

ТЕХНОЛОГИЯ



МАШИНОСТРОЕНИЯ

**ОБЗОРНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ, НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ**

**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:**

Гл. редактор

В. А. Казаков

Зам. гл. редактора

Н. В. Посметная

В. Н. Алфеев

Н. П. Бирюкова

Р. С. Голов

В. Д. Горбач

С. Н. Григорьев

Б. В. Гусев

А. В. Дуб

В. М. Ермаков

А. С. Зубченко

А. В. Иванайский

Е. А. Калашников

В. В. Капустин

А. Л. Карунин

И. П. Ксенович

А. Е. Лигачев

А. А. Лозован

В. П. Лялякин

Е. А. Мачнев

Н. А. Паничев

В. Н. Семенов

О. С. Сироткин

Н. В. Смирнов

А. В. Телушкин

А. Н. Феофанов

К. В. Фролов

В. А. Фролов

В. К. Шелег

И. Н. Шиганов

Редакция:

С. В. Богус,

Л. Т. Мартыненко,

Т. П. Маслик

Компьютерная верстка:

Е. В. Конова

Дизайн обложки:

Е. С. Благовидов

Специальные

корреспонденты:

А. Н. Иванов, А. В. Казаков,

Ан. А. Суслов

Редактор-переводчик

Е. О. Егорова

Корректор

Т. В. Арбузова

**2 (68)
Февраль
2008**

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр

"Технология машиностроения"

Журнал издается при содействии

Министерства промышленности

и энергетики РФ,

Министерства образования и науки РФ,

Российской инженерной академии,

Союза машиностроителей России,

ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»

Адрес для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 01

Контактный тел.: (495) 796 2491

E-mail: tm@folium.ru

(с пометкой для журнала

"Технология машиностроения")

[Http://www.tm.folium.ru](http://www.tm.folium.ru)

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати,
телерадиовещания и средств массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-7779

**Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для
публикации трудов соискателей ученых степеней**

*Перепечатка материалов из журнала "Технология машиностроения" возможна
при обязательном согласовании с редакцией журнала*

*При перепечатке материалов ссылка
на журнал "Технология машиностроения" обязательна*

СОДЕРЖАНИЕ

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Козырев В. В., Козырева Л. В., Чупятов Н. Н. — Применение CVD-метода металлоорганических соединений никеля при создании композиционных материалов и покрытий 5

ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Чертов В. М. — Способы предотвращения образования дефектов поверхности при термической обработке 9

ТЕХНОЛОГИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

Горев Б. В. — Технологии формообразования крупногабаритных деталей из листа и плит в режиме ползучести 11

Кондратенко Л. А. — Некоторые динамические особенности сверления глубоких отверстий 17

Сапрыкин А. А., Вальтер А. В. — Производительность процесса 2,5-координатного формообразования и технологичность изделий сложной пространственной формы. 20

Вдовенко В. Г., Потапов В. Н., Чуйкин С. А. — Управление процессом электрохимической обработки деталей машин с применением принципов синергетики 23

Кривошапко С. Н. — Торсовые изделия, получаемые параболическим изгибанием тонких металлических заготовок 25

СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Смольников Н. Я., Скребнев Г. Г. — Червячные фрезы для передач Новикова с модифицированным профилем зубьев. 29

Губанов В. Ф. — Выглаживатели с повышенной износостойкостью 31

Расторгуев Г. А., Соловьев В. В. — Надежность станочных систем и стабильность технологических процессов в машиностроении. 32

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Трыков Ю. П., Трыков А. Ю., Гуревич Л. М., Гурулев Д. Н., Петров А. Э. — Кольцевые крупногабаритные титаностальные переходники с паяно-сварными стыковыми соединениями 37

ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Афанасьев А. А. — Технология восстановления и упрочнения изношенных поверхностей стальных деталей 41

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ

Георгиевский Г. М., Георгиевский М. Г., Батышев К. А., Батышев А. И. — Совершенствование конструкций шестеренных насосов 45

МЕТРОЛОГИЯ

Кропачев Д. Ю., Никоненко В. А. — Контроль и регулирование температуры хлорида бария в солевых печах 49

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ, ИСПЫТАНИЯ

Красильников С. Б., Сонин Г. И. — Рентгеновский радиометрический контроль кольцевых сварных соединений при строительстве магистральных газопроводов. 50

АВТОМАТИЗАЦИЯ И КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Шрубченко И. В., Кузнецова И. И., Колобов А. В., Шрубченко М. И. — Оптимизация параметров бесцентровой обработки крупногабаритных бандажей технологических барабанов на основе математического моделирования 55

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Шалимов Ю. Н., Харченко Е. Л., Пешков В. В. — Особенности эффектов тепловыделения в условиях импульсного электролиза 60

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА

Фролов А. В. — Пути решения проблемы внутренней проверки систем менеджмента качества авиакосмической отрасли. 67

ОХРАНА ТРУДА И ЭКОЛОГИЯ

Сторчай Е. И., Лантушенко Л. С. — Экологически чистая технология бесфлюсовой пайки алюминиевых сплавов 70

ЭКОНОМИКА ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Бендерский Г. П., Федоров В. К., Кислуха А. Е. — Управление инновационным процессом в условиях действия государственного оборонного заказа 73

Куршаков Л. Е., Мироненко В. В. — Некоторые аспекты возрождения российского машиностроительного комплекса в свете диверсификации отечественной экономики 75

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Фролов В. А., Федоров С. А. — Проблемы, основные цели и направления реформирования системы подготовки профессиональных кадров технологического профиля 78

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Бернадский В. Н., Маковецкая О. К. — Европейское судостроение наращивает производство. 83

Потапова Г. С. — Содержание зарубежных журналов 84

ИНФОРМАЦИЯ

Иванов А. Н. — 7-я Международная специализированная выставка "Передовые технологии автоматизации — 2007" 88

Добринский Е. С., Сеин В. А. — Инновационные продукты. Технология, инструменты и материалы зарубежных фирм. 92

Добринский Е. С. — Биодизель и двигатели на выставке "Золотая осень — 2007" 93

Фетисов Г. П., Чертов В. М. — Рецензия на книгу "Синергетика явлений и процессов в металловедении, упорочняющих технологиях и разрушении" 96

Календарь выставок на I квартал 2008 г. 98

К. В. Фролов 100



TEKHNLOGIYA

MASHINOSTROENIYA

REVIEW-ANALYTICAL, SCIENTIFIC-TECHNICAL
AND PRODUCTION JOURNAL

EDITORIAL BOARD:

V. A. Kazakov
Editor-in-Chief

N. V. Posmetnaya
Deputy Editor-in-Chief

V. N. Alfeev
N. P. Biryukova
R. S. Golov
V. D. Gorbach
S. N. Grigoryev
B. V. Gusev
A. V. Dub
V. M. Ermakov
A. S. Zubchenko
A. V. Ivanaysky
E. A. Kalashnikov
V. V. Kapustin
A. L. Karunin
I. P. Ksenevich
A. E. Ligachev
A. A. Lozovan
V. P. Lyalyakin
E. A. Machnev
N. A. Panichev
V. N. Semenov
O. S. Sirotkin
N. V. Smirnov
A. V. Telushkin
A. N. Feofanov

K. V. Frolov

V. A. Frolov
V. K. Sheleg
I. N. Shiganov

Editorial staff:

S. V. Bogus,
L. T. Martynenko, T. P. Maslik

Computerized making-up:

E. V. Konova

Cover design:

E. S. Blagovidov

Special correspondents:

A. N. Ivanov, A. V. Kazakov,
An. A. Suslov

Editor-translator

E. O. Egorova

Proof-reader

T. V. Arbuzova

2 (68) February 2008

FOUNDER:

Publishing Centre

"Tekhnologiya Mashinostroeniya"

Journal is published in collaboration
with RF Ministry of Industry and Energetics,
RF Ministry of Education and Science,
Russian Engineering Academy,
The Union of machine engineers
of Russia
TSNIITMASH, JSC

Address: P.O.B.01, Moscow,
129626, Russia

Tel.: (495) 796 2491

E-mail: tm@folium.ru

(marked for journal
"Tekhnologiya Mashinostroeniya")
[Http://www.tm.folium.ru](http://www.tm.folium.ru)

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-and-Broadcasting
and Mass Communications Media

Registration certificate ПИ № 77-7779

**Journal is included into the list of editions certified by RF Supreme Attestation
Committee for publication of competitors works for scientific degrees**

*Reprinting of materials from "Tekhnologiya Mashinostroeniya" journal is possible in case
of obligatory permission of editorial staff*

*Reference to "Tekhnologiya Mashinostroeniya"
at reprint is obligatory*

CONTENTS

STRUCTURAL MATERIALS

- Kozyrev V. V., Kozyreva L. V., Chupyatov N. N.** — Practice of the CVD-method for nickel compounds at developing composite materials and coatings 5

BLANK PRODUCTION

- Chertov V. M.** — Prevention methods of surface defect formation at heat treatment 9

FORMING TECHNOLOGIES

- Gorev B. V.** — Bulky parts forming technology from sheet and plates under creep conditions 11

- Kondratenko L. A.** — Some dynamic features of drilling deep bores 17

- Saprykin A. A., Walter A. V.** — Process performance of 2.5-coordinate shaping and irregular space shape product fabricability 20

- Vdovenko V. G., Potapov V. N., Chuykin S. A.** — Machine elements electromachining process control applying synergetic concept 23

- Krivoshapko S. N.** — Ware trunk surfaces, obtained by parabolic bending of thing metal workpieces 25

TOOLING PRODUCTION

- Smolnikov N. Ya., Skrebnev G. G.** — Hob cutters for Novikoff's gearings of modified teeth profile 29

- Gubanov V. F.** — Burnishers of enhanced wear resistant 31

- Rastorguyev G. A., Solovyov V. V.** — Machine tool system reliability and process technology stability in engineering industry 32

PERMANENT JOINTS PRODUCTION TECHNOLOGY

- Trykov Yu. P., Trykov A. Yu., Gurevich L. M., Gurulev D. N., Petrov A. E.** — ring-shaped bulky titanium-and-steel increasers with soldered-and-welded butt joints 37

MODIFEING PROCESSES OF MACHINE PARTS SURFACES

- Afanasyev A. A.** — Rehabilitation and strengthening technology for the steel parts worn surfaces 41

SPECIAL TECHNOLOGIES

- Gueorgiyevsky G. M., Gueorgiyevsky M. G., Batyshev K. A., Batyshev A. I.** — Upgrading of gear-type pump construction 45

METROLOGY

- Kropachev D. Yu., Nikonenko V. A.** — Barium chloride temperature control and adjustment in salt furnaces 49

TECHNICAL DIAGNOSTICS, NONDESTRUCTIVE CHECK-AND-TESTING METHODS

- Krasilnikov S. B., Sonin G. I.** — X-raying radiometric surveillance of ring-shaped welded joints at national gas pipeline construction 50

PROCESSES AUTOMATION AND COMPUTERIZATION

- Shrubchenko I. V., Kuznetsova I. I., Kolobova A. V., Shrubchenko M. I.** — Optimization of the centerless process parameters of technological drums bulky bands based on mathematical modelling 55

POWER INDUSTRY

- Shalimov Yu. N., Kharchenko Ye. L., Peshkov V. V.** — Thermal flux phenomenon features under conditions of the impact electrolysis 60

STANDARDIZATION, CERTIFICATION, QUALITY SYSTEMS

- Frolov A. V.** — Problem solving methods for nonpublic check of the airspace branch quality management system 67

LABOUR PROTECTION AND ECOLOGY

- Storchay Ye. L., Lantushenko L. S.** — Environmentally appropriate technique of aluminium alloys non-fluxing soldering 70

ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

- Bendersky G. P., Fiodorov V. K., Kislookha A. Ye.** — Innovation process control under conditions of the government defensive work acting 73

- Kurshakov L. Ye., Mironenko V. V.** — Some aspects of the Russian machine-building complex renewal from the standpoint of domestic economy diversification 75

EDUCATION AND PERSONNEL TRAINING

- Frolov V. A., Fiodorov S. A.** — Problems, major aims and guidelines for reforming personnel technical professional training system 78

FOREIGN EXPERIENCE

- Bernadsky V. N., Makovetskaya O. K.** — European shipbuilding intensifies production 83

- Potapova G. S.** — Foreign journals contents 84

INFORMATION

- Ivanov A. N.** — The 7th International specialized exhibition "Progressive technologies in automation'2007" 88

- Dobrinsky Ye. S., Sein V. A.** — Innovative products. Technology, tool and materials of foreign companies 92

- Dobrinsky Ye. S.** — Bio-Diesel and engines at the "Golden autumn'2007" exhibition 93

- Fetisov G. P., Chertov V. M.** — A review of the book "Synergetic of phenomena and processes in metal research, strengthening technologies and fracture" 96

В. В. КОЗЫРЕВ, д-р техн. наук

(Тверской государственной технической университет),

Л. В. КОЗЫРЕВА, канд. техн. наук

(Московский государственный агроинженерный университет им. В. П. Горячкина),

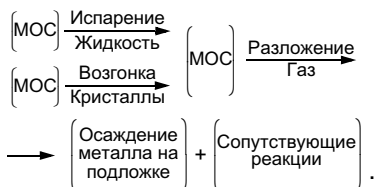
Н. Н. ЧУПЯТОВ, инж.

(Тверская государственная сельскохозяйственная академия)

Применение CVD-метода металлоорганических соединений никеля при создании композиционных материалов и покрытий

Повышение надежности современной техники невозможно обеспечить без применения современных конструкционных материалов, которые необходимо использовать на всех стадиях изготовления и эксплуатации быстроизнашивающихся деталей и сборочных единиц. Перспективным решением данной проблемы может стать разработка наномодифицированных материалов с использованием CVD-метода металлоорганических соединений (МОС) (*Chemical Vapor Deposition*, т. е. "химическое газофазное осаждение" МОС), целесообразность применения которого подтверждена многочисленными исследованиями [1, 2].

Сущность данного метода заключается в следующем: исходное соединение (МОС), переведенное путем испарения или возгонки в газообразное состояние, поступает в реакционную камеру, где осаждается на поверхности подложки, нагретой до температуры разложения реагента:



Выбор исходных реагентов для CVD-процесса осуществляется исходя из их доступности с точки зрения промышленного производства и технологических параметров, таких как температура термораспада соединений, отсутствие агрессивных свойств по отношению к подложке и применяемой технологической аппаратуре. Пере-

численным требованиям полностью удовлетворяют карбонильные, циклопентадиенильные и дикетонатные металлоорганические соединения, под которыми понимаются органические соединения, содержащие в составе молекул как металл, так и собственно неметаллические элементы при наличии связей металл—углерод и металл—элемент—углерод. Современный уровень развития органической химии позволяет получать МОС практически для всех металлов Периодической системы Д. И. Менделеева. В настоящее время таких соединений, синтезированных, апробированных в лабораторных условиях и пригодных к практическому применению, насчитывается свыше пятнадцати тысяч (рис. 1).

В качестве исходных соединений возможно использование сочетания различных МОС, при этом технологический процесс проводится как в вакууме, так и в несущих газах.

Классификация способов осаждения МОС в CVD-процессе приведена на рис. 2.

В ходе проведенных исследований получены никелевые покрытия на искусственных неорганических волокнах и комплексные покрытия на подложках из алюминиевых сплавов, которые в дальнейшем использовали для упрочнения, восстановления и изготовления подшипников скольжения, эксплуатирующихся в условиях воздействия агрессивной среды, ограниченно-го поступления смазочных материалов, а также в сборочных единицах систем гидравлики.

Для модификации искусственных неорганических волокон перспективным направлением является применение CVD-метода циклопентадиенила никеля (никелецена) $\text{Ni}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$. Особенностью структурной организации молекул данной группы является наличие в их составе сэндвичеобразных ценов с двумя циклопентадиенилами C_5H_5 . При этом атом металла Ni,

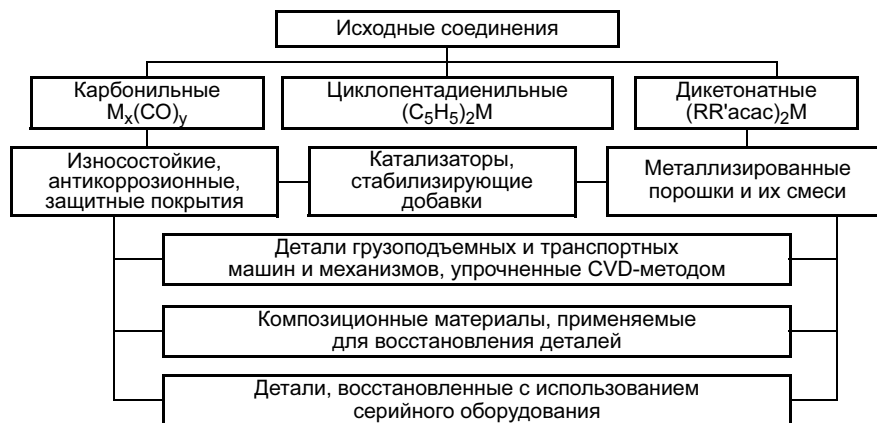


Рис. 1. Исходные металлоорганические соединения, применяемые в CVD-процессе (R, R' — концевые лиганды CH_3, CF_3 и др.)

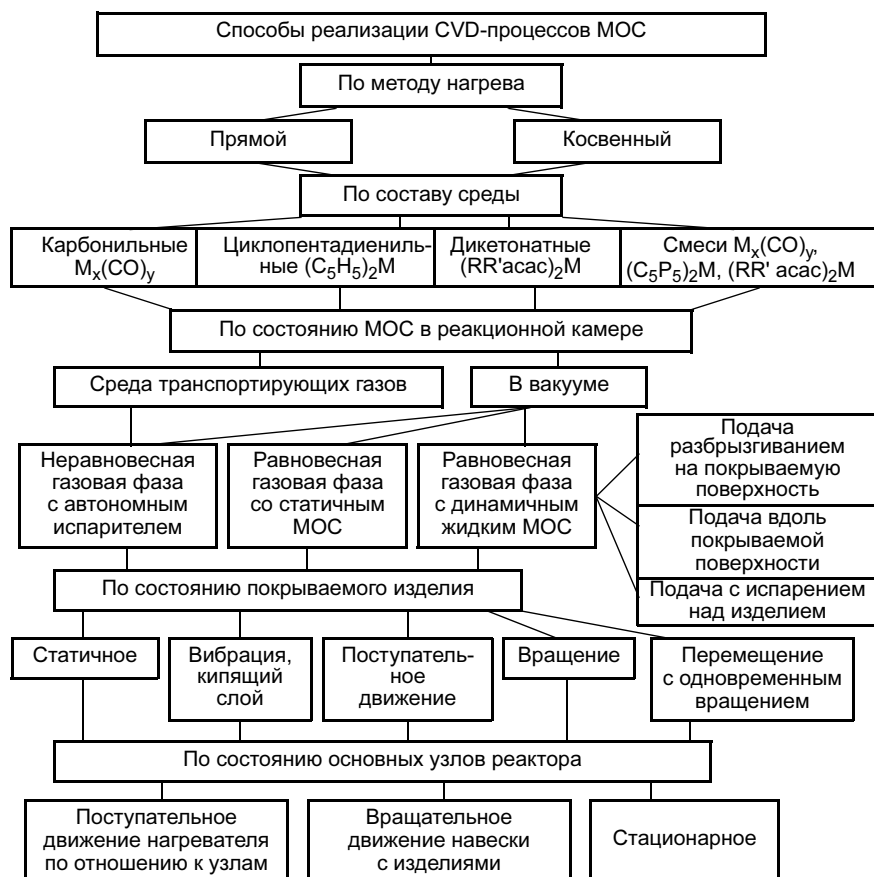


Рис. 2. Классификация способов осаждения МОС в CVD-процессе

находясь между лигандами C_5H_5 , формирует связи одновременно с десятью атомами углерода и водорода (рис. 3).

