

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

5 2013
(154)

СОДЕРЖАНИЕ

Современные технологии сборки

Кутин А.А., Туркин М.В. Организационные принципы построения поточной сборки авиационной техники 3

Технологическая оснастка для сборки

Иванов А.А. Вибрационные сборочные системы. 7

Гоцеридзе Р.М., Румянцев С.В. Устройство для контроля овальности и погрешностей взаимного расположения поверхностей вращения в изделиях и деталях 10

Сборочно-сварочные работы

Витнов Ю.В., Павлин В.Н., Александрин А.Г., Голубев С.В., Герасимов Е.А., Медведев Н.П. Возможности применения аргонодуговой наплавки уплотнительных поверхностей арматуры из титановых сплавов 14

Орлова М.Д., Лисовский С.М., Бабкова Н.И. Изготовление спиральных замедляющих систем с применением диффузионной сварки 16

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Фомин А.А. Пути снижения вибрации шпиндельного узла станка для механической обработки отходов лесопиления 19

Хоменко В.В. Технологическая реализуемость конструкторско-технологических решений, направленных на повышение качества высокотехнологичной продукции 25

В помощь конструктору, технологу

Березин С.Я., Романова Л.С. Расчет конструктивных и настроечных параметров сборочных и резьбонарезных патронов 28

Шинаков И.В., Жданов А.В. Создание предварительного натяга в ролико-винтовых механизмах при сборке 35

В порядке обсуждения

Григорьев В.С., Миронычев Н.А. Синергетический подход к описанию процессов механической обработки и сборки 38

Соединение деталей машин

Куприянов А.В. Моделирование прочности соединения с натягом при наличии погрешности геометрии формы 41

Разное

Смоленцев В.П., Козлов А.А., Клименченков А.А., Коптев И.И. Технология электрохимического маркирования металлических изделий 45

Председатель

редакционного совета
Ф.М. МИТЕНКОВ, академик РАН

Редакционный совет

МОСКВА
А.С. ВАСИЛЬЕВ (главный редактор)
А.А. ГУСЕВ
М.В. ВАРТАНОВ
А.М. ДАЛЬСКИЙ
И.Н. ЗИНИНА
Ю.Л. ИВАНОВ
Ю.Г. КОЗЫРЕВ

А.И. КУМЕНКО
А.В. МЕДАРЬ
Е.А. МИКРИН
В.В. ПОРОШИН
Б.В. ШАНДРОВ
А.А. ШАТИЛОВ
А.Г. ХОЛОДКОВА
Г.А. ЯРКОВ

Региональные редсоветы

БЕЛГОРОД
Н.А. ПЕЛИПЕНКО

БРЯНСК
О.А. ГОРЛЕНКО

ВЛАДИВОСТОК
Ю.Н. КУЛЬЧИН
А.А. СУПОНЯ
В.М. КОРНИЕНКО

ОРЕНБУРГ
А.Н. ПОЛЯКОВ
А.И. СЕРДЮК
А.П. ФОТ

РЫБИНСК
В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ
В.В. НЕПОМИЛУЕВ
А.И. СЕМЕНОВ

САМАРА
М.А. ЕВДОКИМОВ
Ю.А. ВАШУКОВ
Г.А. КУЛАКОВ
В.А. НИКОЛАЕВ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
В.Ф. КУЗЬМИН
Е.В. ШАЛОБАЕВ

ТОЛЬЯТТИ
А.И. РЫЖКОВ

ТУЛА
В.В. ПРЕЙС

ХАБАРОВСК
В.А. ЛАШКО

Украина

КИЕВ
А.С. ЗЕНКИН
В.А. МАТВИЕНКО

ДОНЕЦК
А.Н. МИХАЙЛОВ

СЕВАСТОПОЛЬ
Е.Л. ПЕРВУХИНА

Беларусь

МИНСК
В.Л. БАСИНЮК
М.Л. ХЕЙФЕЦ

ГОМЕЛЬ
В.Е. СТАРЖИНСКИЙ

ИЗРАИЛЬ
В.М. БЕДРИН

ПОЛЬША
П. ЛЕБКОВСКИ
Е. ЛУНАРСКИ

Ответственные за подготовку и выпуск номера:

Ю.А. ЧИЧОВ, И.М. ГЛИКМАН

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индексы по каталогу "Роспечать" – 79748, Объединенному каталогу "Пресса России" – 84967, каталогу "Почта России" – 60257) или непосредственно в издательстве
Тел.: (499) 268-38-42; тел./факс: 268-85-26. Факс: (499) 269-48-97.
E-mail: sborka@mashin.ru

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

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

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

THE MONTHLY
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

5 2013
(154)

CONTENTS

Modern technologies in assembly	
Kutin A.A., Turkin M.V. Principals for aircraft moving line assembly formation	3
Technological equipment for assembly	
Ivanov A.A. Vibration assemblyng systems	7
Gotseridse R.M., Rumiantsev S.V. The device for checking oval and inaccuracy the mutual location of the rotation surfaces in product and detail	10
Assembly welding works. Soldering	
Vytnov Yu.V., Pavlin V.N., Aleksandrin A.G., Golubev S.V., Gerasimov E.A., Medvedev N.P. Possibilities to apply argon-arc surfacing for seal surfaces of titanium alloy valves	14
Orlova M.D., Lisovski S.M., Babkova N.I. Production of spiral slowing-down systems with application diffusive welding	16
Quality assurance. Testing. Monitoring	
Fomin A.A. Machine tool spindle vibration for the mechanical processing of a timber waste	19
Khomenko V.V. The technological feasibility of the design and technological solutions aimed at improving the quality of high-tech products	25
Industrial and design engineer's aid	
Berezin S.Ya., Romanova L.S. Calculation constructive and adjusting parameters assembly and thread-forming tapes	28
Shinakov I.V., Zhdanov A.V. Creation of a preliminary tightness in roller screw mechanisms at assembling	35
Discussing	
Grigor'ev V.S., Mironychev N.A. The sinergetics approach to the description processes of machining and assembly	38
Connections of details mashines	
Kupriyanov A.V. Strength simulation of joints with interference fit at available inaccuracy of form geometry	41
Different	
Smolentsev V.P., Kozlov A.A., Klimenchenkov A.A., Koptev I.I. Electrical marking technology of metal products	45

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

Editors

MOSCOW

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

A.I. KUMENKO
A.V. MEDAR'
E.A. MIKRIN
V.V. POROSHIN
B.V. SHANDROV
A.A. SHATILOV
A.G. KHOLODKOVA
G.A. YARKOV

Regional editors

BELGOROD

N.A. PELIPENKO

BRIANSK

O.A. GORLENKO

VLADIVOSTOK

Yu.N. KULSHIN
A.A. SUPONIA
V.M. KORNIENKO

VOLGOGRAD

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

IZNEVSK

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

KAZAN

R.I. ADGAMOV

KOVROV

Yu.Z. ZHITNIKOV

KOLOMNA

Yu.D. AMIROV

KOMSOMOLSK-ON-AMUR

B.N. MARJIN

V.I. SCHPORT

A.M. SHPILEV

NABEREZHNYE CHELNY

S.V. DMITRIEV

R.M. KHISAMUTDINOV

NIZHNY NOVGOROD

S.V. GOLUBEV

OMSK

V.N. KOSTIUKOV

OREL

Yu.S. STEPANOV

G.A. KHARLAMOV

ORENBURG

A.N. POLYAKOV

A.I. SERDUK

A.P. FOT

RYBINSK

V.F. BEZIAZYSHNY

V.V. NEPOMILIEV

A.N. SEMENOV

SAMARA

M.A. EVDOKIMOV

Yu.A. VASHUKOV

G.A. KULAKOV

V.A. NIKOLAEV

ST.-PETERSBURG

V.F. KUZMIN

E.V. SHALOBAEV

TULA

V.V. PREYS

TOLIATI

A.I. RYZHKOV

KHABAROVSK

V.A. LASHKO

Ukraine

KIEV

A.S. ZENKIN

V.A. MATVIENKO

DONETSK

A.N. MIKHAILOV

SEVASTOPOL

E.L. PERVUKHINA

Belarus

MINSK

V.L. BASINJUK

M.L. KHEIFETZ

GOMEL

V.E. STARZHINSKI

ISRAEL

V.M. BEDRIN

POLAND

P.LEBKOVSKI

E. LUNARSKI

Executive editors of current issue:

Yu.A. CHICHOV, I.M. GLIKMAN

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

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

Организационные принципы построения поточной сборки авиационной техники

Рассмотрены формы организации сборочных производств авиационной техники и предложены различные критерии оптимизации структур. Разработанная в результате проведенного исследования схема поточной сборки авиационной техники позволяет увеличивать производительность труда более чем в два раза.

This paper examines different functional and structural layouts of aircraft assembly facilities. Several optimization criteria are proposed for increasing productivity and reducing inventory in final assembly operations. The formation of moving line aircraft assembly can double the production output and reduce work in progress.

Ключевые слова: стапельная сборка, поточная сборка, оптимизация структуры, повышение производительности.

Keywords: assembly line, flexible manufacturing, structural optimization, layout design.

Введение

Развитие современного машиностроения невозможно без существования сборочных производств. Научно-технический прогресс машиностроения характеризуется усложнением конструкций, повышением качества и технико-экономических характеристик выпускаемых изделий. Кроме того, расширяется номенклатура изделий и увеличиваются темпы смены их моделей. За последние 10 лет номенклатура освоенных новых машин возросла более чем в 15 раз при сокращении времени нахождения изделий в производстве с 10–15 до 3–4 лет. Следствием этого является преобладание производств с малой серийностью, что создает значительные трудности при организации сборочных работ [1].

Актуальность вопроса организации сборочных производств подтверждается тем, что трудоемкость сборочных работ составляет 25...30 % от общей трудоемкости изготовления изделий в общем машиностроении и имеет тенденцию к дальнейшему росту, а стоимость этих работ в авиастроении достигает 50 %.

Производство изделий авиационной техники традиционно включает в себя полный цикл технологических переделов от заготовительных операций до приемо-сдаточных испытаний. При этом в структуре технологической себестоимости изделия в целом каждый из переделов производит различный эффект. Наибольшая доля добавочной стоимости конечного изделия определяется эффективностью технологического передела агрегатной и общей сборки [2].

Наряду с изложенным необходимо отметить, что именно организация сборочных производств авиационной техники в нашей стране осталась неизменной с 1930-х гг.

Переход на более прогрессивную форму организации сборки изделий авиационной техники необходим для обеспечения конкурентоспособности отечественной продукции на мировом рынке.

Анализ работ в области организации сборочных комплексов показывает, что объективно существует достаточно обширная область технологического проектирования, которую на протяжении большого периода времени подробно не исследовали. Причина тому – сложность самого процесса сборки изделий авиационной техники и сопутствующих ему вспомогательных процессов. Примером могут служить работы А.А. Гусева [3] и В.П. Вороненко [4], относящиеся преимущественно к автоматизации процессов сборки отдельных видов изделий, а не к комплексному проектированию сборочных производств.

Структура сборочного производства

Сборочное производство авиационного предприятия можно представить как сложную систему, выделяя при этом ряд формальных признаков и свойств, которые характеризуют его с системных позиций:

- наличие большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих элементов;
- многофункциональность и иерархичность построения системы;
- наличие общей цели функционирования системы, определяемой служебным назначением;
- определенный состав требований как к системе в целом, так и к отдельным ее элементам;



- переменность структуры (элементов и отношений между ними), обеспечивающей гибкость функционирования в зависимости от производственных условий;

- случайный характер во взаимодействии структурных подразделений и производственного оборудования в структуре системы и всей системы с внешней средой;

- наличие признаков эргономичности и безопасности работы, так как одни функции в системе выполняются автоматическим оборудованием, а другие – производственным персоналом [5].

Построение производственной системы, отвечающей современным требованиям, необходимо выполнять на базе системного анализа связей между:

- служебным назначением, функциями и структурой сборочного производства;

- условиями производства и технологическим оснащением;

- материальными потоками и принципами построения транспортных систем и формирования структурных подразделений;

- процессами сборки, транспортирования, складирования изделий и конструкцией производственной тары;

- производственными маршрутами изготовления изделий и планировочными решениями производственных подразделений.

Важным этапом анализа производственной системы является процесс декомпозиции сборочного производства, который должен учесть не только топологические свойства модели системы, но и функциональные взаимосвязи ее элементов.

Принципы оптимизации сборочных производств

Общую проблему проектирования сборочных производств можно сформулировать в следующем виде. Задано: множество наименований собираемых изделий $I = \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$ с объемом выпуска каждого наименования изделия $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$, параметрами их качества $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_n\}$; качество, габариты, масса и материал деталей, комплектующих изделия, режим работы производства, множество последовательностей сборки изделий $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, а также ограничения по качеству выпускаемых изделий $Q_n > Q_n^*$, сроку изготовления $T = T^*$, сроку проектирования $T_n < T_n^*$ и затраты на проектирование $Z < Z^*$. Требуется найти из множества возможных решений сборочного производства $S = \{S_1, S_2, \dots, S_i\}$ такое S , чтобы обеспечить выпуск требуемых I_n, V_n, Q_n и минимум приведенных затрат на производство заданных изделий.

Критерием для выбора принципа формирования производственных подразделений, характеризующего форму организации производства, предложено использовать такой показатель, как степень кооперации, которая определяется исходя из среднего числа материальных связей между производственным оборудованием и сборочными позициями [6].

Оптимизация по критерию минимума мощности материальных потоков позволит сократить число используемых транспортных средств и транспортных рабочих, повысить мобильность производственной системы, коэффициент использования сборочных позиций, сократить энергопотребление, амортизационные отчисления и эксплуатационные затраты.

Оптимизация по критерию максимального съема продукции с единицы объема производственного помещения позволит экономить производственные площади и снизить стоимость производственного здания.

При многокритериальной оценке эффективности организационного решения ряд частных показателей могут иметь различную размерность, но их приводят к одной путем введения весовых коэффициентов, определяемых на основании статистических данных и в общем случае отражающих степень влияния каждого показателя на величину приведенных затрат. Таким образом, интегральный показатель оценки качества проектного решения определится как сумма частных показателей, взвешенных по их значимости.

Необходимо иметь в виду, что точность принятия решений при многокритериальной оценке зависит от объективности принятых весовых коэффициентов, которые должны отражать конкретные производственные условия. В ряде случаев число частных показателей может возрасти по сравнению с рассмотренным двухкритериальным случаем, в частности могут дополнительно быть введены другие частные критерии, например: протяженность коммуникаций, машиноемкость и трудоемкость выполнения сборочных операций, цикл изготовления изделий, коэффициент загрузки сборочных позиций и др. Однако при выборе критериев следует учесть, что чрезмерное их число может не привести к желаемому эффекту вследствие роста суммарной погрешности интегрального критерия и трудоемкости проектных работ.

Оптимизация по данному критерию позволит сократить расходы на транспортирование и управление производством, тем самым будет обеспечено выполнение глобального критерия.

В свою очередь поточный способ организации производства позволяет обеспечить наименьший уровень грузопотоков и объемов незавершенного производства, напрямую влияющего на эффективность всей производственной системы предприятия.



Реализация поточной сборки авиационной техники

Процесс агрегатной сборки является заключительным этапом в производстве изделий авиационной техники, на котором формируются требуемые ее свойства. Эффективность работы сборочного производства определяется своевременным его обеспечением деталями и комплектующими сборочными единицами требуемого качества и надежной работой всех вспомогательных систем. Таким образом, работа всех производственных подразделений должна быть подчинена работе сборочных участков, а из этого следует, что порядок запуска и выпуска деталей с механообрабатывающих участков должен быть согласован с планируемыми сборочным процессом изготовления изделий.

При этом уровень незавершенного производства, находящийся в системе, напрямую зависит от производственного такта агрегатной сборки:

$$T_0 = \frac{W}{T_{\text{ц}}}, \quad (1)$$

где T_0 – длительность производственного цикла сборки;

W – объем незавершенного производства;

$T_{\text{ц}}$ – длительность сборочной операции.

В свою очередь длительность производственного такта зависит от цикличности поставок комплектующих:

$$T_{\text{ц}} = \left(\frac{C_e^2 + C_a^2}{2} \right) \left(\frac{u}{1-u} \right) t, \quad (2)$$

где C_e – коэффициент разброса длительности операции;

C_a – коэффициент разброса наличия комплектующих;

u – коэффициент загрузки сборочной станции (от 0 до 1);

t – нормированное время технологических переходов.

Любое рассогласование приводит к увеличению складских запасов, а следовательно, и к объему незавершенного производства, что в итоге скажется на эффективности работы производственной системы в целом.

При поточной форме организации агрегатной сборки производственный такт определяется не длительностью сборочного цикла, как в случае ступенчатой сборки, а скоростью движения от одной сборочной позиции к другой (рис. 1 на стр. 3 обложки). При этом становится возможным уменьшить уровень складских запасов более чем в четыре раза.

При формировании сборочных позиций в рамках организации поточного производства в первую оче-

редь следует определить, какие сборочные операции будут выполняться на автоматическом сборочном оборудовании, а какие – на рабочих станциях.

Кроме того, необходимо сформировать структуру сборочных операций, т.е. определить число переходов на каждой сборочной позиции и временную структуру их выполнения (последовательно, параллельно-последовательно, параллельно), что скажется на компоновке сборочного оборудования и сложности транспортной системы.

При проектировании сборочной операции необходимо предусматривать следующие этапы:

- прием базовой и комплектующей деталей и их загрузка в рабочую зону;
- установка базовой детали и координация комплектующей детали;
- относительная ориентация базовой и комплектующей деталей;
- соединение комплектующей детали с базовой с обеспечением при этом требуемого взаимного их расположения;
- закрепление комплектующей и базовой деталей, освобождение рабочей позиции.

Для реализации этого технологического процесса сборочное оборудование должно иметь следующие элементы:

- сборочное приспособление для установки на нем базовой детали или приспособления-спутника;
- транспортирующую единицу, служащую для загрузки базовой и комплектующей деталей, а также для вывода собранной сборочной единицы из рабочей зоны;
- сборочный агрегат, осуществляющий прием комплектующей детали и ее сборку с базовой (рис. 2 на стр. 3 обложки).

Гибкость складской системы обеспечивается использованием автоматических складов в цехе и на производственных участках, а также накопителей около сборочных позиций необходимой вместительности. Унификация размеров накопительных ячеек позволит накапливать изделия различных наименований, установленных в унифицированную транспортную тару.

В системе инструментального обеспечения сборочных операций наибольшее значение имеет контрольно-проверочный пункт, через который проходит наибольшее количество непосредственных и транзитных материальных потоков. Следовательно, при проектировании и эксплуатации системы инструментального обеспечения на него необходимо обращать наибольшее внимание.

Примером реализации принципов поточной организации сборки в авиастроении может служить процесс агрегатной сборки истребителя F-35, основанный на поэтапном перемещении центроплана от одной рабочей позиции к другой в подвижном стапеле (рис. 3



Сравнение форм организации сборочных производств

Показатель	Форма организации сборочного производства	
	стационарная	поточная
Собираемое изделие	F-16	F-35
Число оригинальных деталей в изделии, шт.	6500	7200
Размер производственной площади, м ²	2500	1400
Средняя длительность цикла сборочных работ, дней	30	17
Разброс длительности сборочных работ, дней	10	3
Средний объем складских запасов, дней работы	42	12

на стр. 4 обложки). Конструкция подвижного стапеля фиксирует центроплан и обеспечивает возможность последовательного монтажа агрегатов, арматуры и электропроводки. По окончании процесса сборки стапель раздвигается и возвращается в начало сборочной линии, после чего процесс повторяется вновь [7].

Сравнение поточной и традиционно стационарной формы организации сборки авиационной техники показывает, что первый вариант позволяет уменьшить длительность производственного цикла и сократить объемы переходящего запаса комплектующих (см. таблицу).

В плане конечного экономического эффекта наиболее значимым является снижение уровня переходящего незавершенного производства (НЗП). Экономия от снижения объемов НЗП $\Theta_{\text{НЗП}}$ определяется как эффект от непривлечения кредита, основываясь на объеме условно высвобожденной денежной массы:

$$\Theta_{\text{НЗП}} = Y_{\text{ден. масс}} (L_{\text{до}} - L_{\text{после}}) \frac{K}{365}, \quad (3)$$

где $Y_{\text{ден. масс}}$ – объем условно высвобожденной денежной массы, рассчитываемый по формуле (4);

$L_{\text{до}}$ – длительность цикла до (дни);

$L_{\text{после}}$ – длительность цикла после (дни);

K – ставка банковского кредита.

Объем условно освобожденной денежной массы

$$Y_{\text{ден. масс}} = D_{\text{НЗП}} C_{\text{цех. дет}} \frac{L_{\text{до}} - L_{\text{после}}}{30 / (N_{\text{изд. мес}} N_{\text{дет. мес}})}, \quad (4)$$

где $D_{\text{НЗП}}$ – доля стоимости НЗП в полной себестоимости изделия;

$C_{\text{цех. дет}}$ – цеховая себестоимость производства детали;

$N_{\text{изд. мес}}$ – план выпуска изделий в месяц;

$N_{\text{дет. мес}}$ – число деталей (комплектующих) в месячной программе.

Основываясь на опыте корпорации Lockheed Martin в отечественной авиационной промышленности прорабатывается возможность организации поточной сборки семейства газотурбинных двигателей АЛ-31Ф, являющихся самыми массовыми в нашей стране [8].

Заключение

Использование системного комплексного подхода к анализу структур и форм организации сборочных производств позволило разработать принципы построения поточного производства авиационной техники.

Анализ производственных процессов в рамках сборочных операций позволил выдвинуть предложения по классификации сборочных позиций, разработать принципы рационального формирования рабочих сборочных позиций с учетом требований к точности, производительности сборочных процессов и сложности транспортной системы в рамках поточного производства.

Практическая реализация принципов многопозиционной поточной сборки на примере производства истребителя F-35 показала возможность увеличения производительности труда в более чем два раза и снижение уровня производственных запасов и переходящего задела комплектующих в четыре раза.

Библиографический список

1. Калачанов В.Д., Джамай Е.В. Формирование и оптимизация ресурсного обеспечения программ авиастроительного производства // Авиакосмическая техника и технология. 2005. № 4. С. 61–69.
2. Кутин А.А., Туркин М.В. Критерий структурной оптимизации производственного процесса изготовления сложных деталей машиностроения // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011. № 10. С. 72–75.
3. Гусев А.А. Выбор рациональной структуры операции и компоновки ГПС для серийной автоматической сборки изделий // Автоматизация и современные технологии. 2005. № 9. С. 17–31.
4. Вороненко В.П. Проектирование автоматизированных гибких сборочных производств // Механизация и автоматизация производства. 1990. № 12. С. 16–18.
5. Ершов В.И. Технология сборки самолетов. М.: Машиностроение, 1986.
6. Вороненко В.П. Организационные принципы построения малых механосборочных производств // Механизация и автоматизация производства. 1991. № 6. С. 26–27.
7. Wang S., Andrew M. Design and analysis of production systems in aircraft assembly // Thesis. Cambridge. MA. MIT. 1999.
8. Кутин А.А., Туркин М.В. Повышение эффективности изготовления компрессорных лопаток газотурбинных двигателей на основе производственных ячеек замкнутого технологического цикла // Вестник машиностроения. 2013. № 1. С. 67–71.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ СБОРКИ

УДК 658.527.011

А.А. Иванов, д-р техн. наук

(Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева)

E-mail: ivanov_aa@nntu.nnov.ru

Вибрационные сборочные системы

Приведены примеры успешного использования вибрационных систем для сборки изделий в машиностроении и приборостроении. Показана эффективность применения комбинированных методов манипулирования объектами при сборке, когда на традиционные механические системы накладывается направленная вибрация, благодаря чему производительность сборочных систем повышается в разы.

The examples of successful employment of vibration systems for assembly of articles machine-building and instrument-making are quoted. The efficiency of employment of combined methods of manipulating objects during their assembly is shown. Consequently, directed vibration is put to the traditional mechanical systems. As a result, productive capacity of assembly systems is increased greatly thanks to that fact.

Ключевые слова: вибрационная сборочная система, направленная вибрация, групповая сборка, контактное взаимодействие.

Keywords: vibration assembly systems, directed vibration, group assembly, contact interaction.

Из вибрационных систем в промышленности наибольшее распространение получили вибробункеры для автоматической подачи разнообразных заготовок и деталей в рабочую зону технологических машин, комплексов и линий. В автоматических линиях вибробункеры часто используют также в качестве межоперационных накопителей.

Вибробункер представляет собой цилиндрическую емкость с внутренним 3 (или наружным 1) винтовым транспортным лотком, которая крепится на трех стержневых или плоских пружинах 4 (рис. 1). Пружины опираются на массивное основание 6, которое устанавливается на станке или индивидуальной стойке с амортизаторами 7. Наиболее распространенным источником вынужденных колебаний бункера с заготовками является электромагнит 5, катушка которого питается пульсирующим током по схеме однополупе-

риодного выпрямителя. Вибробункер большой емкости обычно содержит три электромагнитных вибратора [1, 2].

