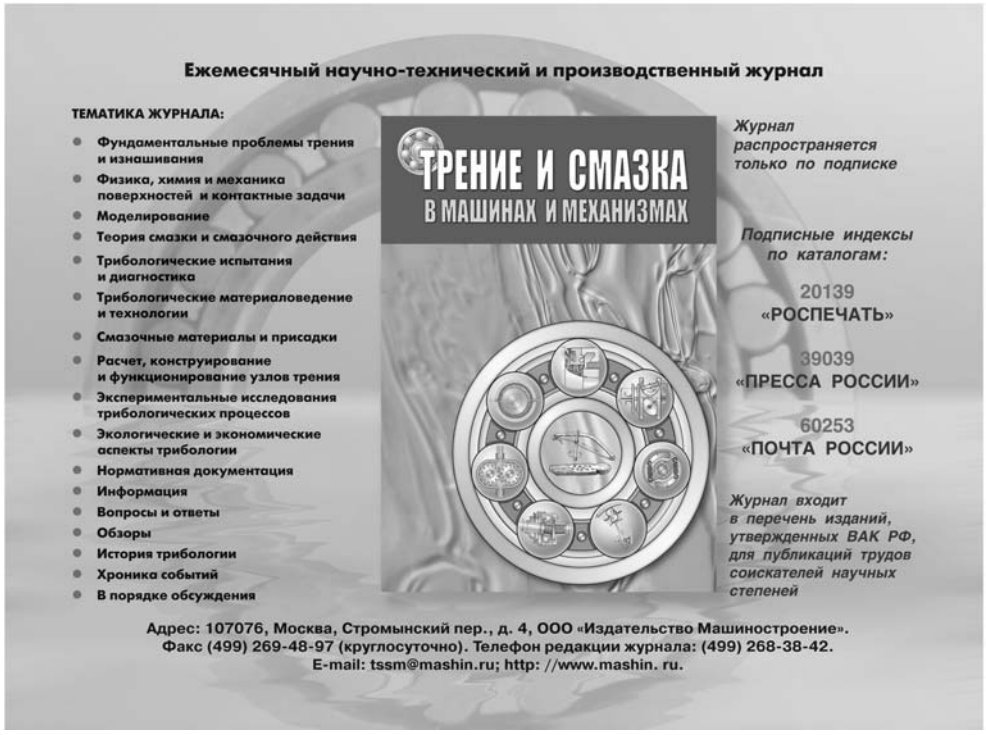
нительной поверхности отсутствуют несплошности, характерные для литья в земляные формы по ранее принятой технологии.

Высокая температура процесса борирования обеспечивает наличие глубоких борированных слоев, которые нельзя получить другими методами. Для определения эффективности процесса борирования чугунных отливок было проведено исследование микроструктуры и измерение микротвердости получаемой упрочненной поверхности, которые показали наличие боридного слоя на глубине 1,5...2 мм и боридной эвтектики. При борировании не только упрочняется поверхностный слой, но и сам слой окраски формы служит антипригарным покрытием, которое улучшает качество наружной поверхности.

С целью улучшения технологичности предложенного процесса окраску формы рекомендуется проводить с использованием поливинилбутерального лака. В этом случае сушку форм можно выполнять в камерных печах с газовым обогревом. Загрузка осуществляется при температуре 150 °С, затем она повышается до 300 °С, после чего происходит охлаждение при закрытых дверях печи. Для улучшения свойств металлической основы чугуна следует переходить от серого чугуна к белому на аустенитной основе.

Высокая твердость и достаточная глубина борированного слоя позволяют обеспечить существенное повышение износостойкости исполнительных поверхностей литых деталей центробежных насосов. Это достигается созданием на поверхности упрочненного диффузионного слоя повышенной твердости. Исследования, проведенные на машине трения, показали, что в результате борирования износостойкость исполнительных поверхностей литых деталей насоса увеличилась в 2... 2,5 раза.

Таким образом, предложенная технология упрочнения, включающая литье в песчаные формы с поверхностью, окрашенной боридной смесью, позволяет повысить качество отливок за счет поверхностного упрочнения исполнительных поверхностей и улучшения их качества, а также существенно уменьшить количество литейного брака и повысить срок службы собираемых погружных нефтяных насосов.



УДК 62.771:62-233.2

А.С. Матвеев, *д-р техн. наук, проф. кафедры "Обработка материалов давлением" Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. А.П. Соловьева*
E-mail: matveev_as_1@meil.ru

Устройства для сборки шарнирных узлов

Описаны этапы совершенствования устройств для сборки подшипниковых шарнирных узлов путем пластической деформации материала корпуса.

Describe the stages of improvement of devices for the assembly of bearing hinge assemblies through plastic deformation of the material body.

Ключевые слова: подшипник, шарнир, узел, сборка, инструмент, пластическая деформация.

Key words: bearing, joint, knot, assembly tools, plastic deformation.

В различных узлах машин общего машиностроения, конструкциях самолетов, вертолетов, устройств наземного базирования находят широкое применение шарнирные узлы, состоящие из сферического подшипника *1* (рис. 1), наружная обойма которого жестко заделана в корпусе узла *2*. Такой узел не только обеспечивает взаимное вращение внутренней обоймы подшипника и корпуса относительно оси подшипника, но и допускает их взаимное угловое смещение.

Сборка шарнирного узла может быть выполнена несколькими методами, изложенными в ОСТ 1 03841 [1]. Большинство из них предусматривает местную пластическую деформацию противоположных торцевых зон корпуса, обеспечивающую смещение металла корпуса на торцы наружной обоймы подшипника (элемент *M* на рис. 1).

Операцию заделки подшипника в корпус называют завальцовкой. Наиболее распространена сплошная завальцовка, обеспечивающая смещение металла корпуса без разрывов по окружности. Перед выполнением завальцовки на противоположных торцах корпуса концентрично отверстию под подшипник предварительно вытачивают кольцевые канавки V-образной формы с углами α и β глубиной h (рис. 2).

Например, для материала корпуса с пределом прочности $\sigma_в$ = 590...1275 МПа выполняют канавку с $\alpha = 55°$, $\beta = 30°$, h = 0,05...1,5 мм в зависимости от диаметра наружной обоймы подшипника. Для материала корпуса с $\sigma_в <$ < 590 МПа кольцевую канавку не выполняют.

Завальцовку проводят кольцевым пуансоном за счет приложения силы *P* (рис. 3). При этом необходимая степень пластической деформации материала корпуса может быть обеспечена нормированными перемещением кольцевого пуансона или силой *P*.

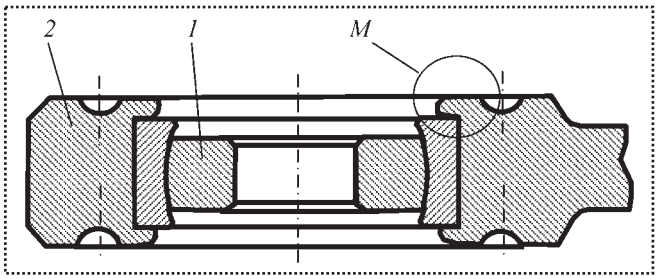


Рис. 1. Шарнирный узел

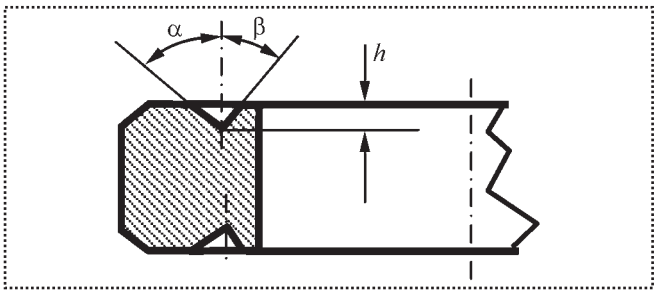


Рис. 2. Корпус узла перед завальцовкой подшипника

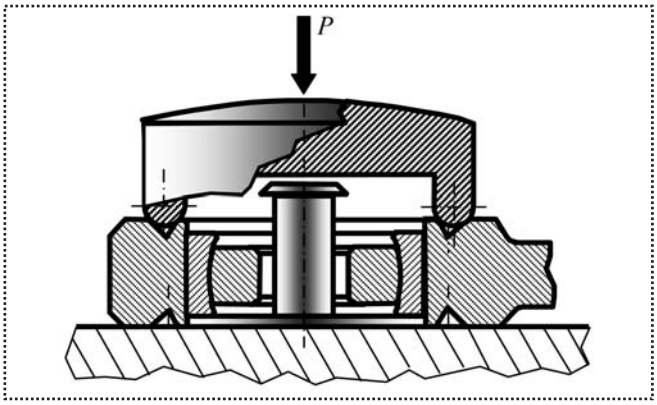


Рис. 3. Схема сборки шарнирного узла завальцовкой кольцевым пуансоном

В первом случае на качество завальцовки существенное влияние оказывает точность выполнения V-образных канавок и величина допуска на толщину корпуса.

Во втором случае необходимы устройства с достаточно точным управлением величиной силы *P*.

В обоих случаях для обеспечения одинаковой степени пластической деформации материала корпуса в окружном направлении необходимо обеспечить равномерность приложения деформирующей нагрузки по периметру канавки.

Существенно повысить качество сборки шарнирного узла позволяет метод завальцовки подшипника шариками, помещаемыми в V-образную канавку и совершающими обкат под нагрузкой *P*, приложенной к вращающемуся диску (рис. 4). При этом металл корпуса переходит в пластическое состояние и локально деформируется в радиальном направлении,

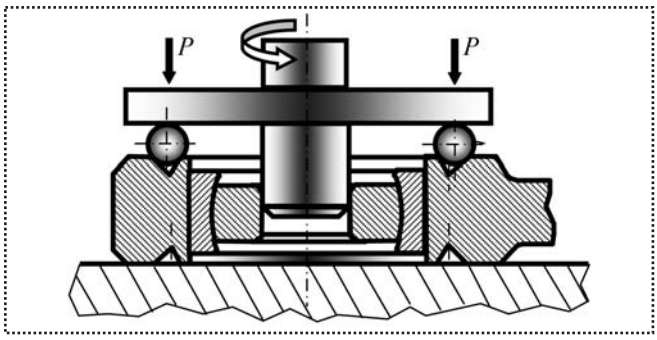


Рис. 4. Схема сборки шарнирного узла завальцовкой шариками

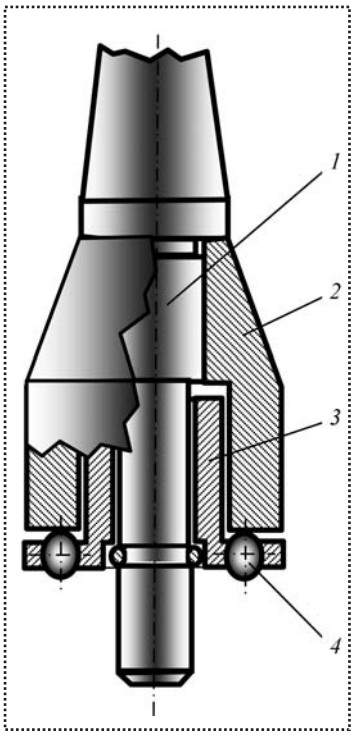


Рис. 5. Инструмент для последовательной завальцовки сферических шарикоподшипников

завальцовывая подшипник. Данный метод сборки шарнирных узлов широко используется в авиационной промышленности, в частности в ОАО "НПО Сатурн" (г. Рыбинск) при производстве авиационных двигателей.

Ранее для сборки шарнирных узлов использовали инструмент, конструкция которого показана на рис. 5. Инструмент, называемый завальцовкой, содержит корпус *1* с конусным хвостовиком и центрирующим стержнем на противоположном конце. На корпус напрессована муфта *2*, в полости которой установлен сепаратор *3*, имеющий возможность свободно вращаться относительно корпуса и несущий рабочие шарики *4*. Сепаратор ограничен от осевого перемещения запорным кольцом. Инструмент устанавливают в шпиндель сверлильного станка и поочередно завальцовывают каждую сторону подшипника.

Для уменьшения номенклатуры завальцовочного инструмента данная конструкция была подвергнута модернизации. Техническая задача заключалась в том, чтобы расширить технологические возможности инструмента, обеспечив возможность завальцовки одним

инструментом подшипников с близкими по величине наружными диаметрами.

Эта задача решена путем включения в конструкцию инструмента механизма синхронного перемещения рабочих шариков в радиальном направлении к оси или от оси подшипника за счет модернизации узла "сепаратор – рабочие шарики – муфта инструмента", например в варианте, показанном на рис. 6 [2].

Инструмент содержит корпус *1* с конусным хвостовиком, на котором соосно с ним и концентрично друг относительно друга установлены муфта *2* и сменный центрирующий стержень *3*, закрепленный одним концом в корпусе. Свободный конец стержня выполнен в виде цилиндра с диаметром, обеспечивающим, например, посадку скольжения с отверстием завальцовываемого подшипника (не показан).

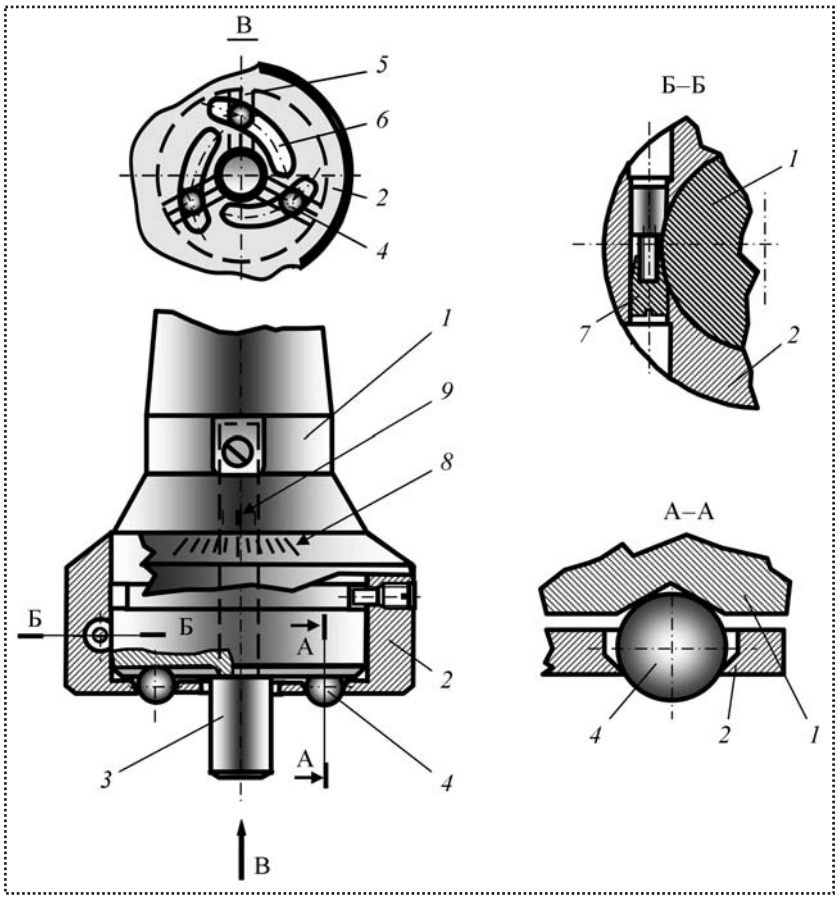


Рис. 6. Модернизированная конструкция завальцовочного инструмента

Муфта *2* имеет форму стакана с центральным отверстием, диаметр которого больше диаметра центрирующего стержня, а донная часть выполнена в виде сепаратора, несущего рабочие шарики *4*, предотвращая их выпадание вниз. От осевого перемещения муфта ограничена винтом, взаимодействующим с кольцевой канавкой в корпусе. На торце корпуса выполнены радиальные канавки *5* V-образной формы, с которыми контактируют шарики.

В сепараторе муфты изготовлены спиралеобразные пазы *6*, в пересечении которых с радиальными канавками корпуса установлены рабочие шарики. При этом муфта имеет возможность вращения относительно корпуса с фиксацией углового положения зажимным механизмом *7*, выполненным, например, в виде винта с гайкой. На торце муфты, обращенном в сторону хвостовика корпуса, нанесена шкала *8*, а напротив нее на корпусе – риска *9*, образующие лимб инструмента.

Завальцовку подшипника в корпус осуществляют следующим образом. Перед выполнением операции завальцовки проводят настройку инструмента. Для этого в корпус *1* устанавливают центрирующий стержень *3* с цилиндрической частью, диаметр которой обеспечивает, например, посадку скольжения с отверстием завальцовываемого подшипника.

Затем, вращая муфту *2* относительно корпуса и ориентируясь при этом на показания лимба, устанавливают требуемое радиальное положение шариков *4* относительно оси инструмента (такая настройка возможна также с использованием специального калибра, однозначно определяющего радиальное положение шариков). Достигнутое угловое положение муфты фиксируют зажимным механизмом. На этом заканчивается настройка инструмента для завальцовки конкретного подшипника в корпус узла.

Затем корпус инструмента устанавливают хвостовиком в шпиндель, например, сверлильного станка, и вводят центрирующий стержень в отверстие подшипника, подлежа-

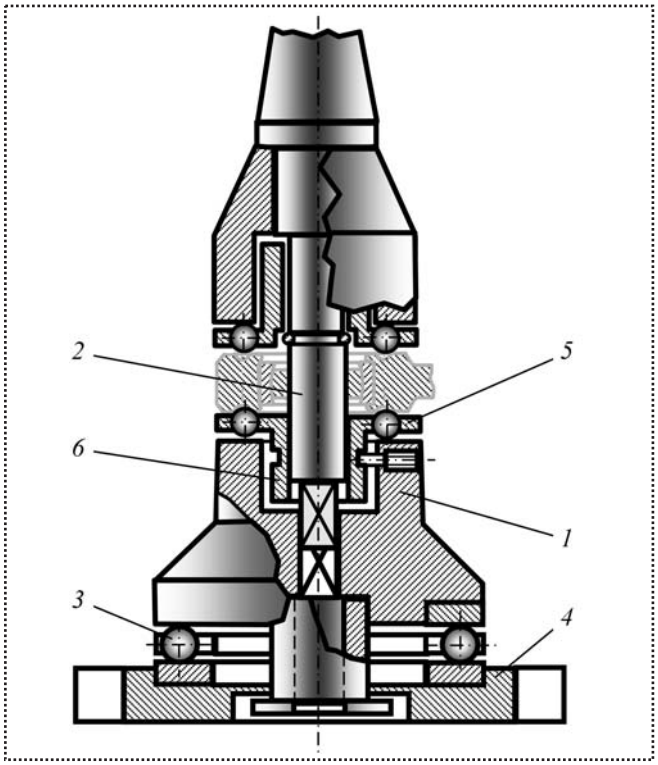


Рис. 7. Инструмент для одновременной завальцовки подшипника с двух сторон

щего завальцовке. Включают вращение шпинделя станка и, продолжая перемещать инструмент вниз, осуществляют завальцовку подшипника в деталь с одной стороны. Затем операцию повторяют для завальцовки подшипника и с другой стороны.

Для завальцовки подшипника с другими размерами наружного и внутреннего диаметра инструмент перестраивают вышеописанным способом.

Следует отметить, что выполнение операции последовательной завальцовки подшипника требует определенного навыка от исполнителя, так как основная проблема при сборке шарнирного узла этим методом – обеспечение равномерной пластической деформации металла корпуса с каждой стороны подшипника.

Для обеспечения одновременной двухсторонней завальцовки подшипника в деталь используют инструмент, конструкция которого приведена на рис. 7. Инструмент снабжен дополнительной муфтой *1*, установленной соосно центрирующему стержню *2*. Муфта через упорный шарикоподшипник *3* опирается на подставку *4*, фиксируемую на столе сверлильного станка. На верхнем торце муфты установлены рабочие шарики *5*, помещенные в сепаратор *6*. Вдоль оси муфты выполнено многогранное, например квадратное отверстие, в которое свободно входит центрирующий стержень соответствующего сечения.

В процессе завальцовки подшипника данным инструментом при наложении силы от шпинделя сверлильного станка на корпус собираемого шарнирного узла создаваемые шариками давления стремятся взаимно уравновеситься, обеспечивая тем самым одинаковую степень пластической деформации материала корпуса одновременно с двух сторон, повышая качество изготавливаемого шарнирного узла [3].

Данные устройства для завальцовки подшипников успешно эксплуатируются в производстве по настоящее время.

Дальнейшим шагом по расширению технологических возможностей инструмента для сборки шарнирных узлов завальцовкой может быть объединение технических решений, заложенных в конструкциях инструмента, показанных на рис. 6 и 7. Схема конструкции тако-

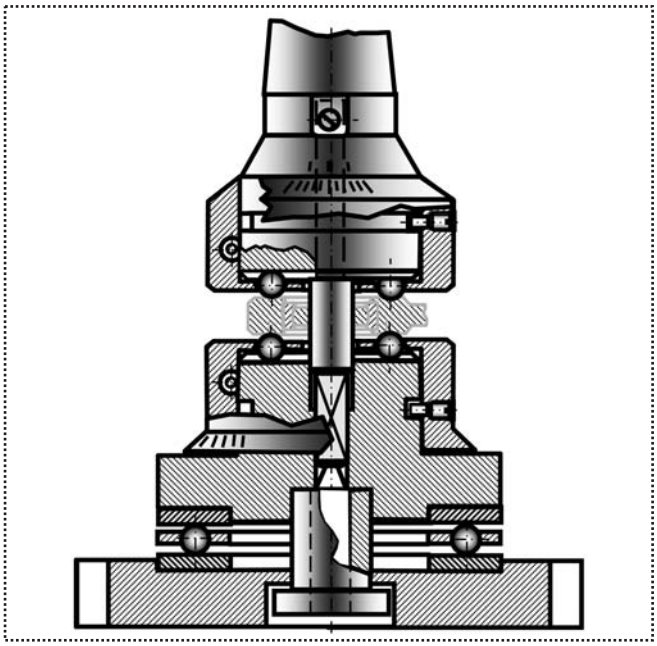


Рис. 8. Конструкция инструмента для равномерной завальцовки сферических подшипников в деталь шарнирного узла одновременно с двух сторон с возможностью настройки и фиксации положения рабочих шариков в радиальном направлении

го инструмента [4] приведена на рис. 8 и, очевидно, его работа не требует комментариев.