Никелецэн проявляет значительную химическую устойчивость, так как его реакционные центры — атом металла и химические связи $C_5---Ni---C_5$ — экранированы от действия многих агрессивных реагентов (сольватированный протон, OH^-). Вместе с тем на атоме Ni и на каждом из координированных колец циклопентадиенила локализованы эф-

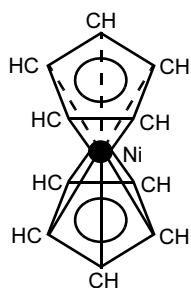
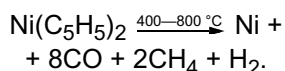


Рис. 3. Структура циклопентадиенила никеля

фективные заряды величиной +0,7 и -0,35 соответственно. Поэтому никелецэн легко подвергается реакциям электрофильного замещения [1—3].

Основной реакцией разложения циклопентадиенила никеля в CVD-процессе является уравнение



Реакции термического разложения циклопентадиенильных соединений металлов в CVD-процессе приводят к созданию активного атомного фона и образованию зародышей новой фазы, что сопровождается спонтанным термодинамически выгодным расположением вещества. При этом возможно получение пленок металла толщиной 50—100 нм. Дальнейшее увеличение размеров металлического слоя приводит к растрескиванию и расслоению покрытия, что вызвано дестабилизацией

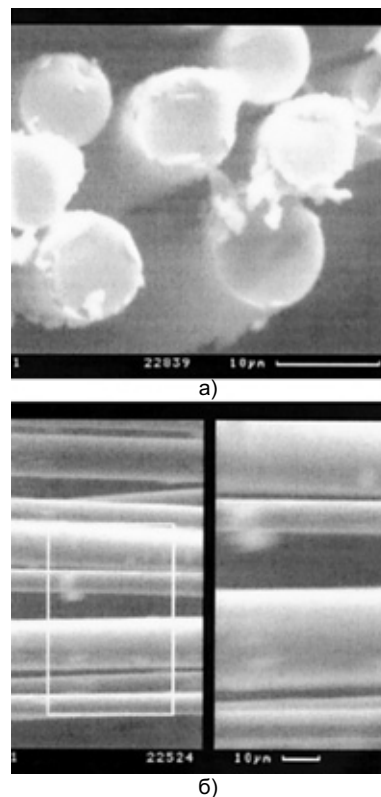


Рис. 4. Внешний вид стеклянных волокон, металлизированных разложением $Ni(C_5H_5)_2$ в CVD-процессе: а — поперечный срез волокон; б — морфология внешней поверхности

системы в связи с ростом напряжений в зоне межфазных границ подложка—никелевая пленка.

Внешний вид металлизированных стеклянных волокон приведен на рис. 4.

Модифицированные CVD-методом МОС стеклянные волокна целесообразно применять для создания различных композиционных материалов, в том числе на основе термопластов, так как металлизацией, помимо повышения их стойкости против истирания, прочности на изгиб и прочности при растяжении волокна, достигается увеличение теплопроводности композиционного материала в 8—10 раз по сравнению с исходным полимером. Это объясняется корреляцией признаков матрицы и наполнителя в композите и связано с высоким значением коэффициента теплопроводности никеля как металла. Оптимизацией теплофизических свойств стеклопластика устраня-

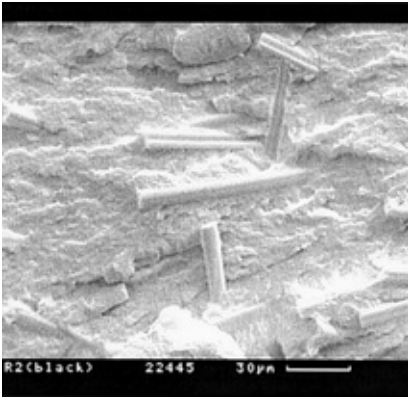


Рис. 5. Структура модифицированного CVD-методом стеклопластика на основе ПА-6.6

ется основной ограничительный фактор, препятствующий широкому применению композиционных материалов с полиамидной матрицей для изготовления деталей и восстановления трибосопряжений.

Структура композиционного материала на основе полиамида-6.6 (ПА-6.6) (ОСТ6.0609—83), армированного короткими случайно ориентированными стеклянными волокнами в никелевой пленке (25 %), приведена на рис. 5.

Армирование металлизированными стеклянными волокна-

ми повышает стойкость композиционного материала против химического и биологического факторов воздействия среды. В частности, при контакте с органическими средами различной кислотности (рН = 6-8) износостойкость, адгезионная сдвиговая прочность, усадка и ударная вязкость модифицированных стеклопластиков изменяются в допустимых пределах, не превышая 15 % исходных значений данных параметров.

Модифицированные стеклопластики, разработанные с использованием предложенных технологических рекомендаций, целесообразно применять в процессах восстановления и изготовления деталей трибосопряжений сельскохозяйственной техники, работающих при контакте с агрессивными средами органического происхождения в условиях несовершенной смазки. В частности, заменой шариковых радиальных однорядных подшипников 60308 в поворотных опорах скребковых навозоуборочных транспортерах ТСН-160А, ТСН-3Б на подшипники скольжения с вкладышами из модифицированного стеклопла-

стика достигается увеличение ресурса опоры в 2,5—3 раза.

Выполнены исследования по применению металлизированных углеродных волокон для деталей, эксплуатирующихся в условиях воздействия абразивных материалов. В качестве объектов исследования рассматривали детали и сборочные единицы крановой установки МТА-160К, в процессе эксплуатации которой наблюдается преждевременный выход из строя дорогостоящих подшипников качения INASL 04014 PPSM (Германия) и опор механизма перемещения стрелы, изготовленных из композиционных материалов VMT "Sipas" (Австрия).

Свойства композиционных материалов на основе ПА-6.6, полученных с использованием CVD-метода металлоорганических соединений никеля, приведены в таблице.

Таким образом, при модификации элементов наполнителя пленкой никеля достигается оптимальное сочетание степени смачиваемости стеклянных и углеродных волокон в полиамидной матрице при одновременном снижении реакционной способности их по-

Наполнитель			Свойство							
Волокно	МОС-модификатор	Содержание, %	Усадка, %	Коэффициент трения		Ударная вязкость, кДж/м ²	Теплостойкость, °С	Температура полураспада, °С	Скорость термомодеструкции, %/мин	Степень водопоглощения
				без смазки	со смазкой					
Стекло- лянное	Ni(C ₅ H ₅) ₂	15	1,60	0,15	0,04	—	110	200	1,30	11,0
		20	1,24	0,15	0,05	—	125	215	1,10	10,9
		25	0,91	0,15	0,05	4,7	160	220	1,00	10,7
		30	0,90	0,16	0,05	—	175	220	1,00	10,6
		35	0,89	0,16	0,05	—	175	220	0,90	10,4
		40	0,90	0,18	0,06	—	175	220	0,80	10,4
	Cu(C ₅ H ₇ O ₂) ₂ / Ni(C ₅ H ₅) ₂	15	1,65	0,17	0,03	—	120	220	1,00	11,3
		20	1,30	0,19	0,04	—	130	220	0,70	11,3
		25	0,97	0,21	0,04	4,6	165	225	0,50	11,2
		30	0,97	0,23	0,05	—	180	255	0,40	11,0
		35	0,96	0,23	0,05	—	190	255	0,20	10,8
		40	0,96	0,25	0,05	—	190	260	0,05	10,8
Углерод- ное	Ni(C ₅ H ₅) ₂	15	1,50	0,13	0,02	—	115	160	2,60	11,2
		20	1,26	0,16	0,03	—	135	180	1,80	11,1
		25	0,86	0,16	0,04	5,1	150	190	1,50	10,9
		30	0,85	0,16	0,04	—	170	190	1,10	10,7
		35	0,85	0,16	0,05	—	190	190	0,80	10,7
		40	0,85	0,18	0,06	—	190	190	0,60	10,7
	Cu(C ₅ H ₇ O ₂) ₂ / Ni(C ₅ H ₅) ₂	15	1,62	0,13	0,03	—	130	195	0,20	11,4
		20	1,35	0,13	0,03	—	140	230	0,15	11,4
		25	0,92	0,15	0,04	5,0	150	240	0,10	11,3
		30	0,88	0,17	0,04	—	190	245	0,10	11,1
		35	0,87	0,19	0,04	—	220	245	0,06	11,0
		40	0,88	0,21	0,05	—	220	250	0,03	11,0

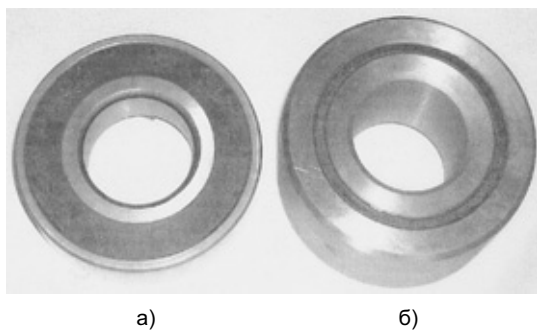


Рис. 6. Подшипники с вкладышем из модифицированного CVD-методом стеклопластика: восстановленный с применением внутреннего и наружного колец подшипника 60308 (а) и изготовленный в условиях ремонтного производства с учетом замены в поворотной опоре ТСН-160А, ТСН-3Б двух серийных подшипников 60308 (б)

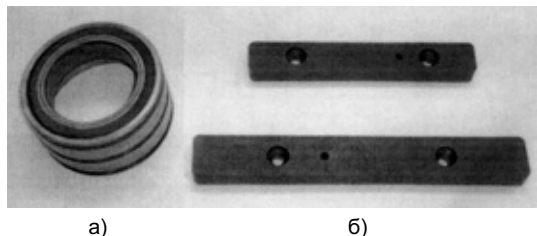
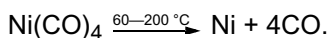


Рис. 7. Детали крановой установки МТА-160К, восстановленные и изготовленные с применением металлизированных углеродных волокон: подшипник INASL 04014 PPSM (а) и направляющая опора механизма перемещения стрелы (б)

верхностных образований, что способствует повышению эксплуатационных характеристик композиции и предопределяет эффективность применения данных материалов в целях увеличения ресурса деталей и сборочных единиц, работающих в условиях воздействия абразивной среды и постоянного контакта с органическими средами различной кислотности.

Выполнены исследования по осаждению МОС никеля для повышения работоспособности сопряжений подшипник скольжения—цапфа вала шестерни масляных насосов типа НШ. Особенно noteworthy металлизации при получении упрочняющих и износостойких покрытий является сложность в обеспечении необходимых показателей прочности сцепления материалов покрытия и подложки из алюминиевого сплава, имеющей на поверхности оксидную пленку Al_2O_3 . Необходимые физико-механические свойства достигнуты благодаря особой конструкции реакционной камеры экспериментальной установки, снабженной индукционной системой нагрева подложки, и созданию адгезионного никелевого подслоя при CVD-методе циклопентадиенила никеля, что обеспечивает получение качественного

упрочняющего покрытия толщиной 15—30 мкм. В случаях восстановления подшипников скольжения для обеспечения толщины покрытия свыше 100 мкм в качестве исходного материала CVD-метода применяется тетракарбонил никеля $Ni(CO)_4$. Основная реакция разложения тетракарбонила никеля



Преимуществом данного процесса является высокая скорость металлизации (свыше 10 мкм/мин) при температуре разложения исходного соединения 70—120 °С. Наличие сопутствующих реакций позволяет получать оксидные и карбидные соединения никеля, влияющие на физико-механические свойства покрытий.

Примеры восстановленных, изготовленных и упрочненных деталей приведены на рис. 6—8.

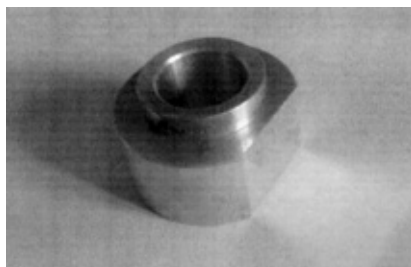


Рис. 8. Упрочненный подшипник скольжения масляного насоса НШ-32

ВЫВОДЫ

1. Композиционные материалы, модифицированные CVD-методом, в зависимости от типа и объемного содержания армирующих волокон имеют усадку при литье под давлением 0,85—0,92; износостойкость в парах композит—сталь 45 — 0,3; коэффициент трения без смазочного материала 0,15—0,21; коэффициент трения со смазочными материалами 0,04—0,06; теплостойкость по Вика 160—220 °С; степень водопоглощения 10,6—11,4.

2. Заменой шариковых радиальных однорядных подшипников 60308 в поворотных опорах скребковых навозоборочных транспортерах ТСН-160А на подшипники скольжения с вкладышами из модифицированного стеклопластика достигается увеличение ресурса работы опоры в 2,5—3 раза.

3. Износ направляющих опор крановых установок МТА-160К на 60—70 % меньше, чем у аналогов, изготовленных с использованием композиционных материалов VMT "Sipas".

4. Ресурс восстановленных подшипников механизма подъема МТА-160К на 10—15 % выше, чем у серийных.

5. Износостойкость восстановленных подшипников сопряжений подшипник скольжения—цапфа вала шестерни масляных насосов на 60—70 % выше, чем у серийных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Металлоорганические соединения в электронике.* Г. А. Разуваев, Б. Г. Грибов, Г. А. Домрачев, Б. А. Соломатин. М.: Наука, 1972. 480 с.
2. *Сыркин В. Г. CVD-метод. Химическая парофазная металлизация.* М.: Наука, 2000. 496 с.
3. *Козырев В. В. Металлоорганические соединения в машиностроении и ремонтном производстве.* Тверь: Издательство "Студия-С", 2003. 160 с.

В. М. ЧЕРТОВ, инж.
ДонИФЦ (Москва)

Способы предотвращения образования дефектов поверхности при термической обработке

Под качеством поверхности термически обработанных изделий — заготовок и деталей — при высокотемпературном нагреве подразумевается не большое образование окалины, если обработка производилась в традиционных воздушных печах; отсутствие обезуглероживания — в тех случаях, когда оно снижает прочность или иные важные характеристики готовых изделий; существенное снижение содержания легирующих элементов в приповерхностном тонком слое. Для предотвращения таких нежелательных последствий термической обработки технологю следует предусмотреть ряд мер.

Образование плотного и толстого слоя окалины при ее значительном сцеплении с поверхностью кованных и литых заготовок усложняет и затрудняет их дробеструйную очистку. Термическая обработка крупных заготовок в вакуумных печах или печах с защитной атмосферой обычно не производится. Приходится очищать термически обработанные заготовки от окалины в дробеструйных камерах и наждачными кругами, а это трудоемкие операции. Решение задачи сводится к применению дешевых технологичных покрытий, ограниченно устойчивых при высокой температуре и не представляющих опасности для здоровья персонала. Покрытие наносят на поверхность заготовок до начала термической обработки. Нанесение жаропрочных красок неприемлемо. Установлено, что предъявляемым требованиям отвечает побелка поверхности. Без какой-либо предварительной подготовки на сухую поверхность заготовок наносят кистью раствор мела в воде. Сметанообразная консистенция раствора позволяет тщательно покрывать поверхности и способствует быстрому высыханию на воздухе. Лучшие результаты для отливок из углеродистой и конструкционной сталей дает побелка в два слоя. В процессе выдержки при температуре 850—980 °С мел постепенно разлагается, образуя белый оксид кальция. Этот налет частично смывается при закалке в воду и легко удаляется при очистке дробью. Поверхность заготовок приобретает светло-серый цвет, на котором хорошо видны дефекты, подлежащие удалению.

Другим дефектом поверхности после высокотемпературного нагрева в воздушных печах является обезуглероживание. Выгорание углерода ведет к образованию ферритной сетки или сплошного слоя поч-

ти чистого железа на поверхности изделий. Этот слой на поверхности заготовок обычно удаляется при механической обработке. Оставшийся на необрабатываемых поверхностях обезуглероженный слой не представляет опасности, если заготовки подвергаются улучшению — закалке и высокому отпуску, после чего средняя прочность стали сочетается с высокой пластичностью. Иная ситуация создается при термической обработке готовых изделий, например крепежа ответственных (тяжело нагруженных) изделий. Частичное обезуглероживание (до сетки феррита) поверхности резьбы на глубину 0,3—0,5 мм существенно снижает статическую и динамическую прочность болтов даже после изотермической закалки, когда материал болтов из стали 33ХС или 38ХС приобретает прочность 1400 МПа и ударную вязкость 10 Дж/см². Предотвращение обезуглероживания таких изделий достигается тщательным раскислением соляной закалочной ванны — введением дробленого 45 %-ного ферросилиция. После раскисления в начале смены ванна должна проработать вхолостую около 1 ч.

Еще одна ситуация — обезуглероживание поверхности листовых заготовок (толщина листа 5—15 мм) из листовой легированной стали. Здесь обезуглероженный слой глубиной около 0,5 мм существенно снижает прочность при изгибе и ударной нагрузке. Наносить слой мела или краски на такие заготовки неэкономично. Необходимо по возможности сократить время пребывания заготовок при высокой температуре. Это достигается разогревом печи до заданной температуры и последующей загрузкой заготовок в один ряд, максимум в два ряда. При этом толщина прокладок между заготовками и подставок под нижний ряд не должна превышать 10—15 мм. Оптимальный материал для прокладок и подставок высотой 40—50 мм — тонкостенная труба толщиной 15—20 мм. После загрузки в печь и прогрева заготовок (определяется по цвету каления) выдержка при температуре $A_{c3} \pm 150$ °С из расчета 1—2 мин на 1 мм толщины. Важным моментом является соблюдение минимально возможного времени от момента выдачи из печи до начала закалки. Если время пребывания на воздухе велико, то возможно частичное обезуглероживание поверхности и недопустимое подстуживание заготовки.

К дефектам поверхности заготовок относится также выгорание хрома при гомогенизации или отжиге отливок из коррозионно-стойкой стали типа 20Х13Л и др. Отжиг или гомогенизация — обязательная операция для исправления структуры такого литья. Но при такой обработке в воздушных печах на поверхности отливок происходит выгорание не только углерода, но и хрома — элемента, обеспечивающего коррозионную стойкость изделий. Снижение содержания хрома ниже 12 % ведет не только к коррозии поверхности изделий в процессе хранения и эксплуатации, но и нарушению процесса химической или электрохимической обработки готовых изделий. При пассивации в растворе кислоты или электрополировке дефектные (обезуглероженные и "обесхромленные") поверхности растравливаются. Это не допускается требованиями к качеству изделий. Выход заключается в создании в печах, где производится высокотемпературная термическая обработка таких заготовок, хотя бы нейтральной или слабо защитной атмосферы. Например, возле дверцы печи перед загрузкой заготовок насыпают отработанный карбюризатор, активированный уголь или графит. Во избежание подсоса наружного воздуха печь не должна иметь зазоров в кладке и зазоров более 3 мм возле закрытых дверей. При изготовлении таких отливок по кооперации поставщик часто не выполняет перечисленных

условий термической обработки. Это ведет к нарушению нормального хода производства у изготовителя. Если изготовитель изделий имеет возможность, лучше проводить предварительную и окончательную термическую обработку на своем предприятии, где можно осуществить необходимый контроль, либо проводить предварительную обработку у поставщика литья в присутствии потребителя.