Вибрационные системы успешно применяют и на сборочных операциях. В качестве примера приведем оригинальное техническое решение использования вибробункера с двойной чашей для сборки болтов с шайбами на автопредприятиях (рис. 2). Болты подаются из внутренней чаши 2 в верхний выходной лоток 3, а шайбы — из внешней чаши 1 в нижний лоток 7. В позиции совмещения 4 происходит их сборка. В этой позиции болт фиксируется отсекателем 5 на верхнем лотке, а шайба — отсекателем 6 на нижнем лотке, благодаря чему обеспечивается их соосность. По сигналу датчика опора 8 под болтом раздвигается и болт под дей-

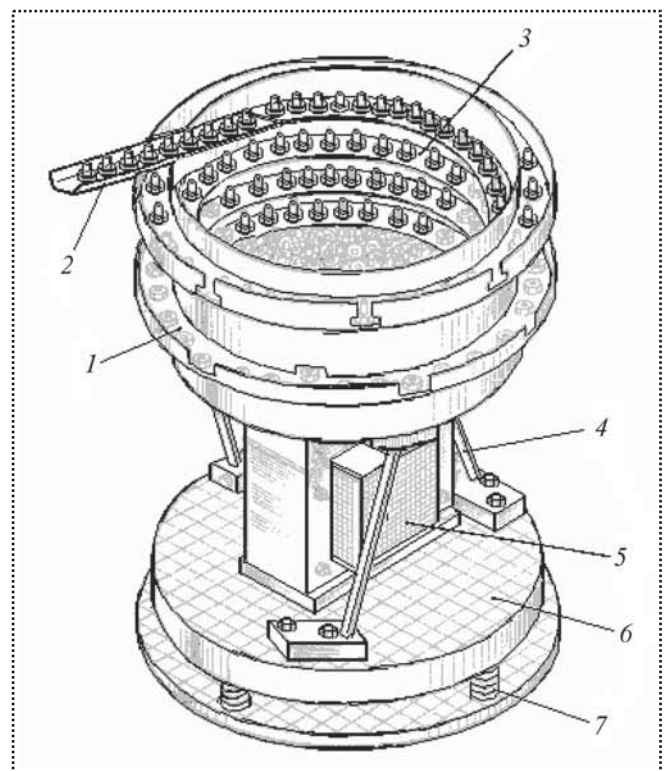


Рис. 1. Вибробункер с одним центральным электромагнитом: 1 — наружный винтовой лоток; 2 — выходной лоток; 3 — внутренний винтовой лоток; 4 — пружина; 5 — электромагнит; 6 — основание; 7 — амортизатор

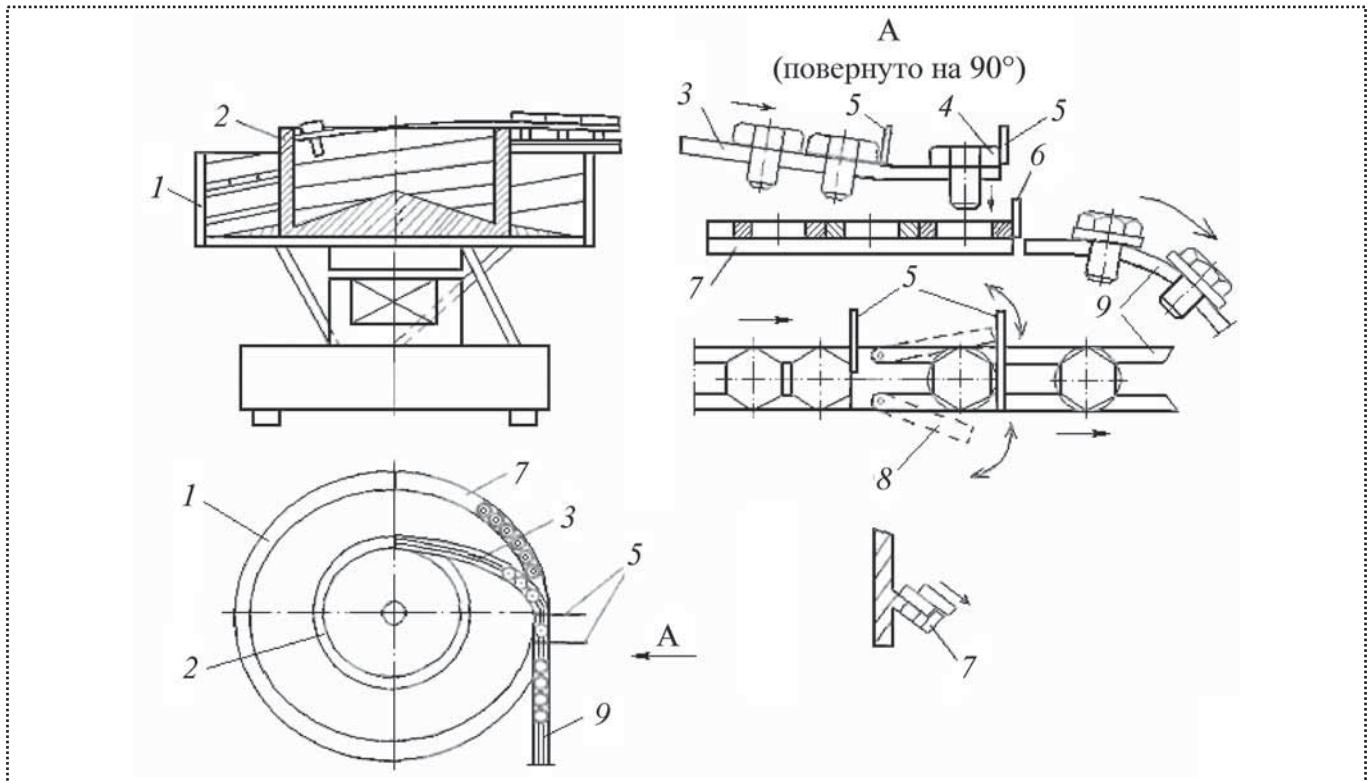


Рис. 2. Схема вибробункера с двойной чашей для сборки болтов с шайбами:

1 и 2 – чаши для шайб и болтов; 3 и 7 – лотки выходные для болтов и шайб; 4 – позиция совмещения; 5 – отсекатели для болтов; 6 – отсекатель для шайб; 8 – опора раздвижная; 9 – выходной лоток для сборочных единиц

ствием собственной силы тяжести западает стержнем в отверстие шайбы. Затем срабатывает отсекатель *б* и собранный узел под действием вибрации попадает на выходной лоток *9*. Производительность вибросистемы составляет более 1000 сборок в час.

Применение сборочных вибросистем в приборостроении рассмотрим на примере сборки контактных

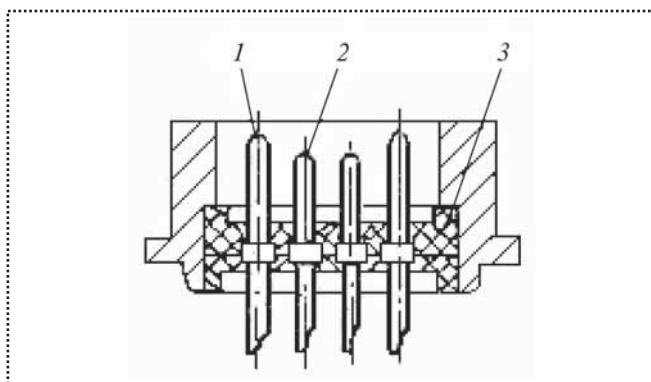


Рис. 3. Контактный пакет комбинированного электросоединителя с цилиндрическими контактными элементами двух типов: 1, 2 – контактные элементы различного диаметра; 3 – основной изолятор

пакетов (рис. 3) электросоединителей (штепсельных разъемов).

Автоматизированная система состоит из верхнего бункера 2 с виброприводом 3, нижнего бункера 4 с ориентатором 8 и распределителем 9 и механизма 10 шагового перемещения кассеты с изоляторами 11 (рис. 4). Блок, состоящий из нижнего бункера, ориентатора и распределителя, соединен с виброприводом 5. Шаблон 1, устанавливаемый над верхним бункером 2 при первичной загрузке деталей (цилиндрических контактов), служит для распределения контактов по ячейкам верхнего бункера в соответствии со схемой сборки.

Число ячеек U-образной формы верхнего и нижнего бункеров равно максимальному числу гнезд в изоляторе для данного типа электросоединителя. Каждая ячейка верхнего бункера вмещает примерно 40 деталей, а ячейка нижнего бункера – до 100. В низу ячеек верхнего бункера сделаны окна по длине контакта, которые могут перекрываться заслонкой 12.

Ширина окна позволяет размещаться на заслонке четырем–шести контактными элементами. Ячейки нижнего бункера также имеют прорези по длине контакта, но ширина прорези равна одному диаметру де-

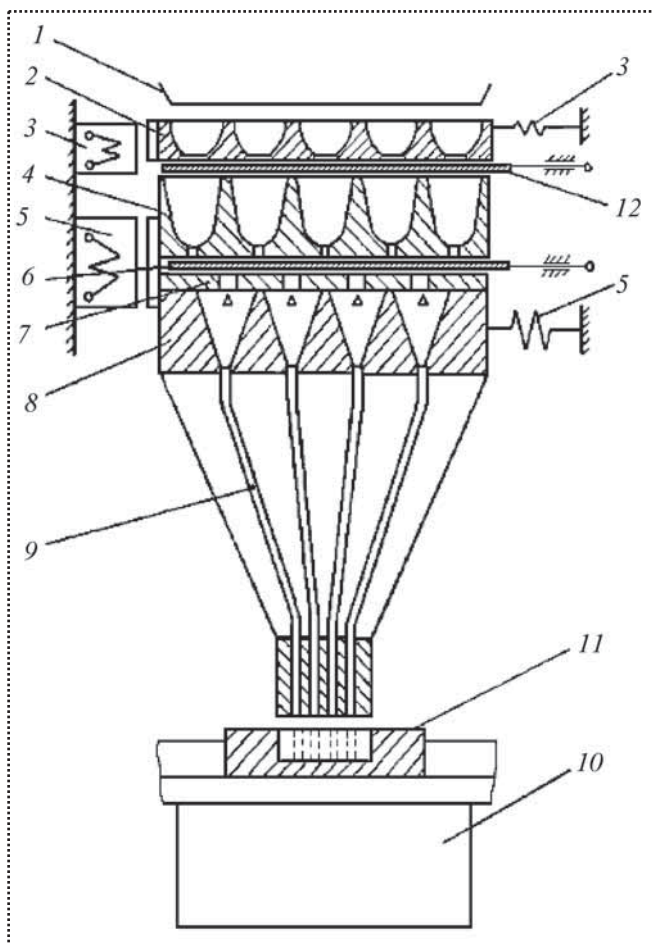


Рис. 4. Схема вибросистемы для сборки контактных пакетов электросоединителей с цилиндрическими контактными элементами:

1 – шаблон; 2 и 4 – верхний и нижний бункеры; 3, 5 – виброприводы; 6 – отсекатель; 7 – шибер; 8 – ориентатор; 9 – распределитель; 10 – механизм шагового перемещения изолятора 11; 12 – заслонка

тали. Эти прорезы выполняют роль накопителя, емкость которого составляет три–пять контактов. Отсекатель 6 своим ходом обеспечивает групповую отсечку контактов из прорезей-накопителей нижнего бункера 4 и загрузку их в окна шибера 7, причем отсекатель используется также для перекрытия прорезей накопителей в случае аварийной ситуации и ремонта установки. Шибер 7 передает загруженные отсекателем 6 в его окна контакты в ориентатор 8, откуда они по каналам распределителя 9 попадают в гнезда изолятора 11. В ориентаторе 8 контакты ориентируются по торцу, а в гнездах изолятора 11 – по лыске (облуженный торец). Каналы распределителя 9 представляют собой пакет трубок, внутренний диаметр которых несколько больше диаметра контакта.

Рабочий цикл установки начинается с загрузки оператором контактов через окна шаблона 1 в ячейки верхнего бункера 2, где они под действием вибрации штабелируются в горизонтальном положении. При открытии заслонки 12 контакты из ячеек верхнего бункера перегружаются в ячейки нижнего бункера 4. Для полной загрузки ячеек нижнего бункера контактами заслонка должна сделать два–три двойных хода. После установки изолятора 11 пакета на механизм шагового перемещения 10 работа продолжается в автоматическом режиме. В процессе работы автомата оператор может производить дозагрузку контактами верхнего и нижнего бункеров.

При переналадке установки со стержней на гнезда необходимо заменять нижний бункер с отсекателем, шибером и ориентатором. Переналадка по схемам сборки требует замены шаблона над верхним бункером, распределителя и кассеты. Производительность сборочной вибросистемы составляет не менее 400 контактных пакетов в час.

Сборка контактных пакетов электросоединителей с плоскими (ножевыми) контактными элементами 6 производится в несколько измененной системе с применением вибрации и вакуума (рис. 5). Первичная го-

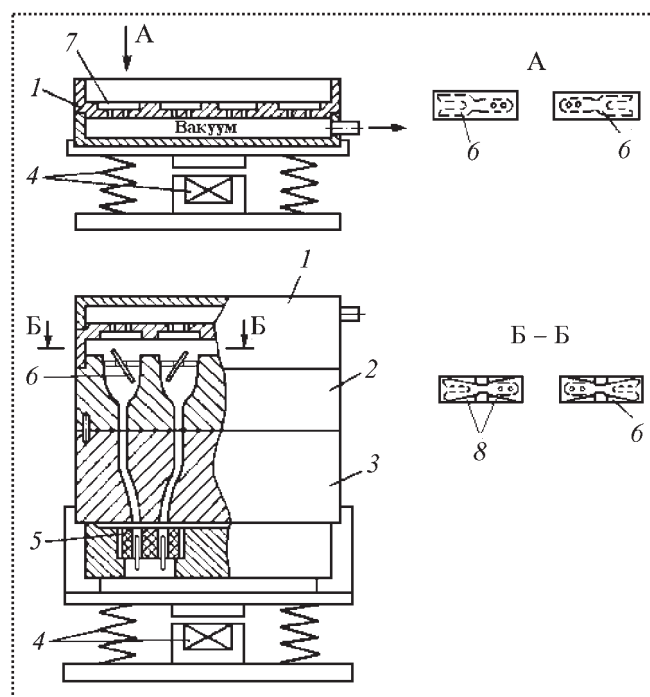


Рис. 5. Схема вибросистемы для сборки контактных пакетов электросоединителей с плоскими контактными элементами:

1 – промежуточная кассета; 2 – узел вторичной ориентации; 3 – распределитель; 4 – вибропривод; 5 – изолятор контактного пакета; 6 – плоский контактный элемент; 7 – гнездо в промежуточной кассете; 8 – клинья в гнездах узла вторичной ориентации



ризонгальная ориентация плоских контактов осуществляется при западании их в гнезда 7 промежуточной кассеты 1 с вакуумной камерой под действием вибрации, возникающей при работе вибропривода 4. Контакты в гнездах кассеты располагаются узким концом влево и вправо примерно с равной вероятностью. После заполнения всех гнезд включается вакуум и кассета 1 переворачивается на 180°. При этом контакты в гнездах удерживаются за счет вакуума, а остальные сыпаются в тару. Затем кассета совмещается с узлом вторичной ориентации 2, и вакуум отключается. Контакты падают в гнезда, где благодаря наличию клиньев 8 ориентируются однозначно узким концом вниз. Под действием силы тяжести и вибрации контакты попадают в каналы распределителя 3, а оттуда – в гнезда изолятора 5 контактного пакета, который после заполнения поступает на сборочную линию. Во время процесса вторичной ориентации контактных элементов оператор засыпает очередную партию

контактов в емкость узла первичной ориентации. Далее цикл повторяется.

Вывод

Показано, что использование вибрационных систем для сборки изделий в машиностроении и приборостроении оказывается достаточно эффективным, особенно в случае применения комбинированных методов манипулирования объектами при сборке, когда на традиционные механические системы накладывается направленная вибрация, благодаря чему производительность сборочных систем повышается в разы.

Библиографический список

1. Иванов А.А. Проектирование автоматизированных систем манипулирования объектами обработки и сборки. М.: Форум, 2012. 352 с.
2. Иванов А.А. Автоматизированные сборочные системы. Нижний Новгород: НГТУ, 2007. 347 с.

УДК 681.2; 621.3.08

Р.М. Гоцеридзе, канд. техн. наук, **С.В. Румянцев**, инженер (МГТУ им. Н.Э. Баумана)
E-mail: Ruslan.Gotseridze@gmail.com

Устройство для контроля овальности и погрешностей взаимного расположения поверхностей вращения в изделиях и деталях

Описано устройство измерения овальности и погрешностей взаимного расположения поверхностей изделия на примере роторов поплавкового чувствительного элемента. Рассматриваются математический метод и блок-схема электронного измерительного блока.

The article describes the device of the measurement oval and inaccuracy mutual location surfaces of the product on example of the rotor float detector element. The mathematical method and block diagram of the electronic measuring block are considered.

Ключевые слова: измерение, датчик, магниторезонансный подвес, поплавковый чувствительный элемент, овальность, погрешность взаимного расположения.

Keywords: measurement, sensor, magnetic-resonance suspension, floating detector element, oval, inaccuracy of the mutual location

Для высокоточных роторов, валов и деталей вращения важно иметь возможность контроля их геометрических параметров с высокой точностью.

Обычно в машиностроении и приборостроении применяют механические контактные методы для измерения погрешностей геометрических отклонений роторов и валов, что требует применения сложных измерительных средств и оснастки, а также немалых временных затрат. В некоторых случаях можно упростить и ускорить процесс контроля погрешностей роторов путем применения бесконтактных методов измерения.

Такую возможность дает использование в качестве датчиков измерения магниторезонансных подвесов, применяемых обычно в поплавковых чувствительных элементах (ПЧЭ) гироскопических приборов.

В настоящей статье рассмотрено устройство, которое было использовано в приборостроении при контроле геометрических параметров ПЧЭ. Подобное устройство может быть использовано для контроля погрешностей валов, роторов и других деталей вращения, имеющих достаточную цилиндрическую поверхность для организации воздушной опоры.

Суть метода измерения состоит в следующем. Контролируемое изделие (ПЧЭ) располагается внут-

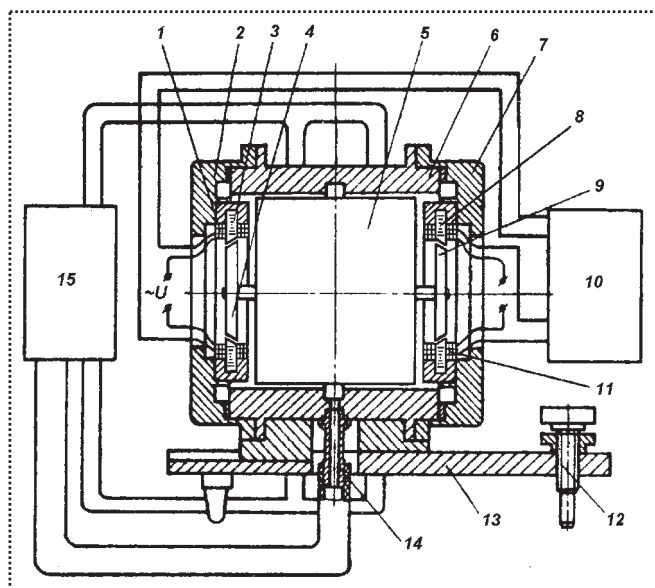


Рис. 1. Устройство для контроля геометрических параметров изделия

ри технологического корпуса цилиндрической формы. Между корпусом и изделием имеется воздушный зазор, а торцы корпуса закрываются съемными крышками. Корпус имеет воздушные каналы, которые подводят в зазор сжатый воздух от компрессора, в результате чего контролируемое изделие оказывается взвешенным в воздухе.

Одновременно изделие приводится во вращение за счет подачи воздушного потока по касательным к цилиндрической поверхности. Сигналы, пропорциональные овальности и несоосности роторов, снимаются посредством электромагнитных датчиков, установленных вокруг соответствующих поверхностей. Путем математической обработки электрических сигналов датчиков в электронном измерительном блоке рассчитываются соответствующие значения отклонений геометрических параметров.

Предлагаемое устройство контроля геометрических параметров схематично изображено на рис. 1.

Устройство содержит цилиндрический корпус 6, закрывающийся с торцов съемными крышками 2 и 7 с закрепленными в них технологическими статорами 3 и 8 электромагнитного подвеса, который используется в качестве индуктивного датчика. На полюсах технологических статоров 3 и 8 магнитного подвеса намотаны измерительные катушки 1 и 11 индуктивностей, выходы которых подключены к измерительному блоку 10. Цилиндрический корпус 6 содержит также штуцер 14, через который подается воздух от компрессора 15.

Цилиндрический корпус 6 установлен на основании 13, закрепленном на рабочем столе с помощью винтов 12.

При измерении ПЧЭ 5 располагается внутри цилиндрического корпуса 1 устройства.

В контролируемом ПЧЭ 5 в данном случае измеряются овальность и взаимная несоосность поверхностей его роторов 4 и 9, для чего используются высокочастотные сигналы, снимаемые с катушек 1 и 11, которые обрабатываются в измерительном блоке 10.

Структурная схема электронного измерительного блока изображена на рис. 2. Она содержит два усилителя-преобразователя 1 и 14, две пары фильтров, каждая из которых содержит узкополосные фильтры 2, 15 высокой частоты, настроенные на удвоенную частоту вращения контролируемого чувствительного элемента, и узкополосные фильтры 4, 12 низкой частоты, настроенные на частоту вращения чувствительного элемента. Измерительный блок содержит также блоки 3, 5, 13, 16 преобразования пикового напряжения в постоянное, подключенные к выходам соответствующих фильтров, и последовательно соединенные перемножитель 6, усилительно-фильтрующий блок 7 и вычислительный блок 8. Входы перемножителя 6 подключены к выходам фильтров 4, 12 низкой частоты. Выходы блоков 3, 5, 13, 16 преобразования пикового напряжения в постоянное и вычислительного блока 8 через переключатель 9 подключены к последовательно соединенным счетно-преобразующему блоку 10 и индикатору 11.

Рассматриваемое устройство работает следующим образом.

Контролируемый ПЧЭ 5 устанавливаются внутри цилиндрического корпуса 6 (см. рис. 1). Корпус 6 закрывается съемными крышками 2 и 7. Через штуцер

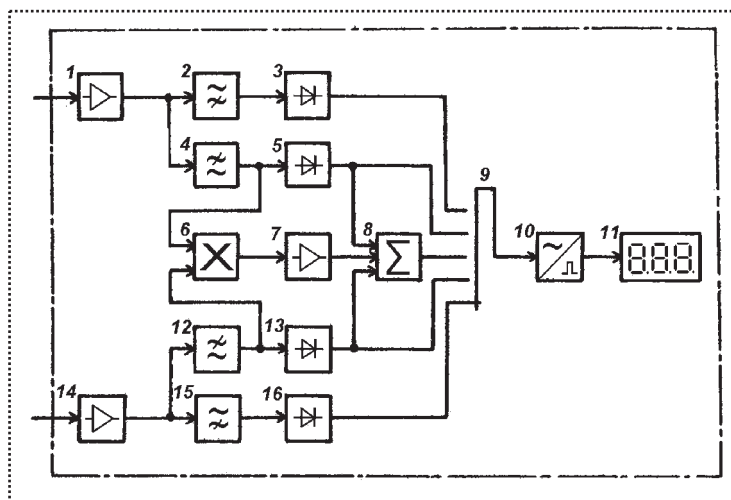


Рис. 2. Электронный измерительный блок



14 от компрессора 15 в корпус подается сжатый воздух, в результате чего чувствительный элемент 5 оказывается взвешенным в воздушном потоке. Через дополнительные штуцеры (на рис. 1 не показаны) в камеру подают потоки сжатого воздуха, направленные по касательным к цилиндрической поверхности чувствительного элемента 5, в результате чего он начинает вращаться с некоторой частотой. Поскольку роторы 4 и 9 ПЧЭ 5 имеют овальность и отклонение от соосности с осью чувствительного элемента, то при вращении последние зазоры между полюсами технологических статоров 3, 8 и роторами 4, 9 будут изменяться, и на выходах катушек 1, 11 индуктивностей появится соответствующий электрический сигнал. Сигнал поступает на входы электронного измерительного блока 10.

В электронном измерительном блоке (см. рис. 2) цепи, состоящие из блоков 1–5 и 12–16, одинаковы и предназначены для определения овальности и отклонения от соосности поверхностей роторов относительно общей оси чувствительного элемента. Цепь из блоков 6–8 предназначена для определения отклонения от соосности поверхностей роторов одна относительно другой.

Сигналы, пропорциональные овальностям роторов, имеют частоту, равную удвоенной частоте вращения роторов, и выделяются на выходах блоков 3 и 16 преобразования пикового напряжения в постоянное. Сигналы, пропорциональные отклонениям от соосности поверхностей роторов относительно общей оси чувствительного элемента, имеют частоту, равную частоте вращения роторов, и выделяются на выходах блоков 5 и 13 преобразования пикового напряжения в постоянное.

Поскольку векторы отклонений от соосности поверхностей роторов относительно общей оси могут в общем случае иметь между собой некоторый фазовый угол φ (рис. 3), отклонение от соосности поверхно-

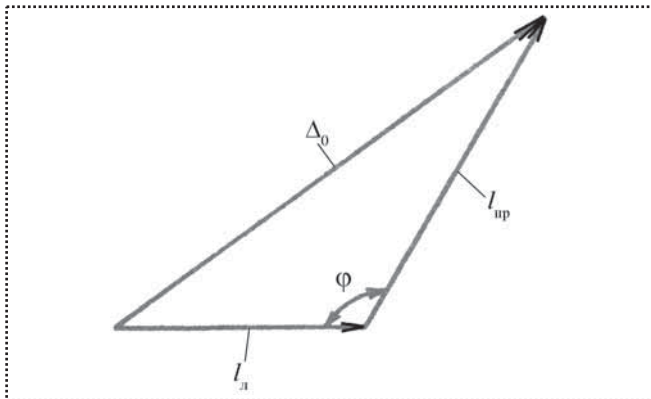


Рис. 3. Векторы отклонений от соосности

стей роторов одна относительно другой Δ_0 определяется по формуле

$$\Delta_0 = \sqrt{I_{\text{л}}^2 + I_{\text{пр}}^2 - 2 I_{\text{л}} I_{\text{пр}} \cos \varphi}, \quad (1)$$

где $I_{\text{л}}$ – отклонение от соосности левого ротора;
 $I_{\text{пр}}$ – отклонение от соосности правого ротора;
 φ – фазовый сдвиг между векторами $I_{\text{л}}$ и $I_{\text{пр}}$.

Сигналы с выходов фильтров 4 и 12 (см. рис. 2) низкой частоты имеют вид:

$$\begin{aligned} U_{\text{л}} &= U_{0\text{л}} \cos(\omega t + \varphi); \\ U_{\text{пр}} &= U_{0\text{пр}} \cos(\omega t + \varphi), \end{aligned} \quad (2)$$

где $U_{0\text{л}}$ и $U_{0\text{пр}}$ – амплитуды сигналов $U_{\text{л}}$ и $U_{\text{пр}}$;
 ω – круговая частота вращения роторов;
 φ – сдвиг фаз между сигналами.

Амплитуды сигналов $U_{0\text{л}}$ и $U_{0\text{пр}}$ пропорциональны векторам отклонений от соосности $I_{\text{л}}$ и $I_{\text{пр}}$:

$$U_{0\text{л}} = k \frac{I_{\text{л}}}{2}; \quad U_{0\text{пр}} = k \frac{I_{\text{пр}}}{2}, \quad (3)$$

где k – коэффициент пропорциональности, получаемый при калибровке устройства.

С выхода перемножителя 6 снимается сигнал вида

$$U' = \frac{1}{2} U_{0\text{л}} U_{0\text{пр}} \cos \varphi + U_{\text{вч}}, \quad (4)$$

где $U_{\text{вч}}$ – высокочастотная составляющая сигнала.