Завальцовочные инструменты, изображенные на рис. 6 и 8, имеют важную особенность. Если в инструментах, приведенных на рис. 5 и 7, круговое вращение рабочих шариков относительно оси инструмента осуществляется за счет сил трения, возникающих между плоскими торцами муфт и шариками, и при повышенной подаче инструмента происходит проскальзывание шариков относительно торцев муфт и, следовательно, прекращается круговое вращение шариков относительно оси инструмента, то при работе модернизированных инструментов круговое вращение рабочих шариков осуществляется принудительно.

Применение предложенных инструментов способствует повышению как производительности труда, так и качества изготавливаемого шарнирного узла.

Библиографический список

1. **ОСТ 1 03841–76.** Заделка механическая шариковых, роликовых и шарнирных подшипников. Типы, основные размеры и технические требования.

2. **Патент РФ** на полезную модель № 79481, МПК B 23P 19/02. Инструмент для завальцовки изделий. Опубл. 10.01.2009. Бюл. № 1.

3. **А.с. № 437600**, МКИ B 23P 19/02. Инструмент для завальцовки подшипников. Опубл. 30.07.1974. Бюл. № 28.

4. **Патент РФ** на полезную модель № 85106. Устройство для завальцовки изделий. Опубл.: 27.07.2009. Бюл. № 7.

УДК 621.757

В.Г. Шуваев, *канд. техн. наук,* **В.А. Папшев,** *канд. биолог. наук,*
доценты кафедры "Автоматизация производств и управление транспортными системами"
Самарского государственного технического университета,
тел. (846) 333-52-90;
адрес: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244.
E-mail: pva_samara@mail.ru

Устройство для пространственного ориентирования деталей при автоматизированной сборке путем формирования сложного колебательного движения

В статье рассмотрены вопросы автоматизации сборочных операций на основе применения пассивных средств адаптации. Описано вибрационное устройство для позиционирования собираемых деталей путем формирования сложного колебательного движения рабочего органа.

The article deals with assembly automation by means of passive adapting. It gives the description of vibration device for assembling details set-in by compound oscillatory motion forming of movable operating element.

Ключевые слова: автоматизированная сборка, активная адаптация, пассивная адаптация, пространственное ориентирование.

Key words: automated assembling, active adapting, passive adapting, space orientation.

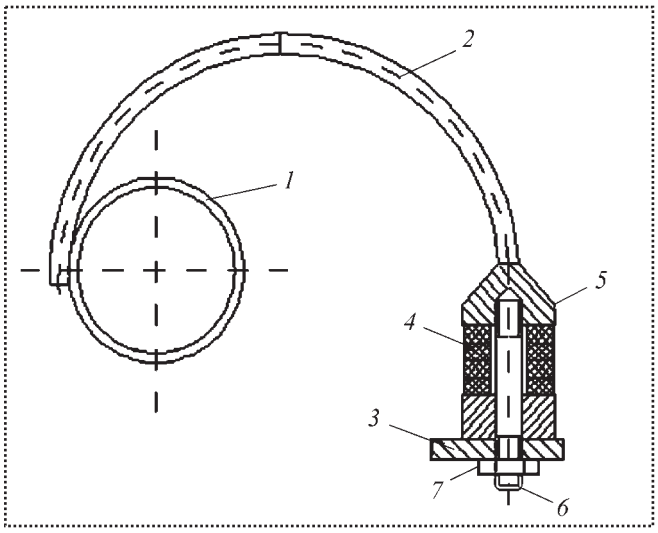
В настоящее время широкое применение промышленных роботов при автоматизации сборочных операций сдерживается сложностью разработки и реализации алгоритмов пространственного ориентирования, начального контактирования и захода собираемых деталей, что в реальных условиях приводит к их "закусыванию" и необходимости повторного ориентирования и сопряжения деталей. В связи с этим находят применение методы активной и пассивной адаптации взаимного положения деталей. Известно, что активная адаптация устраняет ошибки позиционирования за счет систем обратной связи, для создания которых требуется сложное и дорогостоящее оборудование (датчики, аппаратура управления, двигатели). В то же время считается, что активную адаптацию труднее применять для массивных деталей [1, 2].

Вместе с тем существуют альтернативные методы пассивной адаптации, основанные на

наличии в кинематической схеме процесса сборки элементов направленной жесткости. Деформация этих элементов приводит к возникновению упругих сил, компенсирующих погрешность взаимной ориентации собираемых деталей. Многие авторы [1, 2] считают, что методы пассивной адаптации по сравнению с активной более эффективны по показателям экономических затрат, простоты и надежности настройки и работы оборудования.

Одним из путей повышения производительности и расширения технологических возможностей за счет обеспечения пространственного относительного ориентирования собираемых деталей и увеличения скорости автоматизированной сборки является введение ультразвуковых колебаний в сборочный процесс. В работах [3, 4] используются возможности ультразвука для получения поискового движения при сборке прессовых соединений.

Для автоматизации процессов сборки деталей типа "вал – втулка" с помощью манипуляторов и промышленных роботов разработано устройство [4], осуществляющее автоматическое позиционирование собираемых деталей за счет формирования сложного колебательного движения рабочего органа. На рисунке представлено устройство для сообщения колебательных движений собираемым деталям, которое содержит генератор электрических колебаний (на рисунке не показан), рабочий орган *1* и соединенную с ним пружину *2*, выполненную в виде спирали Архимеда. Второй конец пружины посредством пьезокерамического привода *4* колебательного движения закреплен на корпусе *3* устройства, а пьезокерамические пластины поджаты к концентратору *5* с помощью шпильки *6* и гайки *7* с мелкой резьбой.



Устройство для сообщения колебательных движений собираемым деталям

При подаче напряжения питания на обкладки пьезокерамического привода *4* колебательного движения он вследствие обратного пьезоэффекта изменяет свои геометрические размеры и возбуждает механические колебания в спиральной пружине *2* с закрепленным рабочим органом *1*. Траектория возбуждаемых в рабочем органе колебаний имеет сложный характер, что определяется особенностями взаимодействия привода *4* и пружины *2*.

Так как привод установлен в плоскости спиральной пружины, в ней возбуждается, *во-первых,* упругая волна продольных колебаний, формирующая амплитуду колебаний рабочего органа *1* в направлении, совпадающем с касательной в точке крепления рабочего органа к спиральной пружине (по оси ординат), а *во-вторых,* в силу спирального выполнения пружины в ней формируется изгибная волна колебаний с пучностью в месте крепления к ней рабочего органа. Изгибная волна вызывает колебания рабочего органа в направлении, перпендикулярном обеспечиваемому продольной волной, т.е. по оси абсцисс.

Поскольку оба типа колебаний имеют одну частоту, а именно частоту колебательной системы, образованной рабочим органом, спиральной пружиной и приводом колебательного движения, сложение амплитуд этих колебаний с взаимно-перпендикулярными векторами обеспечивает в общем случае эллиптическую траекторию движения рабочего органа. Эллиптичность траектории движения обусловлена различием амплитуд колебаний (амплитуда изгибных колебаний в данном случае будет больше амплитуды колебаний, формируемых продольной волной).

В продольных волнах движение происходит симметрично оси стержня и преобладает осевая (продольная) компонента смещения. В изгибных волнах ось стержня претерпевает изгиб и преобладает поперечная компонента смещения.

Изгибные волны представляют собой деформации изгиба, распространяющиеся в стержнях и пластинах. В стержне направлением распространения волны является его ось. При распространении изгибных волн каждый элемент стержня смещается перпендикулярно оси стержня. Изгибные волны малых амплитуд в стержне описываются уравнением [5]

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + ER^2 \frac{\partial^4 u}{\partial z^4} = 0,$$

где ρ – плотность материала стержня; t – время; z – координата вдоль оси стержня; u – смещение элементов стержня; E – модуль Юнга; R – радиус инерции поперечного сечения стержня относительно оси, перпендикулярной плоскости изгиба и проходящей через нейтральную поверхность.

Фазовая скорость изгибной волны частотой ω в стержне равна

$$c_{\text{изг}} = \sqrt[4]{ER^2/\rho}\sqrt{\omega}.$$

Эта скорость много меньше фазовой скорости продольных волн в стержне, определяемой соотношением

$$c_{\text{пр}} = \sqrt{E/\rho}.$$

Колебания возбуждались пакетом, набранным из четырех–шести серийно выпускаемых пьезокерамических шайб осевой поляризации типа ЦТС-19 диаметром 46 мм, толщиной 9 мм каждая, причем между собой они соединены механически последовательно, а электрически – параллельно с соблюдением соответствующей полярности. Амплитуда продольных колебаний после усиления концентратором достигала 60 мкм, а изгибные колебания при этом составляли от 50 до 500 мкм в зависимости от величины приложенного электрического напряжения с генератора колебаний.

Так как скорость распространения продольной волны в металлах почти в два раза выше скорости распространения изгибной волны, то возникающий фазовый сдвиг (набег) приводит к вращению эллиптической траектории движения рабочего органа, за счет чего осуществляется автоматическое перемещение сопрягаемых деталей. При выключении напряжения питания привода *4* колебательного движения колебания спиральной пружины будут экспоненциально затухать и траектория движения рабочего органа примет форму сходящейся спирали, что дает возможность автоматически осуществить центровку сопрягаемых деталей.

Вывод

Применение дополнительных колебательных воздействий продольных и изгибных волн дает возможность автоматически осуществлять пространственное ориентирование собираемых деталей, что расширяет технологические возможности и повышает производительность сборочных операций при роботизированной сборке.

Библиографический список

1. **Макущенко Т.В., Малицкий И.Ф.** Роботизация сборочных операций с применением пассивной коррекции деталей // Вестник машиностроения. – 1992. № 5. С. 38–39.

2. **Божкова Л.В., Вартанов М.В., Кольчугин Е.И.** Экспериментальная установка для роботизированной сборки на основе пассивной адаптации и низкочастотных колебаний // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2009. № 1. С. 5–7.

3. **Бакшис Б.П., Повиленис А-Б.Б., Скучас И.Ю.** Вибрационное перемещение и автоматическая сборка с помощью стоячей упругой волны // Автоматизация сборочных процессов. – Рига: 1988. № 15. С. 42–49.

4. **А.с. № 1804994,** 30.03.93. Бюл. № 12. Устройство для сообщения колебательного движения собираемым деталям / В.М. Колокольцев, В.Г. Шуваев.

5. **Ультразвук.** Маленькая энциклопедия. Глав. ред. И.П. Голямина. – М.: Советская энциклопедия, 1979. 400 с.

УДК 621.757 (088.8)

С.И. Агапов, *канд. техн. наук,* **С.П. Солтан, О.Ф. Корпелянский**
(Волгоградский государственный технический университет,
400131, Волгоград, просп. Ленина 28.
Тел.(8442) 74-04-97)
E-mai: ngig@vstu.ru

Применение ультразвуковых колебаний при сборке и разборке соединений с натягом

Сборка и разборка соединений производится, как правило, при помощи гидравлических и винтовых съемников. Разработан винтовой съемник со съемным пьезоэлектрическим вибратором, что позволило уменьшить габаритные размеры съемника и деформацию траверсы под нагрузкой или повысить усилие при запрессовке или разборке при тех же габаритных размерах съемника.

The assembly and disassembly of connections is made, as a rule, through hydraulic and screw tennant. Is developed screw tennant with the demountable piezoelectric vibrator, that has allowed to reduce the geometrical sizes tennant and deformation metal under loading or to raise (increase) effort at connection or disassembly at the same dimensions tennant.

Ключевые слова: сборка и разборка соединений, винтовой съемник, пьезоэлектрический излучатель.

Key words: assembly and disassembly of connections, screw tennant, piezoelectric radiator.

В современном машиностроении для образования неподвижных соединений деталей применяют посадки с натягом. Неподвижность соединения достигается за счет напряжений, возникающих в материале сопрягаемых деталей вследствие деформации контактных поверхностей. Сборка и разборка соединений проводится, как правило, при помощи гидравлических и винтовых съемников [1]. На кафедре "Металлорежущие станки и инструменты" Волгоградского государственного технического университета разработан винтовой съемник со съемным пьезоэлектрическим вибратором, что позволило уменьшить размеры съемника и деформацию траверсы под нагрузкой или повысить усилие при запрессовке или разборке при тех же габаритных размерах съемника.

Конструкция винтового съемника показана на рисунке. Съемник содержит траверсу *1*, гайку *2* с силовым винтом *3*, установленные на середине траверсы, захваты с головной частью *4* и захватной лапой *5*, при этом оси захватов и силового винта *3* расположены в одной плоскости. На торце резьбовой части винта закреплен вибратор *6*, выполненный в виде пьезоэлектрического излучателя, на который подается высокочастотное напряжение с ультразвукового генератора *7*. Наружный диаметр *d* резьбы силового винта определяется по формуле

$$d \geq \sqrt{\frac{4kP_{\max\,в}}{\pi[\sigma]_р}} + S, \qquad (1)$$

где S – шаг резьбы;

$P_{\max\,в}$ – максимальное осевое усилие на силовом винте;

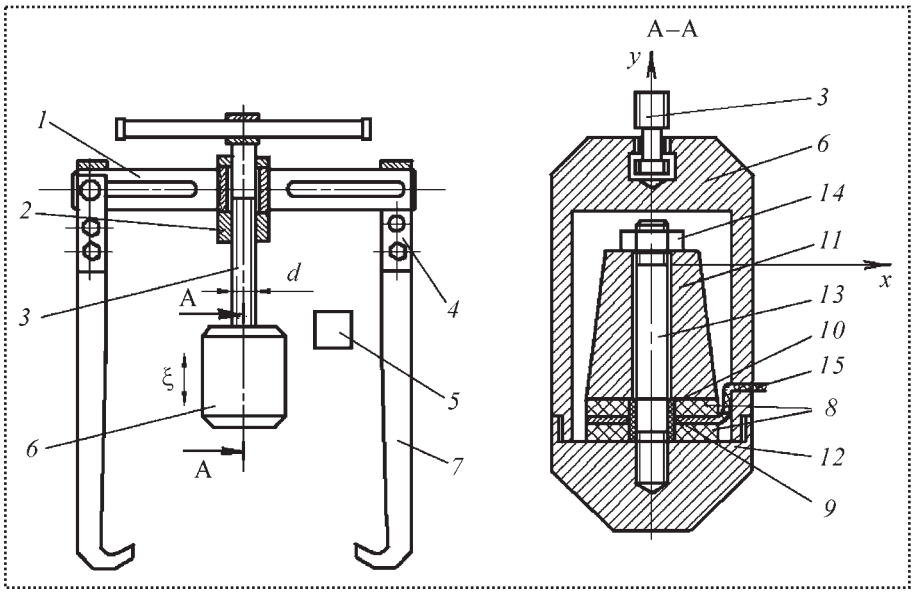
$[\sigma]_р$ – допустимое напряжение на растяжение стали, из которого изготовлен силовой винт;

$k = \frac{P_{узк}}{P_{тр}}$ – коэффициент снижения силы выпрессовки при наложении ультразвуковых колебаний на деталь;

$P_{тр}$ – сила выпрессовки при традиционном способе;

$P_{узк}$ – сила выпрессовки с применением ультразвукового излучателя.

Вибратор *6* содержит два пьезоэлемента *8*, между которыми расположена шайба *9* из ото-



Винтовой съемник с пьезоэлектрическим вибратором

ξ, мкм	2	4	6	8	10
k	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30

жженной меди и изолирующая втулка *10* из электротехнического текстолита, которые сжаты частотопонижающими накладками *11* и *12*, при этом накладка *11* является отражающей, а накладка *12* – излучающей. Накладка *12* выполнена из стали 40Х, закаленной до $HRC_Э$ 44...46, а *11* – из стали 10. Жесткий акустический контакт осуществляют с помощью шпильки *13* и гайки *14*. Электрический сигнал подают через изолированный провод *15*.

Винтовой съемник работает следующим образом. Силовой винт *3* создает осевую силу традиционным механическим способом. Дополнительную силу при выпресовке получают при помощи вибратора *6* и ультразвукового генератора *7*, высокочастотное напряжение с которого подают на пьезоэлементы *8* через шайбу *9*. Изолирующая втулка *10* необходима для исключения короткого замыкания. При этом возбуждающие ультразвуковые колебания с регулируемой амплитудой поступают на частотопонижающие накладки *11* и *12* и обеспечивают компенсацию суммарного натяга в прессовом соединении.

Дополнительные силы выпрессовки получают воздействием вибратора *6*, создающего колебания ультразвуковой частоты с определенной амплитудой, без увеличения размеров винтового съемника.

Результаты исследований изменения осевой силы выпрессовки в зависимости от амплитуды ξ колебаний на торце ультразвукового излучателя приведены в таблице. Погрешность измерения составляет ±5 %.

Подставляя значения *k* в формулу (1), получим

$$d \geq (0{,}55\ldots0{,}71)\sqrt{\frac{4P_{\max в}}{\pi[\sigma]_р}} + S. \qquad (2)$$

Таким образом, наружный диаметр силового винта может быть уменьшен на 30...40 %.

Выводы

Предлагаемая конструкция винтового съемника позволит повысить усилие выпрессовки без увеличения его габаритных размеров или уменьшить размеры съемника, снизить деформацию траверсы под максимальной нагрузкой и увеличить надежность при максимальной силе запрессовки.

Библиографический список

1. **Нерубай М.С., Штриков Б.А., Калашников В.В.** Ультразвуковая механическая обработка и сборка. Самара: изд-во СамГТУ, 1995. 256 с.

2. **А.с. № 1733214.** Способ сборки прессовых соединений типа вал–втулка / В.А. Николаев, Б.Л. Штриков. 1992 г. Бюл. № 18.

УДК 621.643/.644-987.001.24(035)

С.Г. Комаишко, *генеральный директор,* **Г.Н. Кулик,** *главный металлург,*
М.В. Моисей, *главный конструктор,* **К.В. Суздаль,** *главный технолог*
(ОАО "Дефорт", 191014, Санкт-Петербург, ул. Парадная, д. 8, тел. 2260932)
E-mail: kulik.georgnik@rambler.ru

Сборка колена реактора установки для изготовления полиэтилена высокого давления

Описаны различные приемы сборки (стапель, сварка, горячая посадка) сложноориентированной в пространстве конструкции – колена реактора установки получения полиэтилена высокого давления.

Different installation methods (assembly fixture, welding, shrink fit) are described during its realization with respect to a complex-oriented construction such as the reactor elbow of the high-pressure polyethylene production plant.

Ключевые слова: колено, реактор, патрубок укрепления, сборка, сварка, горячая посадка.

Key words: elbow, reactor, reinforcement branch, assembly, welding, shrink fit.

В ОАО "Дефорт" освоено сложное с точки зрения сборки и производства в целом изделие – колено реактора (рис. 1) установки для изготовления полиэтилена высокого давления. Освоение его производства описано в работе [1], однако процесс сборки в ней освещен недостаточно.

При сборке колена необходимо выдержать пространственные размеры на параллельность концов колена трубы высокого давления, расположение их в плоскости, совпадающей с плоскостью колена, а также ей перпендикулярной. Кроме того, требуется получить определенные стыковочные размеры присоединительных штуцеров, т.е расстояния от их оси до плоскости, проходящей через концы колена трубы высокого давления, перпендикулярной плоскости колена, и углы их оси к указанным плоскостям.

Колено реактора состоит из следующих деталей и узлов:

– *колено трубы высокого давления,* изготовленное из стали 30Х2Н2МФА-Ш по следующей технологии: выплавка стали в электродуговой печи, электрошлаковый переплав, свободная ковка, ковка на радиально-ковочной машине, термообработка, сверление, расточка, обточка, внутреннее шлифование до *Ra* 0,4, нарезка резьбы и канавок под посадку,

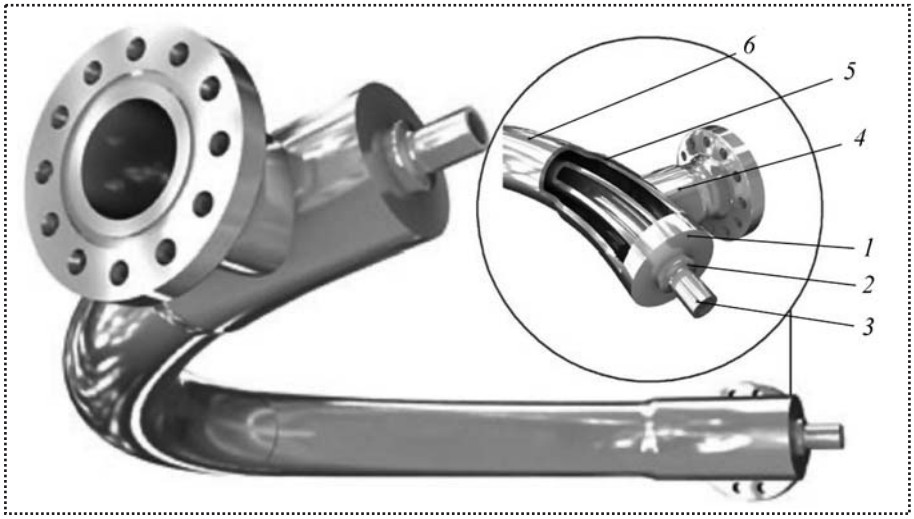


Рис. 1. Колено реактора для производства полиэтилена:
1 – торцевая втулка;
2 – запорные полукольца;
3 – колено трубы высокого давления;
4 – присоединительный штуцер;
5 – патрубок укрепления;
6 – рубашка

гибка по шаблону, отпуск, автофретирование, обрезка в размер;

– *присоединительный штуцер* из трубы по ГОСТ 8731, ГОСТ 8732 (сталь 20) с приваркой к ней воротникового фланца; технология: разрезка трубы на патрубки, подготовка кромок к сварке, подготовка сварочного соединения, сварка, получение выемки с радиусом, равным радиусу патрубка укрепления и снятие фигурной фаски с помощью специальных приспособлений;

– *патрубок укрепления* из трубы по ГОСТ 8731, ГОСТ 8732 (сталь 20) изготавливается по технологии [2]: разрезка трубы на патрубки двойной длины, горячая штамповка, разрезка и обрезка полученного колена, механическая обработка;

– *торцевая втулка* из сортового проката (поковки) стали 20, полученная механической обработкой после дополнительной термообработки;

– *рубашка* из трубы по ГОСТ 8731, ГОСТ 8732 (сталь 20) изготовлена на трубогибочном стане с применением индукционного нагрева и охлаждения спреером;

– *бобышка* из калиброванного проката стали 20; технология: разрезка на мерные длины и торцовка.