Последний дефект термической обработки, на который следует обратить внимание, это деформация резьбы в высокопрочных деталях, подвергаемых закалке и низкому отпуску, например, крышек, снабжаемых уплотняющими прокладками. Обычно их изготавливают из легированной стали и закалывают в масло. Нарезание резьбы производят до закалки. Термическая обработка готовых деталей с открытыми резьбовыми отверстиями ведет к обезуглероживанию резьбы, т. е. снижению ее прочности, и деформации витков. Наиболее приемлем такой прием, как защита резьбы вворачиванием болтов на смазке графита с солидолом. Нужно подобрать такую длину болтов, чтобы длина целиком нарезанной ножки не превышала более чем на 1—2 мм глубину сквозного или глухого резьбового отверстия. Тогда технологические болты не будут деформироваться при нагреве и закалке и их можно применять неоднократно.

Реклама Вашей продукции в нашем журнале — один из способов достижения Вашего успеха!

Журнал "Технология машиностроения" читают руководители и специалисты всех предприятий машиностроительного комплекса.

Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:

- найти партнеров, заинтересованных в совместных исследованиях, а также внедрении Ваших идей и разработок в области машиностроения;
- установить контакты с организациями и фирмами в России и странах дальнего и ближнего зарубежья;
- наладить обмен информацией.

Наш журнал распространяется только по подписке — это надежная гарантия того, что Ваше рекламное объявление будет прочитано именно специалистом или заинтересованным лицом, т. е. попадет точно в цель.

Наш адрес: 129626, Москва, а/я 01, тел.: (495) 796 2491.

Б. В. ГОРЕВ, д-р техн. наук

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН (Новосибирск)

Технология формообразования крупногабаритных деталей из листа и плит в режиме ползучести¹

Современные тенденции в машиностроении — использование качественно новых, нетрадиционных технологий с изменяющимися параметрами процесса. Промышленная реализация нетрадиционных методов обработки материалов давлением (ОМД) в медленных режимах деформирования преимущественно за счет деформаций ползучести, включая и технологии, использующие явления сверхпластичности (СП), требует основательной научно-технической проработки. Повышение требований к качеству, надежности, эксплуатационному ресурсу и снижению массы современных изделий постоянно расширяет круг используемых в судостроении, авиакосмической промышленности и энергетическом машиностроении материалов и процессов их обработки, определяет широкое применение в конструкциях крупногабаритных цельнометаллических деталей. Так, принятая в авиа- и судостроении ориентация на проектирование изделий с меньшим числом комплектующих деталей приводит к более широкому применению крупногабаритных монолитных подкрепленных ребрами жесткости панелей, деталей из листа, фасонных профилей из высокопрочных легких алюминиевых и титановых сплавов. Монолитные панели (цельнофрезерованные из плиты тонкостенные заготовки с продольными, поперечными ребрами жесткости, всевозможными усилениями, обнижениями, лючками и т. п.) позволяют при эксплуатации в значительной степени избежать концентрации напряжений, имеют повышенную герметичность, меньшую массу, позволяют уменьшить объем и трудоемкость подгоночных и сборочных работ.

Наряду с широким применением прогрессивных методов металлообработки крупногабаритных панелей на станках с ЧПУ в настоящее время отсутствует эффективная технология формообразования, позволяющая изготавливать из цельнофрезерованных и цельнотянутых подкрепленных панелей сложные аэро- и гидродинамические контуры изделий. В конечном итоге при конструировании корпусных деталей ограничиваются плоскими, цилиндрическими, коническими и другими панелями с развертывающимися поверхностями теоретического контура (ТК). Это определяет высокую трудоемкость сборочно-сварочных и клепальных работ при изготовлении корпусов, ухудшается товарный вид изделия.

Панели с поверхностями одинарной кривизны формуются путем холодного пластического деформирования впередвижку с применением прессов.

Вместе с тем наряду с развертывающимися поверхностями возникает необходимость использования более сложных поверхностей двойной, в том числе и с отрицательной гауссовой кривизной, позволяющих наиболее точно изготавливать аэро- и гидродинамические обводы корпусов изделий. Формообразование панелей с поверхностями ТК двойной кривизны осуществляется многопереходной штамповкой и только для деталей небольших размеров, при этом используется последовательно до 8—10, сменных промежуточных форм оснастки для одного пресса или ряд прессов в линию со стационарными промежуточными формами матриц и пуансонов. Для оребренных вафельных панелей в ячейки укладывается наполнитель, панель формируется как листовая заготовка.

Для крупногабаритных панелей процесс формообразования осуществляется с применением ручной выколотки по болитовой матрице или дробеударной обработкой. При этом имеют место значительные по объему ручные доводочные работы. Использование современных высокопрочных и, следовательно, малопластичных конструкционных сплавов создает определенные технологические трудности при ОМД: деталь на стадии изготовления либо разрушается, либо материал ее настолько исчерпывает ресурс пластичности, что последующая эксплуатация изделия нецелесообразна. Холодное деформирование способствует образованию пластического наклепа, приводит к значительной концентрации напряжений, потере устойчивости элементов панелей, ухудшает качество изготовления деталей и их эксплуатационные свойства.

Большие габаритные размеры, сложная внутренняя гравюра, разнотолщинность и разновысотность ребер жесткости, сложная геометрия поверхностей аэро- и гидродинамических обводов (двояковыпуклые, выпукловогнутые и др.) характеризуют рассматриваемый класс деталей двойной кривизны с точки зрения традиционных технологий как нетехнологичный. Усложнение конструктивных форм, увеличение размеров требует разработок новых технологий и соответствующего оборудования, позволяющего формовать детали двойной кривизны за один технологический цикл (переход).

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ № 05-01-08025.

Технологии формообразования в режиме ползучести

В России и за рубежом ведутся интенсивные исследования по использованию явлений ползучести и СП в технологических процессах, в которых существенную роль играет продолжительность процесса — реальное физическое время, в течение которого при формообразовании в общей сумме необратимых деформаций основной вклад составляют деформации ползучести, накапливаемые во времени, а не мгновенные-мгновенные пластические деформации.

Свойства ползучести материалов использовали в технике с давних времен при высокотемпературной правке искривленных деталей и формовке деталей так называемым способом термофиксации. Под термофиксацией понимают процессы, основанные на совмещении операций формоизменения и термической обработки. Обычно покоробленную деталь или заготовку в холодном состоянии "заневоливали" между двумя жесткими матрицами, имеющими поверхности, близкие к форме ТК детали, и помещали на длительное время в термокамеру. Происходил процесс релаксации внутренних напряжений (переход упругих деформаций в необратимые деформации ползучести), после охлаждения и освобождения детали из матриц она упруго распруживалась. Процесс не моделировался и не просчитывался из-за сложности расчетов для переменной температуры рабочего контура (РК) матриц оснастки на величину упругого восстановления (пружинения). Необходимую форму матриц РК подбирали экспериментально по результатам распруживания. В настоящее время термофиксацию продолжают применять в технологических процессах в основном для калибровки деталей.

Первые сообщения о возможности использования явления ползучести в технологических процессах ОМД появились в середине XX века [1, 2], но систематические исследования появились позднее и связаны с именами А. А. Поздеева [3, 4], Н. Н. Малинина [5—7] и их учеников. В 70-е годы XX века в этом направлении начались работы в Институте гидродинамики им. М. А. Лаврентьева (ИГиЛ) СО РАН под руководством О. В. Соснина [8, 9]. В этих работах впервые приведены общие соображения и экспериментальные данные о перспективности применения явления ползучести в технологических процессах ОМД, считающихся крайне "вредным" для техники в части, касающейся эксплуатационных режимов.

Режимы ползучести и близкие к СП позволяют расширить диапазон температурно-скоростных режимов нагружения и совместить процессы формообразования с процессами термической обработки материала (старение, возврат, отжиг, закалка) [10—20]. Для сплавов на основе железа, титана и алюминия [13, 15, 16, 18] деформирование при повышенных температурах и медленных скоростях деформаций

(порядка 10^{-3} с^{-1} и меньше) более благоприятно по сравнению с квазистатическим быстрым режимом ОМД с точки зрения достижения максимальной деформируемости при соответствующем снижении усилий формообразования [9, 12] и минимума накопления повреждений (внутренних дефектов) [13, 17]. Чем меньшая часть относительной работы затрачена непосредственно на деформирование при изготовлении детали, тем большая часть останется на обеспечение несущей способности конструкции — ресурса пластичности [12, 14]. Применение процессов с заданной кинематикой позволяет существенно уменьшить уровень нагрузок за счет увеличения длительности силового воздействия, процесс нагружения при скоростях деформаций $\dot{\varepsilon} \leq 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ для многих сплавов не выходит за пределы упругой области, пластические деформации отсутствуют, $\varepsilon^p \equiv 0$ [14, 16, 19]. Тем самым при расчетах нет необходимости разделять процесс нагружения на активную и разгрузочную части.

Медленное деформирование при умеренных температурах не только увеличивает ресурс пластичности детали на стадии изготовления, но и повышает весь комплекс физико-механических характеристик по сравнению с обработкой материалов в квазистатическом режиме со скоростями деформирования порядка нескольких процентов в секунду. Объясняется это тем, что при медленных температурно-скоростных режимах нагружения происходит процесс релаксации внутренних напряжений в материале, при этом не возникает пиковых напряжений, которые и приводят к значительной поврежденности материала, зарождению микро- и макротрещин. После снятия внешних воздействий существенно уменьшается упругое восстановление детали [14, 16]. Это подтверждают металлографические исследования. Образцы из сплава АК4 при 195 °С, из сплава 1201 при 180 °С и из сплава В95 при 150 °С подвергали деформированию до фиксированной величины деформации $\varepsilon_0 = 0,02 \%$ в быстром режиме нагружения (процесс деформирования продолжался не более 10 с) и в медленном режиме с продолжительностью порядка 2 ч. После деформирования из образцов вдоль их рабочей длины изготовили шлифы и провели металлографический анализ микроструктур. Исследования показали, что на образцах, подвергнутых быстрому нагружению, отчетливо видны поры по границам зерен, структура менее равномерная, ориентация слабо выражена. При медленном деформировании структура более равномерная, зерна вытянуты и ориентированы в направлении деформирования, поры по границам зерен практически отсутствуют. При больших значениях деформаций ε_0 различие между образцами, подвергнутыми быстрому и медленному нагружению, обнаруживалось и при внешнем осмотре: поверхность первых образцов имела матовый оттенок с явно выраженной

пористостью, поверхность вторых — оставалась достаточно гладкой.

Аналогичные результаты получены и для режимов, близких к СП. Так, для сплава 1561 деформирование на 10—15 % в медленном режиме при температуре 480 °С в течение 1 ч не приводит к увеличению зерна, сохраняется равномерная структура материала, коррозионно-механическая прочность сплава по сравнению с исходным состоянием не претерпевает существенных изменений [16].

На рис. 1, а приведены экспериментальные данные по изменению напряжений при растяжении с постоянными скоростями деформаций до величины $\varepsilon_0 = 2\%$ с последующей релаксацией при фиксированной деформации титанового сплава BT20 при температуре 750 °С, на рис. 1, б — изменение внешнего момента при чистом изгибе балок прямоугольного сечения шириной 10 мм и высотой 20 мм с постоянной скоростью изменения кривизны (светлые точки) и постоянным моментом (темные) до

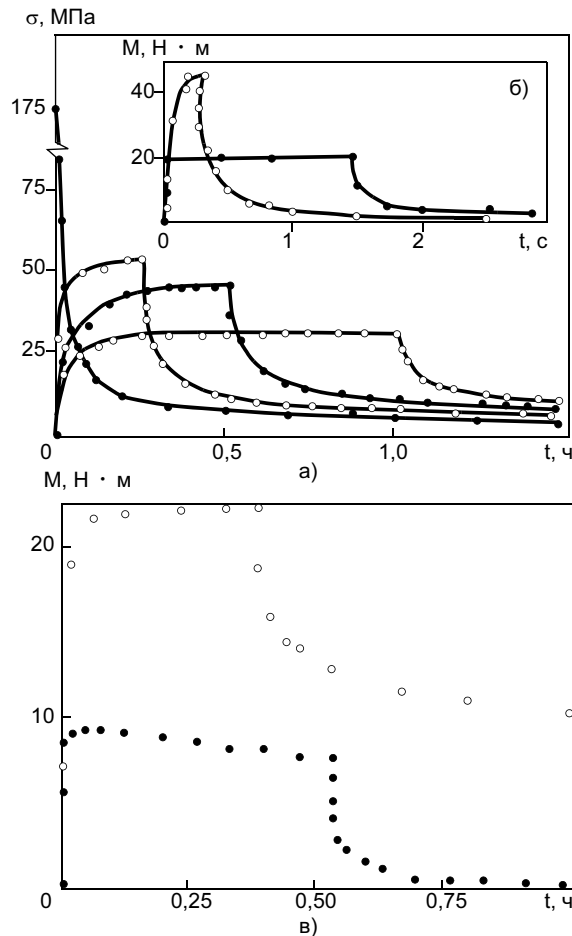


Рис. 1. Изменение растягивающих напряжений сплава BT20 при 750 °С с различными постоянными скоростями деформаций и последующей релаксацией (а), внешнего момента при изгибе балок с постоянной скоростью изменения кривизны и постоянным моментом с последующей релаксацией (б), диаграммы изменения изгибающего момента балок из сплава 1561 с постоянными скоростями изменения кривизны и последующей релаксацией (в)

кривизны $\varkappa = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^{-1}$. При этой кривизне балка фиксировалась (заневоливалась), происходил процесс релаксации.

На рис. 1, в приведены аналогичные кривые изменения изгибающего момента алюминиево-магниевого сплава 1561 при температуре 320 °С (светлые точки) и 480 °С (темные), полученные на балках прямоугольного сечения шириной 10 мм и высотой 20 мм. Деформирование осуществляли в зоне упругих напряжений до кривизны $\varkappa = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^{-1}$ со скоростью деформации в крайнем волокне балки $\dot{\varepsilon} < 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ с последующей релаксацией. Температура деформирования 480 °С близка к температуре СП и является оптимальной с точки зрения получения требуемой геометрической формы детали, так как при более низких температурах, в том числе и при температуре отжига 320 °С, имеет место значительное упругое восстановление детали [16].

На рис. 1 видно, что, несмотря на различие в начальных условиях (и даже в видах нагружения), диаграммы релаксации выходят практически на один уровень напряженного состояния. При увеличении продолжительности ОМД и температуры уровень прорелаксированных напряжений стремится к нулю, что облегчает расчет параметров технологических процессов. Из кривых релаксации определяется оптимальное время выдержки заготовки в заневоленном состоянии, когда распруживание последней будет минимальным.

С повышением температуры до значения, близкого температуре СП, процессы ползучести протекают, как правило, без упрочнения и разупрочнения вплоть до разрушения с минимальной скоростью накопления повреждений [13], происходит практически полная релаксация напряжений [14, 16]. Это существенно упрощает расчет параметров процесса формообразования (исключается необходимость производить расчет РК), повышается точность и улучшается качество изготовления деталей.

В режимах СП и близких к ним при изготовлении деталей хорошо деформируются как титановые сплавы [13, 15, 17, 18], стали [19], так и некоторые широко используемые в судостроении алюминиево-магниево-сплавы 1561, 1985 [16] в состоянии поставки без какой-либо предварительной подготовки структуры. Вместе с тем при высоких температурах формообразования, близких к температурам СП, для многих авиационных материалов на основе алюминия имеет место термическое разупрочнение материала. Сплавы теряют свои усталостные, прочностные, коррозионные и другие эксплуатационные свойства, требуется последующая дополнительная термическая обработка материала. Восстановление деформационно-прочностных свойств путем последующей термической обработки, как правило, приводит к потере геометрической формы детали. Для крупногабаритных деталей сохранение их геометрии при термической обработке практически не

возможно, последующая правка приводит к удорожанию производства. В этом смысле ОМД в режиме ползучести при умеренных температурах имеет определенные преимущества, но при этом становится существенным вопрос о расчете РК оснастки.

Увеличение длительности ОМД вызывает определенную настороженность с точки зрения целесообразности применения таких процессов. Вместе с тем с экономической точки зрения применение медленных режимов деформирования вполне оправдано в условиях малосерийного производства применительно к изготовлению высококачественных крупногабаритных деталей типа самолетных панелей, корпусных деталей судов и других ответственных деталей.

Апробированы и рекомендованы режимы температурно-скоростного деформирования (как правило, совмещенные с термической обработкой) сплавов АК4-1Т, 1201-АТ, В95пчТ2, 1561, 1161, ВТ9, ВТ20, ВЛ-1Д и др. применительно к формообразованию самолетных панелей, корпусных деталей судов, изготовленных из листов и плит. Технологический процесс формообразования в медленных режимах деформирования за счет деформаций ползучести схематично можно представить следующим образом:

— нагрев заготовки до температуры формообразования;

— непрерывное (или поэтапное через определенные интервалы времени Δt) деформирование заготовки от исходной формы до РК, рассчитанного с учетом упругого восстановления;

— выдержка при температуре формообразования в фиксированном (заневоленном) конечном положении РК;

— разгрузка, охлаждение заготовки до 18—20 °С, контроль по ТК.

Температурно-скоростной режим ОМД необходимо выбирать конкретно для каждого сплава с учетом особенностей его температурно-скоростного деформирования и геометрии детали.

Основной сложностью при реализации схемы непрерывного деформирования заготовки от исходной формы до конечной (РК) за один переход является разработка универсального оборудования с изменяемой в течение процесса формообразования геометрией оснастки.

Оборудование

Для панелей одинарной кривизны разработана методика расчета процесса формообразования и упреждающей на величину упругого восстановления геометрии оснастки (РК) [20] с использованием лекальной (ложементной) оснастки². Формообразующий блок состоит из каркаса, внизу которого расположены ложементы, сверху — рубильники, эквидистантно выполненные с учетом толщины панели.