После усилительно-фильтрующего блока 7 (см. рис. 2) получается сигнал:

$$U = \frac{1}{2} U_{0\text{л}} U_{0\text{пр}} \cos \varphi. \quad (5)$$

Значение сигнала в выражении (5) пропорционально значению третьего члена в выражении (1):

$$I' = 2 I_{\text{л}} I_{\text{пр}} \cos \varphi.$$

Напряжение сигнала U из выражения (5) вместе с сигналами $U_{\text{л}}$ и $U_{\text{пр}}$ с выходов блоков 5 и 13 соответственно поступают на вход вычислительного блока 8, с выхода которого снимается сигнал постоянного тока, пропорциональный величине Δ_0 отклонения от соосности поверхностей роторов одна относительно другой, согласно выражению (1).

Переключатель 9 позволяет осуществлять выбор одного из контролируемых геометрических парамет-



ров. Через переключатель 9 сигналы, пропорциональные овальностям, отклонениям от соосности относительно оси чувствительного элемента и отклонению от соосности поверхностей роторов одна относительно другой, поступают на цифровой индикатор 11.

При калибровке устройства производится установка соответствия между напряжениями сигналов индуктивных датчиков и значениями линейных отклонений осей и формы путем настройки чувствительности предварительных усилителей 1 и 14. При калибровке используются специальные калибровочные роторы с известным значением параметров отклонений.

Выводы

Рассмотренное устройство имеет следующие преимущества:

- 1) *позволяет надежно и с высокой точностью измерять отклонения геометрических параметров изделий;*
- 2) *хотя размеры и конфигурация устройства должна соответствовать определенному изделию (корпус устройства изготавливается под размеры контролируемо-*

го объекта), однако конструкция устройства достаточно проста, имеет невысокую стоимость и может быть изготовлена без специализированных технологий. Измерительный и компрессорный блоки являются универсальными для всех контролируемых изделий. Электромагнитные датчики также могут быть перенастраиваемыми;

3) *применение данного устройства значительно упрощает и ускоряет процесс контроля изделий при серийном производстве;*

4) *применение компьютерных технологий для обработки сигналов измерений может дополнительно снизить стоимость устройства и упростить конструкцию измерительного блока.*

Библиографический список

1. Авторское свидетельство СССР № 1556272. Кл. G 01 B 1/10, 1988. Устройство для контроля овальности и погрешностей взаимного расположения роторов поплавкового чувствительного элемента с магнитным подвесом.
2. Тиль Р. Электрические измерения неэлектрических величин. М.: Энергоатомиздат, 1987. 192 с.

В издательстве "Машиностроение" во II квартале 2013 г. планируются к выпуску учебные издания:

- ◆ **Безъязычный В.Ф. Основы технологии машиностроения:** учебник для вузов.
- ◆ **Лабораторные и практические работы по технологии машиностроения:** учебное пособие / В.Ф. Безъязычный, В.В. Непомилуев, А.Н. Семенов и др.; под общ. ред. В.Ф. Безъязычного.
- ◆ **Кулагин В.В., Кузьмичев В.С. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок:** учебник. 3-е изд., испр. В 2 кн.
- Кн. 1. Основы теории ГТД. Рабочий процесс и термогазодинамический анализ.**
- Кн. 2. Совместная работа узлов выполненного двигателя и его характеристики.**

ПЛАНИРУЕТСЯ К ВЫПУСКУ!!!

УДК 621.039.533

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

Возможности применения аргонодуговой наплавки уплотнительных поверхностей арматуры из титановых сплавов

Рассмотрен процесс изготовления арматуры из титановых сплавов с применением аргонодуговой наплавки на примере обратного затвора DN 150 разработки ОАО "ОКБМ Африкантов".

The process of titanium alloy valves fabrication using argon-arc surfacing was studied illustrated by swing check valve DN 150 developed by JSC "Afrikantov OKBM".

Ключевые слова: аргонодуговая наплавка, титановая арматура, уплотнительная поверхность.

Keywords: argon-arc surfacing, titanium alloy valve, seal surface.

Важнейшей частью любой системы трубопроводов является запорная, перепускная, предохранительная и другие виды арматуры. Судовая арматура является основной частью оборудования атомных энергетических установок и функционально обеспечивает задачи управления судами и их живучесть.

Один из основных показателей надежности арматуры – герметичность затвора, которая должна обеспечить требования качества уплотнительных поверхностей затвора в течение длительного периода эксплуатации, так как различные повреждения (вмятины, задиры, эрозионные и коррозионные разрушения) нарушают работу арматуры и выводят ее из строя.

Таким образом, металл уплотнения должен быть достаточно стойким против схватывания в условиях контактного сжатия при трении с незначительными перемещениями и обладать высокой твердостью, позволяющей обеспечить предохранение уплотнительных поверхностей от повреждений при попадании на них твердых частиц, заносимых рабочей средой.

Для наплавки уплотнительных поверхностей стальной арматуры широко применяют наплавочный материал – сплав "стеллит", который хорошо себя рекомендовал в эксплуатации.

Для изготовления трубопроводов, входящих в состав энергетических установок и в том числе арматуры, широко применяют титановые сплавы, которые наряду с высокой удельной прочностью обладают высокой коррозионной стойкостью в морской воде. Твердость на поверхности титановых сплавов типа ПТ-3В составляет 250...280 HV. При такой твердости износостойкость уплотнительных поверхностей титановой арматуры будет крайне низкой, что отрицательно скажется на ее работоспособности.

Сплав "стеллит" для выполнения наплавки на уплотнительные поверхности титановой арматуры не может быть применен, так как при его наплавке на титан образуются хрупкие интерметаллиды в зоне сплавления, что приводит к образованию трещин.

Простейшим способом увеличения твердости на поверхности титанового сплава является насыщение его кислородом на воздухе при температурах выше 600 °С (термическое оксидирование). Однако толщина окисных пленок на поверхности титановых сплавов при такой обработке сравнительно мала и достигает 50 мкм, что в процессе работы титановой арматуры может привести к ее быстрому выходу из строя.

Для сохранения работоспособности титановой арматуры в течение всего срока службы необходимо, чтобы толщина слоя, обладающего повышенной твердостью, была существенно выше.

Создание на уплотнительных поверхностях титановой арматуры слоев с требуемой твердостью (не менее 350 HV) и достаточной толщиной (2...3 мм) можно осуществить путем выполнения наплавки на поверхность титанового сплава материалами с повышенным содержанием кислорода.

В ОАО "ОКБМ Африкантов" изготовлен обратный затвор DN 150 из титанового сплава (рис. 1 на стр. 4 обложки).

Затвор применяют на трубопроводе в качестве запорного устройства – он предназначен для автоматического открытия (закрытия) пассивного канала отвода рабочей среды через теплообменник при остановке и пуске циркуляционного насоса. Температура

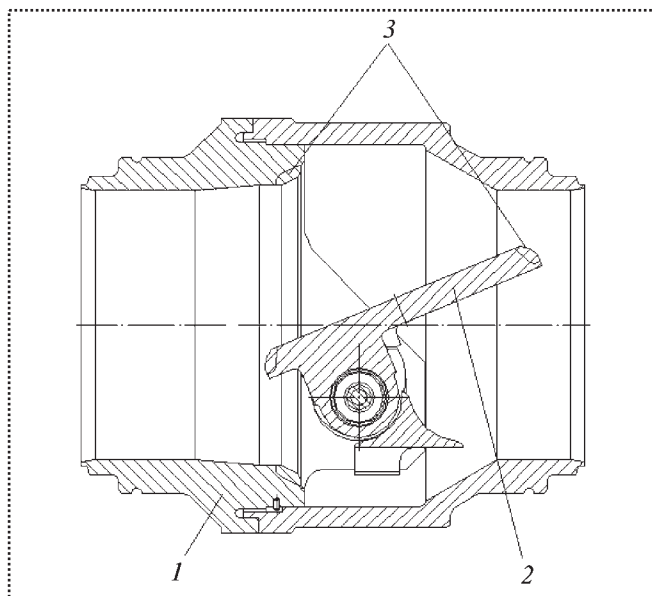


Рис. 2. Конструкция обратного затвора DN 150:
1 – корпус; 2 – захлопка; 3 – уплотнительные поверхности с наплавкой

рабочей среды, проходящей через затвор, не более 45 °С, максимальное рабочее давление 4,0 МПа. Ресурс затвора составляет более 1000 циклов открывания–закрывания.

Основными элементами затвора являются корпус 1 с седлом и запорное устройство (захлопка) 2, разделяющее проточную часть затвора на две полости – входную и выходную (рис. 2). На уплотнительных поверхностях 3 седла и захлопки, изготовленных из титанового сплава ПТ-3В, выполнена износостойкая наплавка.

Затвор из титанового сплава в условиях ОАО "ОКБМ Африкантов" изготовлен впервые. Основная задача, решаемая при этом – отработка технологии изготовления уплотнительной поверхности захлопки и седла методом наплавки специально окисленными присадочными материалами из титанового сплава.

Технология наплавки титановой арматуры достаточно сложна в части защиты основного и наплавленного металла инертным газом, а также качественного выполнения соединений без трещин, пор, вольфрамовых включений. Кроме того, для выполнения наплавки необходимо изготовление износостойких присадочных материалов с необходимой твердостью.

Работа по изготовлению титановой арматуры проводилась в три этапа:

1) отработка технологии изготовления наплавочного материала, обеспечивающего получение необходимой твердости наплавки;

2) отработка технологии аргонодуговой наплавки уплотнительных поверхностей арматуры на образцах, имитирующих изделия;

3) изготовление затвора DN 150 и проведение необходимых испытаний.

Наплавочный материал изготавливали из прутков проволоки марки ПТ-7Мсв путем их термического окисления в электропечи с воздушной средой и последующим охлаждением в воде.

В результате нагрева на поверхности титановых прутков образуется оксидная пленка. При окислении содержание водорода в титане значительно возрастает. Повышенное содержание водорода в присадочном материале недопустимо из-за возможности образования трещин в процессе наплавки.

С целью снижения содержания водорода в прутках необходимо выполнение дегазации (вакуумного отжига). После дегазации содержание водорода в наплавочном материале снижается до установленных значений.

Твердость наплавочного материала контролировали путем выполнения наплавки на образцах. Твердость наплавки должна находиться в определенном интервале, так как низкая твердость приводит к быстрому износу уплотняющей поверхности арматуры, а при высоких значениях твердости возрастает вероятность ее хрупкого разрушения.

Отработку технологии аргонодуговой наплавки выполняли на образцах, имитирующих детали затвора – седло и захлопку. Перед наплавкой детали подогревали в электропечи.

Наплавку производили ручным аргонодуговым способом неплавящимся электродом на постоянном токе прямой полярности без поперечных колебаний присадочного материала.

В качестве защитного газа применяли аргон высшего сорта. Сварочные горелки были снабжены специальными насадками для улучшения газовой защиты остывающего металла.

Наплавку выполняли в непрерывном режиме. В процессе наплавки контролировали температуру наплавляемой детали, при необходимости выполняли подогрев.

В процессе наплавки кислород из присадочного материала легирует наплавленный металл, в результате существенно повышается его твердость и сопротивление контактным давлениям. Непосредственно после окончания наплавки для снятия внутренних напряжений производилась термическая обработка – отпуск.

Контроль наплавленной поверхности включал визуальный осмотр и измерение, капиллярный контроль, контроль твердости и металлографические исследования. При визуальном и капиллярном контро-



ле трещин и других недопустимых наружных дефектов не обнаружено. Металлографические исследования показали отсутствие внутренних дефектов в наплавке. Среднее значение твердости наплавки составило 400 НV.

Микроструктура наплавки и основного металла образцов-имитаторов седла и захлопки представлены на рис. 3 на стр. 4 обложки.

Положительные результаты обработки технологии изготовления наплавочных материалов и технологии наплавки уплотнительных поверхностей титановой арматуры способствовали успешному изготовлению

затвора DN 150. Затвор прошел все необходимые рабочие испытания, по завершению которых гидравлические испытания и контроль герметичности подтвердили высокое качество разработанной технологии наплавки.

В результате выполнения работы освоена технология изготовления наплавочного материала из сплава ПТ-7Мсв, отработана технология ручной аргодуговой наплавки уплотнительных поверхностей титановой арматуры, изготовлен затвор DN 150 из титанового сплава.

УДК.621.791.18

М.Д. Орлова, С.М. Лисовский, д-р техн. наук,
Н.И. Бабкова (Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина)
E-mail: orlova.m04@mail.ru

Изготовление спиральных замедляющих систем с применением диффузионной сварки

Представлены результаты диффузионной сварки спиральной замедляющей системы для ламп бегущей волны.

The results of diffusion welding spiral slow system for traveling wave tubes.

Ключевые слова: диффузионная сварка, замедляющая система, лампа бегущей волны, термосопротивление, спираль.

Keywords: diffusion welding, delay system, traveling wave tube, heat resistance, helix.

Введение

Теплорассеивающая способность замедляющих систем зависит от применяемых материалов и конструктивно-технологических способов сборки и в значительной степени определяет предельный уровень мощности ламп бегущей волны (ЛБВ).

В зонах сопряжений спираль–стержни–оболочка при применении пайки высокотемпературным припоем основным недостатком является образование галтелей, что особенно нежелательно при создании ЛБВ коротковолнового диапазона, так как наличие галтелей может изменить электродинамические параметры ЛБВ. Чтобы избежать появления галтелей, вместо пайки возможно использование диффузионной сварки.

В большинстве современных электровакуумных приборов улучшение теплоотвода достигается применением деталей из материалов с высокой теплопроводностью.

В работе [1] приведены данные о влиянии покрытия на теплоотвод, дисперсию и затухание замедляющей системы. Согласно этим данным медная пленка на спирали повышает эффективность теплоотвода примерно на 10 %.

Напыление медного покрытия на спираль

С целью повышения теплоотвода от спирали было принято решение нанести слой меди на молибденовую спираль и провести диффузионную сварку полученной спирали с керамическими опорными стержнями.

В работе [2] описано влияние поверхностного слоя на взаимодействие материалов, в том числе взаимонерастворимых, какими являются медь и молибден. Взаимодействие меди и молибдена возможно на глубину пяти моноатомных слоев.

Пленка меди толщиной 6 мкм была получена методом термического вакуумного осаждения на подложку [3].

Толщину и равномерность медного покрытия контролировали по шлифам методом металлографического анализа.

Напыление пленок осуществляли в модернизированной установке напыления УРМ3.279.011. В камере установки был расположен испаритель (тигель) из молибдена. Давление остаточных газов в камере при

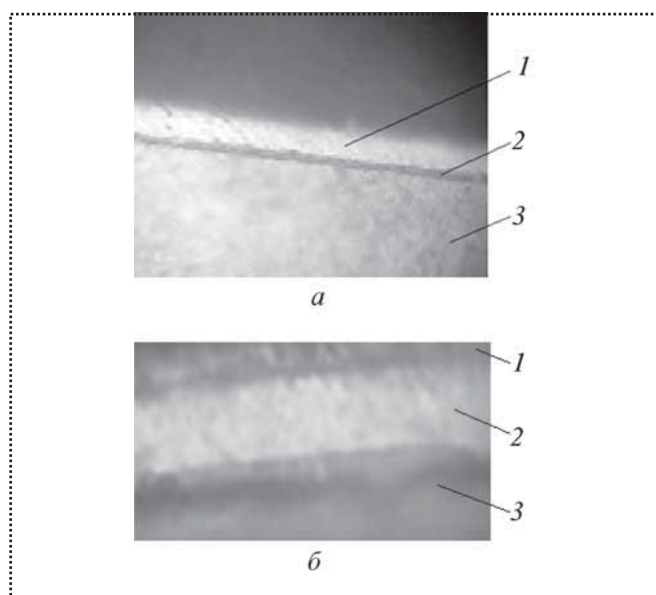


Рис. 1. Шлиф медного покрытия при увеличении:
a – $\times 470$; *b* – $\times 940$;
 1 – никель; 2 – медное покрытие; 3 – молибден

напылении составляло $2 \cdot 10^{-3}$ Па, температура подложки – 200 °С. Напыление осуществляли в два этапа:

1) напыление подслоя меди толщиной 1 мкм с последующим отжигом в среде водорода при температуре 920 ± 10 °С;

2) напыление слоя меди толщиной 5 мкм с последующим отжигом в среде водорода при температуре 550 ± 10 °С.

Для контроля толщины и качества медного покрытия поверх медного слоя был нанесен слой никеля и изготовлены шлифы. Анализ шлифов проводили на микроскопе МИИ-7, при увеличении $940\times$. Видимые

дефекты (поры, отслоения) в медном слое отсутствовали, медное покрытие плотно прилегало к молибденовой спирали. Фотографии шлифов представлены на рис. 1. На шлифах проведена оценка равномерности толщины медного слоя по длине спирали.

Было проанализировано пять образцов. Толщина покрытия на всех образцах по длине подложки (спирали) была равномерна и составляла 6 ± 1 мкм (см. таблицу).

Процесс диффузионной сварки

Для проведения диффузионной сварки спирали из молибдена с медным покрытием со стержнями из бериллиевой керамики было собрано два макета. Давление при сварке составляет 0,5 кПа и обеспечивается за счет разницы температурных коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) элементов оправки. Принцип создания давления за счет различия ТКЛР может быть использован при проектировании оснастки для диффузионной сварки деталей по боковой цилиндрической поверхности [2]. Оправка для проведения диффузионной сварки схематично изображена на рис. 2.

Для первого макета была использована спираль, полностью покрытая слоем меди толщиной 5 мкм с подслоем 1 мкм.

Режим диффузионной сварки включает следующие параметры:

Скорость подъема температуры, °С/мин	15
Температура первой выдержки, °С	680
Время первой выдержки, мин	20
Температура второй выдержки, °С	750
Время второй выдержки, мин	30
Температура сварки, °С	950
Время выдержки при сварке, мин	15
Скорость снижения температуры, °С/мин	10

Результаты измерения толщины покрытия

Параметр	Образец											
	1					2						
Длина участка спирали, мм	10	20	5	15	10	10	5	3	5	15	7	5
Толщина медного слоя, мкм	5,0	6,0	5,0	5,5	6,0	6,0	5,5	5,0	5,5	6,0	5,5	6,0
Параметр	Образец											
	3				4				5			
Длина участка спирали, мм	5	12	23	4	6	17	9	24	5	27	10	8
Толщина медного слоя, мкм	5,0	5,5	6,0	5,5	6,0	6,0	5,5	6,0	5,5	6,0	5,5	5,0

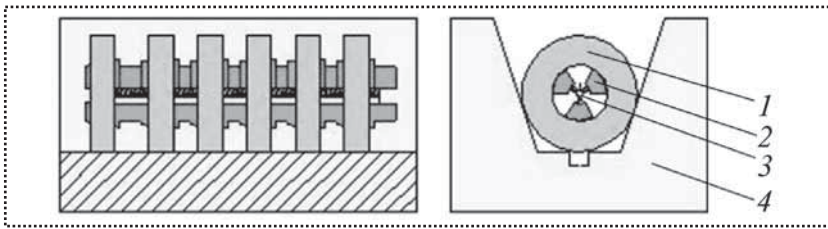


Рис. 2. Оправка для проведения диффузионной сварки спирали с керамическими стержнями:

1 – молибденовые кольца; 2 – стержни из коррозионно-стойкой стали; 3 – макет (спираль с керамическими стержнями); 4 – подставка



Рис. 3. Спираль с медным покрытием в виде "дорожек"

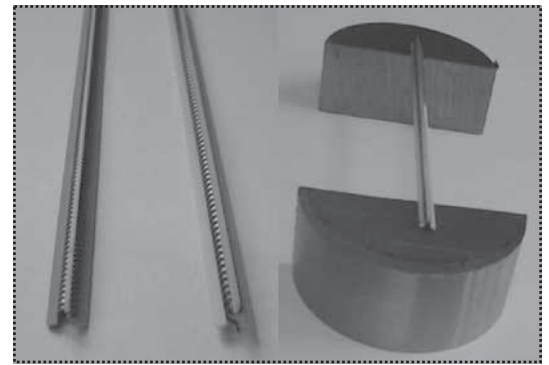


Рис. 5. Внешний вид макетов – спираль с керамическими стержнями, соединенными методом диффузионной сварки

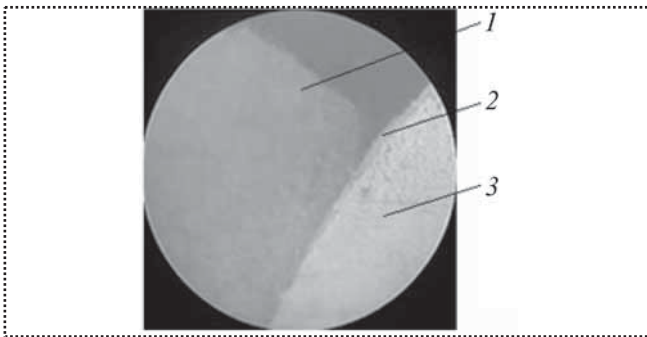


Рис. 4. Место сварки керамических стержней с молибденовой спиралью, покрытой медью:

1 – керамический стержень; 2 – медное покрытие; 3 – молибденовая спираль

Для изготовления второго макета покрытие наносили на спираль с медным подслоем в виде трех "дорожек" (рис. 3). Ширина дорожек соответствовала ширине керамических стержней, дорожки были нанесены под углом 120° относительно друг друга.

Прочность соединения на отрыв составила примерно 3 МПа. Был проведен металлографический анализ места сварки керамических стержней со спиралью (рис. 4). Дефектов в сварном соединении обнаружено не было. Внешний вид полученных макетов представлен на рис. 5.

Заключение

В результате проведения эксперимента было получено покрытие, достаточно равномерное по всей поверхности спирали. Покрытие соответствует необходимым технологическим требованиям для проведения процесса диффузионной сварки. Применение диффузионной сварки позволяет избежать появления галтелей, которые неизбежно появляются при пайке, и обеспечить надежный контакт спирали с керамическими стержнями с сохранением шага спирали.

Библиографический список

1. Yong Han, Yan-Wen Liu, Yao-Gen Ding, Pu-Kun Liu. An evaluation of heat dissipation capability of slow-wave structures // IEEE transactions on electron device. 2009. Vol. 56. № 5. P. 986–991.
2. Коношков Г.В., Мусин Р.А. Специальные методы сварки давлением. Саратов.: Ай Пи Эр Медиа, 2009.
3. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. М.: Металлургия, 1992.

УДК 621.9.06(075.8)

А.А. Фомин, канд. техн. наук (Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых)
E-mail: fomin1@mail.ru

Пути снижения вибрации шпиндельного узла станка для механической обработки отходов лесопиления

Рассмотрены пути снижения вибрации шпиндельного узла станка для механической обработки отходов лесопиления. Предложено снизить уровень вибрации путем выполнения шпиндельного узла базовой модели станка в виде зеркального отображения, а также применения фрезы, обеспечивающей точное ее центрирование на шпинделе.

The ways to reduce machine tool spindle vibration for the mechanical processing of a timber waste are considered. Decrease of level vibration by performance of the base model spindle in the form of mirror display, and also application of the mill providing its exact centering on a spindle is offered.

Ключевые слова: фрезерование, деталь, устойчивость, дополнительная опора, упругая деформация, технологическая система, режущий инструмент, анизотропные свойства.

Keywords: milling, detail, stability, an additional support, elastic deformation, technological system, cutting tool, anisotropic properties.

Доминирующее влияние на стабильность и технологическую надежность процесса механической обработки заготовок оказывает вибрация элементов технологической системы и в особенности – быстровращающихся шпиндельных узлов, несущих режущий инструмент. Это положение особо актуально для отходов лесопиления, для обработки которых нет комплекта развитых технологических баз, а поверхности заготовок криволинейные, непредсказуемые по форме, характеризующиеся разновысотностью и значительным изменением твердости обрабатываемого материала [1].

Вследствие этих причин в процессе механической обработки периферийных сегментов возникает повышенный уровень вибрации в системе "станок–приспособление–инструмент–заготовка", оказывающей негативное влияние не только на долговечность технологического оборудования, но и важнейшие выходные показатели качества и производительности процесса обработки.

Обеспечение минимального уровня вибрации шпиндельного узла с установленным режущим инструментом возможно на основе анализа его вибрационного состояния при различных режимах работы, начиная с холостого хода шпинделя и кончая черновым режимом фрезерования.

Вначале следует установить доминирующие факторы процесса обработки, оказывающие влияние на уровень вибрации технологической системы. Для этого рассмотрим контактное взаимодействие режущего инструмента с обрабатываемой заготовкой.

Неокоренная поверхность периферийного сегмента заготовки 1 (рис. 1, а), образованной в результате параболического раскроя бревна, обрабатывается вращающейся по стрелке D_r фасонной фрезой 2. Заготовка 1 совершает при этом поступательное движение рабочей подачи D_s (для упрощения рисунка изображена половина фрезы 2). Периферийный сегмент содержит сучки 3 и 4, которые характеризуются твердостью, в 2,8–3,5 раза превышающей твердость ствольной древесины [2] и которые стохастически распределены по обрабатываемой поверхности и случайным образом появляются в зоне обработки.

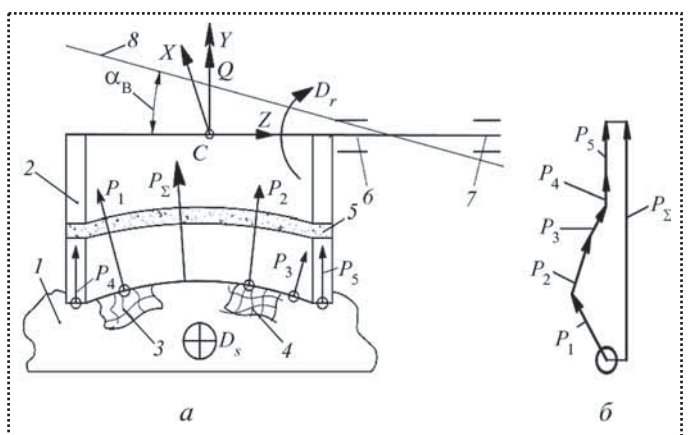


Рис. 1. Профильная фреза под действием рабочей нагрузки (а) и многоугольный сил резания (б):

1 – обрабатываемая заготовка; 2 – фасонная фреза; 3, 4 – сучки; 5 – режущий зуб; 6, 7 – шпиндельные опоры; 8 – мгновенное пространственное положение оси шпинделя в процессе фрезерования



В процессе контактного взаимодействия режущего зуба 5 с заготовкой 1 действуют силы резания P_1-P_5 : силы P_1 и P_2 возникают при срезании сучков, а силы P_3-P_5 – при обработке неокоренных участков поверхности, не содержащей сучки. Суммарная сила резания P_Σ равна геометрической сумме сил P_1-P_5 и определяется в результате построения многоугольника сил (рис. 1, б). На фрезу действует также неуравновешенная центробежная сила, обусловленная главным вектором дисбалансов D_{ct} фрезы:

$$Q = \omega^2 D_{ct}, \quad (1)$$

где ω – угловая скорость фрезы.