После каждой технологической операции проводится контроль.

Для выполнения операции сборки был спроектирован и изготовлен стапель, представленный на рис. 2. Последовательность сборки следующая:

• рубашку укладывают горизонтально на сборочный стол;

• в нее заводят колено трубы высокого давления, предварительно закрыв резьбу и место горячей посадки втулками;

• на концы колена нанизывают патрубки укрепления;

• концы колена вместе со специальными втулками вставляют в отверстия снятой со стапеля горизонтальной траверсы и закрепляют;

• на стойки с помощью планки крепления планшайбы закрепляются присоединительные штуцера;

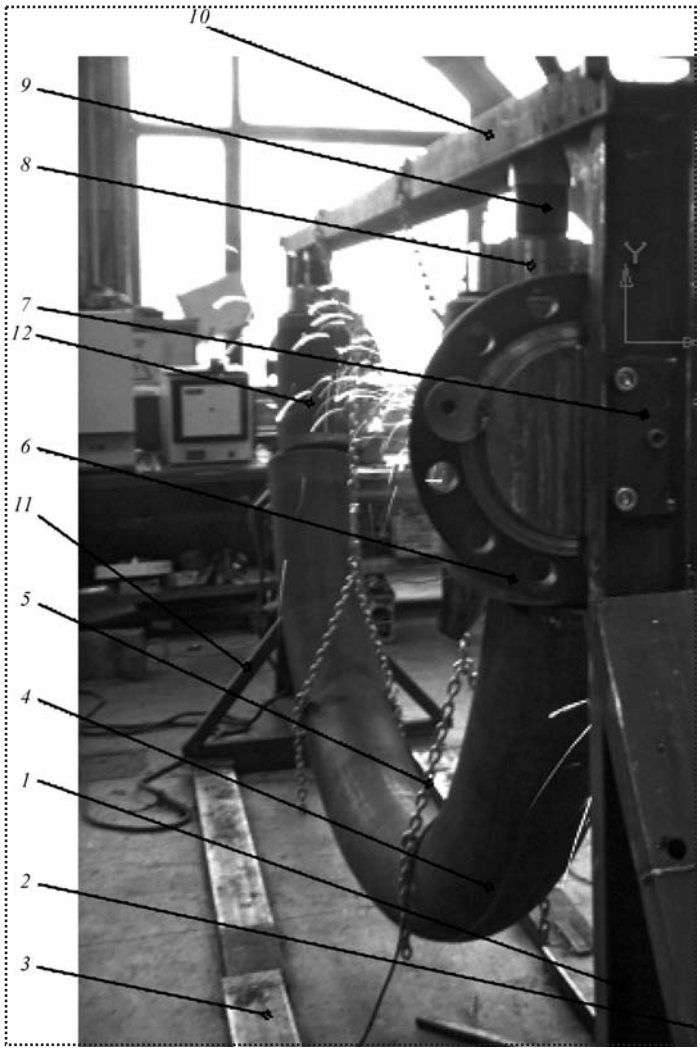


Рис. 2. Стапель для сборки колена:
1 – вертикальная стойка;
2 – продольная укосина;
3 – основание;
4 – колено рубашки;
5 – цепи, позиционирующие колено рубашки;
6 – фланец присоединительного штуцера;
7 – планка крепления планшайбы фланца присоединительного штуцера;
8 – имитатор торцевой втулки;
9 – втулка крепления корпуса (трубы высокого давления);
10 – траверса;
11 – поперечная укосина;
12 – патрубок укрепления с присоединительным штуцером

• собранное колено вместе с горизонтальной траверсой с помощью мостового крана устанавливают на стапеле, причем траверсу – при помощи центрирующих приспособлений;

• все отдельные детали колена реактора выставляют друг относительно друга в соот-

Рис. 3. Колена реактора в упаковке

ветствии с требованиями чертежа, в том числе и к подготовке к сварке стыковых соединений. При этом задействованы цепи с талрепами;

• детали соединяют друг с другом с помощью прихваток, выполненных электродуговой сваркой, после чего сваривают корневые швы аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом с присадочной проволокой, а прихватки уничтожают;

• конструкцию разбирают, укладывают на горизонтальный сборочный стол, вынимают колено трубы высокого давления;

• сваривают электродуговой сваркой электродом типа Э50;

• зачищают сварочные швы на внешней и внутренней поверхностях, а также околошовные зоны;

• проводят предварительную сборку (вставляют колено трубы высокого давления);

• одевают торцевые втулки с помощью горячей посадки;

• устанавливают полученную конструкцию на стапель и выставляют размеры несваренных стыков, после чего прихватывают друг с другом аналогично вышеописанному. Бобышки также устанавливают и прихватывают;

• сваривают корневые швы аргонодуговой сваркой;

• снимают конструкцию со стапеля и выполняют сварку;

• проводят гидравлические испытания высоким и низким давлением;

• покраска, консервация и упаковка (рис. 3).

После каждой технологической операции проводят контроль.

Вывод

Стапельная сборка сложных разноориентированных в пространстве конструкций, которые впоследствии требуется встраивать в обезличенные системы, позволяет получить качественные изделия и исключить пригоночные операции при сборке и ремонте трубчатых установок для производства полиэтилена высокого давления.

Библиографический список

1. **Освоение** производства колен реактора установок для изготовления полиэтилена высокого давления / Я.М. Виторский, В.Я. Дмитриев, С.Г. Комаишко и др. // Заготовительные производства в машиностроении. 2008. № 4. С. 20–27.

2. **Штамповка** изогнутого отвода из стали 20 / С.Г. Комаишко, А.Г. Комаишко, Г.Н. Кулик и др. // Заготовительные производства в машиностроении. 2008. № 2. С. 30–33.

УДК 621.86

Е.В. Давыдова, *канд. техн. наук,* **В.В. Прейс,** *д-р техн. наук*
(Тульский государственный университет, раб.тел./факс: (4872) 33-24-38)
E-mail: elen-davidova@rambler.ru

Аналитическая модель производительности бункерного загрузочного устройства с радиальными гнездами и кольцевым ориентатором

Предложена аналитическая модель производительности бункерного загрузочного устройства с радиальными гнездами и кольцевым ориентатором, позволяющая выбирать конструктивные и кинематические параметры устройства, обеспечивающие его требуемую производительность при загрузке деталей с неявно выраженной асимметрией торцов.

The developed analytical model of productivity of the hopper feeding device with radial nests and the ring orientator is considered, allowing to choose the constructive and kinematic parametres of the device providing its demanded productivity at feeding of small parts with implicitly expressed asymmetry of end faces.

Ключевые слова: ориентирование деталей, бункерное загрузочное устройство, автоматическая загрузка, производительность.

Key words: orientation of small parts, the hopper feeding device, automatic feeding, productivity.

Для автоматической загрузки цилиндрических деталей с неявно выраженной асимметрией торцов в сборочные машины и линии предложено бункерное загрузочное устройство (БЗУ) с радиальными гнездами и кольцевым ориентатором [1], фрагмент которого показан на рис. 1.

Функции захвата и ориентирования деталей в БЗУ разделены: захват осуществляется гнездом, профиль которого не повторяет профиль загружаемых деталей, а ориентирование – кольцевым ориентатором, который является единым конструктивным элементом.

С целью определения области допустимых значений угловой скорости вращающегося диска с гнездами, при которых возможно надежное ориентирование детали, разработана аналитическая модель процесса ориентирования [2]. На ее основе для детали с коническим торцом и углом при его вершине $2\beta = 23°$, диаметрами цилиндрического $d_1 = 0{,}0093$ м и конического $d_2 = 0{,}0069$ м торцов, длиной $l = 0{,}0267$ м, массой $m = 0{,}004$ кг и коэффициентом трения об элементы конструкции БЗУ $\mu = 0{,}5$ при угле наклона бункера БЗУ к горизонту $\alpha_{бун} = 45°$ получено предельное значение угловой скорости вращающегося диска $\omega_{пред} = 1{,}38$ рад/с. При диаметре вращающегося диска $D = 0{,}4$ м оно соответствует предельной окружной скорости гнезда $v_{пред} = 0{,}5D\omega_{пред} = 0{,}276$ м/с. Тогда надежное ориентирование деталей с неявно выраженной асимметрией

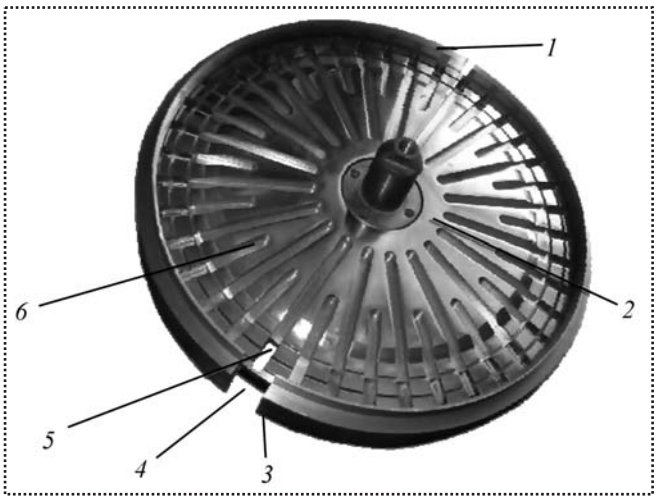


Рис. 1. Фрагмент БЗУ с радиальными гнездами и кольцевым ориентатором:
1 – кольцевой ориентатор; *2* – вращающийся диск; *3* – неподвижное основание; *4* – приемник; *5* – гнездо; *6* – радиальные пазы

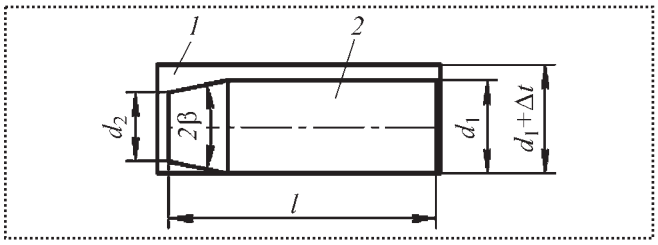


Рис. 2. Положение детали, запавшей в гнездо БЗУ в требуемом положении:
1 – гнездо; *2* – деталь

торцов в предложенном БЗУ будет осуществляться при окружных скоростях гнезда $v \le v_{пред} = 0{,}276$ м/с.

Для надежного захвата детали движущимся гнездом необходимо, чтобы ширина гнезда была больше диаметра заготовки на величину Δt зазора по шагу (рис. 2).

В большинстве известных конструкций дисковых БЗУ, используемых для деталей с явно выраженной асимметрией торцов, захват и ориентирование деталей совмещены. Так как захватный орган является также и ориентирующим, то величина зазора по шагу Δt ограничена возможным западением в гнездо детали в неправильном положении. Поэтому для таких БЗУ рекомендуют принимать $0{,}05d_1 \le \Delta t \le 0{,}1d_1$ [3].

Если для деталей с неявно выраженной асимметрией торцов использовать ранее известные конструкции БЗУ, то рекомендуемый диапазон значений зазора по шагу необходимо уменьшить. Это вызвано тем, что при таких значениях Δt деталь с неявно выраженной асимметрией торцов, запавшая в неправильном положении, практически полностью погружается в гнездо, что делает невозможным ее удаление из гнезда.

Поэтому величина зазора по шагу Δt для захвата деталей с неявно выраженной асимметрией должна быть значительно меньше рекомендуемой. Однако чем меньше Δt, тем ниже вероятность захвата деталей и, как следствие, коэффициент выдачи и производительность БЗУ.

Так как в предложенном БЗУ захватный орган (гнездо) служит исключительно для захвата деталей, то с целью повышения вероятности захвата детали гнездом целесообразно увеличение зазора по шагу в 1,5...2 раза. Это приведет к увеличению коэффициента выдачи и производительности БЗУ.

Для выявления закономерностей взаимосвязанного влияния параметров загружаемых деталей и предложенного БЗУ на его производительность был проведен анализ известных научных работ, наиболее близких к исследуемой области и посвященных изучению процессов захвата асимметричных цилиндрических деталей механическими дисковыми БЗУ.

Исторически сложились два направления описания производительности БЗУ на основе аналитических моделей.

Первое направление использует модели, которые базируются на принципах и методах классической механики. Это направление широко представлено в работах В.Ф. Прейса [3], посвященных исследованию дисковых, крючковых и других типов механических БЗУ. На основе экспериментальных исследований 16 конструкций механических БЗУ были получены эмпирические зависимости коэффициента выдачи и производительности БЗУ от окружной скорости захватных органов. Коэффициент выдачи БЗУ находят по формуле

$$\eta = \eta_{max}(1 - \varepsilon v^4), \qquad (1)$$

где η_{max} – наибольшая величина коэффициента выдачи, соответствующая малым окружным скоростям гнезда;

ε – коэффициент, полученный экспериментальным путем.

Адекватность зависимости (1) подтверждена рядом экспериментальных исследований. Значения коэффициентов η_{max}, ε получены экспериментально для конкретных БЗУ и загружаемых деталей. При проектировании же БЗУ новых конструкций или того же типа, но с другими размерами для загрузки деталей с иными параметрами достоверное определение

коэффициента выдачи на основе зависимости (1) невозможно.

Рассмотренные модели позволяют получить точное математическое описание процесса движения одной детали внутри БЗУ и не учитывают случайного воздействия на движущуюся деталь со стороны других деталей, что является определяющим в процессе захвата.

Второе направление, основоположником которого является М.В. Медвидь [4], связано с использованием моделей, основанных на понятиях теории вероятности и математической статистики. Разработанная модель описывает процесс захвата деталей и учитывает влияние геометрической формы и сцепляемости загружаемых деталей, геометрических параметров и окружной скорости захватных органов на вероятность захвата деталей и производительность БЗУ.

Коэффициент выдачи для БЗУ, в которых детали, захваченные в неправильном положении, выбрасываются обратно в бункер, выражен зависимостью:

$$\eta = p_{ip} p_{\text{v}} p_c, \qquad (2)$$

где $p_{ip} = p_k p_l p_m$ – вероятность нахождения детали на пути захватного органа в положении, благоприятном для захвата;

p_k – вероятность того, что деталь ляжет на поверхность диска требуемой гранью;

p_l – вероятность поворота требуемой частью детали к гнезду;

p_m – вероятность отсутствия помех в осуществлении перехода;

p_{v} – вероятность того, что захвату детали не помешает слишком высокая окружная скорость гнезда, или скоростной коэффициент;

p_c – вероятность того, что захвату не помешает слишком высокая взаимосцепляемость деталей.

Скоростной коэффициент p_{v} в работах М.В. Медвидя выражается противоречиво и неадекватно описывает влияние окружной скорости гнезда на коэффициент выдачи и производительность БЗУ. Другие коэффициенты, входящие в выражение (2) и описываемые аналитически, позволяют оценить влияние геометрических и физико-механических параметров детали, конструктивных параметров БЗУ, других деталей на процесс захвата и производительность БЗУ.

При исследовании производительности БЗУ необходимо применять комплексный подход, базирующийся на использовании всех видов моделей, что даст возможность получения корректных и адекватных результатов. Аналитические модели на основе классической механики целесообразно использовать для оценки граничных значений параметров БЗУ, обеспечивающих благоприятные условия для захвата деталей, а аналитические модели на основе теории вероятностей в совокупности с эмпирическими моделями – для описания производительности БЗУ.

В соответствии с вышеизложенным строим аналитическую модель производительности БЗУ с радиальными гнездами и кольцевым ориентатором, базирующуюся на эмпирической модели производительности механических БЗУ В.Ф. Прейса:

$$\Pi_{\text{БЗУ}} = 60 \frac{\text{v}}{t} \eta (1 - \varepsilon \text{v}^4), \qquad (3)$$

где v, t – окружная скорость и шаг захватных органов соответственно;

η определяется по выражению (1).

В отличие от подхода, при котором значение $\eta_{\max}$ определяли экспериментально, предложено его аналитическое описание:

$$\eta_{\max} = [1 - (1 - p_{ip\max})^n (1 - p_{ip\min})^k] p_c, \qquad (4)$$

где аналитические выражения "условных" вероятностей p_c, $p_{ip\max}$ и $p_{ip\min}$ определены на основе подхода [4];

для вычисления k предложено выражение

$$k = \frac{\pi D \varphi_3}{90 d_1}; \qquad (5)$$

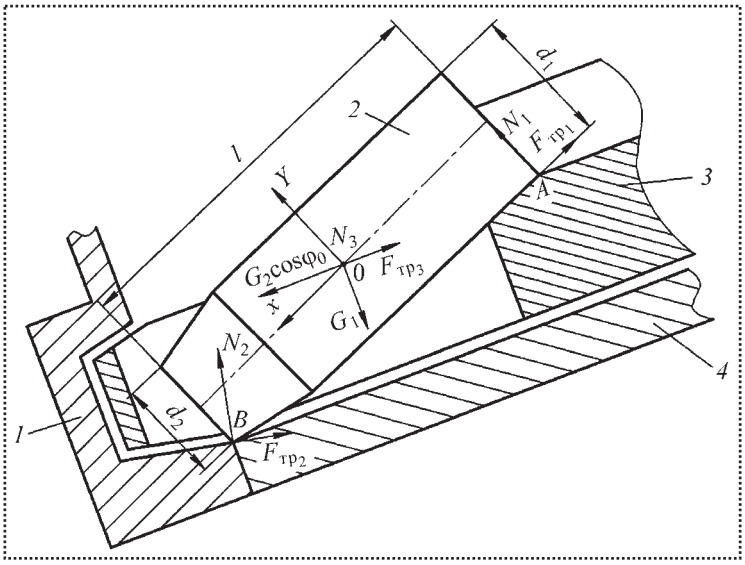


Рис. 3. Расчетная схема к определению граничного значения угла φ_0:
1 – кольцевой ориентатор; *2* – деталь; *3* – вращающийся диск; *4* – неподвижное основание

n – количество деталей, которое может разместиться на свободном от деталей участке нижней части бункера БЗУ;

φ_3 – угол, определяющий зону захвата деталей:

$$\varphi_3 = 2\varphi_0; \qquad (6)$$

φ_0 – угол, при котором начинается захват деталей [2].

Граничное значение угла φ_0 определяется из условия статического равновесия предмета обработки в гнезде (рис. 3) по выражению

$$\varphi_0 = \arcsin\frac{-\mu F + \sqrt{X^2(1+\mu^2) - F^2}}{X(1+\mu^2)}, \qquad (7)$$

где $F = \dfrac{l_{G_{1B}}C + l_{G_{1A}}E - \sin 2\beta}{\mathrm{tg}\alpha_{\text{бун}}}$;

$$E = \frac{\sin 3\beta + \mu\cos 3\beta}{l_{N_{2A}} - \mu l_{F_{\text{тр}2A}}};$$

$$C = \frac{\mu}{l_{N_{1B}} + \mu l_{F_{\text{тр}1B}}};$$

$l_{G_{1A}}, l_{G_{1B}}$ – плечи составляющей силы тяжести G_1 относительно опор *A* и *B*;

$l_{F_{\text{тр}1B}}$, $l_{N_{1B}}$ – плечи силы трения $F_{\text{тр}_1}$ и силы нормальной реакции N_1 относительно точки *B*;

$l_{F_{\text{тр}2A}}$, $l_{N_{2A}}$ – плечи силы трения $F_{\text{тр}_2}$ и силы нормальной реакции N_2 относительно точки *A*;

$$X = l_{G_{2B}}C + l_{G_{2A}}E + \cos 2\beta;$$

$l_{G_{2A}}, l_{G_{2B}}$ – плечи составляющей силы тяжести G_2 относительно опор *A* и *B*.

В табл. 1 представлены значения угла φ_0 для деталей с различными отношениями длины *l* и диаметра d_1 цилиндрического торца при наиболее часто встречающихся в машиностроении значениях коэффициента трения μ детали об элементы конструкции БЗУ.