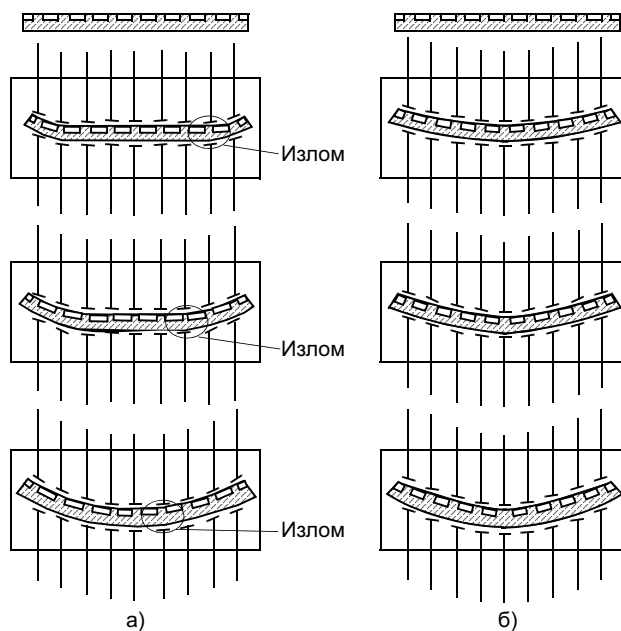


Рис. 2. Схемы деформирования заготовок в штоковых установках с изменяемой геометрией матрицы и пуансона: а, б — одинаковая постоянная и индивидуальная скорости перемещения штоков соответственно

Нагружение осуществляется рубильниками в термокамере в медленном режиме деформирования. Разработанные технологические процессы ОМД в медленных режимах деформирования с использованием ложементных оснасток внедрены на трех авиазаводах (Новосибирск, Тбилиси, Улан-Удэ) на серийных образцах оребренных панелей одинарной кривизны. Любое малосерийное производство требует применения универсальной оснастки и особенно для формообразования деталей двойной кривизны. За рубежом имеются разработки, когда в установках используют предварительно настраиваемые фиксированные матрицы и пуансоны штокового типа, при этом устройства работают в основном в режиме штамповки.

В ИГиЛ и НовосибирИАТе разработаны и изготовлены различные варианты многопуансонного оборудования штокового типа с изменяемой в процессе формообразования геометрией оснастки [21]³.

На рис. 2 приведены схемы деформирования для установок с изменяемой геометрией матрицы и пуансона штокового типа, т. е. с заданием кинематики процесса формообразования. При формообразовании на установке с двусторонним зажатием заготовки оппозитно установленными штоками, когда нижние штоки перемещаются с одинаковой скоростью и последовательно останавливаются при достижении РК, могут иметь место пластические изломы (см. рис. 2, а). Наилучший результат обеспечивает схема задания непрерывного процесса де-

² А. с. 933790 (СССР).

³ Патент 1147471, 2076010, 22175267 (РФ).

формирования заготовки в течение всего времени формообразования от исходной до конечной формы с заранее рассчитанной постоянной скоростью, индивидуальной для каждого задающего штока (см. рис. 2, б). Например, если необходимо отформовать прямоугольную пластину в седлообразную поверхность, имеющую противоположные знаки главных кривизн, то необходимо реализовать развитие деформаций во всей заготовке одновременно с развитием обеих главных кривизн, чтобы не допустить образования цилиндрической жесткости. Действительно, если штоки будут перемещаться по программе с одинаковыми скоростями до конечного положения (рис. 3, а), то заготовка деформируется сначала в цилиндрическую поверхность с образующей, параллельной одной из сторон, после чего получить кривизну (тем более обратного знака) в направлении другой стороны практически невозможно, для этого потребуются значительные усилия, что приведет к искажению геометрической формы (для подкрепленных панелей к потере устойчивости ребер). Задание перемещения штоков с индивидуальной скоростью каждого позволяет развивать при деформировании обе главные кривизны без образования цилиндрической жесткости и изломов (рис. 3, б). Реализуется схема формоизменения с наиболее благоприятным распределением деформаций в заготовке в течение всего процесса деформирования.

На рис. 4, а приведен лабораторный образец универсального модуля установки штокового типа на 48 пуансонов со снятыми стенками печи и отформованной при температуре листовой заготовкой в поверхность двойной отрицательной гауссовой кривизны по схеме деформирования, приведенной на рис. 2, б и 3, б. Формующие поверхности матрицы и

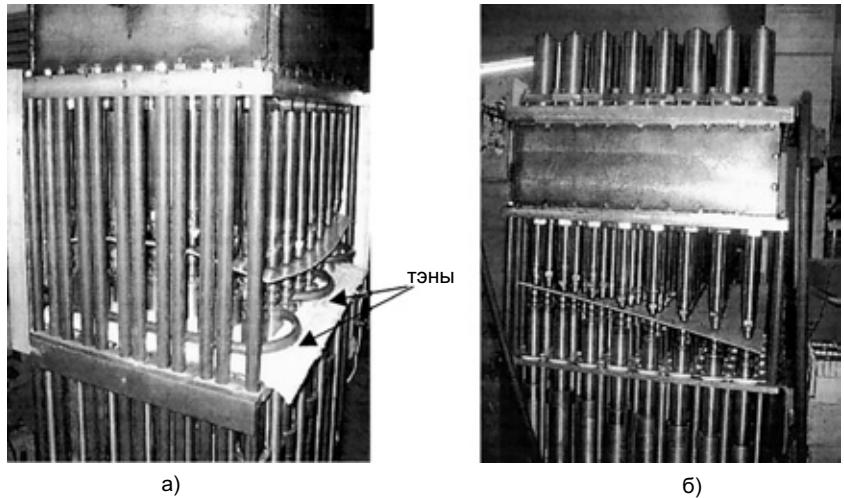


Рис. 4. Лабораторный модуль многопуансонного оборудования со снятыми стенками печи с изменяемой геометрией оснастки при формообразовании детали двойной отрицательной гауссовой кривизны (а) и закручивании прямоугольной пластины (б)

пуансона образованы двумя системами соосно расположенных штоков. Штоки сходятся внутри пространства температурной камеры, оснащенной тэнами для нагрева. Размер прямоугольной ячейки сетки расположения осей штоков составляет 70×72 мм.

На рис. 4, б показано скручивание прямоугольной пластинки. Установка позволяет задавать кинематику процесса деформирования за счет изменения геометрии матрицы и пуансона в процессе ОМД последовательно от исходного до конечного геометрического положения заготовки непрерывно за один технологический цикл. Каждый шток имеет индивидуальный гидропривод, задание геометрии матрицы во все время процесса формообразования и контроль перемещения формообразующих пуансонов осуществляется с использованием низкомоментных шаговых двигателей ДШИ-200 по технологической программе от компьютера. При этом обеспечивается независимое управление матричными и пуансонными штоками, что позволяет последовательно освобождать заготовку по участкам для осуществления ее проскальзывания между соосными штоками при больших прогибах и поворотах. Программное обеспечение модуля позволяет задавать, корректировать и запоминать профиль РК геометрии оснастки для каждой конкретной детали в соответствии с ее ТК. Это позволяет оперативно перенастраивать оснастку и на одной установке формовать широкий класс деталей различной геометрии, в том числе двойной знакопеременной кривизны за один технологический цикл.

На рис. 5 приведены образцы панелей из сплава 1201, отформованные при $T = 180$ °С на экспериментальном модуле многопуансонной установки с регулируемым расстоянием между секциями. Габаритные размеры панелей по ширине не превышают 600 мм, по длине — 1200 мм.

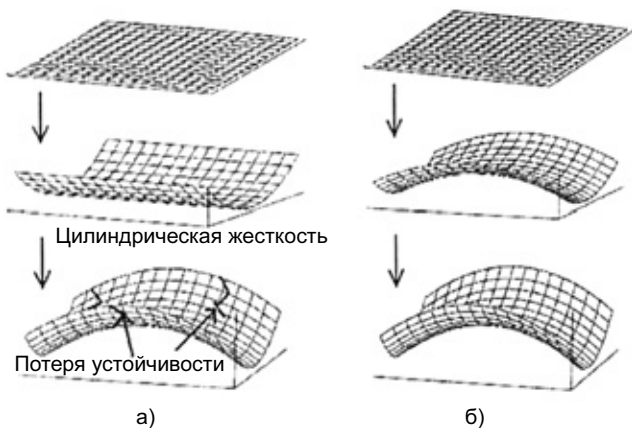


Рис. 3. Схема формообразования прямоугольной пластины в седлообразную поверхность: а, б — см. рис. 2

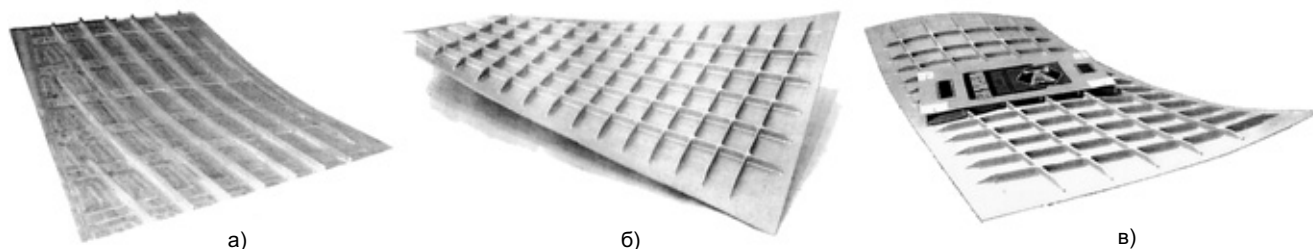


Рис. 5. Образцы панелей из сплава 1201, отформованные при $T = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$: а — стрингерная панель одинарной кривизны; б — вафельные панели двойной кривизны с развешивающейся поверхностью ТК; в — то же, с изогнутыми ребрами жесткости

Технологии формообразования в режимах ползучести крупногабаритных корпусных деталей, изготовленных из листа и плит, требуют определения упругопластических свойств и свойств ползучести материала, построения соответствующих определяющих уравнений, а также разработки методов расчета процесса формообразования и РК для тонкостенных элементов конструкций (в том числе подкрепленных ребрами жесткости) с учетом деформационно-прочностных особенностей поведения листовых материалов при ползучести [22].

Для сплавов АК4-1, В95пчТ2, 1161 и др. экспериментально установлено, что при умеренных температурах (старения, возврата) наряду с разносопротивляемостью они обладают существенной анизотропией свойств ползучести: для тонких листов (толщиной 4—6 мм) — наиболее слабое направление в смысле сопротивления ползучести по нормали к листу, для толстых листов (40—90 мм) — слабое направление под углом 45° к направлению нормали [22].

Неучет реальных свойств ползучести листовых материалов приводит к существенным ошибкам по сравнению с изотропной постановкой при расчете параметров процесса формообразования и РК.

Тестирование пакетов программ типа САЕ — системы ANSYS, MARC — для расчетов параметров процессов формообразования в плоской и трехмерной постановках с использованием МКЭ на примере скручивания квадратной пластины показало необходимость доработки моделей и алгоритмов, заложенных в них, для описания разносопротивляемости и анизотропии свойств ползучести [23].

ВЫВОДЫ

1. По результатам обзора публикаций по исследованиям в области обработки материалов давлением с использованием явления ползучести отмечены преимущества технологий формообразования крупногабаритных деталей в условиях малосерийного производства под воздействием напряжений, не превосходящих предела упругости материала.

2. Отмечена необходимость разработки многопуансонного технологического оборудования с изменяемой геометрией оснастки преимущественно

для реализации медленных режимов формообразования с заданием кинематики заготовки для изготовления деталей сложных поверхностей двойной кривизны. Медленные режимы деформирования позволяют управлять процессом формообразования и контролировать его, создавая наиболее благоприятное распределение деформаций в заготовке.

3. Математическое моделирование процессов ползучести материалов целесообразно для учета деформационно-прочностных особенностей листовых материалов (разносопротивляемости, анизотропии свойств ползучести) применительно к расчетам параметров процесса формообразования гладких и орребренных монолитных панелей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ильющин А. А.* К вопросу о вязкопластическом течении материала // Тр. конф. по пластическому деформированию. М.: Изд-во АН СССР, 1938. С. 5—18.
2. *Генки Г.* О медленных стационарных течениях в пластических телах с приложениями к прокатке, штамповке и волочению // Теория пластичности. М.: Гос. изд. иностр. лит., 1948. С. 136—156.
3. *Поздеев А. А., Тарновский В. И.* О перспективах применения теории ползучести и наследственности к расчету процессов обработки материалов давлением // Изв. вузов. Черная металлургия. 1965. № 11. С. 62—68.
4. *Применение теории ползучести при обработке металлов давлением* / А. А. Поздеев, В. И. Тарновский, В. И. Еремеев, В. С. Баакашвили. М.: Металлургия, 1973. 192 с.
5. *Малинин Н. Н.* Технологические задачи теории ползучести // Тез. докл. на III съезде по теор. и прикл. механике. М., 1968. С. 203.
6. *Малинин Н. Н.* Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1968. 400 с.
7. *Малинин Н. Н.* Ползучесть в обработке металлов. М.: Машиностроение, 1986. 225 с.
8. *Раевская Г. А., Соснин О. В.* Термомеханическая обработка сплава АК4-1 // Наука — производству. Новосибирск, 1974. Ч. 4. С. 106—109.
9. *Горев Б. В., Раевская Г. А., Соснин О. В.* К вопросу об использовании ползучести в технологии формования изделий // Динамика сплошной среды. Новосибирск: ИГ СО РАН СССР, 1977.
10. *К вопросу обработки материалов давлением в режиме ползучести* / Б. В. Горев, И. Д. Клопотов, Г. А. Раевская, О. В. Соснин // Журнал прикладной механики и технической физики. 1980. № 5. С. 185—191.
11. *Соснин О. В., Горев Б. В., Раевская Г. А.* Проблемы обработки материалов давлением при медленных режимах деформирования // Тез. докл. на I Всесоюз. съезде технологов-машиностроителей. М., 1989. С. 92—93.

12. *Обработка материалов давлением в режиме ползучести и сверхпластичности* / О. В. Соснин, Б. В. Горев, Г. А. Раевская, А. А. Ратничкин // Изв. СО АН СССР. 1987. № 11. Сер. техн. наук. Вып. 3. С. 96—105.
13. *Sosnin O. V. Gorev B. V. Fundamentals of near superplasticity process mechanics* // Superplasticity in advanced materials. Moscow, 1994. P. 621—626.
14. *Соснин О. В., Горев Б. В.* К вопросу обработки материалов давлением в медленных температурно-скоростных режимах деформирования // Тр. IX Междунар. конф. по прочности и пластичности. М., 1996. С. 170—175.
15. *Соснин О. В., Горев Б. В., Любашевская И. В.* Высокотемпературная ползучесть и сверхпластичность материалов // Прикладная механика и техническая физика. 1997. Т. 38. № 2. С. 140—145.
16. *Технология формообразования крупногабаритных деталей из сплава 1561 в режиме сверхпластичности* / Б. В. Горев, И. Д. Клопотов, И. А. Шавров, А. Л. Кузнецовский // Судостроительная промышленность. Сер. Технология и организация производства. Судверфь, 1989. Вып. 14. С. 11—23.
17. *Сверхпластичность некоторых титановых сплавов* / Р. А. Аубакирова, А. А. Пресняков, С. С. Ушаков, А. Н. Байдельдинова. Алма-Ата: Наука, 1987. 212 с.
18. *О ресурсосберегающих технологиях получения изделий из титановых сплавов в режиме сверхпластичности* / А. Г. Ермаченко, А. А. Заринов, М. А. Семаков, Р. А. Васин // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2004. № 1. С. 86—92.
19. *Горев Б. В.* Высокотемпературная ползучесть конструкционных сплавов и ее приложение к формообразованию крупногабаритных деталей. Дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск, 2003. 426 с.
20. *Соснин О. В., Горев Б. В., Раевская Г. А.* Обработка материалов давлением при медленных режимах деформирования // Новые материалы и технологии. Теория и практика упрочнения материалов в экстремальных процессах. Новосибирск: ВО "Наука", 1992. С. 168—181.
21. *Горев Б. В., Соснин О. В., Загарин Ю. В.* Технология процесса формообразования деталей двойной знакопеременной кривизны в режиме ползучести и устройство для его осуществления // Военная техника, вооружение и технологии двойного подчинения. Омск: ОмГУ, 2005. Ч. 1. С. 117—119.
22. *Особенности деформационно-прочностного поведения листовых материалов на основе алюминия применительно к формообразованию деталей в режиме ползучести* / Б. В. Горев, И. Ж. Масанов, А. И. Олейников, А. И. Пекарш // Технологические проблемы материалов. М., 2005. Т. 1. С. 115—117.
23. *К расчету процесса деформирования листовых деталей двойной кривизны из сплавов с разными свойствами на растяжение и сжатие в условиях ползучести* / И. А. Банщикова, Б. В. Горев, А. И. Олейников, А. И. Пекарш // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред. М., 2006. С. 41—43.

Л. А. КОНДРАТЕНКО, канд. техн. наук
Фирма "Технаб" (Подольск Московской обл.)

Некоторые динамические особенности сверления глубоких отверстий

При обработке глубоких отверстий, например на станке "Kolb-НТВ III WE" (Германия), возникают динамические явления, отрицательно влияющие на качество изготовления. Поскольку этот процесс зависит от ряда факторов, оценим их комплексное воздействие.

Рассмотрим привод, содержащий сверло для обработки глубоких отверстий, шпиндель, совершающий независимые вращательное движение и осевое перемещение (см. рисунок).

Запишем в операторном виде систему дифференциальных уравнений, описывающих работу такой системы [1]:

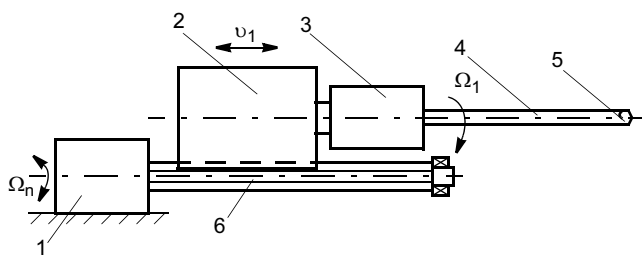


Схема привода сверла для глубокого сверления: 1 — электродвигатель осевой подачи; 2 — основной электродвигатель; 3 — шпиндель; 4, 5 — стержень и режущая часть ружейного сверла соответственно; 6 — ходовой винт

— крутильные колебания режущей части

$$\tau(t)W_p - h_{k1}\Omega_2(t)(1 + T_1p) = M_c(t); \quad (1)$$

$$-\tau(t)W_p \vartheta_{kp} + \Omega_1(t) - \Omega_2(t) = 0; \quad (2)$$

— продольные колебания режущей части

$$\sigma(t)f - h_{n1}v_2(t)(1 + T_{11}p) = F_{c2}(t); \quad (3)$$

$$v_1(t) - v_2(t) - f\vartheta_{np}\sigma(t) = 0; \quad (4)$$

— колебания в электродвигателе осевой подачи

$$K_{BM2}B_2(t) - h_{s2}v_1(t)(1 + T_2p) = k_{mf}^{-1}F_{c2}(t); \quad (5)$$

$$v_1(t) + \vartheta_2 k_{v\Omega}^{-1} p B_2(t) = \Omega_{n1} k_{v\Omega}^{-1}; \quad (6)$$

— колебания в основном электродвигателе

$$K_{BM1}B_1(t) - h_{s1}\Omega_1(t)(1 + T_{21}p) = M_{c1}(t); \quad (7)$$

$$\Omega_1(t) + \vartheta_1 p B_1(t) = \Omega_n(t). \quad (8)$$

Здесь F_{c2} — осевая нагрузка сверла при крутящем моменте сопротивления M_c , равная $k_{fm}M_c$; T_1 , T_{11} — постоянные времени, равные J_{11}/h_{k1} и m_{12}/h_{n1} соответственно; h_{s2} — коэффициент потерь на трение, пропорциональный скорости вращения в электродвигателе осевой подачи и нагрузке, равный $h_{n2} + h_{n1}/k_{v\Omega}$; $T_2 = J_{s2}/(h_{n1} + h_{n2})$; J_{s2} — приведенный к валу электродвигателя осевой подачи маховой момент инерции вращающихся и поступа-

тельно перемещающихся частей; $k_{v\Omega}$ — коэффициент, переводящий продольную скорость движения шпинделя v_1 в частоту вращения вала электродвигателя подачи; k_{mf} — коэффициент, учитывающий взаимосвязь крутящего момента сопротивления на режущей части с осевой нагрузкой сверла; $h_{s1} = h_{k1} + h_{k2}$ — коэффициент потерь на трение, пропорциональное скорости вращения в основном электродвигателе и нагрузке; $T_{21} = J_{s1}/h_{s1}$; J_{s1} — маховой момент инерции вращающихся частей, связанных с валом основного электродвигателя; $\vartheta_1 = K_{BП1}K_{BM1}/\rho$; $\vartheta_2 = K_{BП2}K_{BM2}/\rho$; $K_{BП1,2} = df_2/dM_c$ — тангенс наклона механической характеристики электродвигателя в конкретной ее точке; $K_{BM1,2}$ — коэффициент пропорциональности, связывающий изменение момента сопротивления ΔM_c на валу электродвигателя и изменение магнитной индукции ΔB , т. е. $K_{BM} = \Delta B/\Delta M_c$; Ω_1, Ω_2 — угловая скорость вращения шпинделя и режущей части соответственно; v_2 — скорость осевого перемещения режущей части; τ — максимальные касательные напряжения в стебле; W_p — полярный момент сопротивления сечения стебля; ϑ_k — коэффициент крутильной упругости стебля; ϑ_n — коэффициент продольной упругости стебля; f — площадь сечения стебля; Ω_n, Ω_{n1} — частота вращения магнитного поля основного электродвигателя и электродвигателя подачи соответственно; J_{11}, m_{12} — маховой момент инерции и масса режущей части сверла соответственно; $\rho \equiv d/dt$.