Под действием сил P_Σ и Q шпиндель, консольно закрепленный в шпиндельных опорах 6 и 7, упруго деформируется, поворачиваясь на угол α_b и занимая мгновенное пространственное положение δ (упругой деформацией шпинделя, диаметр которого равен 50 мм, пренебрегаем, поскольку его жесткость примерно в 50 раз превышает жесткость опор). Под действием силы резания P_Σ ось шпинделя совершает виброперемещения в направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности [3].

В направлении координатных осей X и Y колебания шпинделя, вызванные действием главного вектора D_{ct} дисбалансов фрезы, описываются уравнениями:

$$X_c = \frac{\omega^2 D_{ct}}{J_x} \cos(\varphi + \omega\tau), \quad (2)$$

$$Y_c = \frac{\omega^2 D_{ct}}{J_y} \sin(\varphi + \omega\tau), \quad (3)$$

где φ – угол главного вектора дисбалансов режущего инструмента, установленного на шпинделе;

τ – текущее время;

J_x, J_y – жесткость шпиндельного узла, измеренная в точке C в направлении оси X и Y соответственно.

Колебания левого и правого торцов фрезы в направлении этих осей на холостом ходу шпиндельного узла вызываются лишь действием инерционных сил и описываются выражениями:

$$X_{л.т} = \frac{\omega^2 D_{ct}}{J_x} \cos(\varphi + \omega\tau) + 0,5B \operatorname{tg} \alpha_r; \quad (5)$$

$$X_{п.т} = \frac{\omega^2 D_{ct}}{J_x} \cos(\varphi + \omega\tau) - 0,5B \operatorname{tg} \alpha_r;$$

$$Y_{л.т} = \frac{\omega^2 D_{ct}}{J_y} \sin(\varphi + \omega\tau) + 0,5B \operatorname{tg} \alpha_b; \quad (6)$$

$$Y_{п.т} = \frac{\omega^2 D_{ct}}{J_y} \sin(\varphi + \omega\tau) - 0,5B \operatorname{tg} \alpha_b,$$

где α_r – угол наклона оси шпиндельного узла в горизонтальной плоскости XCZ ;

α_b – угол наклона оси шпиндельного узла в вертикальной плоскости YCZ ;

B – высота фрезы.

В процессе профильного фрезерования заготовки колебания точки C , а также левого и правого торцов режущего инструмента описываются выражениями, содержащими член, учитывающий действие силы резания P_Σ :

$$X_c = \frac{P_\Sigma \cos \gamma + \omega^2 D_{ct} \cos(\varphi + \omega\tau)}{J_x}; \quad (7)$$

$$Y_c = \frac{P_\Sigma \sin \gamma + \omega^2 D_{ct} \sin(\varphi + \omega\tau)}{J_y}; \quad (8)$$

$$X_{л.т} = \frac{P_\Sigma \cos \gamma + \omega^2 D_{ct} \cos(\varphi + \omega\tau)}{J_x} + 0,5B \operatorname{tg} \alpha_r; \quad (9)$$

$$X_{п.т} = \frac{P_\Sigma \sin \gamma + \omega^2 D_{ct} \sin(\varphi + \omega\tau)}{J_y} - 0,5B \operatorname{tg} \alpha_r;$$

$$Y_{л.т} = \frac{P_\Sigma \sin \gamma + \omega^2 D_{ct} \cos(\varphi + \omega\tau)}{J_y} + 0,5B \operatorname{tg} \alpha_b; \quad (10)$$

$$Y_{п.т} = \frac{P_\Sigma \cos \gamma + \omega^2 D_{ct} \sin(\varphi + \omega\tau)}{J_y} - 0,5B \operatorname{tg} \alpha_b,$$

где γ – угол между вектором равнодействующей силы резания и положительным направлением оси X .

Траектория колебательных движений оси шпинделя с режущим инструментом представлена на рис. 2, из которого следует, что наибольшая амплитуда вибрации характерна для торца фасонной фрезы, наиболее удаленного от передней опоры шпинделя.

Меньшее значение амплитуды вибрации наблюдается для геометрического центра C фрезы и самые малые амплитуды возникают у торца инструмента, наиболее близко расположенного к шпиндельным опорам.

На основании выражений (2)–(10) можно оценить вибрационное состояние шпиндельного узла с режущим инструментом и прогнозировать ожидаемые геометрические погрешности обработанных поверхностей под влиянием дискретной силы фрезерования заготовки и дисбалансов режущего инструмента.

Для проверки полученных моделей, характеризующих вибрацию шпиндельного узла, были проведены экспериментальные исследования.

Уровень вибрации шпиндельного узла измеряли в направлении осей X и Y виброизмерительным прибором "АГАТ", который отвечает требованиям ТУ 4277-001-54981193-01, ГОСТ 30296-95, ГОСТ 25275-82, ГОСТ ИСО 2954-97.

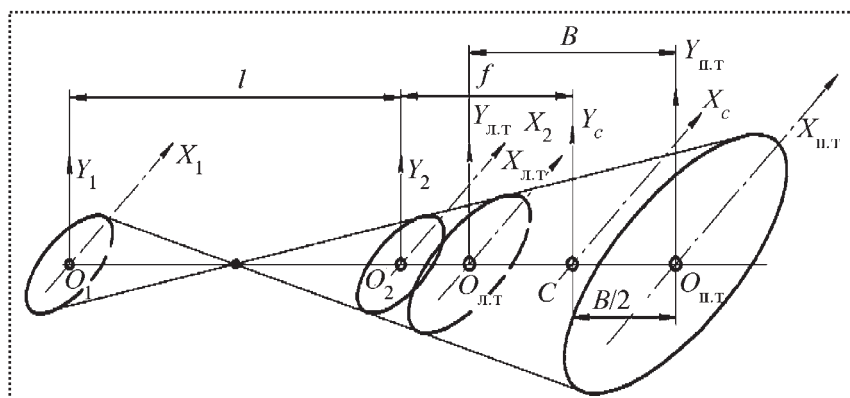


Рис. 2. Виброперемещения точек оси шпинделя, лежащих в плоскостях опор, а также левого и правого торцов фрезы:

X_1, Y_1 и X_2, Y_2 – оси координат первой и второй шпиндельных опор; $X_{л.т.}$, $Y_{л.т.}$ и $X_{п.т.}$, $Y_{п.т.}$ – оси координат левого и правого торцов фрезы; l – межопорное расстояние; f – расстояние от центра C фрезы до ближайшей опоры

Универсальный виброанализатор "АГАТ" представляет собой двухканальный портативный малогабаритный автономный прибор с питанием от встроенного никель–металл–гибридного аккумулятора.

Особенностью прибора является использование аналоговых интеграторов и фильтров. Он позволяет проводить измерение общего уровня вибрации, амплитуды/фазы первой гармоники, выполнять спектральный анализ вибросигналов и их форм, а также получать одно и двухканальные характеристики (разгон/выбег) по первой гармонике от оборотного сигнала.

Эксперименты были проведены на холостом ходу шпиндельного узла при снятой фрезе и закрепленном и незакрепленном ласточкином хвосте в положительном, отрицательном направлениях оси X , а также в положительном направлении оси Y . Была разработана методика фрезерования периферийного сегмента, включающая различные направления подачи D_s заготовок, при которых главная составляющая P_z силы резания вызывает прижатие (рис. 3, а) и отрыв (рис. 3, б) шпиндельного узла от направляющей типа "ласточкин хвост". Обработку периферийного сегмента проводили по встречной и попутной схемам фрезерования.

Для этого в станке изменяли направление подачи заготовки и направление главного движения фрезы посредством смены фаз на электродвигателе. Поворотом оси фрезы на 180° создавали условия, при которых возможна обработка со сходом стружки по передней поверхности режущих пластин. Все опыты проводили при контроле уровня вибрации шпиндельного узла с использованием описанного ранее прибора "АГАТ".

Для измерения частоты вращения фрезы использовали метку белого цвета, наклеенную на корпус 1 (рис. 4). На метку направляли лазерный отметчик 2, который фиксировал ее прохождение в течение каждого оборота шпинделя с фрезой. В процессе обработки контролировали уровень вибрации шпиндельного узла станка, для этого использовали пьезоэлектрический сейсмический датчик 3, который устанавливали на предварительно подготовленную площадку корпуса шпиндельного узла.

Вначале были проведены сравнительные опыты для определения влияния закрепления направляющей типа "ласточкин хвост" (далее – направляющей) на процесс фрезерования. Было установлено, что попутное и встречное

фрезерование при незакрепленной направляющей протекает неустойчиво: наблюдались неравномерные движения заготовки в направлении рабочей подачи, а при фрезеровании сучков заготовка останавливалась, что вызывало необходимость прекращения процесса фрезерования.

При обработке сучков наблюдался уровень вибрации, превосходящий в разы уровень, характерный для холостого хода шпиндельного узла. На холостом ходу

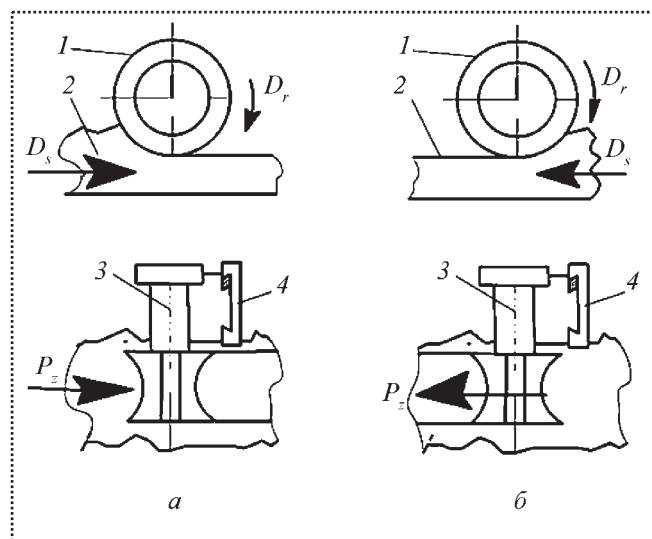


Рис. 3. Схема встречного фрезерования с прижатием шпиндельного узла к направляющей (а) и попутного фрезерования с отрывом шпиндельного узла от направляющей "ласточкин хвост" (б):

1 – траектория режущих зубьев фрезы; 2 – заготовка; 3 – шпиндельный узел с инструментом; 4 – направляющая типа "ласточкин хвост"; D_r – направление вращения фрезы; D_s – направление подачи заготовки

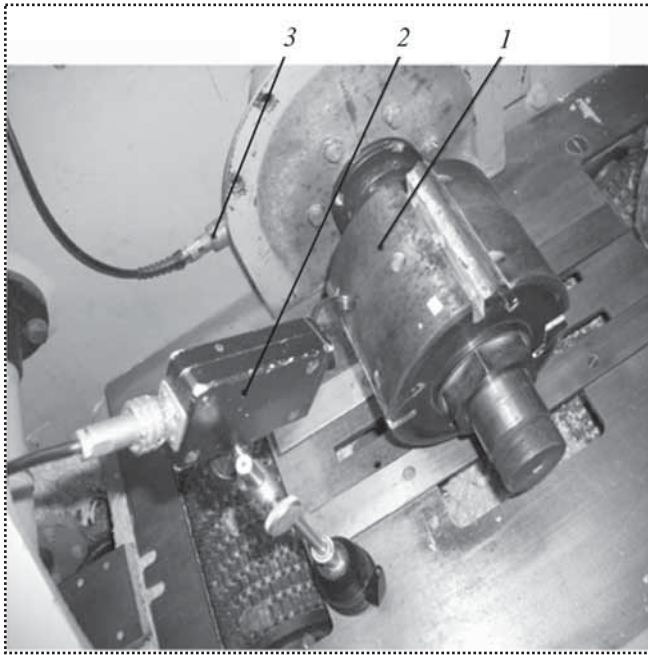


Рис. 4. Измерение частоты вращения фрезы:
 1 – корпус фрезы; 2 – лазерный отметчик; 3 – пьезоэлектрический сейсмический датчик вибрации

шпиндельного узла без режущего инструмента амплитуды вибрации незначительно отличаются друг от друга и составляют единицы микрометров на частотах 20, 50 и 80 Гц во всех направлениях, что объясняется отсутствием рабочей нагрузки на шпиндельный узел.

После установки и закрепления фасонной фрезы на шпинделе станка при незакрепленной направляющей уровень вибрации резко возрастал во всех указанных направлениях. В наибольшей степени увеличение вибрации наблюдалось на частоте 82...85 Гц (рис. 5), соответствующей частоте вращения режущего инструмента. В положительном направлении оси X

амплитуда колебаний возрастает до 63 мкм, в отрицательном направлении оси X – до 50 мкм, а в вертикальном направлении (по оси Y) – до 44 мкм.

Закрепление направляющей приводит к уменьшению уровня вибрации холостого хода на частоте 82...85 Гц практически во всех указанных направлениях (рис. 6, *a, б*). В положительном направлении оси X амплитуда колебаний уменьшается с 63 до 41 мкм, в отрицательном направлении оси X – с 50 до 38 мкм, а по оси Y – с 44 до 8 мкм, т.е. наибольшее уменьшение амплитуды колебаний наблюдается в направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности периферийного сегмента (рис. 6, *в*).

Таким образом, на холостом ходу шпиндельного узла станка уровень вибрации зависит от того, установлен или не установлен на шпинделе режущий инструмент, от направления, в котором производится измерение вибрации, а также от того, закреплена или не закреплена охватываемая направляющая [3].

Наименьший уровень вибрации холостого хода шпинделя с инструментом наблюдается в направлении оси Y при закрепленной охватываемой направляющей, что очень важно для уменьшения геометрических погрешностей обработанных поверхностей.

Исследовали также уровень вибрации шпиндельного узла с установленным режущим инструментом при встречном фрезеровании с отрывом шпинделя от охватываемой направляющей, попутном фрезеровании с прижатием шпинделя к направляющей и встречном фрезеровании с прижатием шпинделя к направляющей.

Во всех трех случаях процесс фрезерования заготовки приводит к возрастанию уровня вибрации по сравнению с работой шпиндельного узла на холостом ходу.

При встречном фрезеровании, направленном на отрыв шпиндельного узла от охватываемой направляющей, амплитуда вибрации составила 117 мкм; при

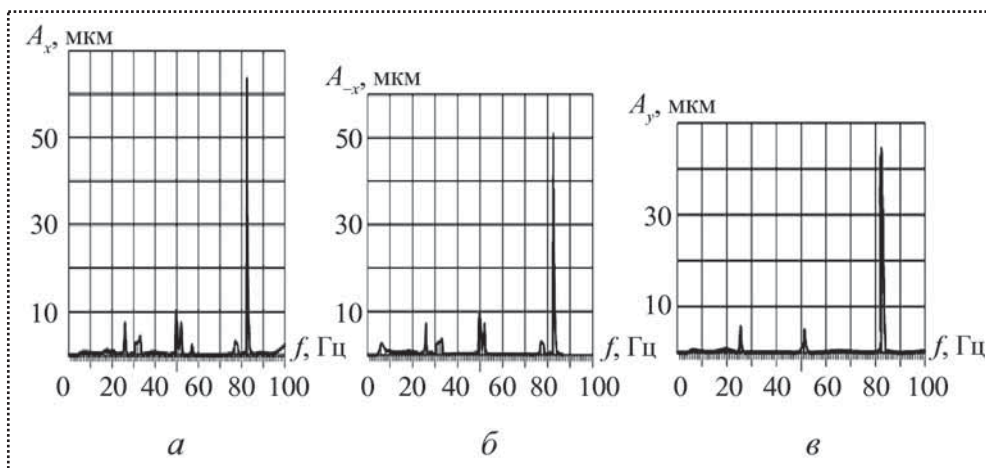


Рис. 5. Уровень вибрации шпиндельного узла с фасонной фрезой при незакрепленной направляющей:
a – в положительном направлении оси X ; *б* – в отрицательном направлении оси X ; *в* – в направлении оси Y

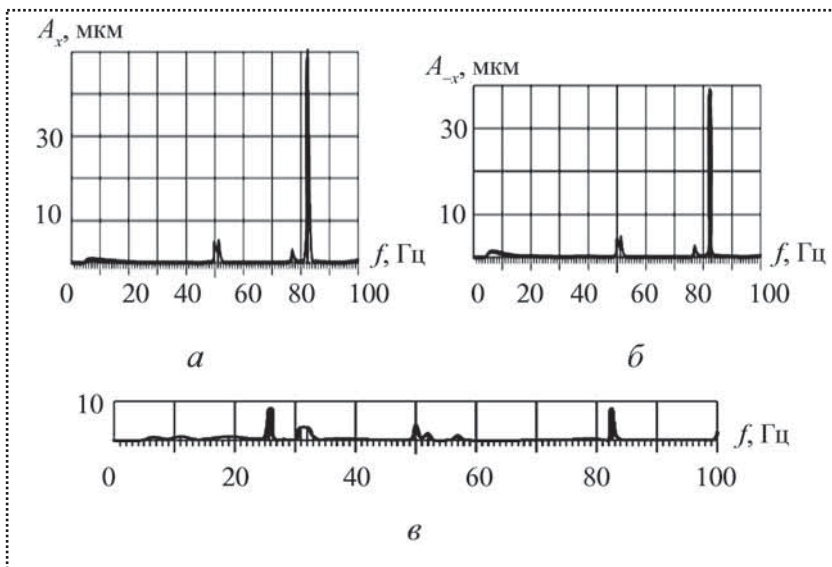


Рис. 6. Уровень вибрации шпиндельного узла при закрепленной направляющей "Ласточкин хвост":

a – в положительном направлении оси *X*; *б* – в отрицательном направлении оси *X*; *в* – в направлении оси *Y*

попутном фрезеровании, направленном на прижатие шпиндельного узла в направляющей, – 146 мкм, а при встречном фрезеровании с прижатием шпиндельного узла к направляющей – 95 мкм.

Наименьшее значение амплитуды вибрации наблюдалось при встречном фрезеровании с прижатием шпиндельного узла к направляющей (рис. 7).

значительные по величине центробежные силы, которые в состоянии ухудшить процесс обработки. В этой связи важными являются знания о том, какой вид неуравновешенности режущего инструмента оказывает доминирующее влияние на процесс обработки и какой вид следует компенсировать в первую очередь.

В диапазоне частот от 0 до 82,5 Гц уровень вибрации составлял малые значения, поэтому его можно рассматривать как белый шум. Кроме доминирующего уровня первой гармоники на частоте 78,0...82,5 Гц, возникала вибрация на частотах, кратных первой гармонике, но уровень вибрации на второй (156...165 Гц) и третьей (312...330 Гц) кратных частотах всегда был ниже, чем на частоте первой гармоники.

Полученные экспериментальные данные подтвердили правильность выбора встречной схемы фрезерования, обеспечивающей наименьшую амплитуду вибрации шпиндельного узла в процессе фрезерования неокоренной поверхности периферийного сегмента.

Механическая обработка неокоренной поверхности периферийного сегмента происходит при высокой скорости резания (45 м/с), поэтому даже небольшая неуравновешенная масса может вызвать

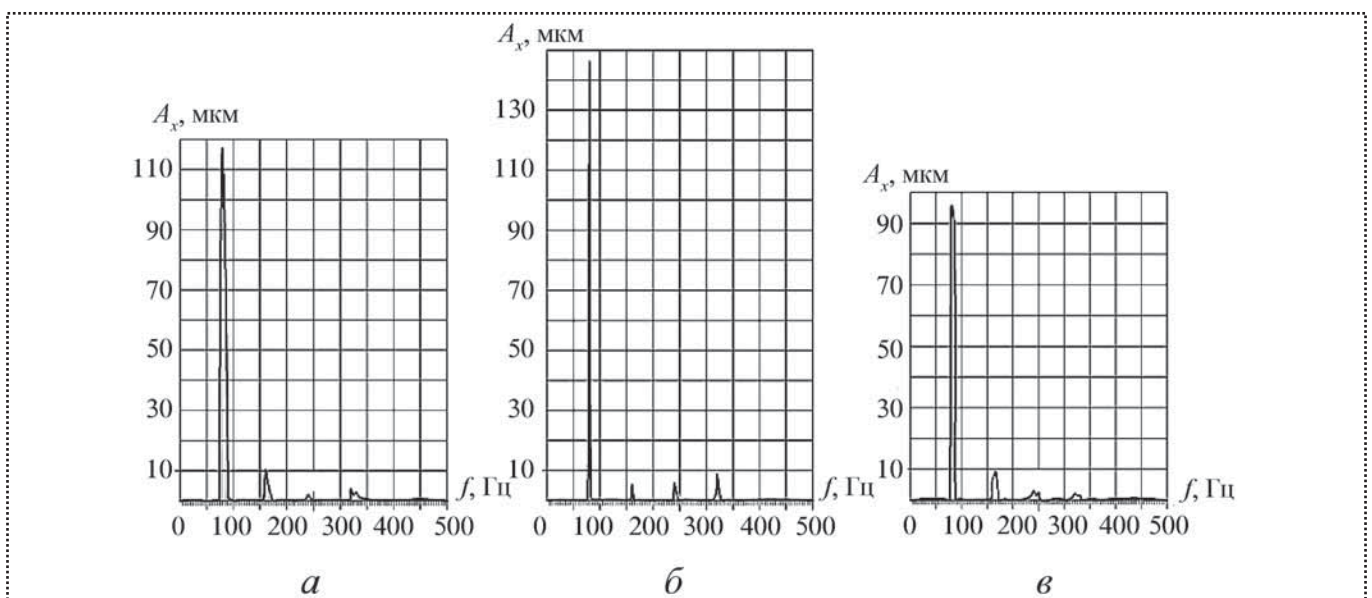


Рис. 7. Уровень вибрации шпиндельного узла:

a – при встречном фрезеровании, направленном на отрыв шпиндельного узла от охватываемой направляющей; *б* – при попутном фрезеровании, направленном на прижатие шпиндельного узла к направляющей; *в* – при встречном фрезеровании с прижатием шпиндельного узла к направляющей

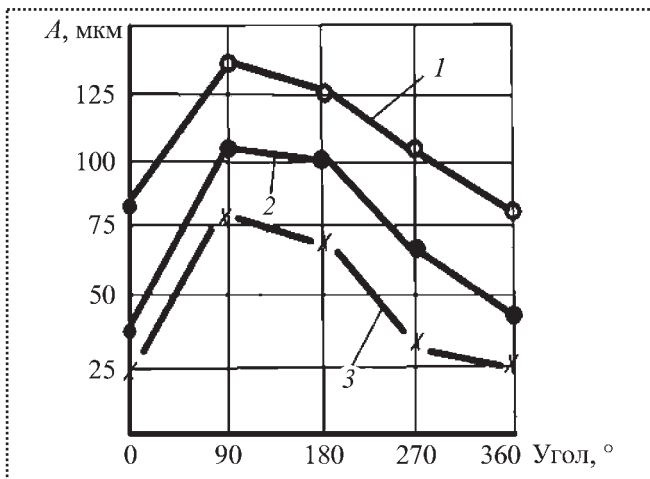


Рис. 8. Уровень вибрации шпиндельного узла с установленной фасонной фрезой при различных видах неуравновешенности: 1 – статической; 2 – динамической; 3 – моментной

Результаты исследования выявили доминирующее влияние на уровень вибрации шпиндельного узла статической неуравновешенности режущего инструмента по сравнению с моментной и динамической.

Наибольшая амплитуда колебаний шпиндельного узла характерна для статической неуравновешенности инструмента (ломаная линия 1 на рис. 8). Далее по степени влияния следует динамическая неуравновешенность (ломаная линия 2) и самое слабое воздействие на уровень вибрации оказывает моментная неуравновешенность (ломаная линия 3).

Шпиндельный узел станка всегда имеет остаточный дисбаланс, поскольку абсолютная корректировка его масс невозможна. Остаточный дисбаланс определяется точностью применяемого способа и средств балансировки и суммируется с дисбалансом грузов, прикрепленных к фрезе.

При совпадении направления вектора остаточного дисбаланса шпиндельного узла и вектора дисбаланса, создаваемого грузами, происходит их алгебраическое сложение, что приводит к увеличению амплитуды вибрации, а при увеличении угла между упомянутыми векторами уровень вибрации снижается. При угловой координате главного вектора дисбалансов фрезы, равной 0 и 360°, уровень вибрации для всех трех ломаных линий минимальный, что соответствует частичной компенсации дисбалансов режущего инструмента и шпиндельного узла. По мере дискретного пово-

рота грузов по окружности уровень вибрации шпиндельного узла возрастает, что объясняется геометрическим сложением указанных векторов и увеличением суммарного вектора дисбалансов.

Для уменьшения уровня вибрации шпиндельного узла необходимо в первую очередь проводить статическую балансировку инструмента, а при высоких требованиях к качеству обработанного изделия – динамическую. В практическом плане наиболее просто реализуется статическая балансировка, обеспечивающая компенсацию главного вектора дисбалансов и использование одной плоскости коррекции. Поэтому, если требования к уровню вибрации шпиндельного узла сравнительно невысокие, то можно проводить балансировку фасонной фрезы в одной плоскости коррекции в статическом режиме.

Таким образом, для уменьшения уровня вибрации шпиндельного узла станка для механической обработки отходов лесопиления необходимо создать новую модель, у которой шпиндельный узел с режущим инструментом представляет собой зеркальное отображение шпиндельного узла базовой модели. Это приведет к существенному увеличению жесткости шпиндельного узла, а следовательно, к уменьшению амплитуды его вынужденных колебаний.

Для уменьшения неуравновешенных масс инструмента рекомендуется применять конструкцию фасонной фрезы, обеспечивающей точное центрирование ее на шпинделе станка. Центрирование и одновременное закрепление фрезы на шпинделе осуществляют поворотом гаек, которые перемещают конические цанги навстречу друг другу, при этом лепестки цанги обжимают шейку шпинделя, осуществляя точное центрирование фрезы и надежное закрепление на шпинделе.