Аналитическое выражение для коэффициента ε было найдено из следующих соображений. Из (3) следует, что при $П_{БЗУ} = 0$ получим $\varepsilon = v_{max}^{-4}$. Приняв гипотезу, что вероятность захвата детали равна нулю, когда величина кинетической энергии, сообщенной ей движущимся гнездом, достаточна для выброса из него детали, нашли аналитическое выражение для максимальной окружной скорости гнезда

Таблица 1

Значения угла φ_0 для деталей с различными отношениями l/d_1 и коэффициентами трения μ

l/d_1	Угол φ_0, град						
	μ = 0,30	μ = 0,35	μ = 0,40	μ = 0,45	μ = 0,50	μ = 0,55	μ = 0,60
2	45,52	37,71	29,47	20,55	10,45	0	0
3	54,61	48,48	42,39	36,32	30,23	24,08	17,81
4	57,20	51,55	46,02	40,60	35,29	30,08	24,96

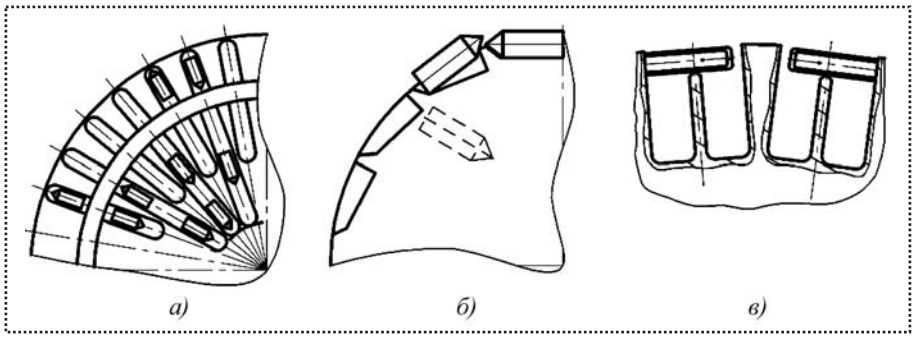


Рис. 4. Схемы механических дисковых БЗУ:
а – с радиальными профильными гнездами;
б – с тангенциальными гнездами по форме детали;
в – карманчиковое наклонное

$$v_{max} = \sqrt{d_1 g + 0{,}4g(h_р + 2\Delta t) - 0{,}2g\sqrt{5d_1^2 - 4(\Delta t - 2h_р)^2}},$$

где g – ускорение свободного падения;

$h_р$ – высота радиального паза.

Тогда

$$\varepsilon = v_{max}^{-4} = (d_1 g + 0{,}4g(h_р + 2\Delta t) - 0{,}2g\sqrt{5d_1^2 - 4(\Delta t - 2h_р)^2})^{-2}. \quad (8)$$

Аналитическая модель производительности БЗУ представлена выражениями (3) – (8). Верификация разработанной аналитической модели производительности БЗУ с радиальными гнездами и кольцевым ориентатором проведена с использованием результатов экспериментальных исследований [3] трех типов механических дисковых БЗУ:

I тип: с радиальными профильными гнездами (рис. 4, *а*);

II тип: с тангенциальными гнездами по форме детали (рис. 4, *б*);

III тип: карманчиковое наклонное (рис. 4, *в*).

Для оценки адекватности аналитического выражения, описывающего коэффициент η_{max}, на основе работы [4] и выражения (5) для каждого типа БЗУ определено значение η_{max}, соответствующее малым окружным скоростям гнезда.

Для нахождения коэффициента ε определили окружную скорость, при которой производительность БЗУ равна нулю. Выражения, описывающие v_{max} в зависимости от параметров БЗУ и загружаемых деталей, получены с учетом рекомендаций для расчета на удар [3]:

I тип БЗУ:

$$v_{max} = \sqrt{d_1 g + 0{,}4g(h_p + 2\Delta t) - 0{,}2g\sqrt{5d_1^2 - 4(\Delta t - 2h_p)^2}};$$

II тип БЗУ:

$$v_{max} = \frac{2g\sin\alpha_{бун}\Delta t}{\sqrt{12g\Delta t\sin\alpha_{бун}}};$$

III тип БЗУ:

$$v_{max} = \sqrt{g(d + 0{,}8\Delta t) + g\sqrt{0{,}04(4\Delta t + 5d)^2 - 0{,}8(\Delta t + d)^2}},$$

где d – диаметр цилиндрической детали в форме колпачка.

Тогда с учетом выражения (8), по которому $\varepsilon = v_{max}^{-4}$, для каждого типа БЗУ аналитически определяем коэффициент ε.

Значения коэффициентов η_{max}, ε и максимальной окружной скорости v_{max} гнезда, найденных авторами на основе предложенных аналитических выражений, а также полученные путем аппроксимации экспериментальных данных [3], сведены в табл. 2.

Подставив коэффициенты из табл. 2 в выражение (3), получили аналитические модели производительности для каждого типа БЗУ. В табл. 3 представлены графики зависимости η(v) и $П_{БЗУ}(v)$, построенные по экспериментальным данным [3] и на основе разработанной аналитической модели.

Таблица 2

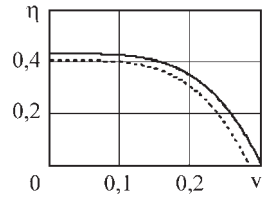
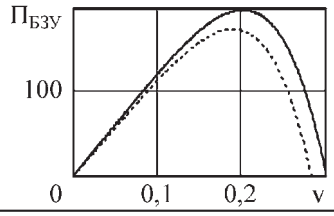
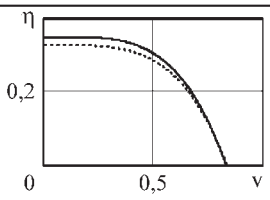
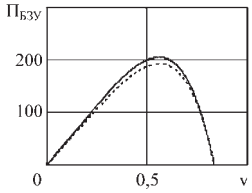
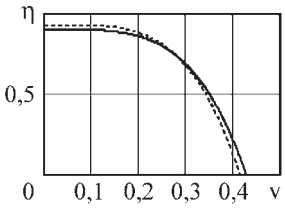
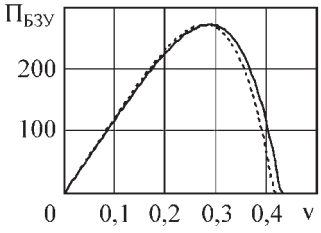
Результаты верификации предложенной аналитической модели производительности БЗУ с использованием результатов экспериментальных исследований

Тип БЗУ	Параметры БЗУ и загружаемых деталей	Экспериментальные значения [3]			Аналитические значения (по предложенной модели)		
		η_{max}	v_{max}	ε	η_{max}	v_{max}	ε
I	$\alpha_{бун} = 45°$; $D = 0{,}35$ м; 60 гнезд; $l = 0{,}035$ м; $d_1 = 0{,}008$ м	0,430	0,300	17,1	0,404	0,282	63,73
II	$\alpha_{бун} = 70°$; $D = 0{,}26$ м; 20 гнезд; $l = 0{,}035$ м; $d_1 = 0{,}008$ м	0,350	0,885	0,34	0,327	0,834	0,676
III	$\alpha_{бун} = 45°$; $D = 0{,}52$ м; 52 гнезда; $l = 0{,}040$ м; $d = 0{,}010$ м	0,900	0,425	27,2	0,928	0,413	31,9

Как видно из табл. 3, графики теоретических и экспериментальных зависимостей $\eta(v)$ и $П_{БЗУ}(v)$ для всех типов БЗУ практически совпадают. Поэтому можно предположить, что и для БЗУ с радиальными гнездами и кольцевым ориентатором разработанная аналитическая

Таблица 3

Сравнительные графики экспериментальных [3] (—) и теоретических по предложенному аналитическому подходу (-----) зависимостей коэффициента выдачи и производительности трех типов БЗУ от окружной скорости гнезда

Тип БЗУ	$\eta(v)$	$П_{БЗУ}(v)$
I		
II		
III		

модель адекватно и корректно учитывает вероятностный характер процесса захвата деталей и описывает закономерность изменения производительности БЗУ в зависимости от его основных кинематических и конструктивных параметров и параметров, характеризующих деталь.

Приведем пример построения аналитической модели производительности БЗУ для рассмотренных ранее детали и БЗУ, сначала варьируя значениями коэффициента трения ($\mu = 0{,}3$, $\mu = 0{,}4$ и $\mu = 0{,}5$) и принимая $\Delta t = 0{,}1d_1$, а затем – величинами зазора по шагу ($\Delta t = 0{,}15d_1$ и $\Delta t = 0{,}2d_1$), принимая $\mu = 0{,}5$.

На основе работы [4] определяем вероятности p_c, $p_{i_{p\max}}$ и $p_{i_{p\min}}$ по выражениям:

$$p_c = 1 - \frac{\operatorname{arctg}\mu}{\pi}\,\frac{0{,}9 + 1{,}4\dfrac{l}{d_1}}{1 + 2\dfrac{l}{d_1}};$$

$$p_{i_{p\min}} = p_k\,\frac{1}{\pi}\left(\arcsin\frac{d_1 + \Delta t}{\sqrt{l_1^2 + d_1^2}} - \operatorname{arctg}\frac{d_1}{l_1}\right);$$

$$p_{i_{p\max}} = \frac{p_k}{\pi}\times$$
$$\times\left(\arccos\frac{l_1 - x_{цм}}{\sqrt{(l_1 - x_{цм})^2 + 0{,}25d_1^2}} - \arcsin\frac{\mu}{\operatorname{tg}\alpha_{бун}}\right),$$

где $p_k = \dfrac{x_{цм}}{\sqrt{d_1^2 + 4x_{цм}^2}} + \dfrac{l - x_{цм}}{\sqrt{d_2^2 + 4(l - x_{цм})^2}}$;

$x_{цм}$ – координата центра масс детали ($x_{цм} \approx 0{,}5d_1$).

Из табл. 1 находим φ_0 и по формулам (5) – (7) определяем φ_3 и k, а затем, принимая $n = 3$, из выражения (4) получаем $\eta_{\max}$, а из (8) – ε.

По результатам компьютерного моделирования были построены графики зависимостей коэффициента выдачи и производительности БЗУ от окружной скорости захватных органов при различных значениях коэффициента трения (рис. 5, *а*) и величинах зазора по шагу (рис. 5, *б*).

При построении графиков учтена предельная окружная скорость гнезда $v_{пред}$, при которой возможно ориентирование детали. При этом из аналитической модели процесса ориентирования [2] получено, что для детали с определенными геометрическими параметрами при различных значениях коэффициента трения $v_{пред} = \text{const}$.

Графики показывают, что производительность БЗУ по захвату деталей достигает максимальных значений $П_{БЗУmax} = 70...150$ шт./мин в диапазоне окружных скоростей гнезда 0,19...0,21 м/с, что не превышает рассчитанного ранее значения предельной скорости 0,276 м/с [2], при которой возможно ориентирование деталей.

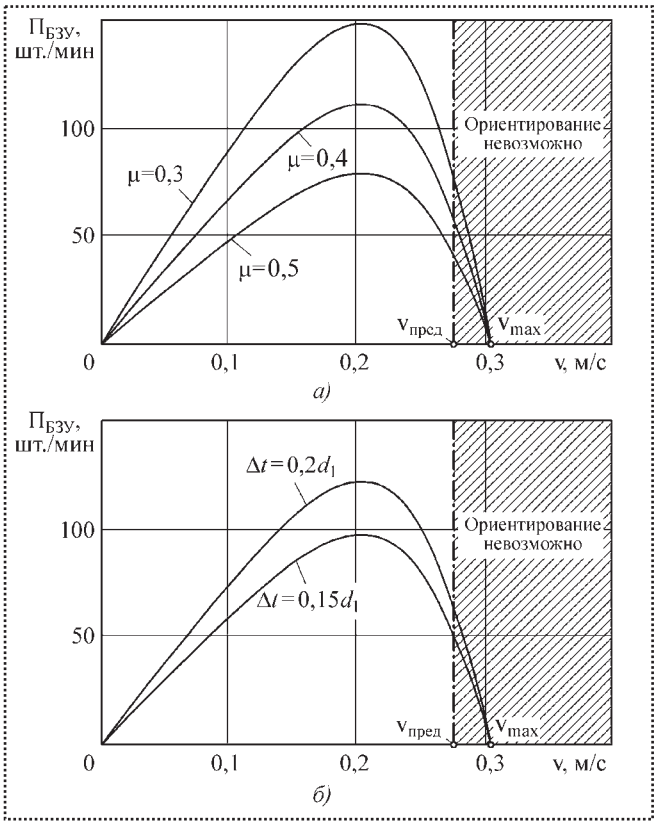


Рис. 5. Результаты аналитического исследования производительности БЗУ с радиальными гнездами и кольцевым ориентатором при различных значениях коэффициента трения μ (*а*) и величинах зазора по шагу Δ*t* (*б*)

На основе разработанной аналитической модели производительности БЗУ выявлено, что при меньших значениях коэффициента трения производительность БЗУ более высокая (см. рис. 5, *а*). С увеличением величины зазора по шагу в 1,5...2 раза производительность БЗУ также возрастает, достигая 150 шт./мин (см. рис. 5, *б*).

Проведенные исследования показали, что разработанная аналитическая модель производительности БЗУ с радиальными гнездами и кольцевым ориентатором с достаточной для практики точностью (10...15 %) позволяет выбрать оптимальные параметры и режимы работы БЗУ при загрузке деталей в оборудование для сборки с требуемой производительностью.

Библиографический список

1. **Давыдова Е.В., Прейс В.В.** Бункерное загрузочное устройство для деталей с неявно выраженной асимметрией торцов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2007. № 9. С. 28–33.
2. **Давыдова Е.В., Прейс В.В.** Аналитическая модель процесса ориентирования деталей с неявно выраженной асимметрией торцов в бункерном загрузочном устройстве // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2009. № 9. С. 33–37.
3. **Автоматизация** загрузки прессов штучными заготовками / В.Ф. Прейс [и др.]; под ред. В.Ф. Прейса. – М.: Машиностроение, 1975. 280 с.
4. **Медвидь М.В.** Автоматические ориентирующие загрузочные устройства. – М.: МАШГИЗ, 1963. 299 с.

Московский государственный университет "МАМИ"
приглашает принять участие
в работе научно-технического семинара
"ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНОСБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА",
посвященного 70-летию кафедры "Технология машиностроения"
и 110-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР,
лауреата Государственной премии СССР, профессора, д-ра техн. наук Ф.С. Демьянюка.

Семинар будет проходить в МГТУ "МАМИ"
3 декабря 2009 года.

Тематика семинара:

- Технологии механической обработки и сборки машин.
- Автоматизация производственных процессов.
- Электрохимические и электрофизические технологии обработки.

Информационный спонсор – журнал "Сборка в машиностроении, приборостроении"

НАШ АДРЕС: ***107023, Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38,***
кафедра "Технология машиностроения"
Тел.: ***(495) 223-05-23,*** **доб. 1068**
Зинина Инна Николаевна.
E-mail: zin_ina@mail.ru
Факс: ***(495) 223-05-27.***

УДК 621.791.72 + 669.71

В.И. Кулик, *канд. техн. наук,* **Н.И. Созонович, А.В. Гудков, А.М. Ильинский**
(НПО "Техномаш", 127018, Москва, 3-й пр. Марьиной Рощи, д. 40,
сл. тел.: 8(495) 689-9700)
E-mail: technomash@mtu-net.ru

Особенности электронно-лучевой сварки деталей из перспективных алюминиевых сплавов, легированных литием и скандием

Освещены особенности электронно-лучевой сварки перспективных сплавов, легированных литием и скандием. Рассмотрено влияние параметров режимов сварки на качество сварных соединений. Даны рекомендации по технологии сварки и применению новых сплавов.

This article was devoted the features in electronic-beam welding method for parts made of perspective Aluminum–Lithium–Scandium alloys. An influence of welding parameters on welding joint area quality was considered. Also authors recommended some features and solutions of the welding technology and field of application of the new alloys.

Ключевые слова: литий, скандий, электронно-лучевая сварка, качество сварных соединений.

Key words: lithium, scandium, electronic-beam welding, welding joint quality.

В конструкциях топливных баков ракетно-космической техники широко применяют сплавы на основе алюминия, особенно АМг6 и 1201, обладающие хорошей свариваемостью, достаточной прочностью (450...480 МПа) при повышенных температурах, работоспособностью в условиях глубокого холода и стойкостью против коррозионного растрескивания.

В настоящее время перспективными являются сплавы 01460 и 01570 с добавлением скандия, которые по прочностным показателям превосходят на 40...50 МПа известные сплавы АМг6 и 1201 и могут быть рекомендованы для изготовления сварных конструкций [1, 2]. Проведенные исследования показывают, что применение новых сплавов позволяет снизить массу топливных баков на 15...20 % за счет уменьшения толщины обечаек.

Цель данной работы – исследование особенностей процесса электронно-лучевой сварки сплавов 01460 и 01570.

Режимы сварки подбирали на стандартных образцах толщиной 10 мм из этих сплавов проплавлением их по основному металлу на весу. Исходные параметры режима:

- скорость сварки – 30 и 60 м/ч;
- ускоряющее напряжение – 27 кВ,

к которым экспериментальным путем подобраны другие основные параметры:

- ток луча;
- коррекция тока фокусировки в рабочем режиме.

Критериями выбора оптимального режима служили показатели качества и формирования геометрических размеров шва: минимальное занижение, ширина шва в пределах 4...6 мм, высота проплава до 2 мм и отсутствие поверхностных дефектов в шве при визуальном контроле с использованием лупы четырехкратного увеличения.

Анализ качества сварных соединений показал, что оптимальная скорость сварки 60 м/ч, так как при пониженных скоростях снижается коэффициент формы шва и увеличивается занижение. Дальнейшие исследования проводили только на этой скорости.

Необходимо отметить особенность электронно-лучевой сварки сплава 01460, содержа-

щего литий, – малиновый цвет свечения электронного луча в процессе сварки (при сварке сплавов АМг6, 1201, 01570 цвет луча бирюзовый) и более интенсивное испарение из сварочной ванны, которое является причиной повышенной пористости [3, 4]. Механизм ее образования обусловлен захлопыванием паров в жидкой ванне. Поры, как правило, круглые с блестящей внутренней поверхностью, как видно на продольных и поперечных темплетах образцов.

Повышенное испарение при электронно-лучевой сварке сплава 01460 обусловило необходимость повышения тока накала сварочной пушки, в противном случае происходит "отравление" катода парами лития и снижение тока луча непосредственно во время сварки. На режимах, приведенных в табл. 1, сварены стыковые контрольные образцы № 1–4 из сплава 01460 и № 1А–4А из сплава 01570.

После остывания часть образцов была подвергнута одной подварке, а другая часть – двум подваркам со сквозным проплавлением. Перед сваркой и после сварки каждого прохода измеряли длину и ширину образцов в трех сечениях в продольном и поперечном направлениях. Продольная и поперечная усадка образцов после сварки составляет 0,20...0,25 мм, после сварки и одной подварки – 0,3...0,4 мм, после сварки и двух подварок – 0,5 мм.

После сварки все образцы были подвергнуты визуальному контролю, рентгенопросвечиванию, ультразвуковому контролю, испытаниям на герметичность, а также металлографическим исследованиям качества сварных швов и механическим испытаниям сварных соединений по ГОСТ 6996–66*. Механические свойства сварных соединений приведены в табл. 2. Испытывали образцы без снятия проплава. Разрушение происходило во всех случаях по околошовной зоне.

При подварке электронным лучом со сквозным проплавлением ширина шва не увеличивается, а прочность сварных соединений снижается максимум на 10...15 %, что объясняется

Таблица 1

Режимы сварки стыковых образцов

№ образца	Материал / схема сварки	Ток луча, мА
1	01460 / на весу	130–140
2	01460 / на весу	130–140
3	01460 / на весу	130–140
4	01460 / на подкладке	170–180
1А	01570 / на весу	120–130
2А	01570 / на весу	120–130
3А	01570 / на весу	120–130
4А	01570 / на подкладке	160–170

Примечания: скорость сварки – 60 м/ч; ускоряющее напряжение – 27 кВ; фокус расположен на поверхности образцов.

повторным испарением легирующих элементов из сварочной ванны. Этот эффект проявляется в большей степени на сплаве 01460, содержащем литий.

Зону разупрочнения идентифицировали по замеру твердости темплета с поперечным сечением шва на установке "Супер-Роквелл" при нагрузке 30 кгс. Для сплава 01570 и 01460 ширина зоны разупрочнения составляет 3,0...3,5 мм от линии сплавления (6...7 мм от центра шва на сторону).

Керосиновая проба показала герметичность всех образцов сварных соединений для обоих исследуемых сплавов, рентгеноконтроль – отсутствие дефектов, в частности, пористости, в швах сплава 01570 и единичные поры диаметром менее 1 мм в швах сплава 01460. Повышенная пористость наблюдалась в швах сплава 01460, выполненных на подкладке (без сквозного проплавления), что объясняется худши-

Таблица 2

Механические свойства сварных соединений

№ образца, сплав	Предел прочности, МПа	Ударная вязкость KCV, Дж/см^2		Коэффициент прочности
		по шву	по линии сплавления	
1	405	14	8,3	0,72
1А	426	34	27,5	0,96
2	364	12	7,8	0,65
2А	407	33,6	27,0	0,92
3	342	13	6,7	0,61
3А	396	33,8	27,3	0,89
4	398	14	8,5	0,71
4А	416	33,0	26,8	0,94
1201	310	–	–	До 0,7
АМг6	318	–	–	До 0,95

Примечание. Приведены средние данные по результатам испытаний трех образцов при температуре 20 °С. Данные по сплавам 1201 и АМг6 приведены для сравнения.

ми условиями для выхода паров металла из канала проплавления по сравнению со сваркой на весу. Дополнительно проводили послойный анализ продольных сечений сварных швов через 0,4...0,5 мм на наличие пористости. Выявлено, что отдельные поры диаметром до 1 мм обнаружены только на участках сварных швов со значительным (чрезмерным) объемом расплавленного металла в начале и в перекрытии шва.