Упругие характеристики стебля описываются следующими функциями [1]:

— для продольных колебаний

$$\vartheta_{ns}(s) = \vartheta_n Z_n(s); \vartheta_n = IE^{-1}f^{-1};$$

— для крутильных колебаний стебля трубчатой формы

$$\vartheta_{ks}(s) = \vartheta_k Z_k(s); \vartheta_k = l/(GrW_{p2}).$$

В этих выражениях функции $Z_n(s), Z_k(s)$ в изображениях по Лапласу учитывают влияние волновых процессов на динамику.

Введем переменные

$$x_1 = B_1; x_2 = \Omega_1; x_3 = \tau; x_4 = \Omega_2; \\ x_5 = B_2; x_6 = v_1; x_7 = \sigma; x_8 = v_2;$$

$$A_{14} = -h_{k1}(1 + T_1\rho); A_{38} = -h_{n1}(1 + T_{11}\rho); \\ A_{23} = -W_p\vartheta_k\rho; A_{72} = -h_{s2}(1 + T_{21}\rho); A_{56} = -h_{s2}(1 + T_2\rho);$$

$$A_{65} = \vartheta_2 k_{v\Omega}^{-1}\rho; A_{81} = \vartheta_1\rho; A_{55} = K_{BM2}; A_{71} = K_{BM1};$$

$$A_{47} = -f\vartheta_n\rho; F'_{c2} = F_{c2}/k_{mf}; \Omega'_n = \Omega_{n1}/k_{v\Omega}.$$

Запишем систему уравнений (1)—(8) в векторной форме:

$$Ax(t) = M(t), \quad (9)$$

где x — вектор переменных; M — вектор внешних воздействий;

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & W_p & A_{14} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & A_{23} & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & f & A_{38} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & A_{47} & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & A_{55} & A_{56} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & A_{65} & 1 & 0 & 0 \\ A_{71} & A_{72} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A_{81} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{— матрица}$$

$$\text{коэффициентов; } x(t) = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \end{pmatrix}; M(t) = \begin{pmatrix} Mc \\ 0 \\ F_{c2} \\ 0 \\ F'_{c2} \\ \Omega'_n \\ Mc_1 \\ \Omega_n \end{pmatrix}.$$

Решим определитель D , по форме равный матрице A :

$$D = fW_p K_{BM1} K_{BM2} (1 + K_{BП1} h_{s1} + \\ + K_{BП1} J_{s1} \rho) (1 + h_{k1} \vartheta_k \rho + \vartheta_k J_{11} \rho^2) (1 + K_{BП2} h_{s2} k_{v\Omega}^{-1} + \\ + k_{v\Omega}^{-1} K_{BП2} J_{s2} \rho) (1 + h_{n1} \vartheta_n \rho + \vartheta_n m_{12} \rho^2). \quad (10)$$

В силу физической реализуемости $D \neq 0$. Поэтому неизвестные переменные по правилу Крамера могут быть найдены из выражений

$$x_1 = B_1 = D_1/D; x_2 = \Omega_1 = D_2/D; x_3 = \tau = D_3/D; \\ x_4 = \Omega_2 = D_4/D; x_5 = B_2 = D_5/D; x_6 = v_1 = D_6/D; \\ x_7 = D_7/D; x_8 = D_8/D, \quad (11)$$

где определители D_i получаются подстановкой в матрицу A столбца воздействий вместо столбца соответствующей искомой переменной.

Так, для продольных колебаний скорости перемещения двигателя осевой подачи v_1 получим

$$D_6 = (A_{71} - A_{81} A_{72})(-W_p - A_{23} A_{14})(A_{55} \Omega'_n - \\ - A_{65} F'_{c2})(-f - A_{38} A_{47}) = K_{BM1} K_{BM2} f W_p (1 + K_{BП1} h_{s1} + \\ + K_{BП1} J_{s1} \rho) (1 + \vartheta_k h_{k1} \rho + J_{11} \vartheta_k \rho^2) k_{v\Omega}^{-1} (\Omega_{n1} - \\ - K_{BП2} F_{c2}) f (1 + \vartheta_n h_{n1} \rho + \vartheta_n m_{12} \rho^2). \quad (12)$$

Откуда колебания скорости поступательного движения шпинделя

$$v_1(t) = k_{v\Omega}^{-1} [\Omega_{n1}(t) - K_{BП2} F_{c2}(t)] / \{ (1 + K_{BП2} h_{s2} k_{v\Omega}^{-1} + \\ + k_{v\Omega}^{-1} K_{BП2} J_{s2} \rho) (1 + h_{n1} \vartheta_n \rho + \vartheta_n m_{12} \rho^2) \}. \quad (13)$$

Для колебаний частоты вращения режущей части Ω_2 получим

$$D_4 = [-(A_{71} - A_{81} A_{72}) A_{23} M_c + A_{81} W_p M_{c1} - \\ - A_{71} W_p \Omega_n] (A_{55} - A_{65} A_{56}) (-f - A_{47} A_{38}) = \\ = f W_p K_{BM1} K_{BM2} [(1 + K_{BП1} h_{s1} + K_{BП1} J_{s1} \rho) \vartheta_k \rho M_s -$$

$$-K_{BП1}M_{c1} + \Omega_n](1 + K_{BП2}h_{s2}k_{v\Omega}^{-1} + k_{v\Omega}^{-1}K_{BП2}J_{s2}p)(1 + h_{n1}\vartheta_n p + \vartheta_n m_{12}p^2). \quad (14)$$

Тогда

$$\Omega_2(t) = [(1 + K_{BП1}h_{s1} + K_{BП1}J_{s1}p)\vartheta_k p M_s - K_{BП11}M_{c1} + \Omega_n]/[(1 + K_{BП1}h_{s1} + K_{BП1}J_{s1}p)(1 + h_{k1}\vartheta_k p + \vartheta_k J_{11}p^2)]. \quad (15)$$

Для исследования колебаний максимальных касательных напряжений в стебле составим и решим определитель

$$D_3 = [(A_{81}M_{c1} - A_{71}\Omega_n)A_{14} - M_c(A_{71} - A_{81}A_{72})](A_{55} - A_{65}A_{56})(-f - A_{47}A_{38}) = K_{BM1}K_{BM2}f[(K_{BП1}M_c - \Omega_n)h_{k1}(1 + T_1p) + M_c(1 + K_{BП1}h_{s1} + K_{BП1}J_{s1}p)](1 + K_{BП2}h_{s2}k_{v\Omega}^{-1} + k_{v\Omega}^{-1}K_{BП2}J_{s2}p)(1 + h_{n1}\vartheta_n p + \vartheta_n m_{12}p^2). \quad (16)$$

Откуда

$$\tau = W_p^{-1} [(K_{BП1}M_c - \Omega_n)h_{k1}(1 + T_1p) + M_c(1 + K_{BП1}h_{s1} + K_{BП1}J_{s1}p)]/[(1 + K_{BП1}h_{s1} + K_{BП1}J_{s1}p)(1 + h_{k1}\vartheta_k p + \vartheta_k J_{11}p^2)]. \quad (17)$$

При анализе нормальных напряжений σ в сечении стебля получим

$$D_3 = -(A_{71} - A_{81}A_{72})(W_p + A_{23}A_{14})[-A_{65}(-A_{56}F_{s2} + F'_{c2}A_{38}) + A_{55}(-F_{s2} + \Omega'_n A_{38})] = K_{BM1}K_{BM2}W_p(1 + K_{BП1}h_{s2}k_{v\Omega}^{-1} + J_{s2}K_{BП1}p)(1 + h_{k1}\vartheta_k p + \vartheta_k p^2)\{K_{BП2}k_{v\Omega}^{-1}[h_{s2}(1 + T_2p)F_{c2} + h_{n1}(1 + T_{11}p)F'_{c2}] + F_{c2} + h_{n1}(1 + T_{11}p)\Omega'_n\}. \quad (18)$$

Колебания продольных напряжений можно описать операторным уравнением

$$\sigma(t) = f^{-1}\{K_{BП2}k_{v\Omega}^{-1}[h_{s2}(1 + T_2p)F_{c2}(t) + h_{n1}(1 + T_{11}p)F'_{c2}(t)] + F_{c2}(t) + h_{n1}(1 + T_{11}p)\Omega'_n(t)\}/[(1 + K_{BП2}h_{s2}k_{v\Omega}^{-1} + k_{v\Omega}^{-1}K_{BП2}J_{s2}p)(1 + h_{n1}\vartheta_n p + \vartheta_n m_{12}p^2)]. \quad (19)$$

Общий анализ полученных соотношений показывает, что колебательные процессы в данной системе описываются дифференциальными уравнениями 3-го порядка. Причем в рассмотренном случае электрическая часть характеризуется дифференциальным уравнением 1-го порядка, а движение вала соответствует апериодическому звену.

Преобразуя по Лапласу уравнения (13), (15), (17), (19), можно при нулевых начальных условиях получить соответствующие передаточные функции.

Так, при постоянной скорости вращения магнитного поля двигателя подачи передаточную функцию влияния осевой нагрузки на скорость перемещения шпинделя можно записать в виде

$$W_{F_v}(s) = v_1(s)/F_{c2}(s) = -k_{v\Omega}^{-1}K_{BП2}/[(1 + K_{BП2}h_{s2}k_{v\Omega}^{-1} + k_{v\Omega}^{-1}K_{BП2}J_{s2}s)(1 + h_{n1}\vartheta_n s + \vartheta_n m_{12}s^2)], \quad (20)$$

передаточную функцию влияния осевой нагрузки на нормальные напряжения в стебле в виде

$$W_{F_\sigma}(s) = \sigma(s)/F_{c2}(s) = f^{-1}[1 + K_{BП2}k_{v\Omega}^{-1}(h_{s2} + k_{mf}^{-1}h_{n1}) + K_{BП2}k_{v\Omega}^{-1}s(h_{s2}T_2 + k_{mf}^{-1}h_{n1}T_{11})]/[(1 + K_{BП2}h_{s2}k_{v\Omega}^{-1} + k_{v\Omega}^{-1}K_{BП2}J_{s2}s)(1 + h_{n1}\vartheta_n s + \vartheta_n m_{12}s^2)]. \quad (21)$$

Из соотношений (20), (21) следует, что потеря устойчивости в системе может быть в случае $h_{n1}\vartheta_n \leq 0$ [2]. При этом из-за неизбежного наличия нелинейностей возникнут автоколебания с частотой, близкой

$$w = (\vartheta_n m_{12})^{-1/2}. \quad (22)$$

Причиной потери устойчивости может быть "отрицательное сопротивление", когда при росте скорости вращения Ω_2 потери на трение в процессе резания уменьшаются, или ситуации, обусловленные волновыми явлениями, при которых $\vartheta_{ns}(s) \leq 0$.

При потере устойчивости, изменив массу частей, перемещаемых в осевом направлении m_{12} , можно выйти из зоны неустойчивости.

Реакция привода на различные возмущающие воздействия определяется методами, приведенными в работе [2].

Колебательность обусловлена в основном упругостью механических магистралей. Причем в случае прогиба стебля, когда его крайние точки сближаются на расстояние Δx , коэффициент упругости после анализа упругой линии можно определить с помощью выражения [3]

$$\vartheta = \Delta x n^{-2} L^2 / (4EJ_z),$$

где n — число полуволн; L — общая длина стебля; J_z — момент инерции сечения. Поэтому увеличение прогиба приводит к повышению демпфирования и снижению резонансной частоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратенко Л. А. Колебания и методы управления скоростью движения технологических объектов. М.: МГОУ, 2005. 448 с.
2. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1960.
3. Кондратенко Л. А. Продольные колебания в механозмахах с твердотельными магистральями, теряющими устойчивость / Материалы XIII Международного семинара "Технологические проблемы прочности". Подольск, 2006. С. 43—49.

А. А. САПРЫКИН, инж., А. В. ВАЛЬТЕР, инж.

Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета

Производительность процесса 2,5-координатного формообразования и технологичность изделий сложной пространственной формы

В настоящее время при проектировании изделий и технологий в машиностроении активно применяются системы автоматизированного проектирования. Наиболее распространенными машиностроительными САПР являются CAD-системы — инструмент конструктора и CAM-, CAPP-системы — инструмент технолога. При этом на предприятиях, как правило, группы конструкторов и технологов выделены в отдельные структурные единицы — отделы и конструкторское проектирование изделий производится сравнительно независимо от технологического. В то же время в процессе проектирования конструктор обязан учитывать требования к технологичности изделия. Существует большое количество нормативных и справочных материалов, позволяющих конструкторам учитывать данные требования в большинстве типичных случаев. Однако отсутствует общая методика определения технологичности изделий со сложной формой поверхностей, которые чаще всего обрабатываются на станках с ЧПУ. Таким образом, оценить технологичность данных изделий

можно только на этапе технологической подготовки производства после составления управляющей программы для оборудования с ЧПУ. Возникает задача — разработать эффективный "инструмент" для оценки технологичности изделий со сложной формой поверхностей на этапе конструкторской подготовки производства.

В ходе исследования методов повышения производительности процесса селективного лазерного спекания (СЛС) предложен способ прототипирования с переменной толщиной слоя¹. При оценке величины сокращения времени изготовления прототипа по сравнению с методом СЛС с постоянной толщиной слоя² [1] установили, что при прочих равных условиях (объем изделия, требуемая точность и т. п.) данная величина зависит от формы изготавливаемого прототипа (рис. 1). При этом время, затрачиваемое на его изготовление, пропорционально числу слоев N , на которые разбито изделие:

$$T = tN, \quad (1)$$

где t — среднее время на изготовление одного слоя прототипа.

В свою очередь число слоев обратно пропорционально среднему значению толщины слоя $Z_{\text{ср}}$:

$$N = \frac{H}{Z_{\text{ср}}}, \quad (2)$$

где H — высота спекаемой модели.

Если рассмотреть некоторое сечение изделия (рис. 2), то максимальная толщина слоя Z , обеспечивающая требуемую точность изделия h , будет определяться формой прототипа:

$$Z = \frac{h}{\cos \varphi}, \quad (3)$$

где φ — угол подъема номинального профиля.

При переходе к рассмотрению объемного тела величина Z будет зависеть от относительной ориентации единичного нормального вектора к поверхности изделия n и единичного вектора направления технологической оси z . Ориентация может быть выражена при помощи следующего показателя:

$$p = |z \times n|. \quad (4)$$

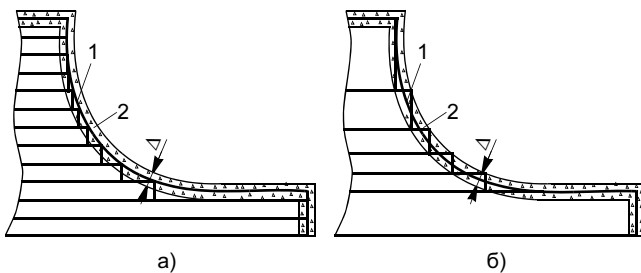


Рис. 1. Способы разбиения модели на слои (Δ — допуск): а — традиционный; б — "высокой" точности; 1 — номинальный профиль поверхности; 2 — поле допуска

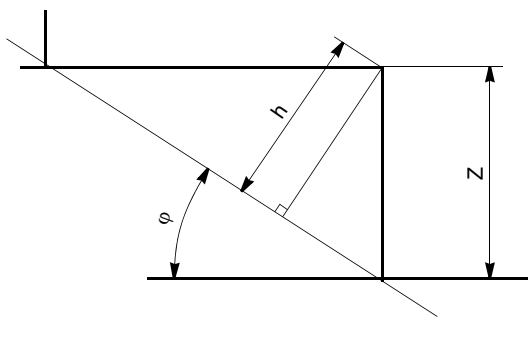


Рис. 2. Схема к определению толщины слоя

¹ Патент 2262741 (РФ).

² Патент 2268493 (РФ).

Тогда из основного тождества тригонометрии можно получить максимальную толщину слоя для некоторого участка поверхности модели:

$$Z = \frac{h}{\sqrt{1-p^2}} \quad (5)$$

Чтобы определить среднюю толщину спекаемого слоя по всем поверхностям модели, необходимо усреднить и значение показателя p . Для этого воспользуемся принятым в машинной графике представлением поверхностей в виде набора смежных треугольников (полигонов) [2] (рис. 3):

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n (|z \times n_i| F_i)}{\sum_{i=1}^n F_i}, \quad (6)$$

где P — среднее по всей модели значение показателя ориентации нормалей поверхностей модели; n_i — значение единичных нормальных векторов полигонов поверхностей модели; F_i — площадь полигонов поверхностей.

При этом необходимо учитывать, что поверхности, нормали которых коллинеарны оси z (на рис. 4 выделены жирной линией), формируются независимо от требований к точности поверхности и толщины спекаемого слоя. Данные поверхности не должны участвовать в определении максимальной толщины слоя. Таким образом, при расчете показателя P в выражении (6) необходимо учитывать нормали и площади лишь тех полигонов, для которых выполняется условие

$$|z \times n_i| < 1. \quad (7)$$

Среднее время на изготовление одного слоя прототипа можно определить из следующего уравнения (рис. 5):

$$t = \frac{S}{k_n dv}, \quad (8)$$

где S — среднее значение площадей сечений модели; k_n — коэффициент перекрытия; d — диаметр пятна лазерного луча; v — скорость перемещения луча лазера.

Среднее значение площадей сечений модели

$$S = \frac{\Phi}{H}, \quad (9)$$

где Φ — объем модели.