Библиографический список

1. Фомин А.А. Оборудование и технология механической обработки отходов лесопиления. М.: Машиностроение, 2013. 206 с.
2. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учебник для лесотехнических вузов. 4-е изд. М.: МГУЛ, 2005. 340 с.
3. Фомин А.А., Гусев В.Г. Механическая обработка отходов древесины. Избранные труды Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий. М.: РАН., 2011. 128 с.



УДК 658.005.5

В.В. Хоменко, канд. техн. наук (НТИЦ "ТЕХКОМ")
E-mail: Techcom.space@gmail.com

Технологическая реализуемость конструкторско-технологических решений, направленных на повышение качества высокотехнологичной продукции

Проведен анализ технологических особенностей конструкторско-технологических решений, направленных на повышение качества высокотехнологичной продукции и сформулировано понятие их технологической реализуемости.

The analysis of technological features of design and technological solutions aimed at improving the quality of high-tech products is made. And the concept of technological feasibility is formulated.

Ключевые слова: конструкторско-технологическое решение, повышение качества, высокотехнологичная продукция.

Keywords: design and technological solution, improving the quality, high-tech products.

В мировой и отечественной высокотехнологичной промышленности развивается ряд тенденций, обусловленных развитием и расширением внедрения информационных технологий (ИТ), нанотехнологий, технологий, способствующих миниатюризации радиоэлектронной аппаратуры [1] и т.д. Так, на V Петербургском международном инновационном форуме (2012 г.) отмечалось, что в ближайшие годы облик промышленности во многом будут определять четыре основных направления развития:

- 1) переход к управлению всем жизненным циклом продукции, начиная с ранних стадий;
- 2) дальнейшее повышение уровня автоматизации проектирования и инжиниринга, включая моделирование на суперкомпьютерах;
- 3) создание и расширение использования в высокотехнологичных отраслях промышленности конструкторских материалов нового поколения, включая создание материала под конкретный продукт;
- 4) создание промышленных инфраструктур нового типа, так называемых "умных сред", включая "умные производства", предполагающие достижение высокого уровня автоматизации на всех стадиях жизненного

цикла выпускаемой продукции. Примером решения данной задачи является создание компактного интеллектуального производства бортовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) космических аппаратов (КА) в АНО "НТИЦ "ТЕХКОМ" [3].

Данные тенденции приводят к появлению новых (инновационных) конструкторско-технологических решений (КТР), которые придают так называемым определяющим элементам конструкции изделия такую совокупность новых свойств (например, длительность протекания основных процессов, прочность, герметичность, габаритно-массовые характеристики, ресурс, надежность, и т.д.), которая по своим параметрам существенно отличается от изделия-аналога и в итоге позволяет создать изделие нового, более высокого качества.

На современном этапе повышение качества изделий осложняется растущей многовариантностью путей решения возникающих научно-технических проблем. Она может проявляться в научно-техническом аспекте, организационно-экономическом или в их комбинации.

Научно-технический аспект предполагает наличие вариантов конструкции определяющих элементов, отличающихся применяемыми материалами, конструкторско-технологическим членением, технологией производства и т.д.

Организационно-экономический аспект предполагает наличие вариантов кооперации процесса создания изделия, затрат на НИОКР, подготовку производства, объемов выпуска и др.

Развитие ИТ и создание "умных производств" не только значительно расширяют спектр новых КТР, но и сокращают сроки их внедрения в производство. В то же время указанные факторы повышают требования к менеджменту инновационных КТР, включающему в себя их разработку, выбор вариантов, оценку их реализуемости, эффективности и сроков внедрения. Если рассматриваются одновременно два или более вариантов КТР, то возникает задача их сравнительного анализа.



Аналогичные задачи возникают и при сравнении вариантов изделий и программ. Поэтому с развитием методологии программно-целевого планирования научно-технического прогресса в качестве одной из стадий технико-экономического обоснования целевых комплексных программ создания новых изделий стала выделяться стадия оценки их реализуемости [4, 5]. Впоследствии в результате усложнения техники, появления высокотехнологичных видов продукции машиностроения и приборостроения, требующих для своего создания большого числа новых технологических процессов, видов оснащения и производств, в задаче оценки реализуемости программ создания новых изделий все большую роль стала играть оценка реализуемости в части технологии или технологическая реализуемость (ТР).

Следует отметить, что до настоящего времени понятие "технологическая реализуемость" не имеет общепринятого определения. Поэтому прежде, чем рассматривать вопросы оценки ТР, необходимо обосновать ее место и задачи, решаемые при оценке реализуемости КТР, изделий и программ.

При существующем разделении труда в отраслях, создающих высокотехнологичную продукцию, конструкторские бюро – разработчики новых изделий, как правило, не могут оценить ТР создаваемого изделия с учетом всей планируемой кооперации производства ввиду отсутствия необходимой информации и (или) специалистов. Кроме того, в современных условиях в целях большей объективности оценку ТР целесообразно проводить отдельно.

В связи с этим сложилась практика, при которой проектно-конструкторская реализуемость (ПКР) изделия на ранних стадиях его создания отражается в конструкторской документации (КД), создаваемой его главным разработчиком в виде технических предложений или эскизного проекта, а ТР проводится независимыми организациями (например, отраслевыми институтами с участием предприятий-изготовителей) [6].

В результате решения указанных двух задач должны быть получены ответы на два вопроса:

1) можно ли к заданному сроку разработать предлагаемое в заявке (техническом предложении, эскизном проекте) изделие с заданными в техническом задании (ТЗ) техническими и эксплуатационными характеристиками (показателями качества)?

2) можно ли к заданному сроку изготовить предлагаемое изделие с заданными показателями качества на предприятиях-изготовителях?

При ответе на второй вопрос необходимо учитывать несколько факторов.

Первый из них – соответствие уровня технологии и производственных мощностей предприятий-изготовителей требованиям КД на создаваемое изделие.

Второй фактор – это серийность производства нового изделия. Здесь также необходимо учитывать уровень имеющихся технологий. То, что приемлемо для опытного и единичного производства (большое число обрабатываемых деталей, закрепляемых за единицей оборудования, преобладание универсального оборудования, неразвитые мощности агрегатно-сборочного и сборочного производств, цехов подготовки производства и т.д.), неприемлемо для серийного и крупносерийного производства (малое число обрабатываемых деталей, закрепляемых за единицей оборудования, преобладание специального оборудования, автоматических линий, конвейеров и т.д.).

Чем выше серийность производства, тем выше объемы работ, сроки и затраты на технологическую подготовку производства (ТПП).

И, наконец, третий фактор, который необходимо учитывать – это специализация и кооперация производства рассматриваемого изделия. При оценке ТР они должны быть определены, так как в противном случае изделие может оказаться технологически нереализуемым в заданные сроки с требуемым уровнем качества.

В связи со сложностью и важностью указанных факторов предприятия-изготовители высокотехнологичной продукции – преимущественно назначаются на ранних стадиях создания изделий (желательно – на стадии технических предложений).

С учетом указанных особенностей автором было предложено следующее определение: технологическая реализуемость – это принципиальная возможность изготовления изделия с заданными показателями качества на определенных предприятиях в заданные сроки при предполагаемых (известных) типе, а также специализации и кооперации производства [7].

Для оценки ТР в общем случае необходимы проведение конструкторско-технологического анализа и оценки технологичности изделия, а также технического и организационного уровней производства на предприятиях-изготовителях, формулировка конструкторско-технологических проблем. Кроме того, необходимо проведение научно-исследовательских и опытно-технологических работ (НИОТР), проектирование и изготовление сложного и уникального оборудования и средств технологического оснащения производства (СТО), которые необходимо решить для обеспечения своевременной технологической готовности предприятий-изготовителей к началу опытного и серийного производства изделия с требуемым уровнем качества. Следует также провести технико-экономическое обоснование объемов ТПП изделия с учетом его предполагаемой кооперации производства.



Особое значение должно придаваться выявлению новых КТР, оборудования и сложных СТО, имеющих большую длительность цикла создания. Возможность решения указанных проблем к началу производства будет основным фактором, определяющим ТР изделия в заданные сроки.

При оценке ТР величина годового объема производства изделия не имеет определяющего значения (при известной серийности производства). Вместе с тем годовой объем производства является важной информацией при оценке ресурсной реализуемости, так как от него зависят затраты на производство изделия и требуемые капитальные затраты на развитие производственной базы, а также трудоемкость производства, определяющая реализуемость проекта по трудовым ресурсам (производственным рабочим) и загрузку производственных мощностей.

По результатам оценки ПКР и ТР проводят оценку ресурсной реализуемости, включающую в себя вопросы оценки необходимости и требуемых объемов работ и затрат на реконструкцию и техническое переоснащение производственной и лабораторно-экспериментальной баз, результаты этой оценки используют при определении критериев принятия решений о целесообразности создания рассматриваемого изделия.

Одной из особенностей данной структурной схемы является выделение задач, связанных с применением новых материалов, включая затраты на освоение их производства, что является спецификой высокотехнологичных изделий.

Оценка реализуемости по специализации – это установление соответствия заявок на создание нового высокотехнологичного изделия профилю намечаемых НИИ или КБ – разработчиков и заводов-изготовителей.

Оценка реализуемости (в том числе и ТР) может носить условный характер, т.е. изделие (программа) объявляется реализуемым при выполнении определенных условий (например, перечня необходимых организационно-технических мероприятий). Однако эти условия, в свою очередь, также должны быть реализуемыми.

На основе проведенного анализа предлагается следующее определение. **Оценка реализуемости программ создания новых изделий** – это совокупность технико-экономических расчетов и экспертных оценок, имеющих целью определение возможности разработки и производства высокотехнологичных изделий заданного качества в заданные сроки и с оптимальными затратами при имеющихся ограничениях по ресурсам, а также разработку организационно-технологических мероприятий по ее обеспечению.

В процессе оценки ТР желательно также проведение оценки технологичности конструкции изделия (укрупненно). В связи с этим возникает вопрос о со-

отношении понятий ТР и технологичности. Согласно определению [8], технологичность конструкции – это совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при производстве и эксплуатации для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ. Из определения следует, что при наличии нескольких вариантов конструкции проектируемого изделия они будут более или менее технологичными в зависимости от уровня затрат при производстве и эксплуатации. Одновременно все они будут технологически реализуемыми, поскольку говорить об уровнях затрат при производстве и эксплуатации изделия можно только в том случае, если все анализируемые его варианты в принципе можно изготовить с требуемым уровнем качества. Поэтому ТР можно рассматривать как начальное условие технологичности изделия.

В результате оценки ТР формируется следующая основная выходная информация, предопределяющая возможность своевременного изготовления заявляемых изделий:

- перечень научно-исследовательских и опытно-технологических работ по решению выявленных в процессе оценки технологических проблем;
- перечень подлежащего разработке сложного и уникального технологического оборудования и СТО;
- оценка требуемого объема производства СТО и загрузки инструментального (вспомогательного) производства заводов-изготовителей заявляемых изделий;
- оценка трудоемкости изготовления единицы изделия.

Библиографический список

1. Урличич Ю.М. Для покорения космоса необходимы передовые технологии // Наука и технологии в промышленности. 2012. № 1. С. 66–70.
2. Бойкачев В.Н. Модель компактного интеллектуального производства систем управления космическими летательными аппаратами. Тезисы доклада на 12-й Междун. конф. CAD/CAM/PDM-2102. ИПУ РАН. М., 2012. С. 48.
3. Зубаков В.Д., Гладков Г.С. Программно-целевое планирование. М.: Советское радио, 1980.
4. Проблемы разработки и реализации комплексных программ. М.: Наука, 1984.
5. Хоменко В.В. Разработка и обоснование требований к объему технологической подготовки производства изделий и уровню экономических показателей для обеспечения реализации программ развития техники. Итоговый научно-технический отчет (тема № 871-8514). М.: НПО "Техномаш", 1987.
6. Хоменко В.В., Романенко Е.П., Цепков В.Г. Положение о порядке проведения работ по оценке технологической реализуемости изделий программ (систем). М.: НПО "Техномаш", 1989.
7. Технологичность конструкций изделий. Справочник. М.: Машиностроение, 1985.

УДК 621.9.06

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

Расчет конструктивных и настроечных параметров сборочных и резьбонарезных патронов

Рассмотрены расчетные показатели геометрической (статической) и динамической точности резьбонарезных и сборочных патронов, схемы осевых и радиальных смещений отверстий относительно оси шпинделя при операциях сборки и резьбонарезания. Проведены анализы расчетов величин осевого усилия для реализации наживления инструмента или резьбообразующей крепежной детали и устойчивости элементов патрона на фазах ориентирования и наживления. Рассчитан предельный момент срабатывания муфты патрона.

Settlement indicators of geometrical (static) and dynamic accuracy of thread-cutting and assembly tapes, schemes of axial and radial shifts of openings concerning a spindle axis are considered at assembly and thread-forming operations. The analysis of calculations of axial effort for realization of a screwing of the tool or the thread-forming fastener is provided. The analysis of stability of elements of the boss on orientation and screwing phases is carried out. The limit moment of operation of the coupling of the tapes is calculated.

Ключевые слова: патрон, операция, сборка, резьбонарезание, геометрическая точность, динамическая точность, осевое усилие, устойчивость, предельный момент.

Keywords: tape, operation, assembly, thread-forming, geometrical accuracy, dynamic accuracy, axial effort, stability, limit moment.

Введение

Шпиндельная оснастка, являясь звеном технологической системы станков и сборочных машин, оказывает непосредственное влияние на конечные показатели рабочих процессов. Считается, что для обеспечения надежного начала сборки соединений или процесса резьбонарезания требуется, чтобы ввертываемая деталь или метчик обладали двумя степенями свободы в плоскости, перпендикулярной к оси детали, и свободой углового перемещения.

Однако, и при соблюдении всех этих условий, особенно при автоматизированной сборке, наблюдаются бракоопасные ситуации в виде подрезки профилей, срывов резьбы, размолачивания начальных ниток, угловых смещений и т.д. В этой связи определенный интерес представляют работы, посвященные исследованию динамики начальных этапов сопряжения инструмента или детали с отверстием [1–3]. В этих работах рассмотрена проблема реализации процесса наживления резьбовой детали исходя из условий динамического совмещения ниток резьбы. Такой подход не учитывает особенностей работы механизмов самого патрона, особенно в условиях неустойчивого положения верхней детали с учетом отсутствия резьбы в отверстии корпусной детали.

В сходных процессах, например, при внедрении метчика или раскатника, также могут возникать значительные изгибающие нагрузки. В этом случае важным показателем работоспособности патрона является его устойчивость к угловым смещениям и, соответственно, значения его жесткости при изгибе.

Проработка структурных, функциональных и конструктивных схем патронной оснастки приводит к необходимости установления ее геометрических и силовых показателей, определяющих способность обрабатывать собственные качественные характеристики.

Одной из основных задач патрона и его механизмов является обеспечение точности положения резьбоформирующего инструмента или крепежа, а также надежного совмещения резьбовых поверхностей крепежной и корпусной деталей, если сборка осуществляется без резьбообразования.

Данная задача решается установлением и достижением определенных расчетных показателей геометрической (статической) и динамической точности патронов.

Параметры геометрической точности могут быть установлены на основе размерного анализа линейных и угловых цепей, а расчет динамических показателей точности в вопросах проектирования вспомогательной оснастки практически не рассматривается. Более того, в известных источниках и в отраслевом стандарте ОСТ 2 НО 2-36-87 [4] данные показатели вообще не приведены, а процесс резьбообразования или



сборки на стадиях ориентирования чаще всего рассматривается в статике [5]. Динамика процесса сопряжения анализируется с целью установления оптимальной скорости заворачивания и необходимого момента наживления [1–3]. По величинам компенсирующих подвижностей патронов систематические сведения также отсутствуют. Например, в общих технических условиях на вспомогательную оснастку для ОАО "АвтоВАЗ", требования на резьбонарезные патроны фирмы "Бильц" марок WFLP регламентируют величину радиальной компенсации в пределах 0,5...1,5 мм для широкого диапазона резьб от М6 до М22. При этом неизвестно, как назначать эту величину в каком-либо конкретном случае. В связи с этим предлагается расчетная методика, позволяющая производить регулировку функциональных механизмов патронной оснастки.

Настройка блоков радиальной компенсации патронов

Совмещение осей в начальный момент сопряжения производится за два перехода, включая начальное касание деталей по фаскам и окончательное совмещение осей. На первом переходе создание осевой силы приводит порой к первоначальному угловому смещению, которое впоследствии устраняется компенсирующей радиальной подвижностью патрона. С точки зрения обеспечения легкости совмещения осей патроны с радиальной подвижностью обладают лучшими показателями. Первоначальный перекос на втором переходе устраняется по мере увеличения осевой силы. При этом появляется радиальная составляющая усилия компенсации, обеспечивающая соосность.

Необходимо различать предельные значения радиальных смещений осей и фактические значения погрешностей положения этих осей.

Предельные значения радиальных смещений определяют на основании размерной цепи (рис. 1) с соответствующими допусками, определяемыми из условия сопряжения детали с отверстием по фаскам:

$$[e] \leq \left(\frac{d_o}{2} - \frac{d}{2} \right) + (f_{ш} - f_o) + \frac{es}{2} + \frac{T_d}{2} - \frac{EI_o}{2}, \quad (1)$$

где d_o – диаметр отверстия под резьбу;

d – наружный диаметр резьбы;

$f_{ш}$ и f_o – ширина фасок на торцах детали и отверстия соответственно;

es – верхнее предельное отклонение наружного диаметра резьбы детали;

T_d – допуск на наружный диаметр охватываемой резьбы;

EI_o – нижнее предельное отклонение диаметра отверстия под резьбу.

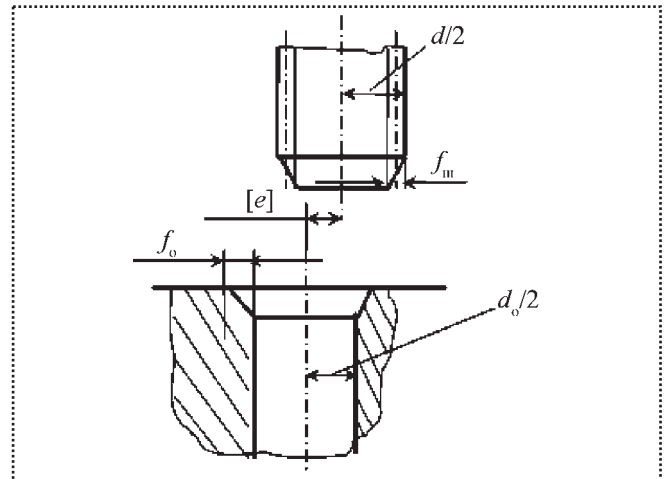


Рис. 1. Расчетная схема для определения предельной величины радиального смещения

При параллельном смещении величина фактической погрешности положения осей собираемых деталей

$$e_{\phi}^n = \sqrt{K_i^2 (e_{\phi,ш}^2 + e_{\phi,o}^2)}, \quad (2)$$

где K_i – коэффициент относительного рассеивания погрешностей ($K_i = 1,2...1,5$ при нормальном законе распределения);

$e_{\phi,ш}$ – смещение оси крепежного элемента относительно оси шпинделя;

$e_{\phi,o}$ – суммарное смещение оси отверстия корпуса относительно оси шпинделя.

Таким образом, при любом закреплении крепежного резьбового элемента величина радиального смещения будет определяться погрешностью оси шпинделя сборочной машины относительно базовой точки установившегося положения стола.

Фактическая погрешность положения осей в развернутом виде включает следующие составляющие:

$$e_{\phi}^n = \varepsilon_{п,р} \pm \sqrt{K_i^2 (\varepsilon_{ш}^2 + \varepsilon_{п}^2 + \varepsilon_g^2 + \varepsilon_{п,о}^2 + \varepsilon_{з,д}^2 + \varepsilon_{п,с}^2 + \varepsilon_{б,о}^2)}, \quad (3)$$

где $\varepsilon_{п,р}$ – систематическая погрешность регулировки при установке приспособления;

$\varepsilon_{ш}$ – биение резьбовых поверхностей гаечного и корпусного концов для шпильки или биение резьбы посадочной части относительно оси для винтов;

$\varepsilon_{п}$ – смещение установочной поверхности инструментодержателя патрона относительно оси хвостовика;

ε_g – погрешность расположения установочных элементов детали;

$\varepsilon_{п.о}$ – погрешность позиционного расположения отверстий относительно их базы по ГОСТ 14140–81;

$\varepsilon_{з.д}$ – погрешность закрепления детали;

$\varepsilon_{п.с}$ – погрешность позиционирования стола;

$\varepsilon_{б.о}$ – погрешность от смещения базы группы отверстий относительно установочных элементов детали.

Расчеты показывают, что предельные значения радиальных смещений в 5–6 раз превышают фактические погрешности, поэтому $e_{\phi}^n < [e]$, и составляют 0,68...0,78 мм, а $[e] = 3,35...3,67$ мм для шагов резьб 1,0...2,0 мм.

В любом случае, фактические погрешности неизбежны и их необходимо рассчитывать на основе реальных размерных цепей элементов технологических систем сборочных машин. Они приводят к угловому смещению осей в начальный момент операции, а это, в свою очередь, вызывает колебания крутящего момента и дестабилизацию процесса сборки или резьбообразования.

На качество резьбовых соединений, при заданных размерах сопрягаемых деталей, будут влиять относительное параллельное смещение их осей, а также показатель жесткости механизмов и деталей патронов. Уменьшение первоначальной погрешности (несоосности) собираемых деталей может осуществляться при плавающем креплении деталей, а также путем придания определенной угловой подвижности верхней детали.

Расчетные схемы для определения предельной величины радиального смещения при креплениях деталей и инструментов в патронах с различной механической структурой представлены на рис. 2.

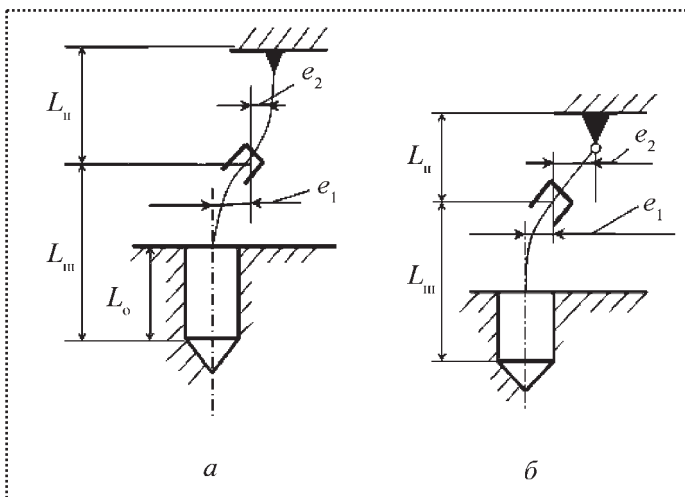


Рис. 2. Расчетные схемы допустимых осевых смещений отверстий относительно оси шпинделя:

а – для жесткого крепления шпильки (метчика) в патроне; *б* – для патрона с угловой компенсацией

Предельное значение радиального смещения $[e]$ при жестком креплении шпильки или метчика

$$[e] = e_1 + e_2 = \left[1 + \frac{0,3 E d_{ш}^4}{j_{п} L_{п} (L_{ш} - L_0)^2} \right], \quad (4)$$

где e_1 – смещение точки выхода оси отверстия в пределах допустимого угла перекоса;

e_2 – смещение оси патрона от его упругой податливости.

При этом должно соблюдаться условие, что $e_1 \leq L_{ш} \operatorname{tg} [\gamma]$, а статическая поперечная жесткость патрона

$$j_{п} \leq \frac{0,3 E d_{ш}^4}{L_{ш} - L_0 + L_{п}} \frac{L_0}{L_{п} (L_{ш} - L_0)^2}, \quad (5)$$

где $[\gamma]$ – предельный угол перекоса шпильки в отверстии в соответствии с данными работы [7];

E – модуль упругости материала шпильки (метчика);

$d_{ш}$ – диаметр шпильки (метчика);

$L_{ш}$ – длина шпильки (метчика);

L_0 – длина отверстия;

$L_{п}$ – вылет патрона от торца шпинделя.

Расчетная схема, показанная на рис. 2, *б*, позволяет определить предельное значение радиального смещения как

$$[e] \leq e_1 \left(1 + \frac{L_{п}}{L_{ш}} \right), \quad (6)$$

при ранее указанном условии для e_1 .

Для патронов с радиальной компенсацией и с переменной структурой величину предельных и фактических радиальных смещений можно определить по формулам (1), (3).

Расчет осевого усилия для наживления инструмента или резьбообразующей крепежной детали

Задачей наживления является обеспечение заворачивания заднего витка шпильки при условии сохранения точного углового положения, достигнутого при ориентировании. Реализация наживления возможна при наличии необходимой оснастки, приложения определенных значений осевого усилия и крутящего момента. Наживление заканчивается, когда деформирующий виток винта или задняя часть метчика полностью заворачиваются в отверстие корпуса. В начале заворачивания момент определяется тангенциальной силой трения от осевого усилия, которое



необходимо для совершения работы деформации заходного витка и преодоления соответствующих сил трения.

Исследованию необходимых значений осевых усилий для различных процессов резбообразования посвятили свои работы В.В. Матвеев, И.У. Заиров, Л.П. Шацман, Э.В. Рыжов, О.С. Андрейчиков и др.

Величину осевого усилия для самонарезающих винтов И.У. Заиров предлагал определять в виде следующей зависимости [7]:

$$P_o = 0,012 L S_0 \sigma_{cp} K_\sigma, \quad (7)$$

где L – длина линии среза;

S_0 – толщина внедрения витка;

σ_{cp} – условное сопротивление срезу, МПа;

K_σ – коэффициент длины среза, $K_\sigma = 0,13...0,35$ для длин среза до 200 мм.

На основании формулы (7), получено выражение осевого усилия для резбообразующих крепежных деталей с фасочной заходной частью [7]

$$P_o = k_p \frac{\sigma_{cp} P^2 k_\sigma (1,082 + \operatorname{tg} \varphi)}{\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \psi}, \quad (8)$$

где k_p – экспериментальный коэффициент пропорциональности, $k_p = 0,0032$ для алюминиевых корпусов, $k_p = 0,0055$ для чугунных деталей;

σ_{cp} – условное сопротивление срезу;

P – шаг резьбы;

k_σ – коэффициент длины среза;

2φ – угол заборного конуса;

ψ – угол подъема винтовой линии резьбы.

По величине осевого усилия настраивают пружины наживления резбонарезных патронов, показатели осевой жесткости которых устанавливают с учетом определенных коэффициентов запаса.

Параметры патронов, характеризующие динамику процесса наживления

Решим подобную задачу для процесса внедрения деформирующих крепежных деталей или метчиков с учетом того, что к динамическим показателям относят радиальную жесткость подвески, ее массу и длину от наконечника до узла радиального смещения.