Сплошная пористость наблюдается в изломах прихваточных швов образцов из сплава 01460. Естественно, такую пористость трудно устранить основным проходом при сварке по прихваткам или по прихваточному шву (при сварке кольцевых швов всегда имеют место условия "прихваточного" эффекта, например, при вводе мощности электронного пучка в начале шва). Таким образом, сплав 01460 больше, чем 01570, склонен к пористости, хотя в сварных швах, выполненных при установившемся процессе электронно-лучевой сварки, пористости в швах не обнаружено.

Отмечена склонность сплава системы Al–Cu–Li, аналога 01460, к трещинообразованию при повторной плазменной сварке (подварке) подвесных баков транспортной ракеты. Поэтому ремонт сварных швов указанной системы проводят с использованием пробочных соединений, выполненных сваркой трением, т.е. в пластическом состоянии металла.

В настоящих исследованиях с использованием плоских образцов такой склонности к трещинообразованию не установлено. Это может быть объяснено несколькими причинами. Во-первых, при электронно-лучевой сварке в 3–5 раз меньше объем расплавленного металла, чем при плазменной и дуговой сварке и, следовательно, меньше силовой фактор. Во-вторых, сварной образец является простейшей конструкцией, и указанный выше силовой фактор в ней (внутренние напряжения и деформации) минимален по сравнению с реальным баком.

Поэтому склонность к трещинообразованию сварных швов сплава 01460 необходимо дополнительно проверить на реальных элементах емкости (повышенная склонность к пористости установлена и на образцах). Теоретически и практически сплав 01570, отличающийся от АМг6 по химическому составу только дополнительным легирующим элементом – скандием, по технологическим факторам идентичен АМг6, о чем получены фактические данные. При этом механические свойства сварных соединений сплава 01570 в неупрочненном состоянии выше, чем у сплава АМг6, в частности, по прочности – на 18–20 %, ударной вязкости – на 50–60 %.

Сравнение сплавов 01570 и 01460 показывает преимущество первого для сварных конструкций ракетно-космической техники. Сварные соединения из этого сплава при незначительно большем пределе прочности имеют большую на 250–350 % ударную вязкость (при этом последний параметр имеет первостепенное значение в обеспечении работоспособности и надежности сварных конструкций).

Выводы

Коэффициент прочности сварных соединений, выполненных электронно-лучевой сваркой, дос-

тигает значения 0,7 для сплава 01460 и 0,96 – для сплава 01570.

Подварки электронным лучом незначительно (на 10–15 %) снижают прочность и пластичность сварных соединений для каждого из исследуемых сплавов. При этом склонности к трещинообразованию не обнаружено.

В целях исключения пористости сварных соединений сварку следует проводить со сквозным проплавлением и на повышенных скоростях (более 40 м/ч).

Сплав 01570, по технологическим факторам близкий к широко применяемому сплаву АМг6, но превосходящий его по механическим свойствам, рекомендуется к использованию в перспективных изделиях ракетно-космической техники, детали и сборочные единицы которых сваривают-ся электронно-лучевой сваркой.

Сплав 01460 склонен к пористости при электронно-лучевой сварке, особенно в местах прихваток, начале и окончании шва. Вопрос применения этого сплава в качестве материала топливных баков изделий ракетно-космической техники, свариваемых электронно-лучевой сваркой, требует дополнительной проверки на реальных элементах конструкций.

Библиографический список

1. **Давыдов В.Г., Елагин В.И., Захаров В.В., Ростова Т.Д.** О легировании алюминиевых сплавов добавками скандия и циркония. // МиТОМ. – 1996. № 8. С. 25–30.

2. **Фридляндер И.И., Дриц А.М., Крымова Т.В.** Возможность создания свариваемых сплавов на основе системы Al–Cu–Li // Технология легких сплавов. – 1991. № 3. С. 5–8.

3. **Свариваемость** алюминиевого сплава 01420 аргонодуговым и электронно-лучевым способами / В.Н. Мироненко и др. // Сварочное производство. – 1977. № 10, С. 23–25.

4. **Friction** pluq weld repair of space shuttle external tank // Welding & Metal Fabrication. September 2000. P. 6–8.

УДК 621.798.34

Л.А. Рабинович, *канд. техн. наук, доцент кафедры АПП,* **Е.С. Брискин,** *д-р физ.-мат. наук, зав. кафедрой Теоретической механики,* **А.М. Макаров,** *магистр, аспирант кафедры АПП (Волгоградский государственный технический университет, 400131, Волгоград, пр. Ленина, д. 28. Тел.: (8442)248443)*
E-mail: app@vstu.ru, dtm@vstu.ru, amm34@mail.ru

Автоматизация подачи мешков из ткани на рабочие позиции фасовочного оборудования

Разработана и исследована конструкция рычажно-шарнирного устройства для захвата, автоматического раскрытия и удержания мешков в процессе их затаривания сыпучим продуктом. Предложенная конструкция позволяет автоматизировать процесс захвата мешка из стопы и подачи его под загрузочный патрубок. Получено уравнение кривой провисания нижней части горловины мешка, на основе которого рассчитаны основные параметры устройства.

Designed and researched the construction arm swing capture device to capture the automatic disclosure and retention of bags in their download bulk products. This construction allows automating the process of capture of the bag from the foot and the boot under his sleeve. Equations curve sagging bottom of the bag and the neck, on which basis proposed the calculating it's main parameters.

Ключевые слова: мешок, сыпучий продукт, расфасовка, автоматизация.

Key words: bag, bulk product, packaging, automation.

При расфасовке сыпучего продукта в пищевой, химической и других отраслях промышленности наименее автоматизирован процесс загрузки продукта в нежесткую тару [1] – мешки из различных материалов. Цикл процесса загрузки состоит из отделения мешка от стопы, захвата за непрошитую сторону, раскрытия горловины, подачи мешка под раструб загрузочного устройства, снятия с раструба, растягивания горловины в линию для прошивки.

Для автоматизации этого процесса предложено захватное устройство (рис. 1) на основе многозвенного рычажно-шарнирного механизма (РШМ), способное раскрыть, а после заполнения продуктом растянуть непрошитую горловину мешка в линию для последующей прошивки.

Захватное устройство кроме РШМ *1* содержит пневмопривод *2* линейного перемещения, который действует на РШМ, изменяя его состояние. В раскрытом РШМ звенья образуют выпуклый многоугольник (близкий к равностороннему), стороны которого попарно связаны друг с другом шарнирами. Приводное звено *4* соединено со штоком пневмоцилиндра *14*, изменяющего состояние захвата: раскрыт, закрыт. Боковые рычаги *3* и *5* посредством расположенных в их средней части дополнительных шарниров установлены на кронштейнах корпуса *13*, относительно осей которых они поворачиваются при линейном перемещении звена *4*. В направлении осей шарниров, соединяющих звенья, установлены цилиндрические пальцы *7–12*, которые удерживают мешок. Оператор надевает вручную на сложенный захват мешок, который растягивается под действием пружин *6* сжатия пальцами, перемещающимися вдоль звеньев, в которых установлен шарнир (рис. 2). Размещение шарниров в пазах звеньев с поджатыми пружинами исключает заклинивание при раскрытии захвата.

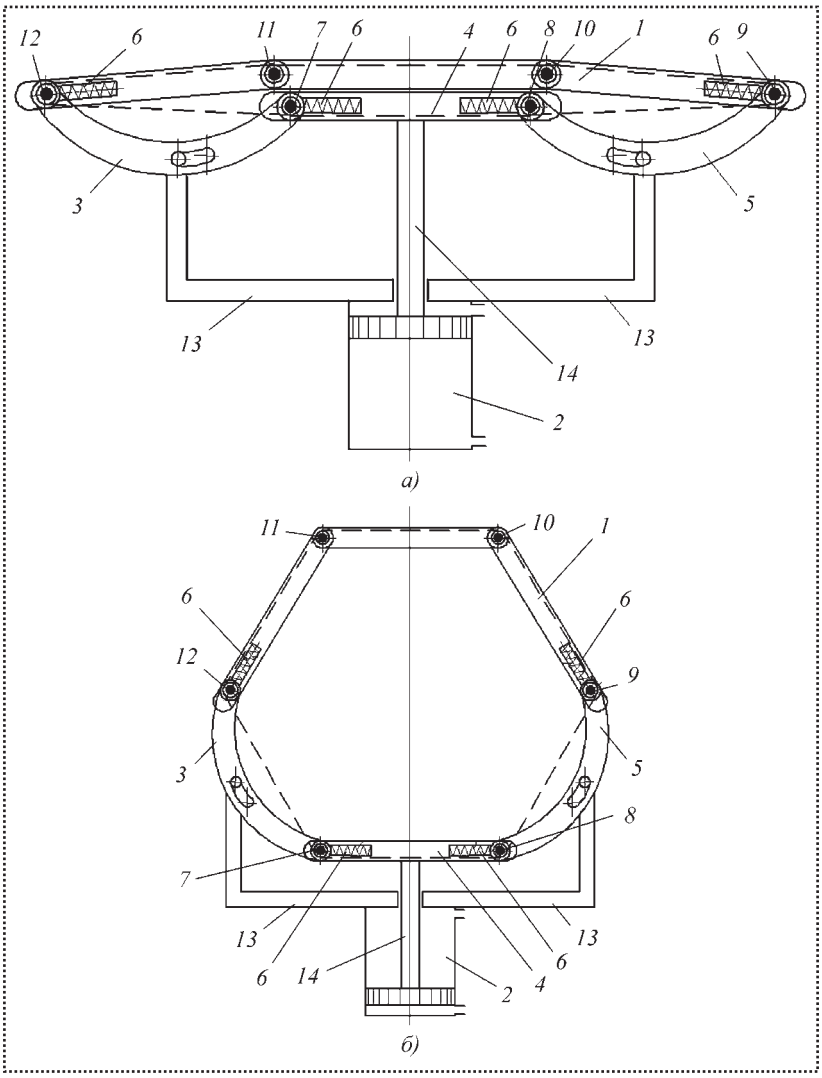


Рис. 1. Рычажно-шарнирное захватное устройство в двух положениях:
а – в закрытом, с надетым на пальцы мешком (показан пунктиром); *б* – в раскрытом

Согласно схеме расчета (рис. 3) определим длины *a* рычагов механизма и расстояния *H*, на которое необходимо переместить приводное звено для полного раскрытия мешка. Найти их можно исходя из конкретного наибольшего значения длины *L* окружности горловины мешка (с учетом допуска на этот размер), диаметра *d* осевых пальцев и ширины *h* рычагов.

Длину *L* окружности горловины мешка, растянутого на пальцах РШМ, для любого из положений вычисляют по выражению:

$$L = 3a + 2(a - \Delta) + a - 2\Delta + \pi d, \qquad (1)$$

где *a* – расстояние между осями пальцев звена без надетого мешка;

Δ – величина сжатия пружины в пазу звена при надевании мешка на пальцы РШМ;

d – диаметр пальцев, удерживающих мешок (задается конструктивно).

Тогда

$$a = \frac{1}{6}(L + 4\Delta - \pi d). \qquad (2)$$

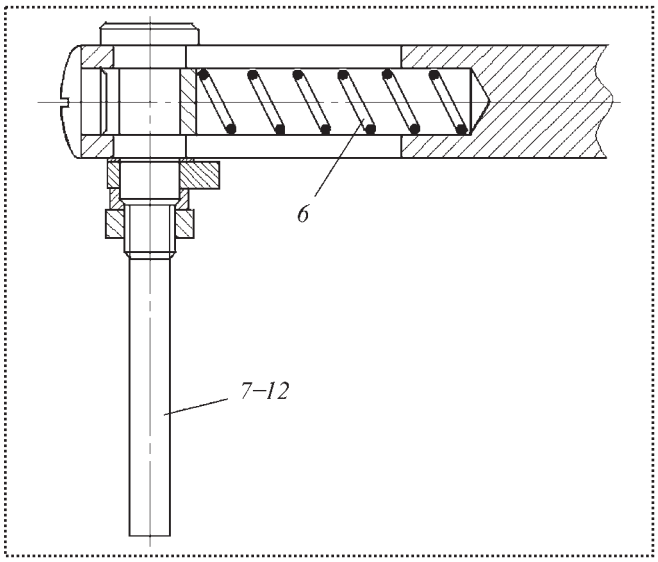


Рис. 2. Устройство подпружиненного шарнира (номера позиций соответствуют рис. 1)

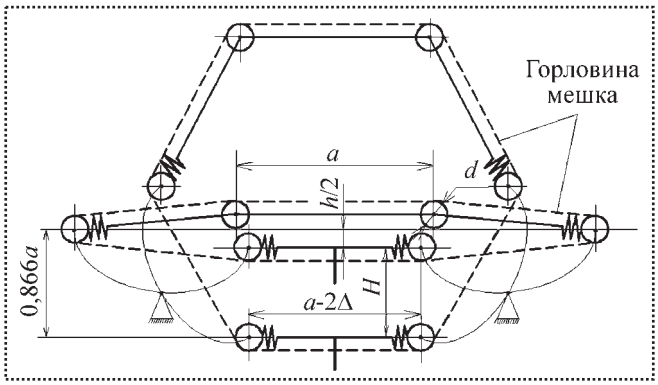


Рис. 3. РШМ в закрытом и открытом положениях

Величину Δ и параметры пружин *6* задают исходя из силы сжатия, достаточной для удержания пустого мешка на пальцах РШМ.

Пружины *6* шарниров рычага *4* (см. рис. 1) предотвращают заклинивание при перемещении механизма из одного конечного положения в другое. При этом их сжатие компенсируют пружины рычагов *3* и *5*, обеспечивающих натяжение горловины мешка и, соответственно, не допускающих его соскальзывания в натянутом положении. Для этого величина сжатия Δ пружин шарниров рычага *4* должна превышать сжатие пружин шарниров рычагов *3* и *5* на величину, большую допуска на размер $L/2$ ширины мешка.

Ход H поршня пневмоцилиндра определяют из условия, что в раскрытом положении (поршень втянут) многоугольник РШМ наиболее близок к равностороннему. Тогда, согласно схеме на рис. 3,

$$H = \frac{a\sqrt{3}}{2} - \frac{h}{2},$$

где параметр h задается конструктивно исходя из диаметров шарниров и пружин сжатия.

Для определения положения осей дополнительных шарниров, относительно которых при раскрытии РШМ поворачиваются криволинейные рычаги *3* и *5*, рассмотрим схему (рис. 4), где показано положение шарниров *7* и *12* рычага *3* в точках A и B (РШМ сложен) и A_1 и B_1 (РШМ раскрыт). Ось дополнительного

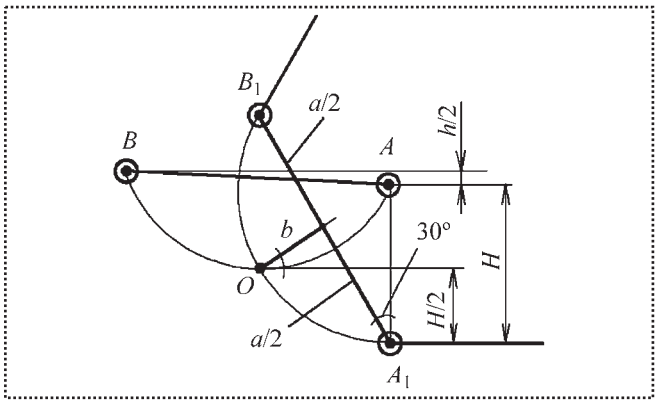


Рис. 4. Определение величины хода *H* поршня пневмоцилиндра

шарнира рычага *3* должна находиться на пересечении линии половины хода $H/2$ штока поршня и ортогонали, проходящей через середину расстояния между шарнирами A_1 и B_1 при раскрытом РШМ.

Из геометрических соображений расстояние b от оси O шарнира, на котором рычаг *3* установлен на корпусе *13*, до линии, соединяющей оси шарниров рычага, вычисляем по формуле:

$$b = \sqrt{\left(\frac{a(2-\sqrt{3})-h}{2}\right)^2 - \left(\frac{a(2-\sqrt{3})-h}{4}\right)^2}, \quad (3)$$

после преобразования которой получим

$$b = 0{,}12a - 0{,}43h.$$

То же относится и к рычагу *5*, расположенному с правой стороны РШМ.

Рассмотренную конструкцию можно применять на линиях расфасовки как захватное устройство манипулятора, подающего мешок под засыпку, а затем растягивающего его перед прошивкой. В этом случае появляется возможность вывести человека из вредной для здоровья рабочей зоны, т.е. надевать мешок на пальцы захватного устройства в удаленном от загрузочного патрубка месте, а также не применять ручной труд на последующих операциях прошивки и транспортирования.

Для комплексной автоматизации захвата и подачи мешка на рабочую позицию фасовочного автомата РШМ должен самостоятельно захватить мешок, предварительно поданный на позицию захвата в положении, при котором горловина открыта для свободного ввода внутрь мешка пальцев РШМ.

Затем боковые пальцы устройства следует автоматически развести, с тем чтобы создать натяжение горловины мешка. С этой целью звенья между шарнирами *9*, *10* и *11*, *12* выполняют раздвижными в виде пневмоцилиндров *15* (рис. 5). При подаче сжатого воздуха в их штоковые полости боковые пальцы *9* и *12* будут находиться в сведенном состоянии для

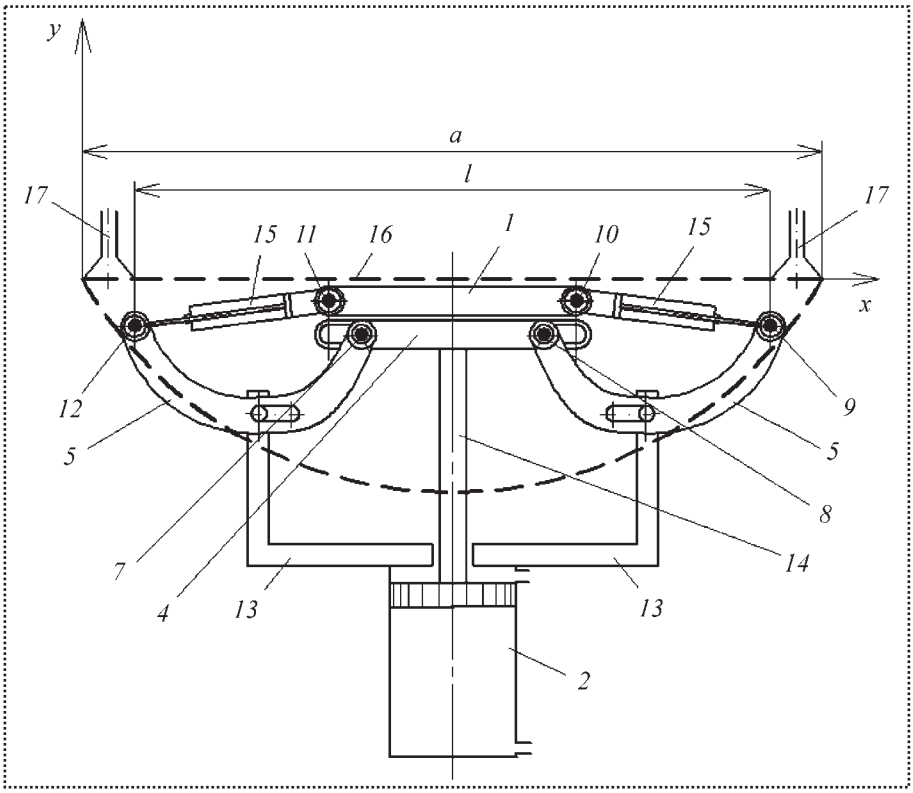


Рис. 5. Рычажно-шарнирное устройство захвата и подачи мешка:
поз. *1–14* соответствуют рис. 1

свободного их введения в приоткрытую полость горловины мешка *16*. При поступлении сжатого воздуха в поршневые полости пневмоцилиндры *15* разводят боковые пальцы *9* и *12*, которые натягивают и удерживают мешок.

В таком захватном устройстве подача мешка из магазина может быть осуществлена с помощью вакуумных захватов *17*. При этом расстояние *a* между внешними краями присосок должно быть меньше ширины горловины мешка. Тогда мешок, отделенный от стопы, провиснет с непрошитой стороны, открывая внутреннюю полость для ввода в нее пальцев РШМ. В этом случае контур внутренней полости приоткрытой горловины мешка можно изменять, задавая расстояние *a* между краями присосок и их диаметр и изменяя количество присосок.

Максимально допустимое расстояние *l* между крайними пальцами *9* и *12* в сложенном состоянии захватного устройства определяют исходя из уравнения кривой провисания нижней части горловины мешка, которое получено из решения задачи провисания нити, свободно подвешенной на двух опорах [2]. Такая задача, в которой определяют экстремум функционала потенциальной энергии нити, является изопараметрической. Искомую функцию обозначим *y(x)*, где *x* – расстояние точки провисания нити от края воздушной присоски, размещенной в начале оси координат (см. рис. 5). Потенциальную энергию нити, находящейся в поле сил тяжести, описывают выражением

$$\Pi = \int_0^a \rho y \sqrt{1+(dx/dy)^2}\,dx \qquad (4)$$

при длине провисшей части горловины мешка, равной $L - a$:

$$L - a = \int_0^a \sqrt{1+(dx/dy)^5}\,dx, \qquad (5)$$

где ρ – удельный вес единицы длины ткани мешка;

L – длина окружности непрошитой части мешка;

a – расстояние между крайними точками присосок, удерживающих мешок (рис. 5).

Экстремум функционала (4) с учетом (5) достигается при условии

$$Fy - \frac{d}{dx}Fy' = 0, \qquad (6)$$

где $F = \rho y\sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2} + \lambda\sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2}$;

λ – неопределенный множитель.