С учетом выражений (2)—(9) запишем уравнение (1) в следующем виде:

$$T = \frac{\Phi \sqrt{1-P^2}}{k_n dvh}. \quad (10)$$

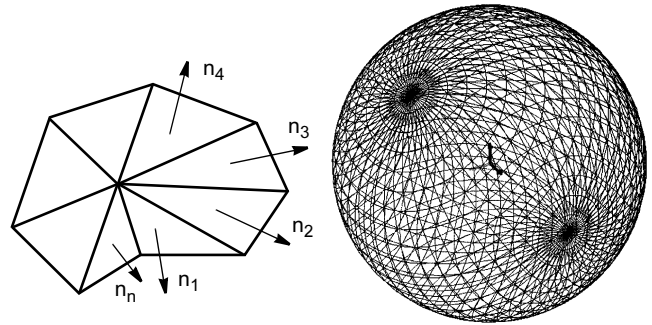


Рис. 3. Представление поверхностей посредством триангуляции

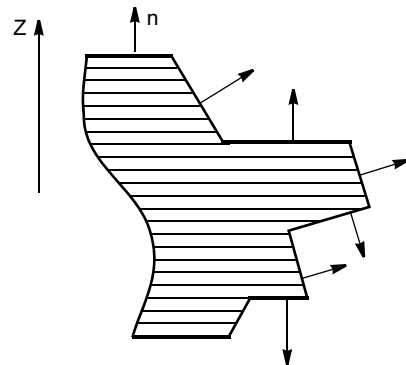


Рис. 4. Влияние нормалей на максимальную толщину слоя

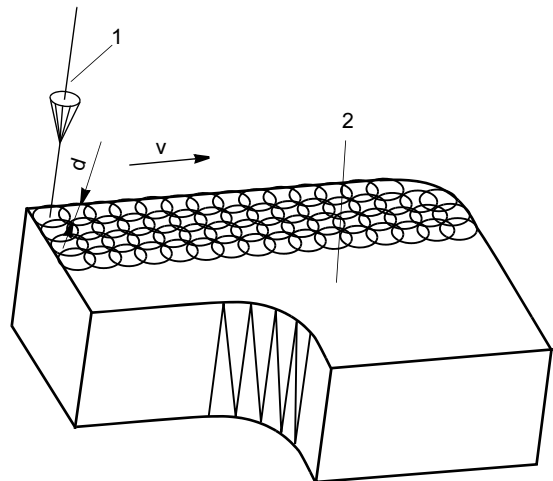


Рис. 5. Схема процесса формообразования селективным лазерным спеканием: 1 — лазерный луч; 2 — прототип

В данном выражении только одна величина P характеризует влияние формы изделия на время его изготовления. Таким образом, показатель P можно назвать показателем технологичности формы изделия. При этом следует отметить, что он является инвариантным относительно аффинных преобразований модели и зависит только от направления технологической оси z . Это свидетельствует о том, что он является объективной мерой целесообразности той или иной формы изделия с точки зрения затрат времени на его изготовление.

На рис. 6 приведены объемные тела с соответствующими показателями технологичности. Особо следует отметить группу призматических тел, для которых $P = 1$. При формальной подстановке данного значения показателя технологичности в выражение (10) получим абсурдный на первый взгляд результат — время на изготовление такого прототипа будет равно нулю. Причина такого результата заложена в уравнениях (2) и (3). Дело в том, что точность h таких моделей будет обеспечиваться независимо от толщины слоя, однако физически толщина слоя всегда ограничена либо технологическими возможностями оборудования, либо высотой модели. Поэтому в формуле (2) число слоев не может быть менее 1. Несмотря на это, с помощью показателя P на этапе проектирования изделия можно оценить, насколько технологичным оно будет.

Рассматривая методы оценки производительности процесса селективного лазерного спекания, невозможно не заметить аналогии с любым другим 2,5-координатным методом формообразования,

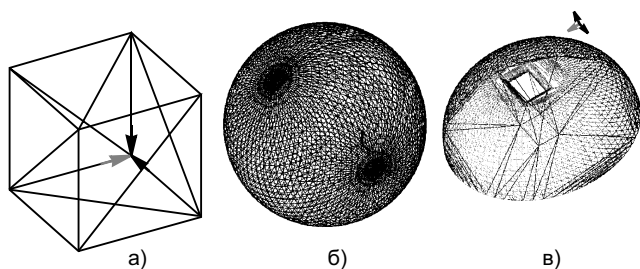


Рис. 6. Сравнительная оценка показателя технологичности: а—в — P равен 1, 0,785 и 0,750 соответственно

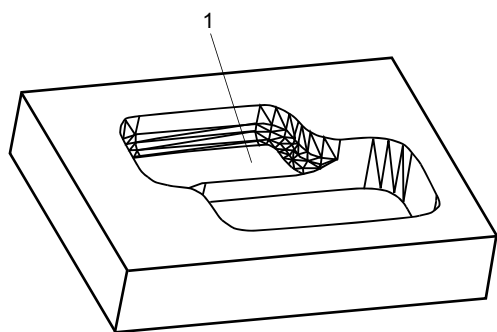


Рис. 7. Конструктивный элемент 1 заготовки, получаемый фрезерованием

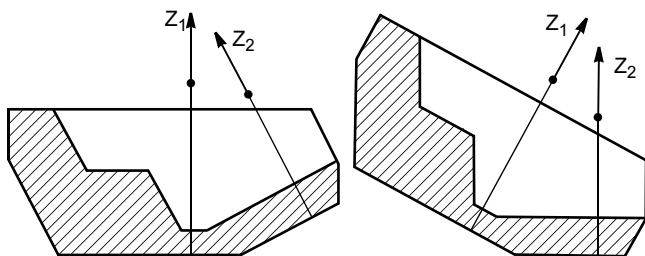


Рис. 8. Варианты ориентации заготовки относительно технологической оси z

например фрезерованием [3]. В обоих случаях поверхности изделия формируются одинаково, соответственно и способы повышения производительности данных методов должны пересекаться, а также должны быть схожими способы ее оценки.

Поскольку при 2,5-координатной обработке также требуется обеспечить максимальную точность при максимальной производительности, рекомендуется назначать переменную глубину обработки конструктивного элемента с учетом формы обрабатываемой поверхности. Возможность расчета траектории для подобных случаев должна присутствовать в САМ-системах, подготавливающих управляющие программы для 2,5-координатной обработки.

На примере 2,5-координатного фрезерования с переменной глубиной резания выражение (10) можно заменить следующим выражением для определения времени на обработку:

$$T = \frac{\Phi_{кз} \sqrt{1 - P^2}}{d_{ф} S_{м} h}, \quad (11)$$

где $\Phi_{кз}$ — объем конструктивного элемента, подлежащего обработке (рис. 7); $d_{ф}$ — диаметр фрезы; $S_{м}$ — минутная подача.

Значение показателя технологичности P зависит от направления технологической оси z (рис. 8). Это является следствием общеизвестного факта, что время обработки зависит от ориентации заготовки относительно системы координат технологического оборудования. При этом P может выступать в качестве целевой функции при оптимизации положения заготовки на станке с точки зрения минимизации затрат времени на обработку и предъявляемых требований к точности изделия.

Реализация алгоритма оценки показателя технологичности не представляет особых сложностей и не требует значительных затрат ресурсов ЭВМ, поскольку при визуализации трехмерных объектов в любой САПР используется триангуляция поверхностей с определением нормалей полигонов [2].

Таким образом, предложенный показатель является эффективным средством оценки технологичности поверхностей сложной формы на этапе конструирования изделий и может широко применяться в различных САД/САМ-системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малов И. Е. Технологии изготовления деталей с применением лазерных методов быстрого прототипирования // Технология машиностроения. 2005. № 10. С. 13—18.
2. Ли К. Основы САПР (САД/САМ/САЕ). Санкт-Петербург: Питер, 2004. 560 с.
3. Луценко М. А. Повышение производительности фрезерования 3D-поверхностей на станках с ЧПУ // Оборудование и инструмент для профессионалов. 2006. № 3. С. 36—39.

В. Г. ВДОВЕНКО, канд. техн. наук, В. Н. ПОТАПОВ, инж., С. А. ЧУЙКИН, канд. техн. наук
НПО "Техномаш"

Управление процессом электрохимической обработки деталей машин с применением принципов синергетики

В последнее время в связи с повышением требований к качеству изготавливаемых деталей машин начинают применять принципы синергетики в технологических процессах размерной обработки. Особенно это является актуальным для электрохимической размерной обработки¹.

Применение принципов синергетики позволит повысить качество обрабатываемых деталей при электрохимической размерной обработке и обеспечить их заданные эксплуатационные свойства.

Для определения возможности управления процессом электрохимической обработки (ЭХО) рассмотрим классическую схему электрохимической ячейки (рис. 1). Размерная электрохимическая обработка по сравнению с классической схемой ЭХО имеет отличия, связанные с ее параметрами (табл. 1).

Классификация процессов по отношению источника энергии к электрохимической ячейке устанавливает фундаментальную связь ЭХО с такими перспективными элементами систем терморегулирования (СТР), какими являются тепловые трубы (СТТ) (табл. 2). Поэтому получаемые результаты широко применяются при проектировании ТТ как объектов ЭХО.

ЭХО необходимо рассматривать с двух позиций. С одной стороны, это сложная взаимосвязь химических, электрохимических реакций, процессов массо-, энерго- и теплопереноса, электродных процессов и физических явлений, с другой — формообразование деталей со своими показателями и характеристиками (табл. 3).

Эффективность системы характеризуется степенью ее приспособленности к решению стоящих перед ней задач. Эффективной она будет тогда, когда требуемые показатели по параметрам точности, шероховатости и времени обработки будут получены при минимальных изменениях окружающей среды, минимальных затратах энергии и минимальном вредном воздействии. Для этого на систему при ее функционировании должны накладываться ограничения и управляющие процессом воздействия.

Смысл ограничений заключается в выполнении требований по параметрам точности, шероховатости и в меньшей степени по времени обработки. Проанализируем смысл управляющих воздействий.

Основные параметры обработки могут быть достигнуты, если система функционирует стабильно и ус-

тойчиво. Это должно обеспечиваться выбором $U_K \in U$ (U — множество управлений технологическим процессом), удовлетворяющих условиям $g_K \leq U_K \leq n_K$, где g_K, n_K ($K \in \overline{1, e}$) — границы возможных изменений величин (интенсивности) управлений или их структуры.

Рассмотрим особенности управления технологическим процессом. Для этого обратимся к условиям обеспечения стабильности и устойчивости технологической системы (ТС) заготовка—технологический процесс—изделие (ЗТПИ) применительно к электро-



Рис. 1. Схема электрохимической ячейки

Таблица 1

Параметр	Классическая ЭХО	Размерная ЭХО
Межэлектродный зазор δ	$\gg 1$ мм	$\ll 1$ мм
Скорость электролита $v_э$	~ 0	$\rightarrow \max$
Плотность тока $i, A \cdot \text{см}^2$	0,01—1,00	10—100
Динамическая касательная напряженность, $\tau_э$	~ 0	$\gg 0$

Таблица 2

Источник энергии						
Внешний		Внутренний				
Постоянный или переменный ток	ЭХО	Гетерогенность				
		металла	поверхности	жидкости	температур	фаз
	Анодные процессы	Электрохимические процессы в тепловых трубах				

Таблица 3

Параметры ЭХО		
Катод	Электролит	Анод
Геометрия Поверхность Движение	Конструкторско-технологические Технологические свойства	Поверхность
Материал и свойства поверхности	Физико-химические Состав и свойства; внешние воздействия; физико-химические реакции, состав и свойства продуктов реакции; процессы тепло-, массо-, энергопереноса	Материал и свойства поверхности

¹ Хейфец М. Л., Кожуро Л. М. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей. Гомель: ИЛМС НАНБ, 1999. 276 с.

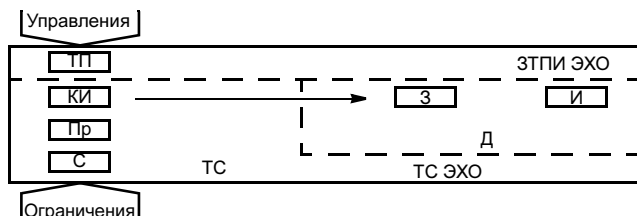


Рис. 2. Структура ЗТПИ ЭХО (КИ — катод-инструмент, Пр — приспособление, С — станок, Д — деталь, ТП — технологический процесс (ЭХО), З — заготовка, И — изделие)

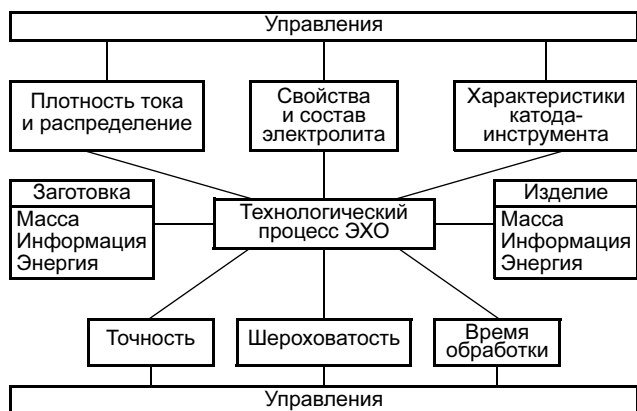


Рис. 3. Схема управления процессом размерной обработки

химической обработке деталей. Последние обозначают отображения множества показателей качества готового изделия. Определим звено ЗТПИ ЭХО, где возможны нарушения обратной связи. Для этого рассмотрим структурную схему (рис. 2).

Принципиальное различие между обработкой резанием и ЭХО заключается в агрегатном состоянии материала инструмента и, следовательно, возможности управления процессами (табл. 4).

Из табл. 3 следует, что задача управления процессом ЭХО — в большей части задача управления инструментом. Таким образом, задача обеспечения эффективности размерной ЭХО может быть выражена схемой (рис. 3).

В этом случае при исследовании закономерностей ЭХО с целью повышения технологических возможностей рассматривают отдельно взаимосвязь физико-химических характеристик процесса и пара-

метров точности. Изучают отдельные части системы ЭХО, тогда как нужно анализировать поведение всей системы. В технологии это трудно, а иногда и невозможно достичь. Для получения более общих закономерностей процесса используют системный подход.

До настоящего времени при проектировании оборудования и технологии ЭХО считалось, что следует использовать принцип дискретности и это приведет к повышению эффективности ЭХО. Для оценки эффективности был введен специальный критерий — степень дискретности выбранной схемы обработки μ , что привело к необходимости значительного усложнения схемы обработки.

На самом деле таким путем можно достичь лишь кажущейся (искусственной) устойчивости процесса. В этом случае система ЭХО находится в крайней левой части жизненного цикла. По мнению авторов, ЭХО не получила должного развития именно потому, что пошли по пути дискретности (сверхсложные схемы управления, сверхскоростные — снарядные скорости потока электролита и др.). Выход заключается в переходе к динамическому равновесию с помощью принципов синергетики.

Под синергетической (самоприспосабливающейся) системой понимают систему, которая сохраняет работоспособность при непредвиденных изменениях свойств управляемого объекта, целей управления или окружающей среды путем смены алгоритма функционирования или поиска оптимальных состояний. Чтобы наметить пути создания синергетической системы ЭХО, выясним возможные причины нарушения самоуправления. Причем главное внимание обратим на интенсивные параметры, поскольку поддержание их постоянства энергетически выгодно, дает больший эффект, чем управление системой через экстенсивные параметры.

Применительно к ЭХО экстенсивными параметрами являются объем, энергия, энтропия, зазор, длина, площадь. Интенсивные параметры — температура, давление, химический потенциал и др. Интенсивные параметры связаны с самоуправлением, степенью бесшламовости (полноты перевода затраченной энергии в полезную) и равномерностью

Таблица 4

Агрегатное состояние	Воздействие на обрабатываемую поверхность	Способ управления воздействием						
		Конструкция инструмента и материал	Локализация	Диэлектрическая локализация	Рассеивающая способность	Электрическое поле	Состав и свойства электролита	Выход по току
Твердое	Механическое	+						
Жидкое	Давление	+						
	Химическое травление	+	+					
	Электрохимическое травление	+	+	+				
	Катодное осаждение	+	+	+	+	+		
	Анодное растворение	+	+	+	+	+		
	Электрохимическая размерная обработка	+	+	+	+	+	+	+

распределения плотности тока. Таким образом, повышение эффективности ЭХО определяется степенью бесшламовости и самоуправления, поэтому логично ввести критерии бесшламовости η , адаптивности θ и распределенности χ .

Если вернуться к анализу схемы обеспечения эффективности размерной ЭХО, то переход массы заготовки в массу изделия управляется критерием бесшламовости η , изменение информации — критерием адаптивности θ , изменение энергии — критерием распределенности χ .

Бесшламовость определяется главным образом составом и свойствами электролита, адаптивность — водородом, его распределением и влиянием на плотность тока, а распределенность плотности тока — геометрией МЭЗа.

Таким образом, направлением исследований основных управлений эффективностью ЭХО являются стабилизация величины и распределения плотности тока и ионного состава электролита, а также конструктивно-технологическая стабилизация параметров процесса.

С. Н. КРИВОШАПКО, д-р техн. наук
Российский университет дружбы народов

Торсовые изделия, получаемые параболическим изгибанием тонких металлических заготовок

Торсовые поверхности, содержащие прямолинейные образующие, можно изготовить из плоской заготовки без разрывов и складок. Цилиндр и конус являются вырожденными торсовыми поверхностями. В научно-технической литературе [1] описан метод изготовления изделий в форме торсовых поверхностей путем качения конуса переменной геометрии по неподвижному аксиду — торсовой поверхности. Этот метод можно реализовать в виде высокопроизводительного процесса формообразования тонкостенной торсовой оболочки из листового материала способом вальцевания с сохранением постоянной толщины исходной заготовки. Торсовое изделие можно получить также непосредственным изгибанием (штамповкой) плоской заготовки, как это, например, делается при изготовлении плугов и отвалов. При этом не будут усаживаться или, наоборот, вытягиваться отдельные части изделий, а плавность поверхности имеет большое значение для отсутствия залипания отвалов [2]. При перечисленных способах изготовления происходит параболическое изгибание заготовки торсового изделия. Изгибание называется параболическим, если оно происходит с сохранением прямолинейных образующих срединной поверхности тонкой оболочки. Этот процесс применительно к изгибанию тонкой заготовки сопровождается появлением внутренних изгибающих моментов, которые создаются нормальными напряжениями, иногда достигающими предела текучести. Параболическим изгибанием можно получить торсовую поверхность из другой торсовой поверхности, если их ребра возврата в соответствующих точках имеют одну и ту же кривизну.

В 1995 г. на научной конференции РУДН была впервые предложена методика определения изги-

бающих и крутящих моментов, возникающих непосредственно в процессе параболического изгибания торсовых тонкостенных изделий [3]. Затем были опубликованы тезисы докладов различных научных конференций и статьи в сборниках трудов, где автор и его ученики сообщали о дополнительных результатах, полученных в процессе исследования параболического изгибания тонкостенных торсовых конструкций. В данной работе приведены результаты, полученные ранее и в последнее время.

Задачу определения внутренних изгибающих моментов, возникающих в процессе параболического изгибания тонкостенной торсовой оболочки, можно решить следующим образом. Исходная срединная поверхность и ее изгибание имеют одни и те же коэффициенты первой основной квадратичной формы, следовательно, тангенциальные относительные деформации ε_1 , ε_2 и ε_{12} равны нулю и, как следствие, внутренние нормальные и касательные (сдвигающие) усилия тоже будут равны нулю.