Проведем анализ устойчивости элементов патрона на фазах ориентирования и наживления.

Данные фазы отличаются крайней неустойчивостью инструмента или крепежа. При этом подобная ситуация может возникнуть и при завинчивании винтов и шпилек в резьбовые гнезда, когда виток резьбы детали не совпадает со впадиной резьбы гнезда [1].

Для повышения устойчивости и надежности данной операции необходимо оценить осевые усилия, скорости завинчивания, жесткость патрона и т.д.

Установим необходимую радиальную жесткость подвески патрона. Для этого рассмотрим баланс сил, действующих на заходном витке при его внедрении в стенки отверстия при условии его равновесия. Схема действия сил показана на рис. 3. Тангенциальная составляющая T момента деформирования преодолевает сопротивление следующих составляющих:

$$T - F_{T_0} - f R_{T_0} - F_T = 0, \quad (9)$$

где F_{T_0} , F_T – силы трения в точках рис. 3;

f – коэффициент трения;

R_{T_0} – радиальные составляющие в точке b .

Выразим основные действующие усилия через геометрические параметры витка:

$$\begin{cases} F_{T_0} = F_T \cos \gamma; & N_T = \frac{P_o}{2 \sin \varphi}; \\ R_T = N_T \cos \varphi; & F_T = N_T f; \\ P_T = N_T \sin \varphi = \frac{P_o}{2}, \end{cases} \quad (10)$$

где R_T – радиальная составляющая в точке A ;

P_T – реактивное осевое усилие, $P_T = \frac{P_o}{2}$;

N_T – нормальная составляющая от действия осевого усилия P_o .

Подставляя выражения системы (10) в уравнение (9), после преобразования получим его окончательный вид:

$$T - \frac{P_o f}{2} \left(\frac{1 + \cos \gamma}{2 \sin \varphi} - \frac{\sin \gamma}{\operatorname{tg} \varphi} \right) = 0. \quad (11)$$

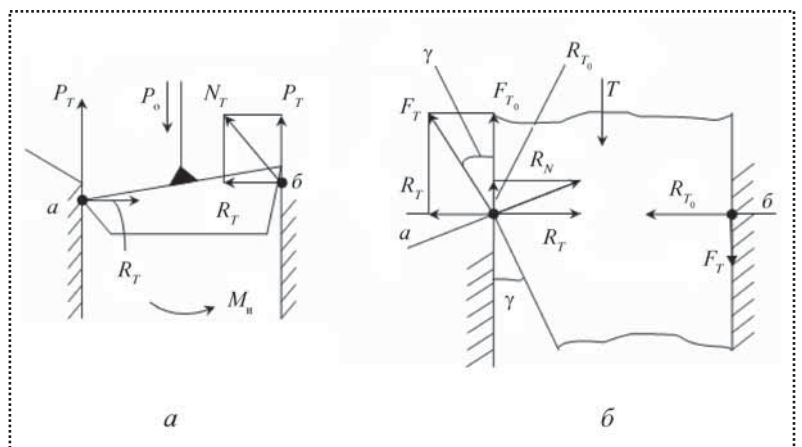


Рис. 3. Схема действия сил при внедрении заходного витка: a – на стенках отверстия; b – в развертке

Рассмотрим условие равновесия заходного витка, соответствующего рис. 3, а. При этом точка *A* будет фиксирована, а в силу угла подъема деформирующего ребра заходного витка, в точке *B* он будет скользить по линии ребра фаски отверстия, вызывая появление изгибающего момента $M_{и}$:

$$M_{и} = P_T d_0 = \frac{P_o}{2} d_0. \quad (12)$$

Выразив осевую составляющую $\frac{P_o}{2}$ из уравнения (12) и введя обозначения, получим

$$M_{и} = \frac{T d_0}{f b}, \quad (13)$$

где b – параметр, определяемый выражением

$$b = f \left(\frac{1 + \cos \gamma}{2 \sin \varphi} - \frac{\sin \gamma}{\operatorname{tg} \varphi} \right). \quad (14)$$

Рассмотрим состояние крепежного элемента, установленного в патроне с действующими в данной системе усилиями и моментами (рис. 4). Условие равновесия определится уравнением

$$P_{и} = ma + P_{п} = ma + j_{п} y, \quad (15)$$

где $P_{и}$ – изгибающая сила, действующая на патрон;

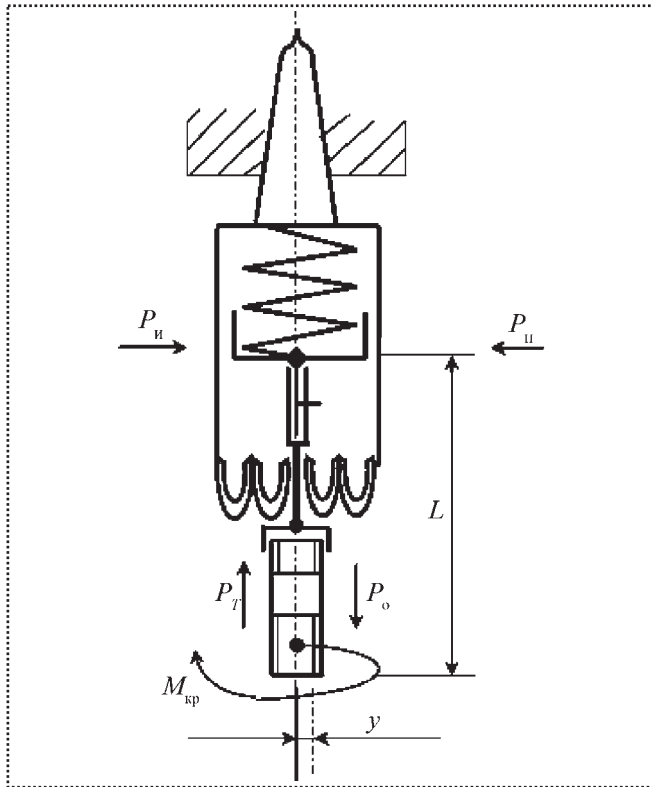


Рис. 4. Действие изгибающих нагрузок на патрон

m – масса подвижной части подвески патрона;
 a – радиальное ускорение при смещении подвески;

$P_{п}$ – сила сопротивления;

$j_{п}$ – радиальная жесткость патрона;

y – текущая координата.

Обозначим

$$R = \frac{T d_0}{f b m L},$$

где L – высота подвески патрона от привалочной плоскости.

Сделаем соответствующие преобразования, приведем уравнение (15) к дифференциальной форме:

$$\ddot{y} + \frac{j_{п}}{m} y - R = 0. \quad (16)$$

Уравнение (16) описывает движение тел под действием возмущающей силы произвольного вида. Оно решается в форме представлений, называемых интегралами Дюамеля. При нулевой силе вязкого сопротивления они имеют решения в форме

$$y = \frac{P_{и}}{j_{п}} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{j_{п}}{m}} t \right). \quad (17)$$

Выразим изгибающую силу $P_{и}$ через осевое усилие наживления:

$$P_{и} = \frac{P_o d_0}{2 L}.$$

Определим ускорение радиального смещения, взяв вторую производную выражения (17):

$$\ddot{y} = \frac{P_o d_0}{2 L m} \cos \sqrt{\frac{j_{п}}{m}} t. \quad (18)$$

Приравняв выражения изгибающего усилия в формулах (17) и (18), преобразуем их общее выражение относительно значений поперечной динамической жесткости патрона:

$$\cos \sqrt{\frac{j_{п}}{m}} t = 1 - \frac{2 L j_{п} y}{P_o d_0}. \quad (19)$$

Оно позволит определить минимальную жесткость подвески патрона при условии, что правая часть равенства не обратится в нуль:

$$j_{п \max} \geq \frac{P_o d_0}{2 L y} = \frac{P_o d_0}{2 L^2 \operatorname{tg} \gamma_{\phi}}, \quad (20)$$

где γ_{ϕ} – фактическое значение угловой погрешности в технологической системе патрона [7].



Первая производная выражения (17) будет скоростью нарастания изгибающего усилия

$$\dot{y} = \frac{P_o d_0}{2 L j_n} \sqrt{\frac{j_n}{m}} \sin \sqrt{\frac{j_n}{m}} t. \quad (21)$$

Установим нормировочное условие обеспечения точности:

$$y_{\max} \leq [y],$$

где $[y] = L \operatorname{tg} \gamma_\phi$.

С учетом этого условия решаем уравнение (21) относительно времени отжатия подвески патрона при наживлении:

$$t \leq \frac{L^2 \operatorname{tg} \gamma_\phi j_n}{P_o d_0 \sqrt{\frac{j_n}{m}}}. \quad (22)$$

При условии, что время разгона шпинделя и, соответственно, наконечника патрона не будет превышать времени поворота деформирующей грани винта или режущего пера метчика на угол, не превышающий определенное значение, данное время можно определить следующим образом:

$$t \leq \frac{\theta}{\omega_n} = \frac{\pi}{\omega_n}, \quad (23)$$

где θ – центральный угол поворота (не более половины оборота);

ω_n – расчетная скорость наживления, рад/с.

Приравняв выражения (22) и (23) и решая их относительно длины подвески L , получим:

$$L \leq \sqrt{\frac{\pi P_o d_0 \sqrt{j_n / m}}{\omega_n \operatorname{tg} \gamma_\phi j_n}}. \quad (24)$$

Значения расчетных скоростей наживления можно найти в работе [7].

Для резьбы М14×1,5, при осевом усилии $P_o = 130$ Н, $\gamma_\phi = 28'48''$, массе подвески 2 кг и радиальной жесткости патрона $j_n = 120$ Н/мм длина подвеса патрона $L \leq 0,25$ м. Такой жесткостью должен обладать патрон в замкнутом состоянии в момент производства перехода наживления для того, чтобы противостоять изгибающим нагрузкам и обеспечивать точное угловое положение крепежного элемента или инструмента.

Настройка муфты предельного момента

Предохранительные механизмы патронов требуют определенной настройки срабатывания муфты предельного момента. Имеются разные методики регулировки муфт. Например, для патронов типов 6162-4002 по ТУ РБ 00223728.001-98, при нарезании резьбы в

сталях с механическими свойствами, отличающимися от стали 45, необходимо выполнить следующее:

- расчетным или экспериментальным методом (с помощью динамометрического ключа) определить момент резания в данной стали необходимым метчиком;
- после настройки головка готова к эксплуатации и если она правильно отрегулирована, то должна обеспечить плавное нарезание метчиком резьбы;
- при упоре метчика в дно глухого отверстия появление треска в головке сигнализирует о прекращении вращения метчика;
- при нарезании резьбы с мелким шагом величины крутящего момента $M_{пр}$ определяют по формуле

$$M_{пр} = M_{расч} \sqrt{\left(\frac{P_x}{P}\right)^3}, \quad (25)$$

где $M_{расч}$ – расчетное значение крутящего момента для процесса;

P_x – шаг нарезаемой резьбы;

P – крупный шаг резьбы для данного диаметра.

Однако механика патронов должна участвовать и в других процессах – затяжке, вывинчивании метчиков или отвинчивании крепежных деталей и гаек со шпилечных концов, преодолении рабочих моментов и т.д.

Действующие значения крутящих моментов $M_{кр}$ могут занимать определенное поле на оси их распределения относительно расчетных значений $M_{расч}$, а также относительно предельных, к которым относятся моменты отвинчивания гайки M_Γ и предельные моменты среза стержней M_m , указанные на рис. 5. Значение $M_{кр}^*$ соответствует верхнему пределу поля распределения действующих крутящих моментов.

Итак,

$$\begin{aligned} M_{кр} &= M_{отв} / K_c; \\ M_{кр} &= M_m / 1,2; \\ M_{отв} &> M_\Gamma, \end{aligned} \quad (26)$$

где $M_{отв}$ – момент начала отвинчивания установленной крепежной детали;

K_c – коэффициент эффективности стопорения крепежной детали;

M_m – момент, при котором появляются пластические деформации в стержне детали;

M_Γ – момент отвинчивания гайки в собранном и затянутом шпилечном соединении.

Моменты M_m и M_Γ определяют из формул

$$\begin{aligned} M_m &= \tau_\Gamma \frac{\pi d_1^3}{1,2 \cdot 16 \cdot 10^3}; \\ M_\Gamma &= Q \frac{d_2}{2} \left(\frac{P}{\pi d_2} + f' \right), \end{aligned} \quad (27)$$

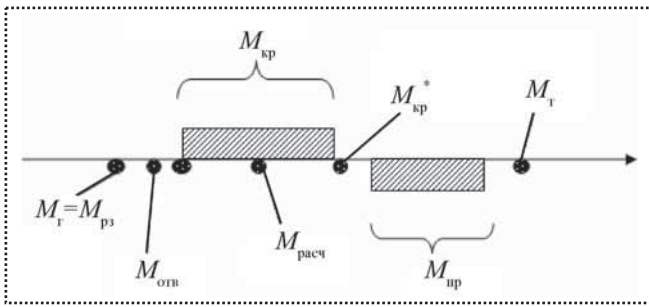


Рис. 5. Распределение значений моментов для регулировки патрона

где τ_T – предельные касательные напряжения среза, $\tau_T = (0,5 \dots 0,6) \sigma_T = 200$ МПа (для крепежных деталей из стали 15ХА);

d_1 и d_2 – внутренний и средний диаметры резьбы;
 Q – действующее усилие затяжки;
 f' – приведенный коэффициент трения в резьбе,

$$f' = f \sqrt{1 - \cos^2 \psi + \cos^2 \psi \cos^2 \left(\frac{\alpha}{2} \right)}.$$

Здесь f – нормированный коэффициент трения скольжения.

Из условий (26) и выражений (27) вытекает условие силового ограничения величины крутящего момента

$$\frac{Q}{K_c} \frac{d_2}{2} \left(\frac{P}{\pi d_2} + f' \right) < M_{кр} \leq \tau_T \frac{\pi d_1^3}{1,2 \cdot 16 \cdot 10^3}. \quad (28)$$

Выбор технологического варианта предлагается производить в следующей последовательности. Допустим, необходимо реализовывать сборку соединения М12 шпильчного типа с корпусом из стали 15Л ($\sigma_T = 200$ МПа, $\sigma_B = 400$ МПа).

Для крепежного элемента предварительно выбираем сталь 15ХА ($\sigma_B = 600$ МПа, $\sigma_T = 400$ МПа). Впоследствии марку материала можно уточнить.

Определяем диапазон крутящих моментов, которые могут распределяться между предельными значениями:

$$M_m > M_{кр} > M_{pz} (M_T),$$

где M_{pz} – момент трения в резьбе от усилия затяжки при завинчивании.

Предельный момент среза стержня шпильки можно определить для крепежных деталей по формуле

$$M_m \leq 1,66 \cdot 10^{-5} \tau_T (d + d_1)^3, \quad (29)$$

а для трехперых метчиков, согласно В.В. Матвееву [8]

$$M_m = \frac{\tau_T r_{вн}^3}{2,54}, \quad (30)$$

где $r_{вн}$ – радиус сердцевинки метчика.

Тогда предельный момент среза стержня винта в соответствии с формулой (29) будет равен $M_m = 39,45$ Н·м.

Момент затяжки крепежной детали или момент затяжки шпильчной гайки определяют из нормированного значения, которое по Б.И. Пикалову равно [9]

$$Q_3 = 0,6 \sigma_T \frac{\pi d_1^2}{4} = 19987,35 \text{ Н}, \quad (31)$$

где Q_3 – нормированное усилие затяжки.

Расчетный момент затяжки гайки, вычисленный по второй формуле системы (27), $M_{pz} = 24,63$ Н·м.

Таким образом, действующий крутящий момент в соединении должен находиться в пределах

$$39,45 \text{ Н·м} > M_{кр} > 24,63 \text{ Н·м}.$$

Предельный момент срабатывания муфты патрона должен находиться в пределах

$$1,2 M_{кр}^* < M_{пр} < 0,8 M_m.$$

При неизвестном значении $M_{кр}^*$ предельный момент должен быть настроен на величину 31,56 Н·м.

Приведенные материалы позволят более детально подойти к решению задач разработки новых конструкций вспомогательной оснастки, а также повысить качественные показатели и эксплуатационные характеристики действующих в производстве образцов.

Библиографический список

1. Блаер И.Л. К вопросу о надежном автоматическом наживлении резьбовых изделий // Автоматизация и современные технологии. 2001. № 2. С. 12–15.
2. Гусев А.А. Технологические основы автоматизации сборки изделий: дис. ... д-ра техн. наук. М.: Мосстанкин, 1979. 496 с.
3. Поливцев В.П., Копп В.Я. Высокоскоростная сборка резьбовых соединений // Вестник машиностроения. 1986. № 2. С. 45–47.
4. Система показателей качества продукции. Инструмент вспомогательный. Номенклатура показателей. ОСТ 2 НО 2-36-87. Введен 1988-01-01. М.: Изд-во стандартов. 1987. 10 с.
5. Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н. Оснастка для станков с ЧПУ: справочник. М.: Машиностроение, 1990. 512 с.
6. ОТУ-6-2000. Общие технические условия на поставку оборудования АО "АвтоВАЗ". Инструмент вспомогательный и приспособления. Общие технические условия. Взамен ОТУ 6-92. Тольятти: АО "АвтоВАЗ". 2000. 67 с.
7. Березин С.Я., Чумаков Р.Е., Леонов В.Н. Научные основы технологии сборочно-резьбообразующих процессов. Чита: Изд-во ЗабГПУ, 2005. 214 с.
8. Матвеев В.В. Нарезание точных резьб (машинными метчиками). М.: Машиностроение, 1968. 116 с.
9. Якушев А.И., Мустаев Р.Х., Мавлютов Р.Р. Повышение прочности и надежности резьбовых соединений. М.: Машиностроение, 1979. 215 с.

УДК 621.83(075)

И.В. Шинаков, А.В. Жданов, канд-ты техн. наук
(Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых)
E-mail.: zhdanov@vlsu.ru

Создание предварительного натяга в роликовинтовых механизмах при сборке

Представлены методы создания предварительного натяга в роликовинтовых механизмах с использованием пружин и дополнительных прокладок. Предложены аналитические зависимости для определения толщины прокладок. Приведены экспериментальные и теоретические данные по влиянию предварительного натяга на кинематическую погрешность и жесткость роликовинтовых механизмов.

This paper presents methods for creating a preliminary tightness in roller screw mechanisms with use of springs and extra pads. Proposed analytical expressions for determining the thickness of pads. Are presented experimental and theoretical grounds on influence of a preliminary tightness on a kinematic error and stiffness roller screw mechanisms.

Ключевые слова: роликовинтовой механизм, предварительный натяг, жесткость, кинематическая погрешность.

Keywords: roller screw mechanism, preliminary tightness, stiffness, kinematic error.

Высокие нагрузочные показатели роликовинтовых механизмов (РВМ) обусловлены многопарностью контакта, передачей мощности по нескольким потокам, рациональной геометрией элементарных сопряжений и высокими характеристиками материалов контактирующих тел [1–5]. Вследствие погрешностей изготовления, а также изнашивания профилей во время работы в сопряжениях механизма возникают осевые зазоры, влияющие на его эксплуатационные показатели. Надежная работа РВМ (рис. 1) возможна лишь при создании предварительного натяга в резьбовых элементах, с помощью которого выбираются возникающие зазоры и вводятся в контакт все возможные точки [5]. Это позволяет избежать динамических ударов при реверсировании, влияет на равномерность закона распределения нагрузки по виткам резьбы, а также выводит механизм из зоны нечувствительности при отработке малых перемещений.

Взаимодействие элементов в РВМ под действием предварительного натяга можно рассмотреть в осевом

сечении (рис. 2). В элементарных сопряжениях механизма возникают зазоры, которые выражаются формулами в сопряжениях винт–ролики S_i^{BP} и ролики–гайка S_j^{PG} [1]:

$$\begin{aligned} S_i^{BP} &= [\Delta\Omega_{\gamma(\beta)} + \Delta\Omega_{\beta(\gamma)}^P] l_i; \\ S_j^{PG} &= [\Delta\Omega_{\gamma(\beta)}^P + \Delta\Omega_{\beta(\gamma)}^G] l_j, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\Delta\Omega_{\gamma(\beta)}$, $\Delta\Omega_{\gamma(\beta)}^P$, $\Delta\Omega_{\gamma(\beta)}^G$ – погрешности осевого положения элементов РВМ (винта, роликов и гайки соответственно);

β и γ – образующие осевого профиля резьбового элемента (в скобках указаны образующие при обратном приложении нагрузки).

Погрешности элементов РВМ рассматривают в функции двух переменных U_1 и Δr , где первая определяет закономерность движения образующей резьбовой поверхности, а вторая – закономерность изменения ее формы [1].

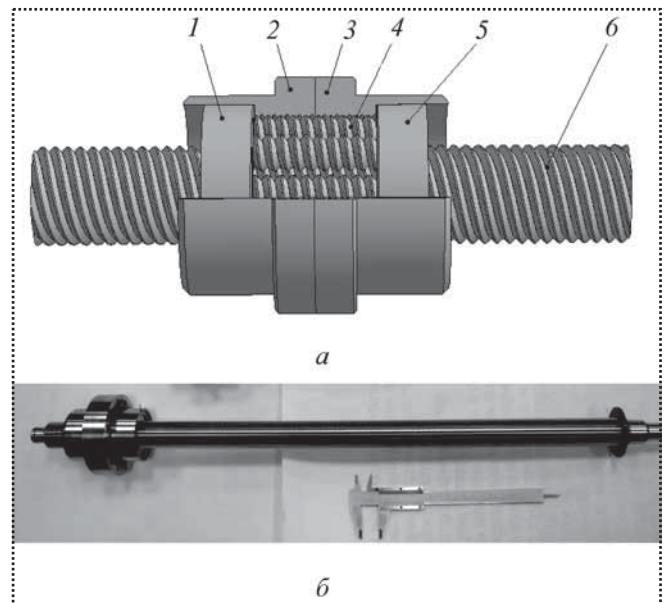


Рис. 1. Схема (а) и внешний вид (б) твердотельной модели РВМ:

1, 5 – зубчатые венцы; 2, 3 – полугайки; 4 – ролик; 6 – винт

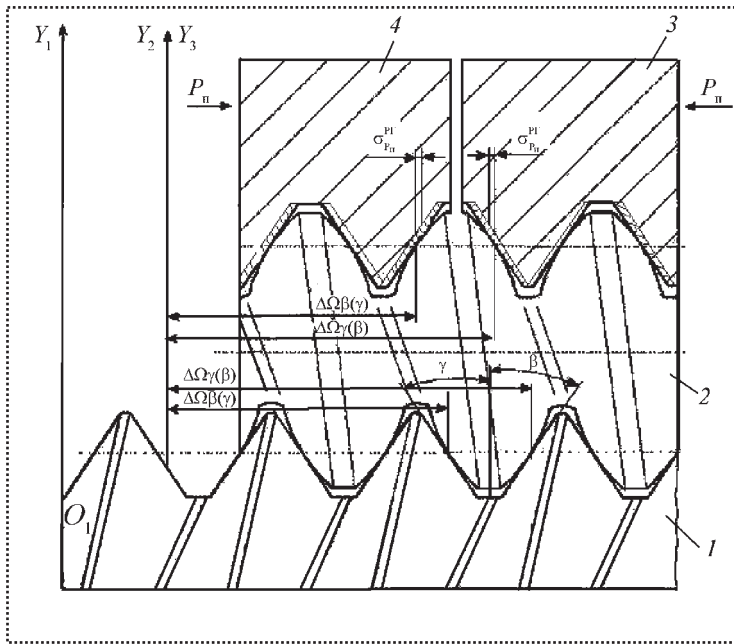


Рис. 2. Модель взаимодействия резбовых элементов РВМ в осевом сечении при создании предварительного натяга:

OY_i – оси координат элементов РВМ ($i = 1$ – винт, $i = 2$ – ролик; $i = 3$ – гайка); $p(x)$ – шаг резьбы; β и γ – образующие осевого профиля резбового элемента; $\Delta\Omega_{\gamma(\beta)}$ – погрешность осевого положения элементов; P_n – сила предварительного натяга; 1 – винт; 2 – ролики; 3, 4 – полугайки

Диаграмма деформаций РВМ состоит из нелинейного ($0; F_{\min}$) и линейного ($F_{\min}; F_{\max}$) участков. Целью создания предварительного натяга в передаче является вывод рабочей точки деформирования на линейный участок, на котором обеспечивается стабильность выходных параметров. Это возможно двумя способами:

- предварительным нагружением силой $F \geq F_{\min}$ (применяется для передач, воспринимающих одно-стороннюю нагрузку);
- введением дополнительных конструктивных элементов (применяется для реверсивных механизмов).

Под действием силы предварительно натяга P_n в механизме с двумя полугайками в сопряжении ролик–гайка полугайки смещаются в осевом направлении. Причем одна из них работает одной стороной профиля γ , вторая – другой стороной β . Текущее значение натяга в сопряжении ролик–гайка по образующей γ и β определяется:

$$\sigma_{P_n \gamma_i}^{PG} = \sigma_{P_n}^{PG} - (\Delta_{\gamma_i}^{PG} - \Delta_{\min \gamma}^{PG});$$

$$\sigma_{P_n \beta_i}^{PG} = \sigma_{P_n}^{PG} - (\Delta_{\beta_i}^{PG} - \Delta_{\min \beta}^{PG}),$$

где $\sigma_{P_n}^{PG}$ – контактная деформация под действием силы предварительного натяга;

$\Delta_{\gamma_i}^{PG}$, $\Delta_{\beta_i}^{PG}$ – текущие значения зазора по длине сопряжения ролик–гайка по образующим γ и β ;

$\Delta_{\min \gamma}^{PG}$, $\Delta_{\min \beta}^{PG}$ – наименьшие зазоры по длине сопряжения ролик–гайка по образующим γ и β .

Проведено исследование влияния предварительного натяга на кинематическую погрешность механизма. На рис. 3, а показана кинематическая погрешность механизма с семью роликами на длине хода гайки 80 мм без натяга (момент холостого хода $M_{x,x} = 0$ Н·м) и с предварительным натягом ($M_{x,x} = 1,7$ Н·м).

Анализ проведенных экспериментов показывает, что создание предварительного натяга величиной до 250 Н (соответствует $0,1 \dots 0,2 P$, где P – статическая грузоподъемность) значительно уменьшает кинематическую погрешность (в среднем в два раза). Это соответствует результатам, полученным в теоретическом исследовании с точностью до 3 %.