Решение уравнения Эйлера имеет вид:

$$y = C_1 \mathrm{ch}\left(\frac{x - C_2}{C_1}\right) - \lambda, \qquad (7)$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования, значения которых устанавливают из граничных условий.

Согласно случаю подвешивания мешка, показанному на рис. 5, система уравнений для определения C_1, C_2 и λ имеет вид:

$$C_1 \mathrm{ch}\left(\frac{-C_2}{C_1}\right) - \lambda = 0$$

при $x = 0 \to y = 0$ – левый подвес;

$$C_1 \mathrm{ch}\left(\frac{a - C_2}{C_1}\right) - \lambda = 0 \qquad (8)$$

при $x = a \to y = 0$ – правый подвес;

$$C_1\left[\mathrm{sh}\left(\frac{a - C_2}{C_1}\right) - \mathrm{sh}\left(\frac{-C_2}{C_1}\right)\right] = L - a.$$

Например, при L = 1,12 м, a = 0,53 м получаем λ = 0,44, C_1 = 0,327, C_2 = 0,265. Тогда уравнение кривой провисания нижней части горловины мешка, подвешенного на присосках, имеет вид:

$$y(x) = 0{,}327\mathrm{ch}\left(\frac{x - 0{,}265}{0{,}327}\right) - 0{,}44. \qquad (9)$$

С помощью этого уравнения можно определить расстояние l между крайними пальцами *9* и *12* РШМ (см. рис. 5), обеспечивающее свободное проникновение пальцев внутрь приоткрытого мешка. Так, для диаметра d пальцев и линейного размера ширины B рычагов ось пальца *12* должна отстоять от начала координат на такую величину x, чтобы выполнялось условие

$$y(x) > B + d/2,$$

при этом

$$l = a - 2x. \qquad (10)$$

Зная величины l, d и B, можно найти остальные параметры звеньев, приводов и других элементов рычажно-шарнирного захватывающего устройства.

Конфигурация провисающей полости горловины мешка может быть видоизменена за счет комбинирования числа и порядка взаимодействия присосок, удерживающих мешок в поднятом положении. Так, при развороте боковых присосок на некоторый угол над провисающей частью образуется дополнительная призматическая полость.

Для ряда конструктивных решений разработаны методики расчета геометрических параметров внутренней полости провисающей части мешка и рекомендации по выбору координат боковых пальцев захватывающего устройства, задающих расчетные параметры звеньев и привода РШМ. Это делает реальными разработку и практическое применение предложенных устройств автоматизации подачи мешков различного объема под загрузку сыпучими продуктами.

Библиографический список

1. **Демский А.Б., Гончаров А.И.** Фасовочно-упаковочное оборудование зернообрабатывающих предприятий. – М.: Агропромиздат, 1987. 142 с.

2. **Краснов М.Л., Макаренко Г.И., Киселев А.И.** Вариационное исчисление (задачи и упражнения). – М.: Наука, 1973. 190 с.

УДК 658.52.011.56.012.3 : 658.785.3 : 621.9.047.7

В.М. Корниенко, *канд. техн. наук*
(Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН)
E-mail: korn@iacp.dvo.ru

Гибкий производственный модуль склада промышленного предприятия

Обоснована необходимость создания для машиностроения гибких производственных модулей, выполняющих в едином оперативном пространстве ряд функций. Предложен бифункциональный модуль складской системы с функцией изготовления заготовок для деталей на основе кумулятивного анодного растворения металла.

We substantiated the necessity of creation of flexible industrial modules for mechanical engineering, carrying out in common operative space not single, but series of functions. We suggested bifunctional module of store system having function of blanking operation for the components on a basis of cumulative anodic dissolution of metal.

Ключевые слова: экономическая эффективность, гибкий производственный модуль, средства технологического оснащения, кран-штабелер, стеллаж, поддон для хранения и одновременного изготовления металлических заготовок (деталей), кумулятивное анодное растворение металла.

Key words: cost-effectiveness, flexible industrial module, technique facilities, piler-crane, rack, pallet for storing and simultaneous production of metal blanks (components), cumulative anodic dissolution of metal.

Исходя из модели производственного процесса "заготовка – технологическая система – деталь" назначение складской системы – обеспечивать снабжение технологической системы полуфабрикатами в подготовленном для транспортирования виде и их хранение. Цель функционирования складской системы состоит в том, чтобы принимать с транспортной системы материальный поток, размещать и хранить грузы и выдавать их обратно в транспортную систему [1].

Согласование между собой номенклатуры грузов, внешних и внутренних грузопотоков осуществляется с помощью складской тары, к которой относятся спутники, палеты, поддоны, кассеты и др. Анализируя изложенные основные положения, ограничимся следующими функциями модуля склада:

- хранение заготовок в поддонах;
- изготовление изделий (или вторичных заготовок) в этих поддонах.

Таким образом, поддону придается важная роль инструмента в работе комплектовочно-изготовительного модуля, включающего кран-штабелер и стеллаж (рис. 1). Кран-штабелер состоит из вертикальной колонны *1*, которая перемещается по потолочному *2* и напольному *3* рельсам с помощью привода горизонтального передвижения *4*, и кабины *5* с оператором, перемещающейся с помощью привода вертикального передвижения *6*. Поддон *7* с металлическим листом *8*, например, стальным, подготовленным под изготовление деталей, например, квадратной *9* или круглой *10* конфигурации, способом кумулятивного анодного растворения металла (КАРМ), задвигается в стеллаж *11* по роликовым дорожкам *12* на хранение и одновременное их изготовление.

Принципиальная технология КАРМ заключается в следующем [2].

На все поверхности металлического листа *8* наносят электроизоляционное покрытие, в качестве которого используют активированную полиэтиленовую пленку на клеевой основе. После отверждения покрытия острым инструментом по контурам изготавливаемых деталей прорезают канавки до металла, т.е. размечают трассы раскроя. Полученную заготовку помещают в поддон *7*, устанавливая на опоры-электроизоляторы (например, из техниче-

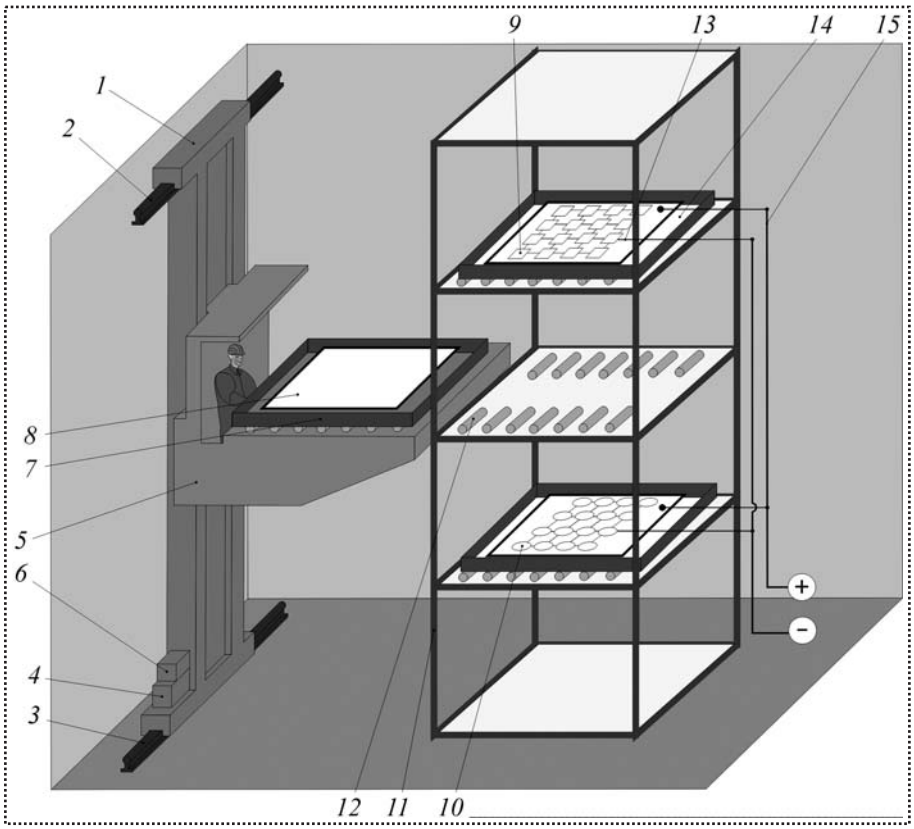


Рис. 1. Комплектовочно-изготовительный гибкий производственный модуль:
1 – вертикальная колонна крана-штабелера;
2 – рельс потолочный;
3 – рельс напольный;
4 – привод горизонтального передвижения крана-штабелера;
5 – кабина крана-штабелера (с оператором);
6 – привод вертикального передвижения кабины;
7 – поддон;
8 – металлический лист;
9 – контур квадратной заготовки;
10 – контур круглой заготовки;
11 – стеллаж;
12 – роликовая дорожка;
13, *15* – электроды;
14 – раствор поваренной соли

ской резины). При использовании металлического поддона его внутреннюю поверхность также защищают электроизоляционным покрытием (полиэтиленовой пленкой).

В поддонах *7*, находящихся в стеллаже *11*, монтируют в подвешенном состоянии электроды *13*, например, из медной проволоки, по контурам изготавливаемых деталей вдоль трасс раскроя. Поддоны заполняют 4–6%-ным раствором *14* поваренной соли с целью образования электролитической ванны для изготовления заготовок (деталей) из листов *8*. Подключают электроды *13* к отрицательной клемме источника постоянного электрического тока, а листы *8* – электропроводником *15* к положительной клемме. Посредством электролита под действием постоянного тока производят растворение металла листов *8* по канавкам разметки трасс раскроя. Таким образом получают заготовки одним или более проходами КАРМ в зависимости от толщины металла (рис. 2) [3]. После изготовления и хранения заготовки поступают на механическую обработку и сборку.

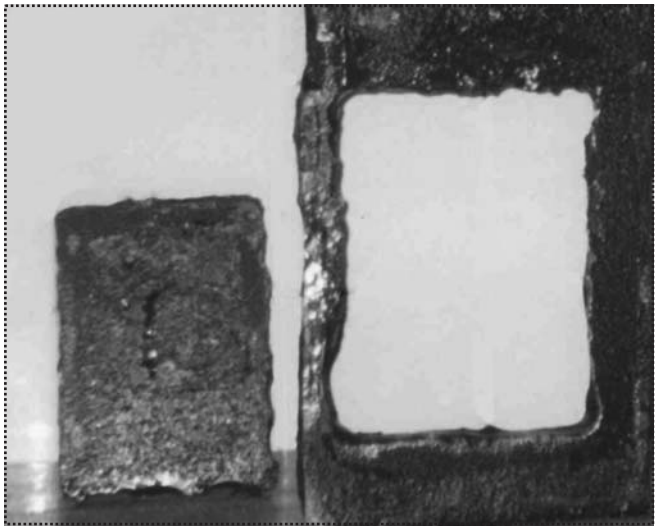


Рис. 2. Заготовка, вырезанная из листа углеродистой стали толщиной 12 мм за два прохода КАРМ

Технология прошла опытно-промышленное освоение [4, 5], а ее использование в представленном гибком производственном модуле определится с созданием необходимых средств механизации. Толщина разрезаемого металла

в настоящее время составляет 22 мм за три прохода КАРМ. С целью ее увеличения ведется исследование процесса КАРМ и обеспечения его технологичности. Сравнение внешнего вида выполненных в стальном листе вырезов фрезой (рис. 3), электрической дугой (рис. 4) и КАРМ (рис. 5) показывает, что качество последнего лучше, чем при тепловом воздействии, но хуже, чем при механическом. Однако у КАРМ есть технологический резерв приближения к внешнему виду механического разрезания путем повышения культуры производства.

Определим признаки, на основании которых можно оценить экономическую эффективность внедрения бифункционального гибкого производственного модуля.

1. Каждый объект средств технологического оснащения характеризуется геометрическими размерами. Именно это обстоятельство является первоочередным и лимитирующим в разработке организационно-технологического проекта при строительстве новых и модернизации существующих (действующих) участков и цехов заводов.

Традиционный комплектовочный модуль имеет объективный определяющий параметр $П_{оп}$ – оперативное пространство для размещения в ячейках стеллажа изделий на хранение. Гибкий производственный модуль нового

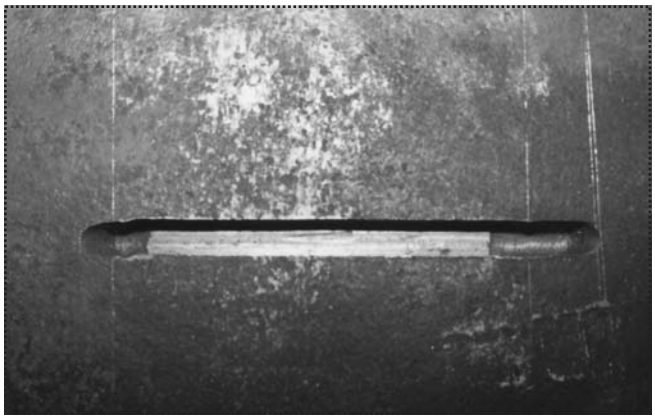


Рис. 3. Конфигурация выреза при механическом разрезании фрезой

Рис. 4. Конфигурация выреза при тепловом разрезании электрической дугой

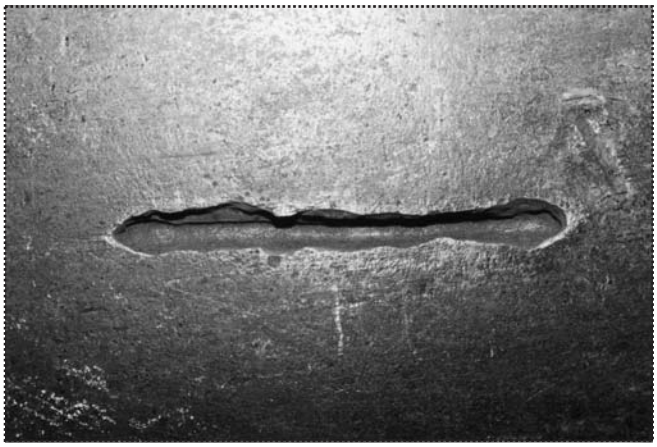


Рис. 5. Конфигурация выреза при разрезании КАРМ

типа обязательно унаследует этот параметр, но с приобретением функции изготовления изделий трансформирует его в определяющий параметр $П_{фоп}$ – функционально-оперативное пространство, которым следует оперировать при расчетах и проектировании. В идеальном случае эти параметры практически равны:

$$П_{фоп} = П_{оп}, \qquad (1)$$

так как пространственный объем электропроводников постоянного тока модуля несущественен.

2. Эффективность использования нового гибкого производственного модуля определя-

ется отношением прироста дохода (прибыли) ΔД к вызвавшим этот прирост затратам З [6]:

$$Э = \frac{\Delta Д}{З}. \qquad (2)$$

Прирост дохода образуется вследствие экономии следующих ресурсов:

• живого труда – за счет резания металла без присутствия человека при автоматизированном изготовлении заготовок (деталей);

• материалов и рабочих сред – за счет исключения использования металлических электродов с обмазкой при электродуговой резке металла, кислорода, ацетилена, пропан-бутана, керосина и др. сред при газовой резке, резцов, абразивных кругов и т.п. при механической резке;

• капитальных вложений – за счет исключения необходимости переоборудования складских помещений и приобретения дополнительного оборудования для разрезания металла;

• снижения себестоимости – за счет увеличения объема выпускаемой продукции в единицу времени без введения в процесс дополнительных производственных мощностей (снижение спроса на продукцию уменьшит темпы экономического роста и прибыль предприятий, следовательно, чтобы сохранить прибыль, надо снижать затраты);

• энергосбережения – существенное снижение затрат электроэнергии доказано опытно-промышленным освоением способа КАРМ при утилизации промышленных изделий [4, 7] (параметры, достаточные для получения эффекта нарушения целостности металла в месте реза: сила электрического тока 1...10 А, напряжение 1...20 В – мощная основа энергосбережения).

Затраты определяет номенклатура используемых материалов: полиэтиленовая пленка, клей, раствор поваренной соли, неизолированный электропроводник в качестве рабочего инструмента–электрода (который не расходуется в процессе разрезания металла) – простые недефицитные материалы по сравнению с применяемыми в традиционных способах.

Качественное сравнение параметров ΔД и З свидетельствует об очевидности экономической целесообразности проектируемого гибкого производственного модуля (количественные показатели определятся при завершении НИР и технико-экономическом обосновании организационно-технологического проекта).

3. Известно, что в штамповочных и механообрабатывающих цехах в качестве исходного материала применяют сортовой и листовой прокат, прессованные профили, трубы. Однако при разрезании материала на штучные заготовки происходит его деформирование. Использование КАРМ отличается отсутствием деформирования металла в местах разрезания.

Номенклатура заготовок для проектируемого модуля – детали (планки, втулки, винты, оси, валы, фланцы, зубчатые колеса и т.п.), которые можно изготавливать "в задел" для хранения на складах. Организация производства в этом случае перспективна как для самостоятельного промышленного предприятия, так и для системы "outsourcing".

4. При расчете экономического эффекта важное значение имеет фактор времени. Например, известно, что сокращение срока строительства или модернизации промышленного предприятия приносит дополнительный эффект за счет отдачи производственных фондов, досрочно введенных в эксплуатацию, тогда как капиталовложения, временно "омертвленные" в незавершенном производстве, не дают эффекта. В бифункциональном гибком производственном модуле время хранения заготовки совмещено с временем изготовления из нее новых заготовок (деталей).

Кроме того, в процессе КАРМ вообще отсутствует понятие холостого хода. Производительность $P_{изг}$ изготовления заготовок во время хранения их в поддонах прямо (и оптимально) зависит от времени $t_{эл}$ работы электролита:

$$P_{изг} = f(t_{эл}). \qquad (3)$$

5. Способ КАРМ, задействованный в проектируемом модуле, экологически чище других традиционных и сопровождается малым газовыделением, обычно сопутствующим электрохимическому процессу.

6. Традиционные способы разрезания металла являются чрезмерно энергозатратными. Применение технологии КАРМ способствует снижению энергозатрат. Этот способ относится к области нанотехнологий, так как диаметр работающего отрицательного иона хлора равен 0,364 нм (в технической литературе ионы названы нанороботами, а в КАРМ работают именно ионы).

Выводы

Анализ научно-технических достижений в области внедрения модульных структур показал их эффективность, которую необходимо считать доминантой технического перевооружения промышленного производства в современных условиях его диверсификации. В результате исследований по разработке компактных и сконцентрированных по техническим параметрам средств технологического оснащения определена принципиально важная концепция – создание полифункциональных модулей.

Предложен гибкий производственный модуль, совмещающий функции хранения и изготовления металлических заготовок (деталей) непосредственно на складе. Для изготовления применен принципиально новый способ разрезания металла на основе его кумулятивного анодного растворения. Таким образом, возможность изготовления изделий на складах расширяет перечень технологических процессов складских работ, что сравнимо по значимости с созданием новых производственных участков.

Библиографический список

1. **Технологические** основы ГПС / В.А. Медведев, В.П. Вороненко, В.Н. Брюханов и др.; Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение. 1991. 240 с.

2. **Свидетельство 21165RU,** U1, МПК7B26F3/08. Устройство для нетепловой разрезки металла / В.М. Корниенко. № 2001113779/20. Заявл. 21.05.2001. Опубл. 27.12.2001. Бюл. № 36.

3. **Патент 2211122RU,** C2, МПК7B23H3/00. Способ нетепловой разрезки металла / В.М. Корниенко. № 2001131258/02. Заявл. 19.11.2001. Опубл. 27.08.2003. Бюл. № 24.

4. **Корниенко В.М.** Технология разделки утилизируемых металлических конструкций // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2002. № 1. С. 27–31.

5. **Корниенко В.М.** Опытно-промышленное освоение перспективной технологии разделки корпусов утилизируемых гексогенсодержащих боеприпасов // Конверсия в машиностроении. 2004. № 3. С. 69–74.

6. **Научно-технический** прогресс и эффективность производства / Под ред. Г.А. Егиазаряна. – М.: Экономика. 1982. 256 с.

7. **Корниенко В.М.** Опытно-промышленная разделка корпуса боеприпаса с учетом специфики потенциально опасных компонентов взрывчатых веществ // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2003. № 3. С. 28–33.

УДК 621.01

Г.Ю. Волков, *канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой "Детали машин",*
Д.А. Курасов, *инженер (Курганский государственный университет,*
640000, Курган, ул. Гоголя, 25,
тел.: 8 (3522) 23-36-12)
E-mail: naukka@mail.ru

Рациональное конструирование зубчатых подшипников с учетом требований их изготовления и сборки

Объект – зубчатый подшипник в концентрическом и эксцентрическом исполнениях. Выявлены рациональные конструкции с точки зрения технологии изготовления деталей и сборки зубчатых подшипников. Основным вариантом принят комбинированный зубчатый подшипник, сочетающий зубчатые венцы и дорожки качения. Предложен подшипник с внеполюсными зацеплениями звеньев. На основе расчетов рекомендованы значения коэффициентов смещения для концентрических и эксцентрических зубчатых подшипников.

Object – the gear bearing in concentric and eccentric executions. Rational designs from the point of view of manufacturing techniques of details and assembly gear bearing revealed. Variant it is combined gear bearing, with gears rims and rollers paths as the basic accepted. Gear bearing with extrapolar gearings of segments offered. Values of factors of offset for concentric and eccentric gear bearing recommended.

Ключевые слова: зубчатый подшипник, внеполюсное зацепление, сборка.