Из формул, впервые полученных Лявом, определяли изменения кривизны и кручения торсовой срединной поверхности:

$$\kappa_1 = \frac{1}{R'_1} - \frac{1}{R_1} + \frac{\varepsilon_1}{R_1} = 0, \kappa_2 = \frac{1}{R'_2} - \frac{1}{R_2} + \frac{\varepsilon_2}{R_2}, \kappa_{12} = 0, \quad (1)$$

где R_1 , R_2 , R'_1 , R'_2 — главные радиусы кривизны поверхности до и после изгибания соответственно. Если изгибание начинается с плоской заготовки, то $1/R_2 = 0$, кроме того, в любом случае $1/R'_1 = 1/R_1 = 0$, так как предполагается параболическое изгибание,

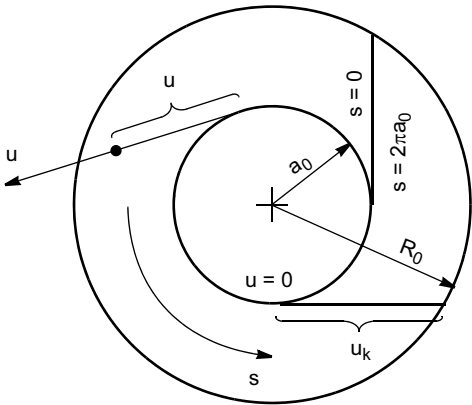


Рис. 1. Круглая кольцевая заготовка с внутренним a_0 и внешним $R_0 = \sqrt{a_0^2 + u_k^2}$ радиусами

т. е. изгибание с сохранением прямолинейных образующих торсовой срединной поверхности.

Изгибающие M_1, M_2 и крутящие H моменты для полученной изгибанием торсовой оболочки в линиях кривизны можно вычислить по формулам закона Гука в теории оболочек:

$$\begin{aligned} M_2 &= D(\kappa_2 + \nu\kappa_1) = D\kappa_2 = M_s; \\ M_1 &= D(\kappa_1 + \nu\kappa_2) = D\nu\kappa_2 = \nu M_2; \\ H &= M_{su} = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где D — жесткость оболочки на изгиб, равная $Eh^3/[12(1 - \nu^2)]$; ν — коэффициент Пуассона; h — толщина оболочки.

Применяя формулы перехода от моментов в линиях кривизны к моментам M_u, M_s, M_{us} для неортогональной системы криволинейных координат u, s , находим

$$\begin{aligned} M_u &= M_2 \cos^2 \chi + M_1 \sin^2 \chi; \quad M_s = M_2; \\ M_{us} &= (M_1 - M_2) \sin \chi \cos \chi, \end{aligned} \quad (3)$$

где χ — угол между координатными линиями u, s .

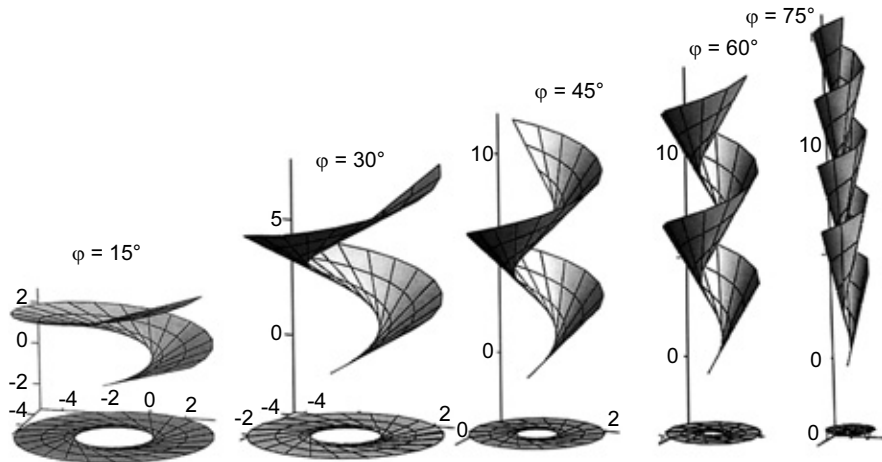


Рис. 2. Торсы-геликоиды, полученные из одной и той же плоской кольцевой заготовки при $a_0 = 2$ м, $0 \leq s \leq 2\pi a_0$, $0 \leq u \leq u_k$, $u_k = 4,5$ м

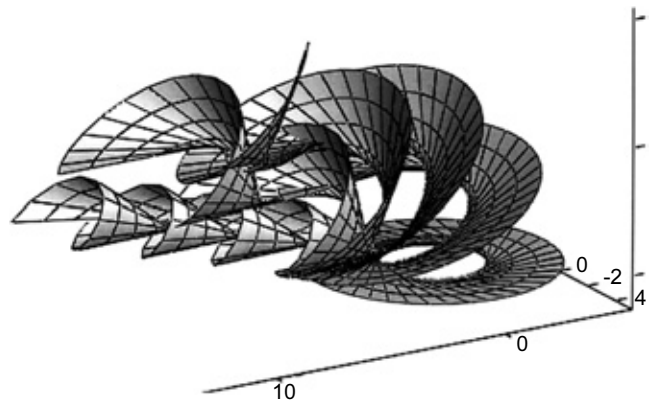


Рис. 3. Параболическое изгибание плоской кольцевой заготовки в торсы-геликоиды с разными углами наклонов φ прямых образующих и одной неподвижной прямой стороной $s = 0$

Проиллюстрируем применение приведенных формул на конкретных примерах.

Пусть требуется круглую кольцевую заготовку (рис. 1) с внутренним радиусом a_0 , которая разрезана вдоль касательной к внутреннему контуру, изогнуть в винтовую торсовую поверхность (торс-геликоид), задаваемую параметрическими уравнениями

$$\begin{aligned} x &= x(u, s) = a_0 \cos^2 \varphi \left(\cos \frac{s}{m} - \frac{u}{m} \sin \frac{s}{m} \right); \\ y &= y(u, s) = a_0 \cos^2 \varphi \left(\sin \frac{s}{m} + \frac{u}{m} \cos \frac{s}{m} \right); \\ z &= z(u, s) = (s + u) \sin \varphi, \quad m = a_0 \cos \varphi, \end{aligned} \quad (4)$$

где $|u|$ — расстояние от внутреннего кольцевого контура до соответствующей точки поверхности, взятое вдоль прямой образующей; s — длина дуги внутреннего контура, причем $0 \leq s \leq 2\pi a_0$; φ — угол наклона прямых образующих торса-геликоида. С учетом уравнений (4) можно построить все семейство торсов-геликоидов (рис. 2), получаемых параболическим изгибанием одной и той же плоской кольцевой заготовки, приведенной на рис. 1.

Процесс параболического изгибания кольцевой области в торсы-геликоиды, приведенные на рис. 2, происходит с одновременным перемещением всех ее четырех сторон.

Параболическое изгибание торса-геликоида в другой торс-геликоид или кольцевой области в торс-геликоид можно провести и при условии, что одна прямолинейная сторона ($s = 0$) при изгибании будет оставаться в неподвижном исходном положении. В этом случае параметрические уравнения торсов-геликоидов (рис. 3), получаемых параболическим из-

гибанием одной и той же кольцевой области (см. рис. 1), будут иметь вид

$$\begin{aligned}
 x &= x(u, s) = \\
 &= a_0 \cos^2 \varphi \left(\cos \frac{s}{m} - \frac{u}{m} \sin \frac{s}{m} \right) + a_0 \sin^2 \varphi', \\
 y &= y(u, s) = \\
 &= a_0 \cos^3 \varphi \left(\sin \frac{s}{m} + \frac{u}{m} \cos \frac{s}{m} \right) + (s + u) \sin^2 \varphi; \quad (5) \\
 z &= z(u, s) = \\
 &= (s + u) \sin \varphi \cos \varphi - a_0 \cos^2 \varphi \sin \varphi \left(\sin \frac{s}{m} + \frac{u}{m} \cos \frac{s}{m} \right).
 \end{aligned}$$

Изделия, содержащие торсовые винтовые поверхности (см. рис. 2), могут быть использованы в качестве винтовых якорных и анкерных опор, винтовых конвейеров, шнеков, спусков для транспортировки насыпных и штучных грузов, а также винтовых компрессоров, рабочих лопастей паровых, газовых и гидротурбин. Однако большинство исследователей разрабатывают методы расчета только для прямых или реже для косых геликоидов, в то время как напряженно-деформированное состояние развертывающихся геликоидов изучается только в Российском университете дружбы народов.

Пусть торсовая винтовая оболочка с углом наклона прямолинейных образующих $\varphi_2 = 5^\circ$ изготовлена изгибанием из плоской стальной кольцевой заготовки ($\varphi_1 = 0^\circ$) толщиной $h = 2$ мм. Примем для стали $\nu = 0,3$, модуль упругости $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа, предел текучести $\sigma_y = 245$ МПа. Главные кривизны $k_i = 1/R_i$ поверхности развертывающегося геликоида

$$k_1 = k_u = 0; k_2 = \operatorname{tg} \varphi_2 / u.$$

Из формул (1) определим

$$\kappa_1 = 0; \kappa_2 = 1/R_2' - 1/R_2 = (\operatorname{tg} \varphi_2 - \operatorname{tg} \varphi_1) / u; \kappa_{12} = 0.$$

Тогда изгибающие и крутящие моменты для полученного изгибанием геликоида в линиях кривизны можно вычислить по формулам (2):

$$M_2 = D(\operatorname{tg} \varphi_2 / u) = M_s; M_1 = \nu M_2; H = M_{su} = 0. \quad (6)$$

Эпюры изгибающих моментов приведены на рис. 4, где горизонтальной линией отмечено значение изгибающего момента

$$M_y = \sigma_y h^2 / 6 = 163 \text{ Н} \cdot \text{м/м},$$

при котором в материале возникают нормальные напряжения, равные пределу текучести σ_y .

Используя формулы перехода (3) от моментов в линиях кривизны к моментам для неортогональной системы криволинейных координат u, s , наибо-

лее часто применяемой для развертывающегося геликоида, определим

$$\begin{aligned}
 M_s &= D \frac{\operatorname{tg} \varphi_2 - \operatorname{tg} \varphi_1}{u}; \\
 M_u &= \left(1 + \nu \frac{u^2}{a_0^2} \right) \frac{M_s}{B^2}; \quad (7) \\
 M_{us} &= -\frac{u(1-\nu)}{a_0 B^2} M_s; M_{su} = 0,
 \end{aligned}$$

где B_2 — коэффициент первой квадратичной формы поверхности, равный $(dr/ds)^2 = 1 + u^2/a_0^2$; $r(u, s)$ — радиус-вектор произвольной точки на срединной поверхности торса-геликоида (4). Из формул (7) следует, что

$$M_s = M_s(u); M_u = M_u(u); M_{us} = M_{us}(u).$$

Формулы (2) и (7) позволяют определять изгибающие и крутящие моменты, возникающие при параболическом изгибании упругой заготовки в форме развертывающегося геликоида с $\varphi = \varphi_1$ в развертывающийся геликоид с $\varphi = \varphi_2$. Если исходная заготовка — разрезанная плоская кольцевая пластинка, то необходимо принять $\varphi_1 = 0$.

Из формул (6) и (7) также следует, что в зоне винтового внутреннего контура ($u = 0$) сразу же после начала процесса изгибания возникают пластические деформации ($M_u = M_s = \infty$).

Наличие формул (4), (5) позволяет методами дифференциальной геометрии определить вектор упругого смещения $\bar{U}(u, s) = r_u u_u / A + r_s u_s / B + n u_z$

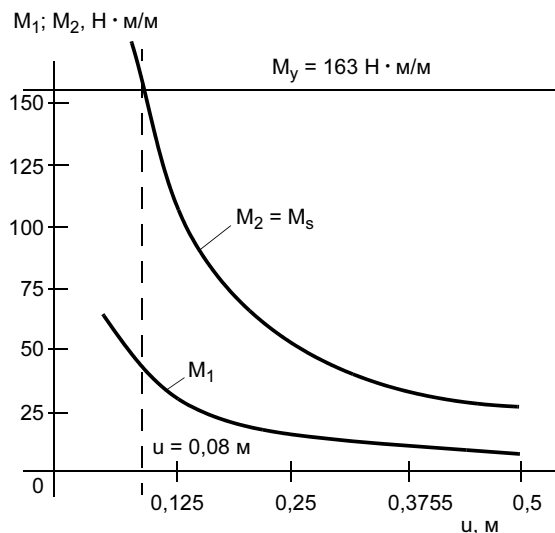


Рис. 4. Эпюры изгибающих моментов, возникающих при изгибании кольцевой заготовки в торс-геликоид с $\varphi = 5^\circ$

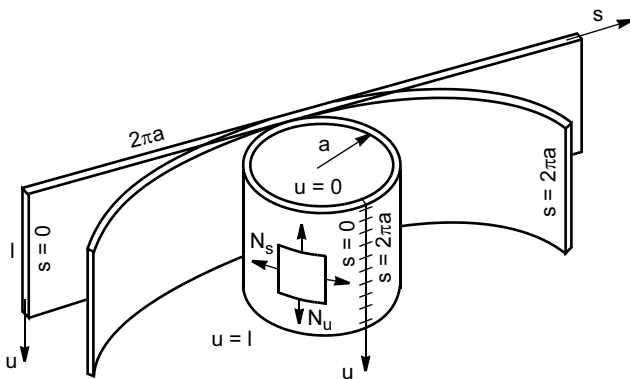


Рис. 5. Параболическое изгибание плоской заготовки в круговые цилиндры

и его компонентов u_u, u_s, u_z при изгибании торса-геликоида в торс-геликоид с другим углом наклона его прямолинейных образующих [4].

Рассмотрим наиболее часто встречающийся в практике случай. Пусть тонкая пластинка размером $l \times 2\pi a$ каким-либо способом изгибается в круговой цилиндр радиусом a (рис. 5). В этом случае формулы (1) примут вид

$$\kappa_1 = \kappa_u = 0; \kappa_2 = \kappa_s = 1/a; \kappa_{us} = 0.$$

Согласно закону Гука (2),

$$M_u = -D\nu/a; M_s = -D/a; Q_u = Q_s = 0. \quad (8)$$

Формулы (8) показывают, что для параболического изгибания необходимо соблюдать два условия: первое — на торцах цилиндра $u = 0$ и $u = l$ возникают изгибающие моменты M_u , следовательно, на этих торцах нужно обеспечить заделку, в противном случае образуется не цилиндр, а бочкообразная оболочка; второе — соединить "склеиванием" торцы $s = 0$ и $s = 2\pi a$ или же в месте стыка обеспечить соединение типа заделки для восприятия изгибающего момента M_s .

Примем для исходного плоского стального листа $\nu = 0,3, E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа, $h = 0,002$ м, $\sigma_y = 245$ МПа. Тогда жесткость оболочки на изгиб $D = 150,9$ Н·м, а изгибающий момент, при котором появляются нормальные напряжения, равные пределу текучести, равен $M_y = 163$ Н·м/м. На рис. 6 приведена зависимость изгибающего момента M_s от радиуса a , полученного изгибанием цилиндра. Точка пересечения горизонтальной линии $M_y = 163$ Н·м/м и зависимости $M_s(a)$ позволяет определить минимальный радиус цилиндра, при изготовлении которого изгибанием не будут появляться пластические деформации.

Проведенное исследование является задачей определения напряженного состояния оболочки с уче-

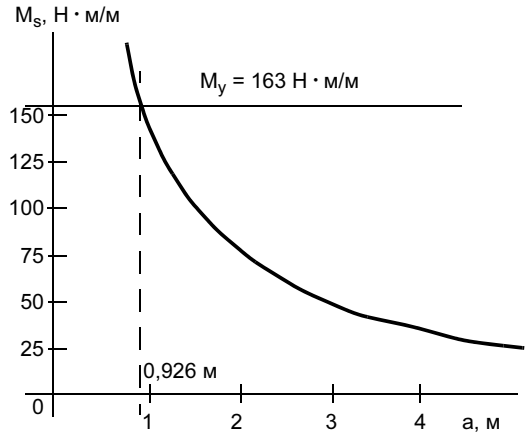


Рис. 6. Зависимость изгибающего момента M_s от радиуса цилиндра a

том очень больших перемещений и очень малых тангенциальных относительных деформаций.

Желательно решить эту задачу и другими методами для получения альтернативных результатов. Например, используя точные аналитические формулы для вычисления перемещений от параболического изгибания торса-геликоида, приведенные в работе [4], и применяя геометрические и физические уравнения геометрически линейной или лучше нелинейной теории оболочек, можно вычислить изгибающие и крутящие моменты и сравнить эти результаты с приведенными в данной работе. В работе [5] описана серия экспериментов по изгибанию медных пластин толщиной 5 мм в цилиндрические оболочки, по результатам которых построены кривые. Однако не описывается, каким образом производилось изгибание, поэтому сравнивать экспериментальные результаты из работы [5] с теоретическими, получаемыми по формулам (8), необходимо с определенной долей осторожности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мартиросов А. Л., Баринов В. В., Рачковская Г. С. Качение конуса переменной геометрии. Ростов-на-Дону: РИСИ, 1990. 10 с.
2. Хмеленко А. С. Поверхность давления в конструировании рабочих органов глубоких рыхлителей // Прикладная геометрия и инженерная графика. Киев, 1986. Вып. 41. С. 70—71.
3. Кривошапко С. Н. Некоторые геометрические соотношения для исследования НДС тонких торсовых оболочек // Тез. докл. XXXI науч. конф. Ч. 1. Математические секции. М.: РУДН, 1995. С. 17.
4. Кривошапко С. Н. Компоненты вектора упругого смещения при изометрическом изгибании торса-геликоида // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. М.: МБК "Биоконтроль", 1995. Вып. 5. С. 68—72.
5. Кохан Л. С., Морозов Ю. А. Исследование деформации при изгибе листового материала // Состояние, проблемы и перспективы развития металлургии и обработки металлов давлением. М.: МГВМИ, 2003. Вып. 3. С. 90—91.

СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Н. Я. СМОЛЬНИКОВ, д-р техн. наук, Г. Г. СКРЕБНЕВ, канд. техн. наук
Волгоградский государственный технический университет

Червячные фрезы для передач Новикова с модифицированным профилем зубьев

В металлообрабатывающей промышленности широко применяются червячные фрезы различного назначения. Режущие зубья таких фрез работают в тяжелых условиях стесненного стружкообразования (в процессе срезания слоя одновременно участвуют несколько смежных режущих кромок) с низкими режимами резания в результате.

Из-за сложных условий стружкообразования интенсивно изнашиваются зубья стандартных червячно-модульных фрез. Срезаемый зубом фрезы слой имеет сложную коробчатую форму (рис. 1).

Входная кромка зуба фрезы CD срезает самый толстый слой (толщиной $a_{вх}$), немного меньшей толщины слой срезается вершинной кромкой BC ($a_{вер}$) и в несколько раз тоньше (в 5—10 раз) толщина слоя, срезанного выходной кромкой ($a_{вых}$).