На рис. 3, б показаны зависимости осевой жесткости передачи от числа роликов при создании натяга и без него. Создание предварительного натяга в передаче увеличивает также жесткость – на 40...50 %. Таким образом, определен коэффициент влияния натяга: $K_2 = 1,0 \dots 1,5$.

При создании предварительного натяга в РВМ происходит упругое смещение винта 1 (см. рис. 2) относительно гайки 3, которое можно представить следующим образом:

$$\delta_{13} = \Sigma \delta_F - \Sigma \Delta_{\min}, \quad (2)$$

где $\Sigma \delta_F$ – контактная деформация витков под действием нагружающей силы F , состоящая из деформаций сопряжений винт–ролик δ_F^{BP} и ролики–гайка δ_F^{PG} :

$$\Sigma \delta_F = \delta_F^{BP} + \delta_F^{PG};$$

$\Sigma \Delta_{\min}$ – суммарный зазор в РВМ, состоящий из зазоров в зацеплениях винт–ролик и ролики–гайка при фиксированном значении U :

$$\Delta_{\min} = \Delta_{\min}^{BP} + \Delta_{\min}^{PG}.$$

Относительное смещение δ_{13} должно быть больше значения δ_0 , соответствующего F_{\min} :

$$\delta_{13} \geq \delta_0.$$

Величину δ_0 можно представить следующим образом:

$$\delta_0 = h - \delta_n, \quad (3)$$

где h – толщина прокладки;

δ_n – упругая деформация прокладки, которую можно найти из выражения

$$\delta_n = \frac{F h}{E \pi D_{cp.n} b} = C_2 h F. \quad (4)$$

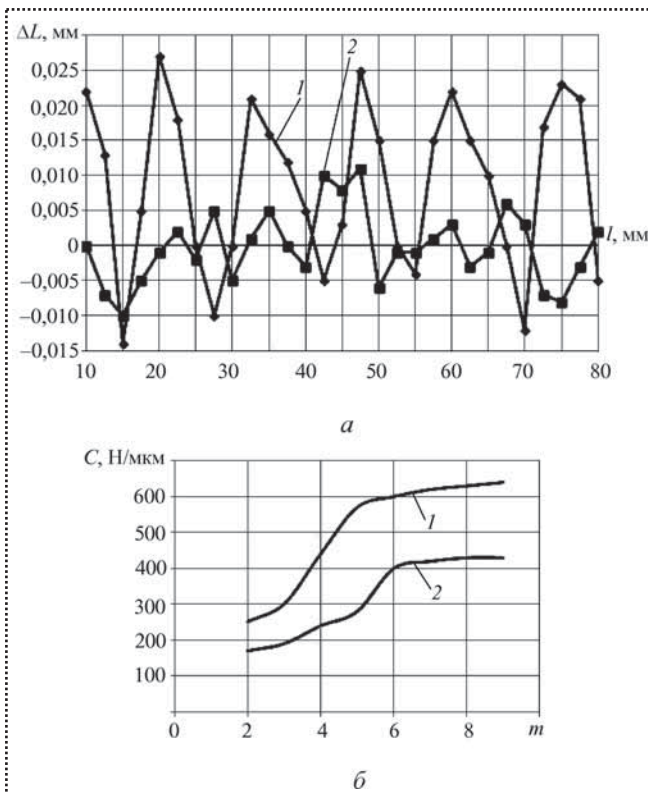


Рис. 3. Влияние предварительного натяга:
 а – на кинематическую погрешность ΔL ; 1 – зависимость кинематической погрешности механизма без натяга ($M_{xx} = 0$ Н·м); 2 – зависимость кинематической погрешности механизма с натягом ($M_{xx} = 1,7$ Н·м; l – длина хода;
 б – на осевую жесткость передачи C ; 1 – без натяга ($P_n = 0$ Н); 2 – с натягом ($P_n = 500$ Н); m – число роликов; P_n – сила предварительного натяга

Здесь E – модуль упругости; $D_{ср.п}$ – средний диаметр прокладки (кольца); b – ширина прокладки;
 $C_2 = \frac{1}{E} \pi D_{ср.п} b$; F – сила, приложенная к прокладке.

Подставляя значение δ_n из формулы (4) в формулу (3) с учетом выражения (2), получаем:

$$h \geq \frac{C_1 F^{2/3} - \Sigma \Delta_{\min} + S}{1 - C_2 F}, \quad (5)$$

где $C_1 = C_{вп} + C_{рг}$ – жесткость передачи, определяемая как сумма жесткостей сопряжений винт–ролики и ролики–гайка [2];

S – норма максимального осевого зазора [5].

Верхняя граница значения h ограничивается величиной упругой деформации $h_{пред}$, соответствующей силе P_n :

$$h < h_{пред}, \quad (6)$$

где $h_{пред} = \frac{C_1 P_n + S}{1 - C_2 P_n}$.

Значение P_n ограничивается максимальным усилием, применяемым при сборке механизма.

В ряде случаев предварительный натяг в РВМ осуществляется пружиной. Тогда уравнение (3) можно представить в виде:

$$\delta_0 = L - l_1 = L - C_2' P, \quad (7)$$

где L – длина пружины в свободном состоянии;

l_1 – предварительная деформация пружины, $l_1 = P / K$;

C_2' – коэффициент податливости, $C_2' = \frac{1}{K}$;

K – жесткость пружины.

С учетом выражений (5) и (7) получаем:

$$L = (C_1 P^{2/3} + C_2' F) - \Delta_{\min} + S, \quad (8)$$

значения которого находятся в тех же пределах.

В данном случае величину L можно варьировать не только изменением P_n , но и жесткостью пружины K . Зависимости (2)–(8) сохраняются и в случае создания предварительного натяга в винте. Вследствие недостаточной жесткости пружины ($l_1 \gg \delta_n$) при реверсировании механизма могут возникать нежелательные колебания, приводящие к динамическим ударам, поэтому наиболее предпочтительным способом создания предварительного натяга в РВМ является установка кольца.

Конструктивные способы создания предварительного осевого усилия в РВМ можно разделить на две группы:

а) в механизмах первой группы контактируют β -образующие верхней полурайки и γ -образующие нижней. При действии осевой силы P , направленной вниз, работают витки только верхней полурайки, а при противоположном направлении силы P – витки нижней полурайки;

б) в механизмах второй группы контактируют γ -образующие верхней полурайки и β -образующие нижней. В первом случае работает нижняя полурайка, а во втором – верхняя.

Библиографический список

1. **Жданов А.В.** Повышение надежности и долговечности РВМ: дис. ... канд. техн. наук. Владимир. 1998. 16 с.
2. **Зуева Е.В.** Разработка методики расчета и проектирования РВП с заданными точностью, жесткостью и стабильностью кинематических передаточных функций: дис. ... канд. техн. наук. Владимир, 1993. 148 с.
3. **Козырев В.В.** Конструкции, теория и методика проектирования и исследования планетарных передач винт–гайка с резьбовыми роликами и мехатронных модулей на их базе. Владимир: Изд-во Владимирского гос. университета, 2011. 238 с.
4. **Морозов В.В.** Роликовинтовые механизмы. Кинематические характеристики. Владимир: Изд-во Владимирского гос. университета, 2005. 78 с.
5. **Жданов А.В.** Обеспечение качества сборки роликовинтовых механизмов фрикционного типа // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 5. С. 30–35.

Синергетический подход к описанию процессов механической обработки и сборки

Предложено системное определение механической обработки и сборки в машино- и приборостроении на основе синергетики. Использован междисциплинарный язык синергетики для обобщения понятийного описания человекообразных систем. Представлены графы взаимосвязей ресурсов в системах технологических процессов обработки и сборки.

Machining and assembly system definition in mechanical and instrument making on the basis of synergetics is offered. Interdisciplinary synergetics language for generalization of the conceptual human-dimensional systems description is used. Graphs of resources interrelations in the systems of technological processes of machinery and assembly are presented.

Ключевые слова: синергетика, граф, взаимосвязь, ресурс, тезаурус, точка бифуркации, детектор, селектор, фазовый портрет, аттрактор, обработка, сборка.

Keywords: synergetic, graph, interrelation, resource, thesaurus, bifurcation point, detector, selector, phase portrait, attractor, machining, assembly.

Вся деятельность общества направлена на создание человекообразных систем (структур), осуществляемое им в виде реализации различного рода технологий на базе действующих парадигм. При этом постоянно наблюдается бурный рост информации и дифференциации получаемых знаний на отдельные научные направления со своей спецификой терминов и понятий, что в итоге затрудняет членам разных научных сообществ понимать друг друга и, следовательно, эффективно взаимодействовать между собой.

Применение же междисциплинарного языка синергетики к описанию разного рода человекообразных систем позволяет в большей степени решить возникшие проблемы и повысить степень обобщения (абстрактности) имеющейся понятийной базы знаний [1]. Это в полной мере относится к научным и прикладным дисциплинам машиностроительного

цикла и, в частности, к процессам механической обработки и сборки [2].

Так, на рис. 1 с позиции синергетического подхода представлен общий граф взаимосвязей задействованных ресурсов при механической обработке заготовки для формообразования детали (например, гладкого вала).

В этом случае в качестве тезауруса *1* человекообразной системы выступает чертеж (графическая модель), а прообразом для нее служит материальная заготовка с точкой бифуркации (ТБ₁) *2*. Точка бифуркации *2* раздваивается на возможный детектор *3* как форма заготовки и селектор *4* как материал заготовки. Здесь следует заметить, что роль детектора *3* и роль селектора *4* относительна, и каждый из них по своей роли может меняться местами.

В свою очередь детектор *3* определяет способ формообразования заготовки *5* с получением ею определенной степени точности размеров *6* и отклонений формы и расположения поверхностей *7*. Селектор *4* в то же время как материал заготовки характеризует ее фазовое состояние *8* напряжением *9* и твердостью *10*. При этом детектор *3* и селектор *4* с их, соответственно, особыми характеристиками *5, 6, 7 и 8, 9, 10* определяют фазовый портрет заготовки *11*.

Далее фазовый портрет заготовки в точке бифуркации (ТБ₂) *11* предопределяет выбор детектора *12* как операции формообразования вала и соответствующего ему селектора *13* в виде технологического оснащения, необходимого для ее осуществления. В свою очередь технологическое оснащение *13* включает в себя технологическое оборудование *14*, приспособление *15* и режущий инструмент *16*. При этом в качестве оборудования выступает токарный станок *17*, обладающий вращательным главным движением *18* и осевой подачей *19*. Здесь за приспособление *15* принят трехкулачковый патрон *20* с четырьмя степенями лишения свободы *21* заготовки *2* и обеспечения ее надежного крепления *22*.

Для осуществления операции формообразования *12* служит режущий инструмент *16* в виде проходного резца *23* с требуемой геометрией *24* и стойкостью *25*. Сам процесс формообразования вала (детали) *12* заключается в снятии с поверхности *26* заготовки части

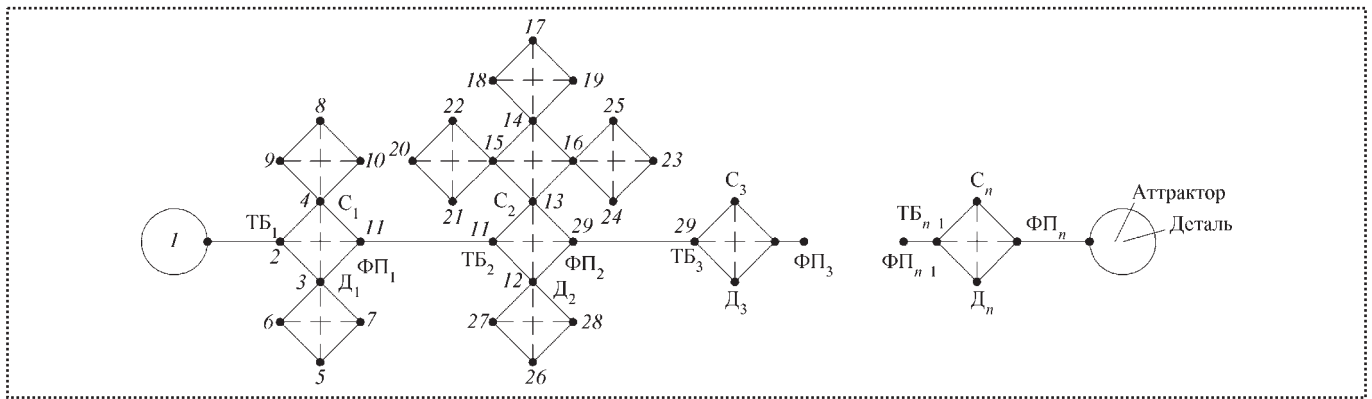


Рис. 1. Граф взаимосвязей задействованных ресурсов при механической обработке заготовки точением:

1 – тезаурус; 2 – заготовка в точке бифуркации TB_1 ; 3 – детектор D_1 ; 4 – селектор C_1 как материал заготовки; 5 – способ формообразования заготовки; 6 – степень точности заготовки; 7 – степень точности формы и расположения поверхностей заготовки; 8 – фазовое состояние материала заготовки; 9 – напряжение; 10 – твердость материала заготовки; 11 – фазовый портрет заготовки; 12 – детектор D_2 ; 13 – селектор C_2 ; 14 – технологическое оборудование; 15 – приспособление; 16 – режущий инструмент; 17 – токарный станок; 18 – вращательное главное движение; 19 – продольная подача; 20 – трехкулачковый патрон; 21 – степени лишения свободы заготовки при базировании; 22 – сила зажима заготовки; 23 – проходной резец; 24 – геометрия резца; 25 – стойкость; 26 – обрабатываемая поверхность; 27 – припуск; 28 – операция точения; 29 – новый фазовый портрет заготовки $\Phi\Pi_2$ после операции точения

припуска 27 точением 28, в результате чего получается новый фазовый портрет заготовки 29.

Последовательно чередуя точки бифуркации подобно точке бифуркации 11 и определяя при этом соответствующие детекторы и селекторы, т.е. необходимые операции формообразования вала и требуемое технологическое оснащение с наружными характеристиками составляющих элементов для их реализации, получают ряд вновь измененных фазовых портретов изменения формы заготовки вплоть до формы готовой детали как аттрактора.

Известно, что завершающим этапом изготовления какого-либо изделия является его сборка из отдельных деталей или узлов. Так, на рис. 2 показан общий граф

взаимосвязей задействованных ресурсов при сборке изделия с применением резьбового соединения.

В этом случае за тезаурус 1 принимают комплект из всех составляющих элементов изделия. Затем из тезауруса 1 выбирают базовую деталь с точкой бифуркации TB_1 с детектором D_1 3, определяющим вид соединения, и селектором C_1 4, являющимся базовой поверхностью базовой детали 2. Сама базовая поверхность (селектор C_1) 4 характеризуется суммарным отклонением формы и расположения 5 и его отдельными составляющими отклонениями формы 6 и расположения 7. Вместе детектор 3 и селектор 4 определяют базовую деталь с поверхностью соединения 8.

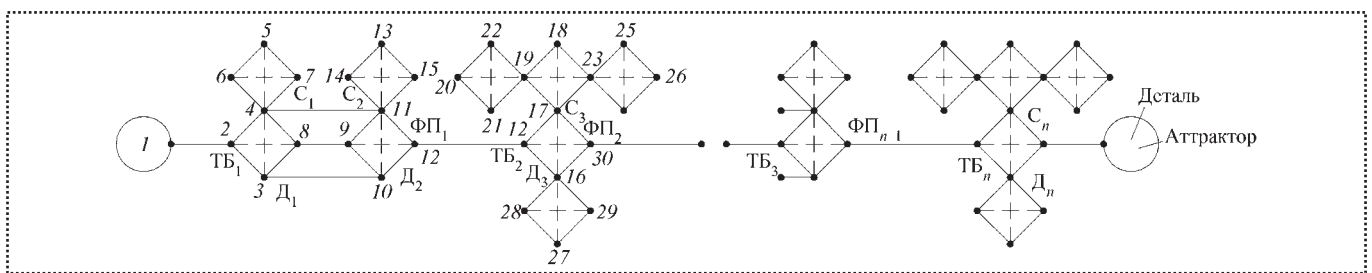


Рис. 2. Граф взаимосвязей задействованных ресурсов при сборке изделия:

1 – тезаурус (комплект составляющих элементов (деталей) изделия); 2 – базовая деталь; 3 – детектор D_1 ; 4 – селектор C_1 ; 5 – суммарные отклонения формы и расположения; 6 – отклонение формы; 7 – отклонение расположения; 8 – базовая деталь с поверхностью соединения; 9 – присоединяемая деталь; 10 – детектор D_2 ; 11 – селектор C_2 ; 12 – резьбовое соединение; 13 – суммарные отклонения формы и расположения присоединяемой детали; 14 – отклонение формы; 15 – отклонение расположения; 16 – детектор D_3 ; 17 – селектор C_3 ; 18 – сборочный стенд; 19 – устройство для сборки резьбового соединения; 20 – гайковерт (ключ); 21 – размер ключа под гайку; 22 – крутящий момент гайковерта; 23 – комплект резьбового соединения; 24 – болт; 25 – гайка; 26 – резьбовое соединение; 27 – свинчивание гайки с болтом; 28 – установка болта в отверстия соединяемых деталей; 29 – установка гайки на болт; 30 – сборочная единица в виде $\Phi\Pi_2$ из двух деталей



Базовая деталь 2 сопрягается с другой присоединяемой к ней деталью 9, которая характеризуется детектором 10 (т.е. вид соединения) и селектором 11 (т.е. вид присоединяемой поверхности).

Присоединяемая поверхность 11 детали 9 имеет суммарные отклонения формы и расположения 13 и их отдельные составляющие отклонения формы 14 и расположения 15. При этом базовые поверхности 4 и 11 обеих деталей 2 и 9 контактируют между собой и идентичны по своей форме и расположению и определяют общий вид соединения 3 и 10 как резьбового соединения 12.

Одновременно в точке бифуркации 12 определяется выбор детектора D_3 16 как операции формирования резьбового соединения и селектора C_3 17, включающего в себя необходимое технологическое оснащение для осуществления резьбового соединения.

Технологическое оснащение 17 включает стенд для сборки 18 с устройством для ее осуществления 19 в виде гайковерта (ключа) 20 под размер гайки 21 с созданием необходимого крутящего момента 22 для обеспечения надежного крепления соединяемых деталей 2 и 9. При этом для осуществления процесса соединения деталей 2 и 9 необходим комплект составляющих резьбовых элементов 23, т.е. типа болта 24 и гайки 25 как отдельных элементов резьбового соединения 26. Само же формообразование резьбового соединения 16 осуществляется свинчиванием 27 болтов

24, установленных в сопряженных отверстиях 28 соединяемых деталей 2 и 9, с гайками 29, в результате чего получается новый фазовый портрет $\Phi\Pi_2$ сборочной единицы 30 из двух деталей.

Следовательно, для окончательного получения готового изделия далее необходимо, при включении в процесс сборки другой новой детали, чередовать последовательно точки бифуркации подобно точке 12 с определением соответствующих детекторов и селекторов, т.е. следует осуществить требуемое число операций формообразования изделия и изменений технологического оснащения с нужными характеристиками соответствующих элементов для их реализации вплоть до последней операции с целью получения готового изделия (аттрактора).

В заключение следует отметить, что процесс формообразования деталей при механической обработке резанием и осуществление процесса сборки изделия из отдельных деталей принципиально можно представить графом взаимосвязей применяемых при этом ресурсов и описать их на междисциплинарном языке синергетики.

Библиографический список

1. Смолко В.А. Концепции современного естествознания. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. 768 с.
2. Махаринский Е.И., Горохов В.А. Основы технологии машиностроения. Минск: Выш. шк., 1997. 423 с.



Читайте в следующем номере:



- **Безменов В.С., Игнатов А.В.** Типовые системы автоматизированного дозирования однокомпонентных термореактивных клеевых составов для сборочных производств с клеевыми соединениями
- **Иванов А.А.** Магнитные системы кассетирования и сборки
- **Кочетков А.В., Гнитько В.Б., Челпанов И.Б.** Объемное компьютерное моделирование конструкций технологических роботов для силовых операций гибки с растяжением
- **Абрамов А.И., Абрамов И.В., Петров А.В., Романов А.В.** Гидропрессовые соединения с деталями из титановых сплавов
- **Булавин И.А., Груздев А.Ю., Будыкин А.В.** Технология сборки подшипниковых узлов с преднатягом в редукторах ведущих мостов автомобилей

УДК 621.757

А.В. Куприянов, канд. техн. наук

(Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков)

E-mail: kupriyanov@bk.ru

Моделирование прочности соединения с натягом при наличии погрешности геометрии формы

Исследовано влияние погрешности геометрии формы на прочность цилиндрического соединения с натягом. Прочность соединения с идеальной цилиндрической геометрией сравнивалась с прочностью соединения при наличии конусообразности, седлообразности, бочкообразности, овальности. Расчет проведен методом конечных элементов в программной системе Ansys. Установлено, что прочность цилиндрического соединения с натягом при наличии погрешности геометрии формы существенно снижается, вследствие чего целесообразно ввести ограничение погрешности геометрии формы при изготовлении деталей для ответственных соединений с натягом.

Influence of inaccuracy of form geometry on strength of cylindrical joints with interference fit is explored. Strength of joints with ideal cylindrical geometry was compared to strength of joints with presence of inaccuracy of geometrical form: cone-shaped, bow, crowning, ovality. The calculation was performed using finite elements in program system Ansys. It is established that the strength of the cylindrical joint with interference fit in the available of inaccuracy is substantially reduced, for that reason it is advisable to set limits of inaccuracy of form geometry the manufacture of parts for critical joints with interference fit.

Ключевые слова: соединение с натягом, сборка, погрешность геометрии формы, прочность.

Keywords: joint with interference fit, assembly, inaccuracy of form geometry, strength.

Введение

В промышленности широко используют соединения с натягом, которые сравнительно просто технологически реализуются, и, как правило, относятся к неразъемным. Они обеспечивают высокую прочность соединений на осевой сдвиг и проворачивание.

Такие авторы, как Г.Я. Андреев, Г.Я. Бобровников, Б.М. Арпентьев, А.С. Зенкин, исследовали влия-

ние различных геометрических и технологических параметров на прочность соединения с натягом. Известно, что наибольшее влияние на прочность такого соединения оказывает величина натяга. К другим параметрам, оказывающим существенное влияние, относят:

- материал и характеристики поверхностного слоя сопрягаемых деталей;
- микрогеометрию посадочных поверхностей – шероховатость и ее направление;
- наличие промежуточных сред – смазок, клеевых прослоек.

Автором проведена обработка экспериментальных данных [1] с целью установить существенность влияния погрешности геометрии формы на прочность соединения. Однако результаты оказались недостаточными для однозначных выводов. Использование компьютерного моделирования методом конечных элементов (МКЭ) позволяет провести математический эксперимент по сравнительному анализу прочности соединений с натягом для различных погрешностей геометрии.

Целью исследования является определение существенности и величины влияния погрешности геометрии формы на прочность соединения с натягом.

Постановка задачи

В работе исследованы цилиндрические соединения с натягом. Стандарт ISO 1101:2004 нормирует совокупность отклонений всей поверхности (допуск цилиндричности), отдельных ее сечений либо отдельных геометрических элементов, независимо от формы реальной поверхности.

С целью исследования влияния формы реальной поверхности в данной работе рассмотрено влияние на прочность соединения применявшихся ранее частных видов отклонений формы. К ним относят отклонения профиля поперечного сечения: конусообразность, бочкообразность, седлообразность и отклонение от круглости – овальность.

Относительная геометрическая точность формы может составлять от 60 % поля допуска для нормальной (А) до менее 25 % для особо высокой геометриче-

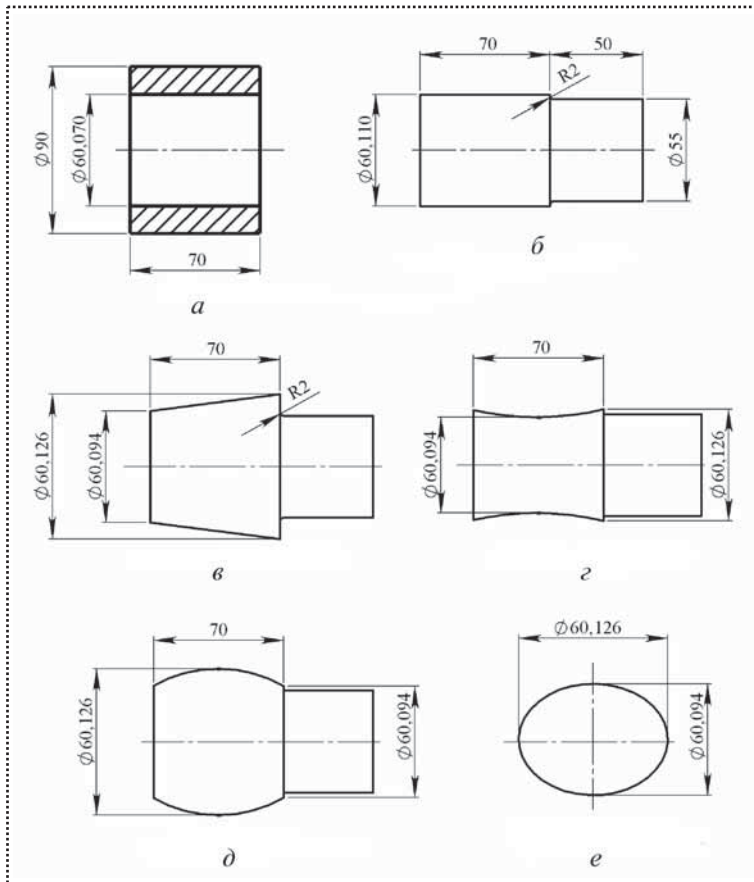


Рис. 1. Исследование формы цилиндрических поверхностей: *a* – втулка; *б* – цилиндрический вал; *в–е* – отклонения формы поверхностей валов (*в* – конусообразность, *г* – седлообразность, *д* – бочкообразность, *е* – овальность, поперечное сечение)

ской точности. Если при сборке с натягом погрешность геометрии формы деталей не нормируется, то ее величина может соответствовать нормальной геометрической точности.

Для сравнительных расчетов была выбрана посадка $\varnothing 60 \text{ H8/u8}$. Для 8-го качества нормальная (А) относительная геометрическая точность соответствует 7-й степени точности. Для данного диаметра допуск погрешности геометрии формы составляет 16 мм на сторону, 32 мм на диаметр. С целью усилить влияние погрешностей геометрии формы при моделировании принимался минимальный натяг в соединении – 0,04 мм. В качестве материала деталей была принята сталь 45. Характеристики материала: модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; коэффициенты Пуассона приняты одинаковыми для вала и втулки ($\nu = 0,3$).