Key words: gear bearing, extrapolar gearing, assembly.

Зубчатые подшипники известны достаточно давно [1, 2]. Замена или дополнение дорожек качения зубчатыми венцами устраняет проблему сепарации тел качения. В случае концентрического подшипника (рис. 1), содержащего центральную шестерню *1*, тела качения (сателлиты) *2* и наружное кольцо *3*, наличие зубьев позволяет увеличить допустимую скорость вращения вала. Наибольший эффект от применения зубчатых тел качения проявляется в зубчатом эксцентриковом подшипнике с телами качения (сателлитами) разного диаметра. Он выполняет функции опоры качения, эксцентрика и редуктора одновременно.

На рис. 2 показана схема кривошипно-ползунного механизма с зубчатым эксцентриковым подшипником. Механизм содержит центральную шестерню *1*, соосно закрепленную на ведущем валу, сателлиты *2* разного диаметра, наружное кольцо *3* с внутренними зубьями, ведомое звено *4* и шатун *5*, шарнирно связанный с ведомым звеном и жестко – с наружным кольцом. Передаточное отношение такого механизма от центральной шестерни к системе отсчета, связанной с осями сателлитов, т.е. к условному водилу, находят по формуле

$$i_{1h} = 1 + z_3 / z_1 , \qquad (1)$$

где z_3 и z_1 – числа зубьев наружного кольца и ведущей шестерни.

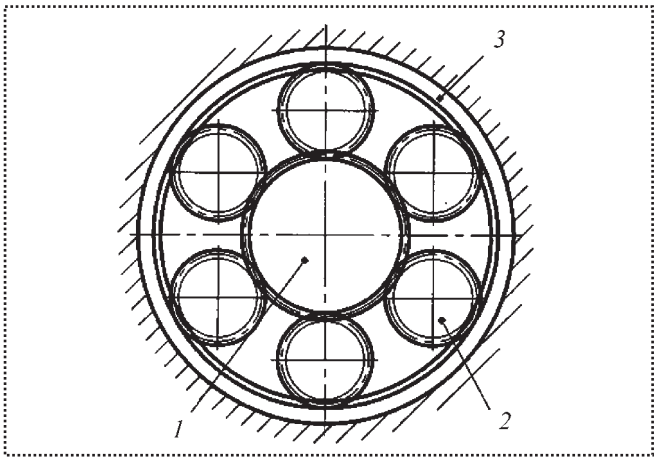


Рис. 1. Концентрический зубчатый подшипник

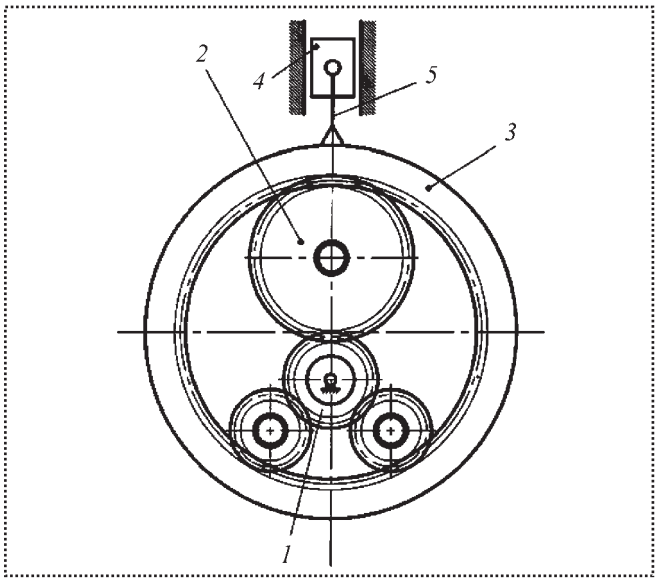


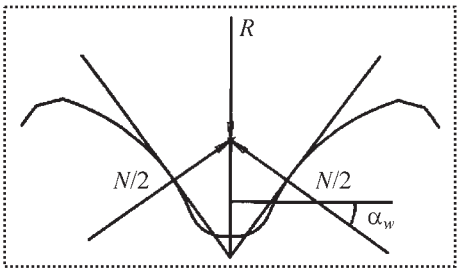
Рис. 2. Схема кривошипно-ползунного механизма с эксцентриковым зубчатым подшипником

Благодаря постоянству передаточного отношения зубчатый эксцентриковый подшипник позволяет получать согласованное движение ведомых звеньев от нескольких таких подшипников, установленных на одном валу. Широкому использованию зубчатых подшипников препятствует их недостаточная изученность. В частности, не проработаны вопросы их рационального конструирования с учетом требований к изготовлению и сборке.

Зубчатые подшипники, звенья которых имеют только зубчатые венцы

Присутствующая в зубчатых подшипниках кинематическая пара, которая одновременно воспринимает окружную и тангенциальную нагрузки, в плоских механизмах имеет одну степень свободы и относится к центроидным парам. Самый простой вариант реализации центроидной пары в зубчатом подшипнике – применение беззазорного прямозубого эвольвентного зацепления. Основные детали зубчатого подшипника при этом выполняются цельными, а сборка осуществляется в осевом направлении. Дополнительные детали – кольца с ребордами – удерживают тела качения от осевого смещения.

Рис. 3. Прямозубое зацепление



При использовании в качестве тел качения эвольвентных зубчатых колес с исходным контуром, имеющим угол профиля $\alpha = 20°$, на зубья действует нормальная сила N (рис. 3) намного большая, чем радиальная сила $R = N\sin\alpha_w$, где α_w – угол зацепления. При $\alpha_w = 20°$ соотношение $N/R = 3$. Данное обстоятельство предопределяет повышенные потери энергии и изнашивание зубьев.

Авторами выполнено исследование [3] возможности уменьшения нормальной силы N за счет увеличения угла зацепления α_w путем использования положительного суммарного коэффициента смещения $x = x_1 + x_2$, где x_1, x_2 – коэффициенты смещения соответственно центральной шестерни и сателлита, или увеличения угла профиля рейки α. Анализ показал, что угол зацепления α_w не может быть увеличен свыше 30–35°. При этом отношение N/R = 2...1,7, т.е. остается достаточно большим.

Другой возможный вариант реализации центроидной пары – это выполнение ее в виде зацепления Новикова [4]. Недостаток такого конструктивного решения – технологическая сложность нарезания внутренних зубьев с каналовой винтовой поверхностью на наружном кольце подшипника. Для устранения этого недостатка предлагалось выполнять внутренние зубья съемными [5].

В процессе поиска решения проблемы авторами была предложена конструкция [6], в которой внутренние зубья изготовлены в виде стержней кругового сечения, закрепленных с помощью неразъемного соединения на наружном кольце. К сожалению, и в таком зубчатом подшипнике проблема технологической

сложности изготовления наружного кольца не устраняется.

Подшипники, сочетающие зубчатые венцы и дорожки качения.

Возможности их сборки

Основным вариантом реализации центроидной пары в зубчатых подшипниках следует считать сочетание зубчатых венцов и дорожек качения, начальные поверхности которых совпадают друг с другом. В известном техническом решении [7] начальные поверхности звеньев *K* и *L* (рис. 4) и полюс зацепления находятся в пределах зуба. Существуют два конструктивных варианта:

– зубчатые венцы располагаются по краям, а дорожки качения – в центре (рис. 4, *а*);

– дорожки качения – по краям, а зубчатые венцы – в центре (рис. 4, *б*).

В дальнейшем будем называть эти варианты соответственно *а* и *б*. Проанализируем возможные способы их сборки.

При выполнении всех звеньев цельными сборка подшипников, выполненных по обеим схемам, невозможна.

В варианте *а* для обеспечения сборки подшипников достаточно выполнить сборным (состоящим из отдельных колец) любое из его звеньев (ведущую шестерню, наружное кольцо либо каждый из сателлитов).

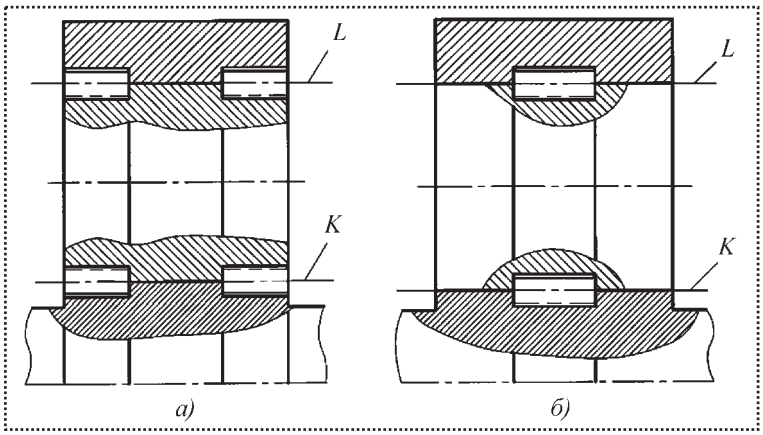


Рис. 4. Варианты выполнения зубчатых подшипников с комбинированными центроидными парами

В варианте *б* сборными могут быть центральная шестерня или наружное кольцо. Разъемный сателлит проблему сборки не решает, так как зубчатый венец сателлита невозможно вставить в центр подшипника.

В реальных конструкциях с учетом технологии изготовления деталей может оказаться целесообразным одновременное применение двух и даже трех сборных звеньев зубчатых подшипников.

Способы изготовления комбинированных звеньев зубчатых подшипников

Рассмотрим две схемы зубообработки звеньев подшипника: зубофрезерование (а также зубошлифование) и зубодолбление. При зубодолблении следует различать долбление зубчатого венца за одну установку инструмента и за две установки (с двух сторон). Второй случай для обработки двух звеньев одного подшипника нежелателен, так как требует согласования венцов по шагу. Если цельное звено не может быть обработано ни по той, ни по другой схеме, то остается возможность изготовления отдельно венцов и дорожек качения (т.е. сборный вариант звена).

Рассмотрим возможности изготовления деталей зубчатых подшипников.

В схеме *а* объекты обработки: внутренние зубья втулки (рис. 5), внешние зубья на "коротком" валу (центральном или сателлите) – рис. 6, *а*, внешние зубья на "длинном" валу, содержащем чередующиеся венцы и дорожки качения – рис. 7. "Длинный" вал присутствует в механизмах, содержащих несколько зубчатых подшипников, установленных на одном валу.

Втулка с внутренними зубьями, соответствующая схеме *б*, показана на рис. 5, *б*, "короткий" вал – на рис. 6, *б*. Случай "длинного" вала аналогичен схеме на рис. 6, *б*.

На цельной втулке (см. рис. 5, *а*) и на "коротком" валу (см. рис. 6, *а*) зубья могут быть нарезаны только долбяком с двух сторон. На цельной втулке (см. рис. 5, *б*) и на "коротком" валу (см. рис. 6, *б*) обработка зубьев невозможна ни зубофрезерованием, ни зубодолблением. Эти детали можно сделать только сборными. "Длинный" вал (см. рис. 7), содержащий много чередующихся венцов и дорожек качения, ни одним из указанных методов изготовить невозможно. Сборная конструкция такого вала тоже крайне нетехнологична.

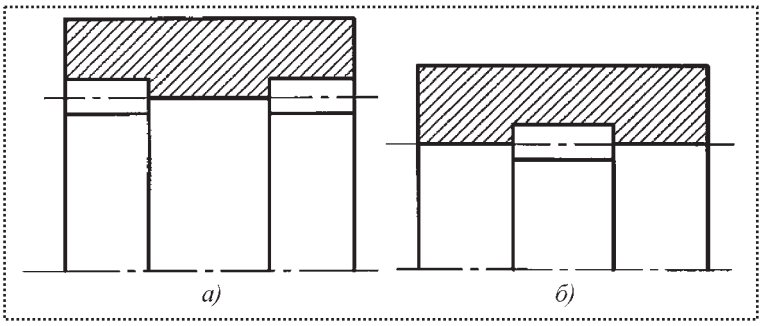


Рис. 5. Втулка в вариантах *а* и *б*

Результаты анализа возможности обработки зубьев на деталях указанных типов сведены в табл. 1.

С учетом результатов анализа выделены наиболее рациональные схемы зубчатых подшипников с полюсом зацепления, находящимся в пределах зуба. На рис. 8, *а* зубья "короткого" вала (центральной шестерни *1*) нарезаны долбяком с двух сторон, а втулка *3* и сателлит *2* выполнены сборными. В такой конструкции решена проблема согласования зубчатых венцов по шагу. На рис. 8, *б* все элементы выполнены сборными.

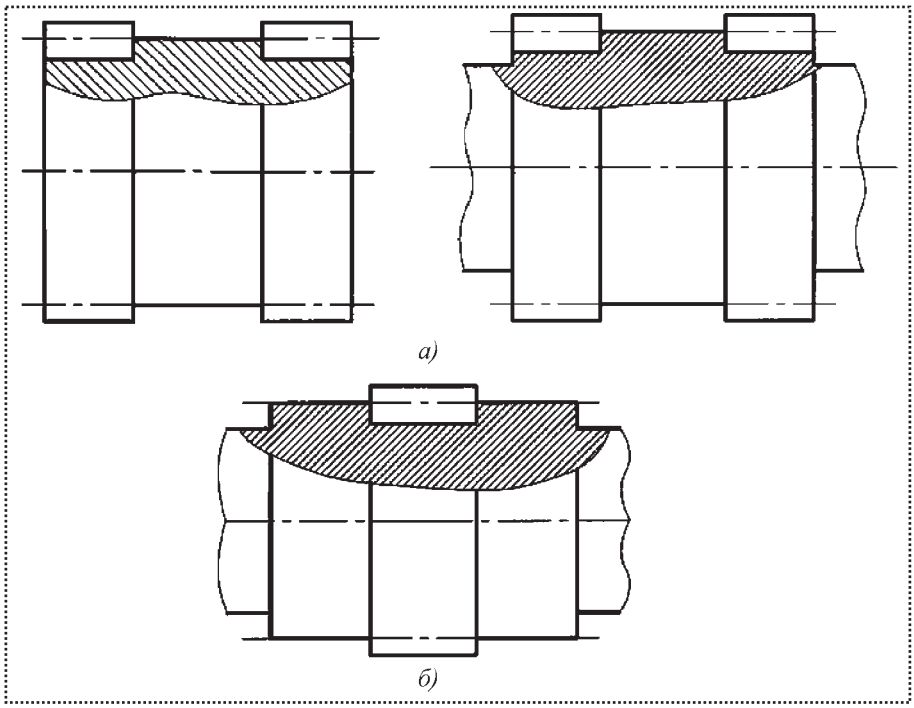


Рис. 6. "Короткий" вал в вариантах *а* и *б*

Предложить приемлемую конструкцию устройства, содержащего несколько зубчатых подшипников, установленных на одном "длинном" валу, при расположении полюса зацепления в пределах зуба не представляется возможным.

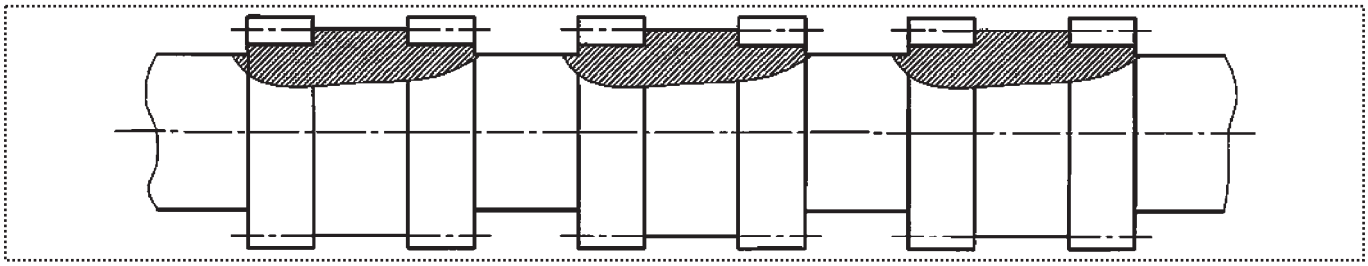


Рис. 7. "Длинный" вал

Таблица 1

Возможность изготовления деталей зубчатых подшипников с полюсом зацепления, находящимся в пределах зуба

Способ изготовления	Втулка		"Короткий" вал		"Длинный" вал
	Варианты расположения зубчатых венцов и дорожек качения				
	а	*б*	*а*	*б*	
Зубофрезерование	–	–	–	–	–
Зубодолбление с одной стороны	–	–	–	–	–
Зубодолбление с двух сторон	+	–	+	–	–
Сборное звено	+	+	+	+	–

венцов. Начальная поверхность *K* центральной шестерни *1* (рис. 9), совпадающая с начальной поверхностью соответствующей дорожки качения, имеет диаметр несколько меньший, чем диаметр впадин ее зубчатых венцов. Начальная поверхность *L* наружного кольца *3* имеет диаметр, больший, чем диаметр впадин внутренних зубьев. Начальный диаметр сателлита *2* превышает диаметр вершин его зубчатых венцов.

Подобно зубчатым подшипникам с полюсами зацеплений, расположенными в пределах зубчатых венцов, подшипники с внеполюсными зацеплениями не могут быть собраны из всех цельных звеньев, однако они реализуемы при любом одном разъемном звене, включая сателлит в схеме *б*.

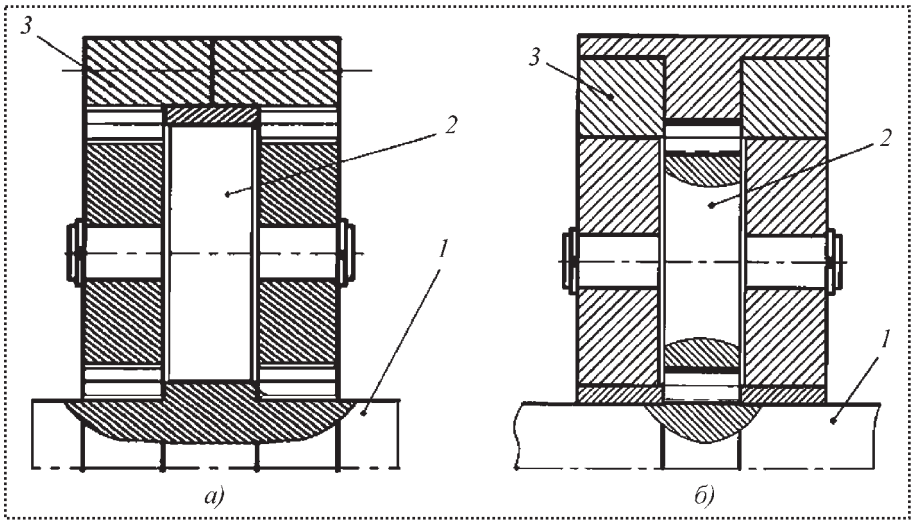


Рис. 8. Рациональные варианты сборных конструкций зубчатых подшипников

Результаты анализа возможности изготовления деталей зубчатых подшипников с полюсом зацепления, находящимся за пределами зуба, сведены в табл. 2. Обработку зубьев цельной втулки можно производить долбяком за одну установку. Как "короткий", так и "длинный" вал можно обрабатывать зубофрезерованием. Таким образом, возможности изготовления зубчатых подшипников с применением внеполюсных зацеплений значительно расширяются.

Технологические ограничения комбинированных звеньев зубчатых подшипников с внеполюсным зацеплением

Конструктивное решение [8], позволяющее изготавливать зубчатые подшипники с "длинными" валами и упрощающее их изготовление с "короткими" валами, заключается в применении внеполюсных зацеплений зубчатых

Рациональные конструкции зубчатых подшипников с внеполюсными зацеплениями показаны на рис. 9. Независимо от относительного расположения зубчатых венцов и дорожек качения (схемы *а* и *б*) наружное кольцо *3* и центральная шестерня *1* выполнены цельными, а их зубчатые венцы обработаны с одной установки. Сателлиты целесообразно изготавливать сборными. Число зубча-

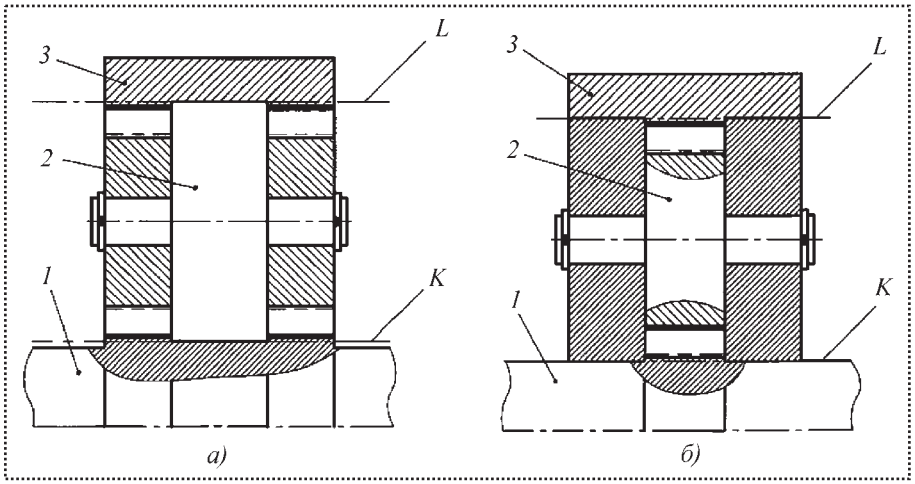


Рис. 9. Рациональные конструкции зубчатых подшипников с внеполюсными зацеплениями

Таблица 2

Возможность изготовления деталей зубчатых подшипников с полюсом зацепления, находящимся за пределами зуба

Способ изготовления	Втулка		"Короткий" вал		"Длинный" вал
	Вариант расположения зубчатых венцов и дорожек качения				
	а	*б*	*а*	*б*	
Зубофрезерование	–	–	+	+	+
Зубодолбление	+	+	+	+	–
Сборное звено	+	+	+	+	–

тых подшипников, устанавливаемых на одном "длинном" валу, условиями сборки и изготовления деталей не ограничено.