Экспериментальные образцы показаны на рис. 1, погрешности геометрии формы графически увеличены для наглядности. Втулки приняли цилиндрическими (рис. 1, *a*), а погрешность геометрии формы моделировали на валах. Цилиндрический вал

(рис. 1, *б*) сравнивался с имеющими конусообразность, седлообразность, бочкообразность и овальность (рис. 1, *в–е*). Для валов были предусмотрены хвостовики.

Определение коэффициента трения для соединений с погрешностью геометрии формы

При моделировании в программной системе Ansys нет возможности задавать переменный коэффициент трения в зависимости от контактного давления. Поэтому была разработана модель определения усредненного коэффициента трения при контактом давлении, зависящем от погрешностей геометрии формы.

Коэффициент трения был представлен как постоянный при отсутствии погрешности геометрии формы (рис. 2, *a*), и переменный, пропорционально уменьшающийся на участках уменьшения натяга на погрешности геометрии (рис. 2, *б*), величина коэффициента трения пропорциональна высоте показанного стрелками контактного давления. Коэффициент трения был представлен как двухкомпонентная линейная модель, в которой первая часть определяется величиной коэффициента трения в условиях постоянного нормального давления для данной контактной пары, а вторая зависит от изменения нормального давления в каждой точке контакта при наличии погрешности геометрии формы.

Для определения коэффициента трения за основу были взяты экспериментальные данные Г.Я. Андреева, который проводил исследование прочности тепловых посадок с аналогичными нашим характеристиками: посадочный диаметр $d = 48$ мм, натяг $N = 0,03 \dots 0,07$ мм, температура среды 20 °С, материал – сталь 45, посадочные поверхности шлифованные, без смазки и без погрешности геометрии формы.

В результате были получены следующие значения коэффициента трения:

- без погрешности геометрии – $f = 0,35$;

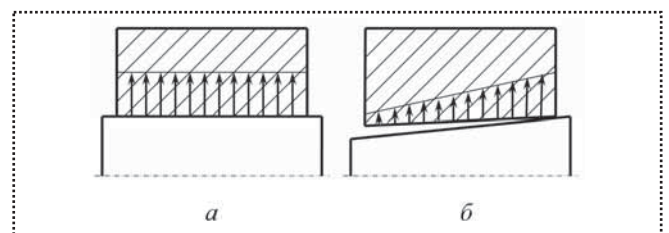


Рис. 2. Изменение контактного объема трения: *a* – погрешность формы отсутствует; *б* – при конусообразной погрешности формы



- конусообразность – $f = 0,28$;
- седлообразность – $f = 0,257$;
- бочкообразность – $f = 0,303$;
- овальность – $f = 0,288$.

Моделирование прочности методом конечных элементов в программной системе Ansys

Моделирование прочности цилиндрического соединения с натягом при наличии погрешности геометрии формы для исходных данных (см. рис. 1) было проведено средствами пакета инженерного анализа Ansys v.12. В программной системе Ansys реализованы возможности для геометрического моделирования, поэтому был проведен расчет для вала с хвостовиком, что позволило приблизить решение к реальной задаче. Форму седлообразности и бочкообразности моделировали дугой окружности, овальность в осевом сечении моделировали овалом. При расчете прочности свободному краю хвостовика вала задавали смещение 0,1 мм, а противоположный край втулки закрепляли в осевом направлении. После расчета выводили силу, которая вызывала такое смещение.

Для цилиндричного, конусообразного, седлообразного и бочкообразного отклонения форм задача решалась в плоской постановке для половины изделия (на радиус), для овального отклонения формы – в объемной, для четверти конструкции. Для построения конечно-элементной модели первых четырех схем был использован элемент "Plane82" с включенной опцией "axisymmetric", что и дало возможность свести объемную задачу к плоской. На линиях контакта использовали элементы Conta172 и Targe169. Для овальности были использованы твердотельные конечные элементы Solid95. Натяг моделировали начальным проникновением элементов.

Для экономии места в статье приведены иллюстрации моделиро-

вания только для случая бочкообразности. На рис. 3 показаны сетка конечных элементов с примененными начальными и граничными условиями. На рис. 4

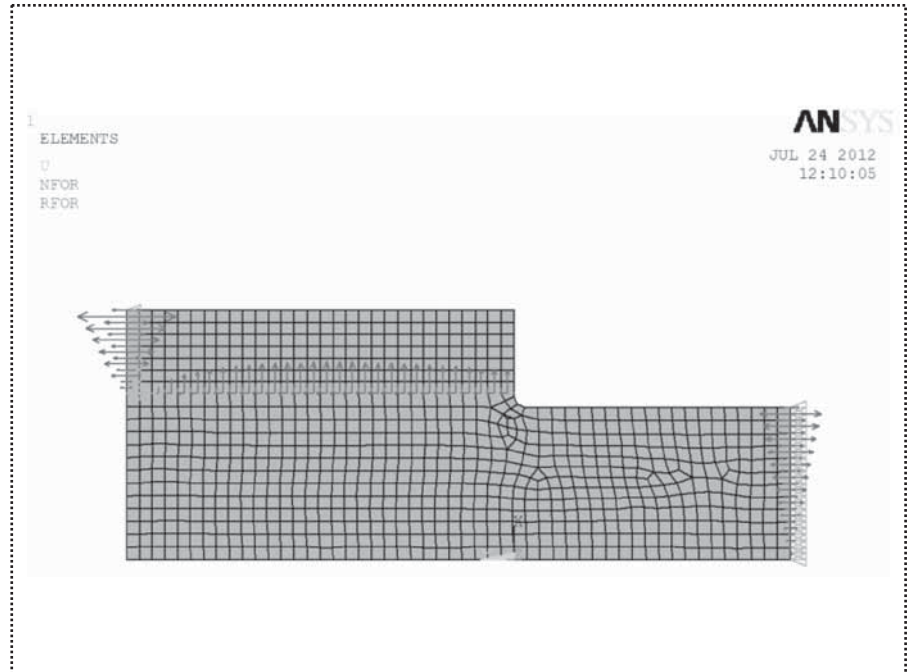


Рис. 3. Схема разбиения на конечные элементы и граничные условия при наличии бочкообразности

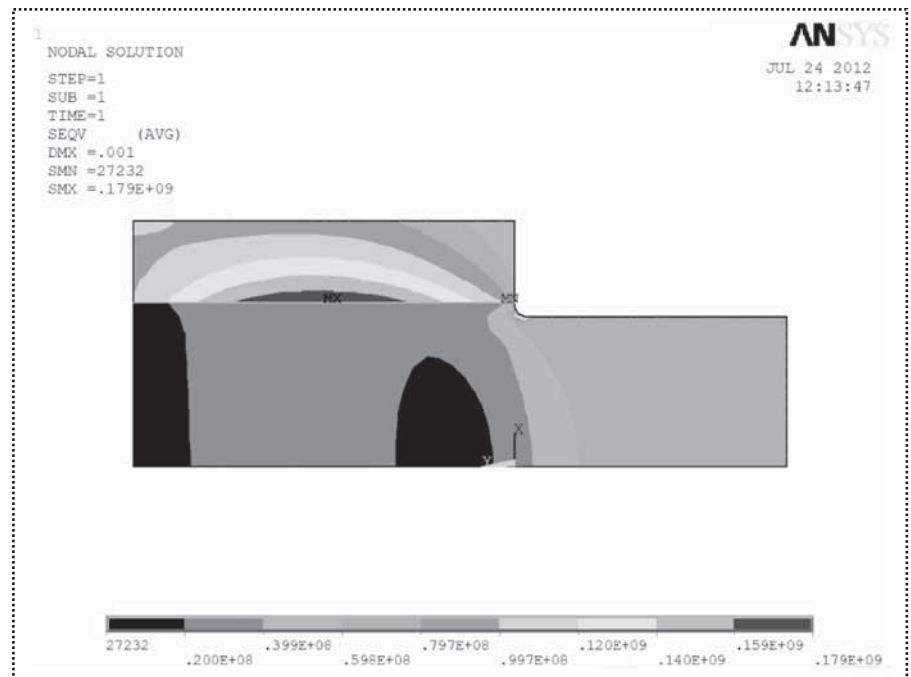


Рис. 4. Эквивалентные напряжения по критерию фон Мизеса при наличии бочкообразности



изображены полученные эквивалентные напряжения по критерию фон Мизеса.

Результаты моделирования

Результаты моделирования прочности цилиндрического соединения с натягом при наличии погрешности геометрии формы с использованием программной системы Ansys приведены в таблице.

Результаты расчета прочности соединения с натягом на осевой сдвиг при наличии погрешности геометрии формы

Наличие и вид погрешности	Прочность при расчете МКЭ, кН	Отношение к прочности при соединении без погрешности
Без погрешности	172,0	1,00
Конусообразность	137,7	0,80
Седлообразность	109,8	0,64
Бочкообразность	168,0	0,98
Овальность	140,5	0,82

Аналитический расчет статической прочности исследуемого прессового соединения (см. рис. 1, б) на осевой сдвиг по формулам, основанным на решении плоской осесимметричной задачи теории упругости,

дает прочность соединения 171 кН. При этом расчете коэффициент трения был принят $f = 0,35$.

Уменьшение прочности определено для нормальной (А) геометрической точности, при которой точность формы может составлять 60 % поля допуска. Поэтому целесообразно для ответственных соединений с натягом ввести нормирование погрешности геометрии формы при изготовлении деталей. Для таких соединений целесообразно устанавливать особо высокую геометрическую точность, при которой точность формы не должна превышать 25 % поля допуска. Соответственно, снижение прочности будет меньше в два раза.

Выводы

1. Проведенный расчет позволяет сделать вывод, что прочность цилиндрического соединения с натягом при наличии погрешности геометрии формы меняется существенно.

2. Наличие конусообразности и овальности уменьшает прочность до 20 %, седлообразность уменьшает прочность соединения на 36 %, бочкообразность не приводит к существенному снижению.

3. Целесообразно ввести более жесткое нормирование погрешности геометрии формы при изготовлении деталей ответственных соединений с натягом.

Библиографический список

1. Куприянов А.В., Ламнауэр Н.Ю., Добровенский Ю.М. Корреляционная связь между погрешностями геометрии формы и прочностью соединений // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: тематичний збірник наукових праць. Краматорськ: ДДМА, 2011. № 2. С. 196–200.

**В.П. Смоленцев, д-р техн. наук, А.А. Козлов,
А.А. Клименченков, И.И. Коптев**
(Воронежский государственный технический университет)
E-mail: vsmolen@inbox.ru

Технология электрохимического маркирования металлических изделий

Раскрыты особенности нанесения информации электрохимическим методом. Приведены технологические режимы, новые виды оборудования и инструмента, обоснована возможность проведения операции маркирования изделий, имеющих покрытия, что позволяет объективно идентифицировать изделия при сборке или создать информационные массивы о проводимых регламентных работах в процессе эксплуатации объектов.

Covers characteristics of information marking by means of electrochemical method. Operating practices, new types of equipment and tools are mentioned. Ability of execution of marking operation for the products with coating is proved, this allows objectively identify the products in the assembly or to create document files concerning conducted scheduled operations during objects exploitation.

Ключевые слова: маркирование, инструмент, технологический режим, электрохимический метод.

Keywords: marking, tool, operating practice, electrochemical method.

Введение

Широко используемый ударный метод нанесения информации не позволяет получить стандартную ширину штриха, создает концентрацию напряжений, может вызвать повреждение деталей (особенно ажурных). Эти недостатки успешно устраняет электрохимическое маркирование, которое позволяет наносить информацию на детали любых габаритов (в том числе и собранные узлы), исключить силовое воздействие в зоне формирования контура штриха, не требует дорогостоящего инструмента из закаленных материалов. Исследования последних лет [1, 2] показали, что электрохимическим методом в сочетании с другими воздействиями можно наносить буквенную, цифровую информацию, рисунки, схемы на детали, имеющие покрытия, в том

числе диэлектрические. В ряде случаев такую операцию можно выполнять, не нарушая покрытия [2].

Значительные затруднения возникают при маркировании полированных поверхностей, так как электролит, рекомендованный в работах [1, 3] для этих целей, растекается и качество знаков снижается.

Для устранения такого недостатка предложена новая схема обработки, по которой подача электролита в зону маркирования дозируется на входе, а далее жидкость отсасывается вакуумом. Это позволило полностью избежать попадания химически активной среды в элементы конструкции.

Для нанесения глубоких знаков при постоянной информации можно использовать цифры и буквы типографского шрифта, набор знаков для пишущих машинок, тексты или шрифты, полученные гравированием, фотохимическим методом, гибкой из листа, протягиванием через фильеры, вырезанием непрофилированным электродом.

Смена таких знаков в инструменте для получения переменной информации повышает трудоемкость операции, сроки подготовки к ней, требует дополнительной доводки (притирки) рабочей поверхности перед маркированием, что вызывает быстрый износ инструмента.

Для нанесения переменной информации наиболее эффективно использовать растровый способ, при котором буквы и цифры синтезируются из отдельных изолированных друг от друга фрагментов, которые по команде процессора в требуемом сочетании подключаются к источнику тока.

Для реализации способа с участием авторов разработан гибкий автоматизированный модуль КМЭ-1, выполненный на передвижной платформе (масса всей установки около 100 кг), которую можно транспортировать к изделию вручную.

В различной комплектации модуль позволяет маркировать одновременно до шести изделий, расположенных на расстоянии до 2 м от платформы. Имеются выносные головки с автономным питанием, блок растрового маркирования. Место нанесения информации может быть плоским или криволинейным.

Мелкое маркирование можно выполнять по трафаретам или специальной бумаге. При этом глубина



знаков составляет для большинства сплавов до 0,05 мм, основное время до 3 с. Глубокое (до 0,2 мм и более) маркирование может выполняться через трафарет с прокачкой электролита, при большой глубине индексов – профильными инструментами.

При глубине знаков 0,3 мм время обработки не превышает 40 с. Скорость электролита назначают до 7 м/с. При этом предложено создать разрежение в рабочей зоне около 50 КПа.

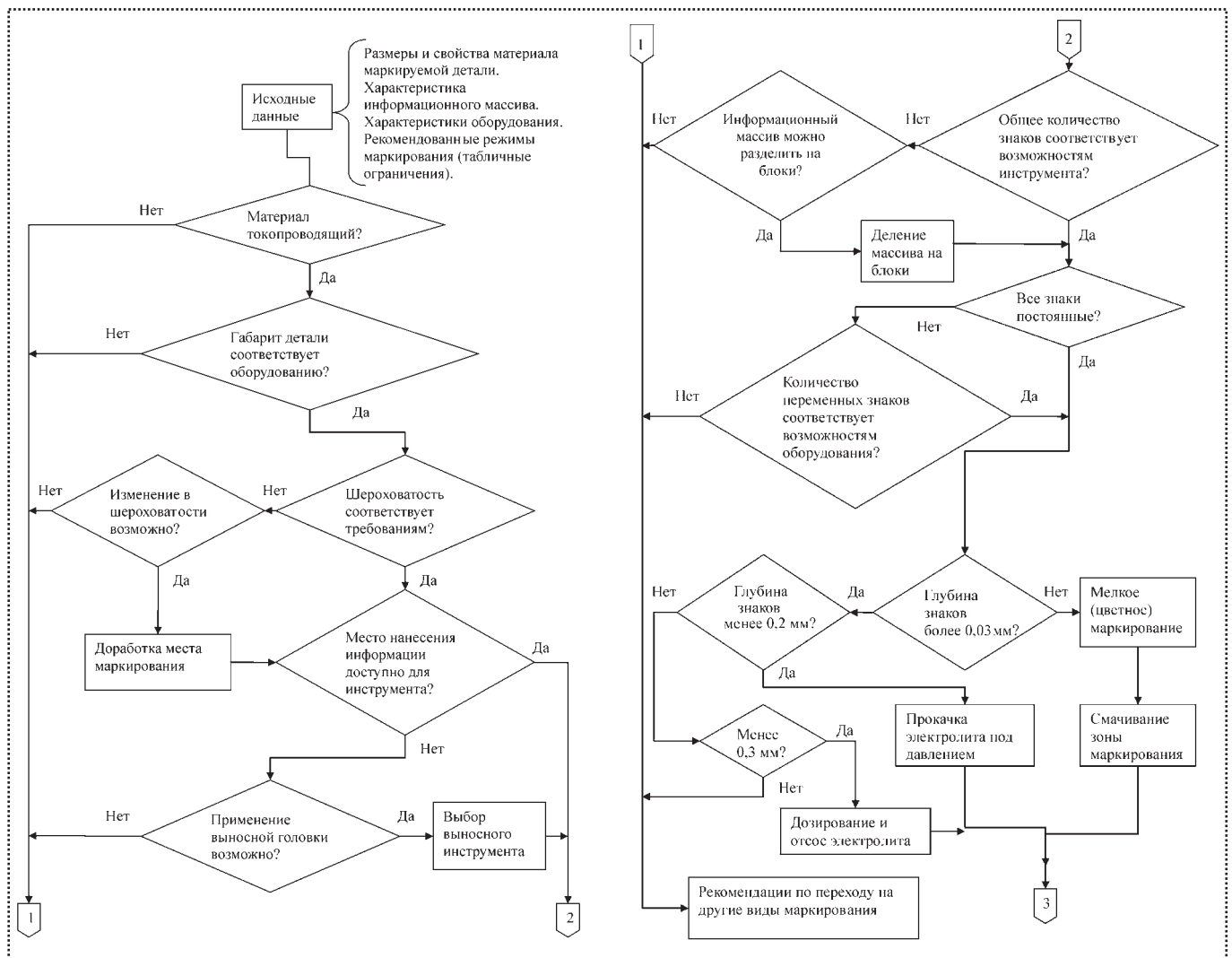
Для маркирования нескольких видов металлических материалов рабочая ванна созданного модуля разделена на отсеки, подсоединенные к общей магистрали установки. Поскольку сила тока невелика (около 5 А), то он подводится от встроенного компактного выпрямителя.

В состав модуля входит автономный штемпель, который обеспечивает нанесение информации без прокачки электролита в трудно доступных местах

конструкции с питанием током как от модуля, так и от осветительной сети или розетки любого станка. Такие штемпели удобны для нанесения личного знака рабочему, работникам ОТК. Время операции не превышает 5 с.

Модуль позволяет применять для маркирования постоянный, со сменной полярностью и переменный ток в широком диапазоне (от 4 до 24 В), изменять напряжение на электродах (в зависимости от назначенных технологических режимов).

Время протекания процесса регулируют с помощью реле времени и меняют в зависимости от глубины знаков и материала детали. Если деталь вписывается в размеры 500×500 мм, то ее можно установить на стол модуля, над которым по траверсе перемещается каретка с маркировочной головкой, соединенной магистралями с ванной и источником тока. В зоне обработки ее поджимают штоком к детали.



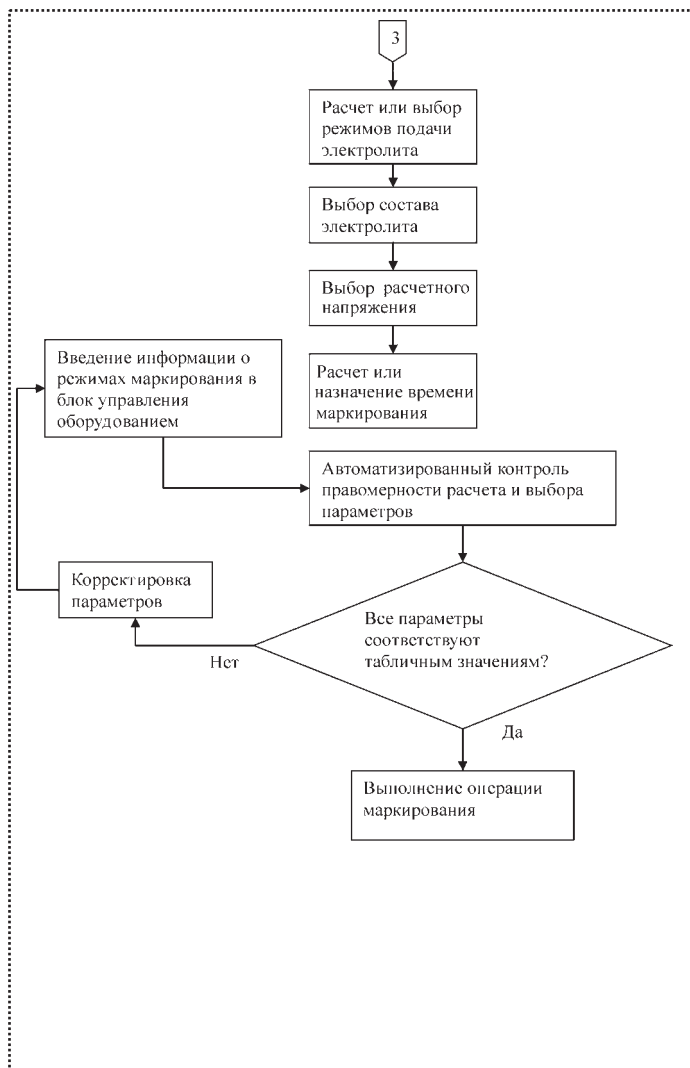
Алгоритм автоматизированного проектирования технологического процесса электрохимического маркирования



Одновременно можно наносить до 25 знаков высотой от 2,5 до 6,0 мм. Режимы обработки можно изменять в широком диапазоне предварительным набором знаков на пульте управления.

Для модуля разработана новая конструкция выносной маркировочной головки с автономностью до 2 м. В ней предусмотрена присоска, герметизируемая вакуумным насосом. В случае потери герметичности процесс маркирования прекращается и появляется сигнал о неисправности.

Модуль обеспечивает полную локализацию зоны протекания жидкости, исключает попадание электролита на смежные детали, осушает место маркирования. Это позволяет включать электрохимическое маркирование в технологический процесс без разборки деталей, гарантировать отсутствие коррозии деталей, попадания солей в сопрягаемые поверхности собранных узлов.



Процесс нанесения информации с отсосом электролита исключает накопление газообразных продуктов обработки, ускоряет поглощение рабочей средой продуктов реакции на электролизере и ускоряет их диффузию вглубь электролита.

Осциллографирование процесса показало, что при ранее используемом технологическом процессе с нагнетанием электролита в зону маркирования нарастающее тока происходило неравномерно, что снижало качество знаков. Стабильное значение тока достигалось через 1,55 с. В течение этого времени наблюдалось большое рассеивание тока, вызывающее "размыв" границ штриха и снижение четкости знака.

В предложенном способе с отсосом электролита ток быстро нарастает и через 0,75 с достигает предельного значения, которое даже выше, чем в предыдущем способе.

Улучшение условий эвакуации твердых и газообразных продуктов обработки ускоряет процесс и позволяет на 20...30 % увеличить глубину знака без потери его четкости. Особенности формирования углублений при отсосе электролита требуют уточнения режимов маркирования. В частности, требуется снижение напряжения (на 20...30 %) и уменьшение времени обработки (до 1,5 раз). При таких условиях получена стабильная глубина качественных индексов – до 0,3 мм. При традиционной схеме с нагнетанием рабочей среды не удавалось получать ширину штрихов, соответствующую требованиям ГОСТ. Поэтому применение отсоса электролита существенно расширяет технологические возможности глубокого маркирования.

Разработано математическое обеспечение для микропроцессора, управляющего всеми блоками модуля (алгоритм приведен на рисунке). Общая задача автоматизированного проектирования технологических процессов электрохимического маркирования разделена на ряд блоков, для которых создано обеспечение, отраженное в компонентах программного комплекса.

Автоматизированное проектирование технологических процессов маркирования выполняется последовательно в пакетном виде по мере ввода следующего массива с исходной информацией. Программный комплекс содержит пять подпрограмм с одним управляющим модулем.

Информационное обеспечение системы (алгоритм построения технологического процесса) включает в себя два вида информации: оперативную и условно-постоянную.

Оперативная информация содержит исходные сведения о габаритах и свойствах материала маркируемой детали, глубине и размерах знаков, типе и назначении информации, наносимой на деталь, свойст-



вах поверхности под маркирование. Она является входной частью проектирования технологического процесса.

Условно-постоянная информация представляет собой совокупность сведений о применяемом оборудовании, материалах, электролитах, режимах обработки. Эти сведения оформлены в виде справочников, каждый из которых представляет собой отдельный файл с последовательным размещением материала.

При выполнении задач автоматизированного проектирования технологического процесса электрохимического маркирования используют специальный метод, заключающийся в поиске решений с помощью массива соответствия, представляющего собой запись взаимосвязей множества вариантов возможных решений, многообразии условий их осуществления и ограничения параметров. Использование таких сведений облегчает введение изменений и корректировку программы обработки при изменении свойств детали и параметров информации.

Выводы

1. Раскрыты преимущества замены традиционного ударного маркирования бесконтактным электрохимическим, позволяющим выполнять операцию без переборки конструкции.

2. Показаны пути устранения ограничений при использовании электрохимического маркирования, область рационального использования вакуумирования зоны обработки, целесообразность замены профильных электродов-инструментов (носителей знаков) на растровые универсальные инструменты, автоматически формирующие информационные массивы.

3. Создан гибкий автоматизированный модуль, позволяющий растровым методом наносить различную информацию из единого массива универсальных элементов.

Библиографический список

1. **Осеков А.Н., Грицюк В.Г., Смоленцев В.П.** Расчет технологических режимов маркирования многослойных материалов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 9. С. 69–74.

2. **Осеков А.Н., Кузнецов И.Ю., Козлов А.М.** Комбинированное маркирование деталей с диэлектрическим покрытием // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. № 1. С. 93–99.

3. **Смоленцев Е.В.** Проектирование электрических и комбинированных методов обработки. М: Машиностроение, 2005. 511 с.



ООО "Издательство **Машиностроение**", 107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**".

Адрес электронной почты издательства: mashpubl@mashin.ru;

редакции журнала: sborka@mashin.ru, <http://www.mashin.ru>

Телефон редакции журнала: (499) 268-38-42;

тел./факс (499) 268-85-26; факс 269-48-97.

Технический редактор *Жиркина С.А.*

Корректоры *Сажина Л.И., Соношкина Л.Е.*

Сдано в набор 20.03.13 г. Подписано в печать 22.04.13 г. Формат 60×88 1/8.

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

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Издательство Машиностроение".

Отпечатано в ООО "Белый ветер", 115407, г. Москва, Нагатинская наб., д. 54, пом. 4.