Параметрические ограничения внеполюсных зацеплений зубчатых подшипников

Внеполюсное зацепление зубьев зубчатых колес обеспечивается определенным сочетанием смещений инструмента при их нарезании. Необходимое расположение полюса зацепления в паре шестерня *1* – сателлит *2* (см. рис. 9) может быть обеспечено при условии

$$d_{w1} \le d_{f1},$$

где $d_{w1} = mz_1 \dfrac{\cos\alpha}{\cos\alpha_w}$ – начальный диаметр центральной шестерни;

$d_{f1} = z_1 m - 2(h_a^* + c^* - x_1)m$ – диаметр ее впадин;

h_a^* – коэффициент высоты головки зуба;

c^* – коэффициент радиального зазора;

m – торцовый модуль.

При заданном значении коэффициента x_1 смещения центральной шестерни угол зацепления

$$\alpha_w \ge \arccos\left(\cos\alpha \Big/ \left(1 - \frac{2(h_a^* + c^* - x_1}{z_1}\right)\right). \quad (2)$$

Коэффициенты смещения x_2 сателлита и x_3 – венца втулки находят по формулам [9]:

$$x_2 = \frac{(z_2 + z_1)(\mathrm{inv}\alpha_w - \mathrm{inv}\alpha)}{2\mathrm{tg}\alpha} - x_1; \quad (3)$$

$$x_3 = \frac{(z_3 - z_2)(\mathrm{inv}\alpha_w - \mathrm{inv}\alpha)}{2\mathrm{tg}\alpha} + x_2. \quad (4)$$

Для концентрических зубчатых подшипников характерны малое число зубьев сателлита z_2 и достаточно большие числа зубьев центральной шестерни z_1 и венца z_3. В этом случае необходимое смещение полюса зацепления с учетом ограничений, накладываемых блокирующими контурами [9], обеспечивается при x_2, равном или незначительно отличающемся от нуля, x_1 = 1,5...2,5, и соответствующем значении x_3, рассчитанном по формуле (4).

Для эксцентриковых зубчатых подшипников характерны малые числа зубьев центральной шестерни z_1 и сателлита z_2. В случае зубчатых колес, нарезанных рейкой, для обеспечения необходимого расположения полюса зацепления в паре шестерня *1* – сателлит *2* прием-

лемым (по блокирующим контурам [9]) является равносмещенное зацепление:

$$x_1 = -x_2 \geq h_a^* + c^*. \quad (5)$$

При этом $x_1 > 0$, $x_2 = x_3 < 0$.

Проблема состоит в том, что условие (5) может быть обеспечено лишь при достаточно больших числах зубьев z_1 и z_2.

В результате исследования [10] выяснилось, что при $h_a^* = 1, \alpha = 20°$ внеполюсное зацепление лимитируется толщиной зуба по вершинной ленточке s_a и допустимым подрезанием ножки зуба шестерни, а при $h_a^* = 0{,}8$ оно ограничено коэффициентом перекрытия ε и допустимым подрезанием ножки зуба шестерни.

Так, например, при $x_1 = 1{,}25$; $x_2 = -1{,}25$; $h_a^* = 1$; $s_a \geq 0$ и допустимом подрезании минимальные значения чисел зубьев $z_1 = 21$, $z_2 = 27$. При $x_1 = 1{,}05$; $x_2 = -1{,}05$; $h_a^* = 0{,}8$; $\varepsilon \geq 1$ и допустимом подрезании минимальные значения чисел зубьев $z_1 = 19$, $z_2 = 22$.

Необходимого расположения полюса зацепления в паре шестерня *1* – сателлит *2* можно добиться, нарезая колеса долбяком при больших положительных коэффициентах смещения x_1, x_2 (например, при $z_1 = 22$; $z_2 = 22$; $x_1 = 3$; $x_2 = 1$). При этом условия, налагаемые соответствующими блокирующими контурами [11], удовлетворяются. Однако такое сочетание коэффициентов смещения обуславливает большое скольжение и, соответственно, низкий КПД зацепления.

Выводы

В результате сравнительного анализа вариантов конструкций зубчатого подшипника с точки зрения работоспособности, собираемости и удобства изготовления деталей установлено:

- *предпочтительный вариант выполнения рабочих поверхностей звеньев – сочетание зубчатых венцов и дорожек качения;*
- *рациональные конструкции зубчатых подшипников с полюсом зацепления, находящимся в пределах зуба, содержат либо центральную шестерню, нарезанную долбяком с двух сторон, сборные сателлит и венец втулки; либо все детали сборные;*
- *применение внеполюсных зацеплений значительно упрощает изготовление деталей и сборку зубчатых подшипников;*
- *внеполюсное зацепление концентрических зубчатых подшипников целесообразно обеспечивать за счет смещений $x_1 > 0$, $x_2 \approx 0$, $x_3 > 0$, эксцентриковых подшипников – при смещении $x_1 > 0$, $x_2 = x_3 = -x_1$.*

Библиографический список

1. **А.с. 8620,** МКИ F16C 19/22, F16C 33/34, F16C 33/58. Роликовый подшипник / Г.С. Долгоруков.
2. **Пат. 149302** Германия, МКИ F16C 19/22. Роликоподшипник / Стилсон, Бредфорд.
3. **Курасов Д.А.** Исследование возможностей увеличения угла давления во внешнем эвольвентном зацеплении // Сборник научных трудов аспирантов и соискателей Курганского государственного университета. Вып. IX. 2007. С. 89–90.
4. **А.с. 125979,** МКИ F16C 33/36, F1 C 33/58. Подшипник качения / М.Л. Новиков.
5. **А.с. 188231,** МКИ F16C 19/22, F16C 33/36, F16C 33/58. Роликоподшипник / Р.В. Федякин, В.А. Чесноков.
6. **Пат. 2345255** РФ, МКИ F16C 19/22, МКИ F16C 33/34, МКИ F16C 33/58. Зубчатый подшипник / Г.Ю. Волков, Д.А. Курасов.
7. **Пат. 2135851** РФ, МПК F16C 27/00. Подшипник качения радиальный роликовый бессепараторный / Н.В. Филонов, В.Л. Юрьева, Г.А. Матвеев.
8. **Пат. 2331000** РФ, МПК F16C 27/00. Бессепараторный роликовый подшипник качения / Г.Ю. Волков, Д.А. Курасов.
9. **Болотовский И.А.** Справочник по геометрическому расчету эвольвентных зубчатых и червячных передач. – М.: Машиностроение, 1986. 447 с.
10. **Курасов Д.А.** Исследование границ существования эвольвентного зубчатого зацепления с полюсом, находящимся за пределами зуба // Сборник научных трудов аспирантов и соискателей Курганского государственного университета. Вып. VIII. 2006. С. 23–24.
11. **Справочник** по корригированию зубчатых колес / Под ред. И.А. Болотовского. – М.: Машиностроение, 1967. 575 с.

УДК 621.313.333

В.М. Журомский, Н.С. Трушкин, *канд-ты техн. наук*
(Московский инженерно-физический институт)
E-mail: juromskiy@mail.ru

Включение индуктивной нагрузки по схеме последовательного резонанса

Рассмотрены энергетические соотношения работы силовых индуктивных нагрузок, в том числе электродвигателей, при их включении по схеме последовательного резонанса на частоте питающей сети. Резонансное включение индуктивных нагрузок создает возможности улучшения показателя качества энергопотребления до значения cos φ = 1 при питании напряжением, много меньшим штатного. При этом сохраняются механические характеристики индуктивных нагрузок, исключаются пусковые экстратоки и, в частности, повреждения электродвигателей при остановах за счет внешней перегрузки.

The energetic relation ship, concerning the operation of power inductive loads including electric motors, are considered at their connection in the circuit of a series resonance at the mains frequency. The resonance connection of inductive loads creates the opportunity of improving the quality indexes of power consumption up to the value of "cos φ = 1" at the mains voltage, much lesser than the standard one. At the same time the mechanical characteristics of inductive loads are retained, whereas the starting current spikes and damages of the unit caused by its stoppage by a mechanical overload excluded.

Ключевые слова: цепь последовательного резонанса, индуктивная нагрузка, "cosφ = 1", активная мощность, реактивная мощность.

Key words: series resonance circuit, inductin load, "cosφ = = 1", active power, reactive power.

До сих пор нет полной ясности, экспериментально подтвержденных доказательств эффектов, связанных с подключением к питающей сети силовых индуктивных преобразователей электрической энергии в механическую, в частности, электродвигателей, по схеме последовательного резонанса [1].

Особо интересны вопросы, связанные с оценкой мощности (активной, реактивной, полной), потребляемой при последовательно-резонансном включении от питающей сети собственно индуктивных нагрузок, в том числе в сравнении с штатным их включением.

Для последовательной цепи (рис. 1) ток

$$I_d = U_п \Big/ \sqrt{(\omega L - 1/\omega C)^2 + R^2},$$

где ω – круговая частота, с$^{-1}$.

При резонансе

$$\omega L = 1/\omega C,$$

где L – индуктивность; C – емкость, а напряжение на индуктивности в $Q = \omega L/R$ раз больше напряжения питания $U_п$ при токе $I_d = U_п/R$ [2]. Со стороны питающей сети $U_п$ цепь C – – R – L превращается в чисто активную нагрузку R.

Таким образом, возможно обеспечить полноценную работу индуктивной нагрузки при напряжении $U_п$, существенно меньшем штатного $U_d = U_с$ (рис. 1), а индуктивная нагрузка (например, электродвигатель) со стороны питающей силовой сети $U_с$ становится чисто активной со значением cos φ = 1 вне зависимости от штатного значения cos φ собственно индуктивной нагрузки (электродвигателя).

Полная мощность, измеряемая на клеммах индуктивной нагрузки вольтамперным методом (т.е. раздельно вольтметром и амперметром переменного тока):

$$W_п = \sqrt{W_а^2 + W_р^2},$$

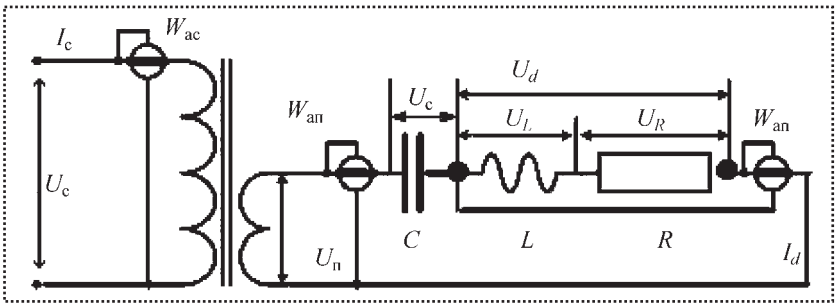


Рис. 1. Резонансное включение индуктивной нагрузки, представленной в виде последовательного соединения индуктивного *L* и омического *R* сопротивлений

где $W_а = U_d I_d \cos\varphi$ – активная мощность [Вт];

$W_р = U_d I_d \sin\varphi$ – реактивная мощность [Вар],

равна для штатного и резонансного включения двигателя.

Также равны для штатного и резонансного включения индуктивной нагрузки измеряемые ваттметрами на клеммах активные мощности $W_{ап}$ на входе $U_п$ сети питания пониженным напряжением и $W_{ас}$, отбираемая от питающей сети $U_с$ (с учетом потерь мощности холостого хода трансформатора).

Последнее означает, что при резонансном включении индуктивной нагрузки реактивная составляющая ее потребляемой мощности не циркулирует по проводам питающей сети или, иными словами, не нагружает питающую сеть, что можно рассматривать как улучшение энергетической эффективности индуктивной нагрузки (в частности, электродвигателя) при ее включении по схеме последовательного резонанса в виде отношения потребляемой полной мощности к активной

$$\frac{W_п}{W_а} = \frac{1}{\cos\varphi}.$$

Бытовой потребитель электроэнергии "не платит деньги" за реактивную составляющую электроэнергии вследствие отсутствия значимой для поставщика электроэнергии реактивной (индуктивной) составляющей среди подавляющего большинства активных нагрузок в виде электронагревательных приборов.

Однако на промышленных предприятиях активная и реактивная мощности измеряются, а малое значение cos φ (например, при наличии многочисленных недогруженных асинхронных двигателей) отражается в возрастании стоимости электроэнергии, в том числе в виде штрафных санкций со стороны поставщика.

Потребитель за счет исключения тока реактивной составляющей (20–30 % и более) практически имеет возможность в пределах установленных мощностей или пропускной способности кабельного ввода на такую же величину увеличить потребление активной, создающей полезную работу электрической мощности от поставщика.

Кроме того, со стороны поставщика исключаются затраты энергии на генерацию реактивной составляющей, компенсацию омических потерь реактивной составляющей в линии связи (которую потребитель не оплачивает) и средства улучшения качества (увеличения cosφ) силовой сети.

Задача превращения реактивной нагрузки в чисто активную может иметь существенный интерес в системе "поставщик – потребитель" электроэнергии как в масштабных силовых электросетях, так и в локальных автономных системах "генератор–двигатель", где, кроме того, возможно напряжение питающей сети для электродвигателей, значительно меньшее штатного, вплоть до физиологически безопасного для человека в сырых помещениях.

Появляется также возможность эксплуатировать электродвигатели на 660 В от сети 380 В.

При резонансной схеме включения электродвигателя пусковые токи не превышают номинальные, так как запуск двигателя происходит при напряжении питания $U_п$, в Q раз меньшем штатного напряжения U_d.

При останове ротора под воздействием внешней нагрузки электродвигатель не повре-

ждается, так как оказывается подключенным к малому напряжению питания $U_п$ через конденсатор со значительным реактивным сопротивлением.

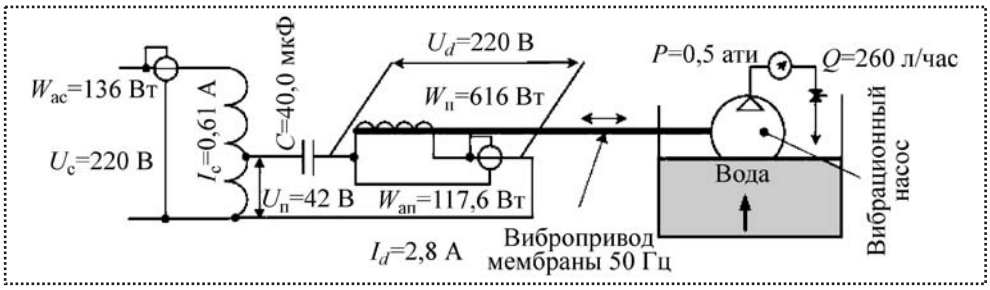


Рис. 2. Резонансное включение вибронасоса. Экспериментальные данные

Выводы подтверждены на удобных для измерения механической мощности вибрационных насосах и электродвигателях средней мощности.

Как видно из данных измерений (рис. 2), при резонансном включении насоса от питающей сети отбирается только активная мощность, ток $I_с$ и напряжение $U_с$ совпадают по фазе, поэтому полная потребляемая от сети мощность $W_с$ = 134 Вт, найденная вольтамперным методом ($I_с$ = 0,61 А; $U_с$ = 220 В), практически совпадает с активной мощностью, определенной ваттметрами активной мощности, $W_с$ =136 Вт (с учетом потерь в трансформаторе).

При штатном включении вибрационного насоса ток I_d по фазе не совпадает с напряжением $U_с = U_d$ = 220 В питающей сети. В результате полная мощность

$$W_п = 2{,}8[\text{А}] \times 220[\text{В}] = 616\ [\text{Вт}]$$

(включает активную и реактивную составляющие), но активная мощность $W_а$ = 117 Вт (а с учетом активных потерь в трансформаторе $W_{ас}$ = 136 Вт), так как вибронасос характеризуется $\cos\varphi \approx 0{,}19$.

Аналогичные результаты получены для однофазных электродвигателей средней мощности. Для трехфазных двигателей типа АИР мощностью 0,75...2,2 кВт при малых нагрузках в резонансном включении полная ("кажущаяся") мощность, потребляемая электродвигателем, до 10 и более раз превышает потребляемую от сети активную мощность.

При затруднениях запуска двигателя первоначальный разгон ротора осуществлялся либо кратковременным подключением к штатной силовой сети, либо кратковременным подключением параллельно "резонансным" дополнительных пусковых емкостей. В последнем случае пусковые токи не превышали штатного номинального значения для электродвигателей.

При определении напряжения питания $U_п$ для двигателей следует иметь в виду, что реальная добротность электродвигателей меньше вычисленной на основании омического сопротивления и индуктивности обмотки вследствие активных потерь в их магнитной цепи.

Библиографический список

1. **Пат. RU.2120171-C1, H 01 J 3/18.** Устройство компенсации реактивной мощности в электрической цепи / А.А. Ульянченко, В.Н. Солонцев. – заявка № 97109509/09, 04.06.1997; опубликовано 10.10.1998.

2. **Бессонов Л.А.** Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник для вузов. 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1986.

УДК 621.882.6:006.354

Болты, винты и шпильки по ГОСТ Р 52627–2006

Ключевые слова: болты, винты, шпильки, механические свойства.

Key words: bolts, screws, studs, mechanical properties.

Материалы для изготовления болтов, винтов и шпилек

Класс прочности	Материал и обработка	Ограничения на химический состав (контрольный анализ) % (*m*/*m*)					Температура отпуска, °С, не менее
		C		P	S	B [a]	
		не менее	не более	не более	не более	не более	
3.6 [b]	Углеродистая сталь	–	0,20	0,05	0,06	0,003	–
4.6 [b]		–	0,55	0,05	0,06	0,003	–
4.8 [b]							
5.6		0,13	0,55	0,05	0,06	0,003	–
5.8 [b]		–	0,55	0,05	0,06		
6.8 [b]							
8.8 [c]	Углеродистая сталь с добавками (например, B, Mn или Cr), закаленная и отпущенная	0,15 [d]	0,40	0,035	0,035	0,003	425
	Углеродистая сталь, закаленная и отпущенная	0,25	0,55	0,035	0,035		
9.8	Углеродистая сталь с добавками (например, B, Mn или Cr), закаленная и отпущенная	0,15 [d]	0,35	0,035	0,035	0,003	425
	Углеродистая сталь, закаленная и отпущенная	0,25	0,55	0,035	0,035		
10.9 [e,f]	Углеродистая сталь с добавками (например, B, Mn или Cr), закаленная и отпущенная	0,15 [d]	0,35	0,035	0,035	0,003	340
10.9 [f]	Углеродистая сталь, закаленная и отпущенная	0,25	0,55	0,035	0,035	0,003	425
	Углеродистая сталь с добавками (например, B, Mn или Cr), закаленная и отпущенная	0,20 [d]	0,55	0,035	0,035		

Класс прочности	Материал и обработка	Ограничения на химический состав (контрольный анализ) % (*m*/*m*)					Температура отпуска, °С, не менее
		C		P	S	B [a]	
		не менее	не более	не более	не более	не более	
10.9 [f]	Легированная сталь, закаленная и отпущенная[g]	0,20	0,55	0,035	0,035	0,003	425
12.9 [f,h,l]	Легированная сталь, закаленная и отпущенная[g]	0,28	0,50	0,035	0,035	0,003	380

Примечание:

a – *l* – сноски:

[a] Содержание бора может достигать 0,005 % при условии, что неэффективный бор контролируется добавлением титана и/или алюминия.

[b] Для этих классов прочности допускается применять сталь с максимальным содержанием: 0,34 % серы, 0,11 % фосфора, 0,35 % свинца.

[c] При номинальных диаметрах свыше 20 мм для получения достаточной прокаливаемости можно применять стали, предусмотренные для класса прочности 10.9.

[d] В углеродистой стали с добавками бора с содержанием углерода ниже 0,25 % (анализ ковшовой пробы) минимальное содержание марганца должно составлять 0,6 % для класса прочности 8.8 и 0,7 % – для классов прочности 9.8, 10.9 и 10.9.

[e] Изделия из этих сталей следует дополнительно маркировать знаком подчеркивания обозначения класса прочности. Все установленные ГОСТ Р 52627–2006 механические и физические свойства для класса прочности 10.9 должны быть у изделий класса прочности 10.9, однако из-за более низкой температуры отпуска для изделий этого класса характеристики релаксации напряжений в этих изделиях при повышенных температурах будут другими.

[f] Материал этих классов прочности должен иметь такую прокаливаемость, чтобы непосредственно после закалки перед отпуском получалась структура, состоящая приблизительно на 90 % из мартенсита в сердцевине резьбовых участков крепежных изделий.

[g] Эта легированная сталь должна содержать, по меньшей мере, один из следующих легирующих элементов в указанном минимальном количестве: 0,30 % хрома, 0,30 % никеля, 0,20 % молибдена, 0,10 % ванадия. Если сталь содержит два, три или четыре этих элемента, а содержание отдельных легирующих элементов меньше значений, приведенных выше, то предельное значение для определения класса составляет 70 % суммы отдельных предельных значений, приведенных выше, для двух, трех или четырех рассматриваемых элементов.

[h] Для класса прочности 12.9 не допускается наличие обогащенного фосфором белого слоя, обнаруживаемого металлографическим способом, на верхних поверхностях, подвергаемых растягивающему напряжению.

[l] Химический состав и температура отпуска в настоящее время исследуются и будут уточнены.

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; tsmm@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 09.09.09 г. Подписано в печать 09.11.09 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 6,86. Уч.-изд. л. 6,39. Заказ 954. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Издательство Машиностроение".
Отпечатано в ООО "Подольская Периодика", 142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, д. 15.