Известно, что износ задних поверхностей инструмента возрастает с увеличением толщины срезаемых слоев. Однако наблюдения

за изнашиванием зубьев червячно-модульных фрез показали, что износ задних поверхностей зуба фрезы обратно пропорционален толщине срезаемых слоев соответствующих режущих кромок: максимально изнашивается задняя грань выходной режущей кромки, меньше — входной, а вершинной — изнашивается незначительно (рис. 2).

Это несоответствие величины износа и толщин срезаемых слоев обусловлено сложными условиями стружкообразования, когда в резании одновременно участвуют несколько смежных режущих кромок, образующих полузамкнутый профиль. Толстый и широкий слой, срезанный входной кромкой CD , стремясь сходить нормально к кромке, отклоняет такой же толстый, но короткий слой, срезанный вершинной кромкой BC в сторону выходной кромки. Этот толстый слой и образовавшаяся монолитная толстая стружка отклоняют очень тонкий слой, срезанный выходной

кромкой, и образовавшуюся тонкую стружку к основанию зуба.

В результате этого выходной слой получает кроме деформации сдвига в плоскости сдвига еще и дополнительную деформацию сдвига вдоль режущей кромки и деформацию смятия торца стружки, смежного с вершинным слоем. Чрезмерная деформация выходного слоя сопровождается значительным увеличением удельного давления как на переднюю, так и заднюю грани выходной кромки, что ведет к механическому износу.

Подобные условия стружкообразования сопутствуют и работе червячных фрез для зубчатых колес передач Новикова (рис. 3).

Входная CD и вершинная BC стороны криволинейной режущей кромки зуба фрезы срезают слой значительно большей толщины, чем участок выходной стороны AB . Толстый слой образует монолитную стружку, каждый элементарный участок которой, стремясь сходить нормально к элементарному уча-

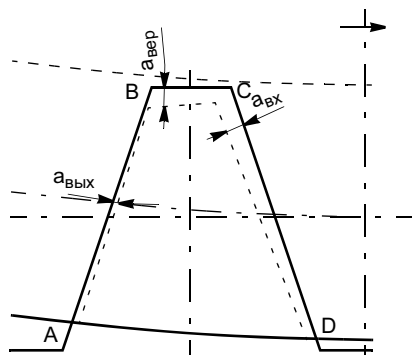


Рис. 1. Форма срезаемых слоев при зубофрезеровании стандартной червячно-модульной фрезой

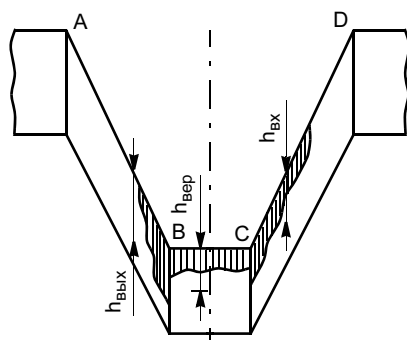


Рис. 2. Износ зубьев стандартной червячно-модульной фрезы

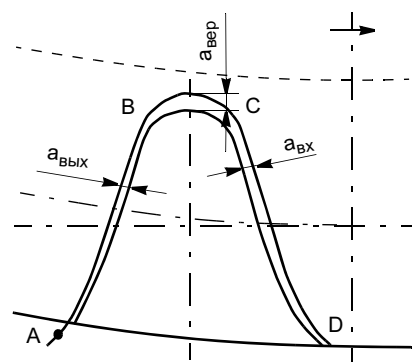


Рис. 3. Форма срезаемых слоев червячной фрезой для колес зацепления Новикова

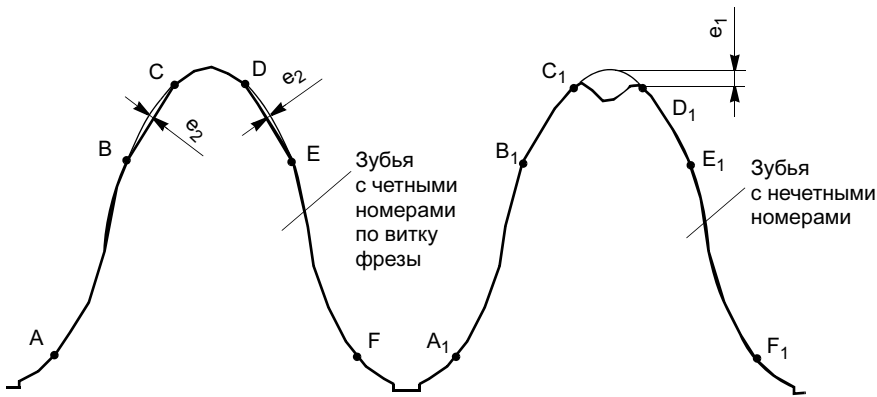


Рис. 4. Профиль зубьев в нормальном сечении фрезы с измененной схемой резания

стку режущей кромки, воздействует на соседний участок, отклоняя его в сторону выходной стороны зуба. Так как выходная кромка AB срезает очень тонкий слой, то он не может препятствовать сходу монолитной стружки, а потому эта стружка сильно отклоняется от своего направления схода, дополнительно значительно деформируясь. А это является причиной более интенсивного износа выходной стороны задней грани зуба фрезы на участке сопряжения входной и вершинной кромок (в области точки B).

Для снижения интенсивности изнашивания выходной стороны зуба червячной фрезы в Волгоградском ГТУ разработаны несколько схем резания червячно-модульными фрезами за счет модификации профиля их зубьев. В основу новых схем резания положен принцип разделения сложного срезаемого слоя на элементарные так, чтобы стружки от каждого элементарного участка режущей кромки сходили свободно, не мешая друг другу и дополнительно не деформируясь. Условия стружкообразования упрощены до условий свободного резания, поэтому устраняется дополнительная деформация срезаемых слоев и, как результат, устраняются причины интенсивного изнашивания выходных сторон зубьев фрезы. Таким образом повышается стойкость фре-

зы, а это — резерв повышения производительности зубофрезерования. Результаты внедрения таких фрез¹ показали, что их стойкость в 1,5—4,0 раза выше стандартных. Анализ профиля зубьев фрез для колес зацепления Новикова показывает, что их профиль, в отличие от профиля зубьев червячно-модульных фрез, не имеет резких переломов режущей кромки. Поэтому такие фрезы в сопоставимых условиях зубонарезания имеют повышенную стойкость по сравнению с червячно-модульными фрезами стандартного профиля.

Применительно к фрезам для цилиндрических колес передач Новикова предлагается следующая модификация профиля зубьев фрезы (рис. 4).

На фрезе со стандартным профилем (ГОСТ 16771—81) на одних зубьях, например нечетных, считая по витку, выполняют на вершине канавку (см. рис. 4), чтобы исключить из резания вершинный участок криволинейной режущей кромки, а на других зубьях (четных) — фаски (лыски — участки BC и DE) на обоих боковых сторонах зуба в привершинной зоне зуба фрезы. Такая модификация приводит к следующим условиям стружкообразования. Общий слож-

ный срезаемый слой полузамкнутой формы разделяется на участки упрощенной формы. Участки AB и EF режущей кромки четных зубьев срезают слои вогнутой формы, но сходящиеся от них стружки не встречаются и не мешают сходу друг друга. И участки CD этих зубьев срезают тоже более простые слои. То есть эти зубья срезают слои тремя участками режущей кромки: AB , CD и EF . Эти участки не являются смежными. Участки BC и DE из резания исключаются за счет занижения на величину e_2 , равную толщине срезаемого слоя этим участком зуба фрезы стандартного профиля.

Зубья с нечетными номерами срезают слои боковыми сторонами — участками кромки A_1C_1 и D_1F_1 . Эти участки не смежные, они прерываются канавкой. Поэтому условия стружкообразования облегчаются по сравнению с фрезерованием зуба стандартного профиля, но являются сложнее, чем условия для четных зубьев: длиннее криволинейные участки режущих кромок. Кроме того, участок CD четных зубьев срезает слои удвоенной толщины по сравнению с тем же участком зубьев стандартного профиля, так как предыдущий зуб этим участком слой не срезал. И участки B_1C_1 и D_1E_1 нечетных зубьев также срезают слои удвоенной толщины. Это не приведет к увеличению износа задних граней этих участков, так как на этих участках значительно большие задние углы, чем на остальных участках режущей кромки зуба.

Проведенные в ПО "Ижнефтемаш" производственные испытания фрез ($m = 8$ мм) для цилиндрических колес передач Новикова показали, что стойкость фрез с предложенной измененной схемой резания выше стойкости стандартных фрез на 30 %, а при одинаковой стойкости производительность зубонарезания за счет повышения подачи может быть увеличена в 1,5 раза.

¹ Медведев С. Н. Высокопроизводительное зубонарезание фрезами. М.: Машиностроение, 1981. 104 с.

В. Ф. ГУБАНОВ, канд. техн. наук
Курганский государственный университет

Выглаживатели с повышенной износостойкостью

Как известно, одной из проблем при выглаживании деталей является износ рабочей части инструмента, так как даже микрометрический износ индентора приводит к резкому увеличению высотных параметров шероховатости выглаженной поверхности и ухудшению внешнего вида обработанной детали, что недопустимо в случаях отделочной и отделочно-упрочняющей обработки выглаживанием [1]. Поэтому повышение износостойкости выглаживателей является важной научной и практической задачей, которую можно решить в том числе за счет модернизации классических конструкций инструментов.

Недостатком классических конструкций выглаживателей [2] является хрупкое состояние рабочей части индентора (например при применении в качестве инструментальных материалов твердых сплавов) в начальный период обработки, что неблагоприятно сказывается на стойкости инструмента, так как в первые минуты выглаживания происходит разогрев рабочей части индентора, сопровождающийся износом, характерным для хрупкого разрушения инструментального материала [3].

Предварительный подогрев рабочей части инструмента позволяет повысить стойкость выглаживателя. Это связано с принудительным выводом инструментального материала из хрупкого состояния в хрупко-пластическое, что позволяет работать с большими нагрузками по сравнению с хрупким состоянием [3].

На рис. 1 приведена конструкция выглаживателя с предварительным подогревом рабочей час-

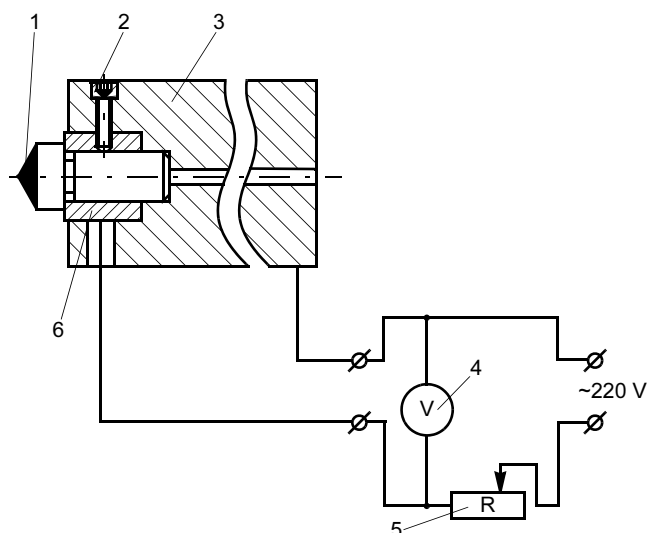


Рис. 1. Выглаживатель с предварительным подогревом рабочей части

ти¹, включающая индентор 1, винт 2, державку 3, вольтметр 4, трансформатор 5 и нагревательный элемент 6. Нагревательный элемент, изолированный по базовым поверхностям от контакта с державкой и винтом, может состоять из токопроводящего титанового основания и полупроводникового слоя, при этом постоянный электрический ток, проходя через полупроводниковый слой, нагревает твердосплавный индентор [4]. При помощи винта индентор закрепляется в нагревательном элементе, установленном в державке. К нагревательному элементу и державке подключается электрическая цепь, в состав которой входят вольтметр и трансформатор.

Выглаживатель с предварительным подогревом рабочей части функционирует следующим образом. Выглаживатель закрепляют в резцедержателе таким образом, чтобы он был электрически изолирован от резцедержателя. В электрическую цепь подается напряжение, величина которого задается трансформатором и регистрируется вольтметром. Нагрев индентора осуществляется благодаря эффекту термоэдс, возникающему в месте контакта нагревательного элемента и индентора. После нагрева рабочей части индентора до требуемой температуры, которая косвенно определяется по вольтметру (для конкретного инструментального материала показания вольтметра предварительно соотносятся с температурой нагрева рабочей части индентора), заканчивается подвод напряжения, выглаживатель подводится к обрабатываемой поверхности и начинается процесс обработки.

Следующий инструмент², приведенный на рис. 2, предназначен для выглаживания при использовании способа обработки, описанного в работе [5].

Конструкция сферического выглаживателя для обработки наружных поверхностей деталей — тел вращения включает в себя следующие элементы: индентор со сферической рабочей частью 1, винт 2, вал 3, регулировочную гайку 4, державку 5, муфту 6, электродвигатель 7, два радиально-упорных подшипника 8.

При помощи винта индентор закрепляют в центральном отверстии вала. Вал устанавливается в радиально-упорных подшипниках, расположенных в полости державки, которая имеет в своей конструкции элемент для ее закрепления в резцедержателе станка. Посредством регулировочной гайки, закрученной в полость державки, осуществляется

¹ Патент 58065 (РФ).

² Патент 63282 (РФ).

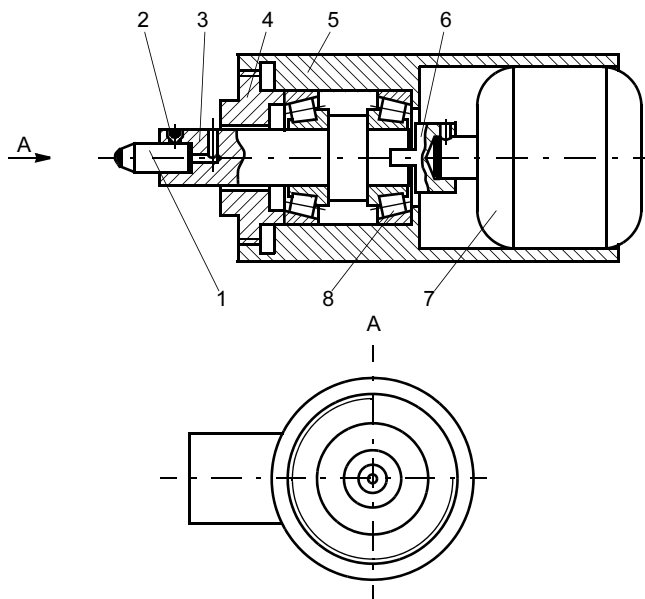


Рис. 2. Сферический шлифовальный круг для обработки наружных поверхностей деталей — тел вращения

регулировка радиально-упорных подшипников. Вал соединен муфтой с электродвигателем.

Сферический шлифовальный круг для обработки наружных поверхностей деталей — тел вращения работает следующим образом. Шлифовальный круг выставляют ниже (или выше) оси центров токарного станка. При его движении на рабочей подаче от

электродвигателя валу с установленным в нем индентором передается принудительное вращательное движение посредством муфты. Данная конструкция способствует более равномерному износу рабочей части индентора вследствие его принудительного вращения с некоторой постоянной заранее заданной частотой.

Таким образом, рассмотренные конструкции шлифовальных кругов позволяют повысить износостойкость рабочей части индентора и осуществить оптимальный с точки зрения себестоимости и гарантированного обеспечения качества процесс шлифования с жестким закреплением инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обеспечение требуемого качества поверхностей деталей на основе управления динамической системой процесса шлифования: Учеб. пособие / В. П. Кузнецов, В. Г. Горгоц, В. Ф. Губанов и др. Старый Оскол: Изд-во ООО "Тонкие наукоемкие технологии", 2006. 100 с.
2. Торбило В. М. Алмазное шлифование. М.: Машиностроение, 1972. 104 с.
3. Артамонов Е. В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов. Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. 192 с.
4. Артамонов Е. В., Трифонов В. Б., Чуйков Р. С. Повышение работоспособности режущих сменных твердосплавных пластин посредством их предварительного нагрева: Учеб. пособие. Тюмень: Изд-во "Нефтегазовый университет", 2005. 100 с.
5. Губанов В. Ф., Орлов В. Н., Маслов Д. А. Новый способ финишной обработки давлением // Технология машиностроения. 2005. № 12. С. 20—21.

Г. А. РАСТОРГУЕВ, д-р техн. наук, В. В. СОЛОВЬЕВ, канд. техн. наук
Российский университет дружбы народов

Надежность станочных систем и стабильность технологических процессов в машиностроении

Станочной системой в обобщенном виде называют совокупность технологического (металлорежущего) и вспомогательного (установленного в порядке реализации технологического процесса или произвольно) оборудования, объединенного единой системой управления, автоматическими механизмами и устройствами для транспортирования заготовок, изделий, разделения и соединения их потоков, накопления заделов, изменения ориентации и удаления отходов, предназначенную для изготовления (сборки) заданной номенклатуры изделий [1]. Станочные системы широко применяют

в различных отраслях машиностроения для механической обработки, сборки, термической обработки и других технологических процессов.

Развитие современных станочных систем характеризуется такими тенденциями, как увеличение степени автоматизации, рост рабочих параметров и нагрузок, возможность быстрой переналадки, повышение эффективности их работы. Усложнение конструкций машин, входящих в станочные системы, накладывает дополнительные требования по обеспечению надежности, безотказности и долговечности.

В условиях рыночной экономики проблема надежности выходит на одно из первых мест в рейтинге приоритетов. ненадежная станочная система из-за повреждения отдельных элементов и нестабильный технологический процесс вследствие снижения качественных показателей ниже допустимого уровня могут привести к значительным материальным убыткам, а в некоторых случаях и к катастрофическим последствиям. Из-за жесткой конкурентной борьбы на рынке технологического оборудования компании-производители вынуждены уделять вопросам надежности продукции повы-

шенное внимание. На прошедшей в Москве международной выставке "Технофорум—2007" был проведен опрос около трехсот респондентов (потенциальных покупателей). Им был задан один и тот же вопрос: какой критерий вы считаете определяющим при покупке оборудования? Около 40 % поставили на первое место технические показатели, 32 % — стоимость, 27 % — надежность. Далее — на четвертом месте — уникальность (15 %) и дизайн (12 %). Как видно, факторы стоимости и надежности имеют примерно равную приоритетность, но для производителя оборудования имеют противоречивое значение. Можно разработать и изготовить оборудование с довольно высокими показателями надежности, но при этом затраты на изготовление и соответственно стоимость возрастут во много раз. Для обеспечения конкурентоспособности предприятию-изготовителю необходимо проводить маркетинговые исследования и выдерживать баланс между требуемой на рынке надежностью и стоимостью продукции.

Основная трудность при оценке надежности станочных систем состоит в использовании методов и источников, которые позволили бы прогнозировать с достаточной достоверностью поведение станочных систем и функционирование технологических процессов в различных условиях эксплуатации.

Стабильность функционирования технологических процессов (ТП) однозначно зависит от надежной работы станочных систем. На современном этапе развития технологической науки оценка стабильности и надежности технологических процессов носит субъективный (экспертный) характер. В многочисленных работах при оценке надежности ТП основной акцент делается на обеспечение качества продукции без учета производительности и вероятности отказов станочных систем. В результате внедрения ТП проек-

ная себестоимость изготовления может существенно отличаться от реальной.

Отказы функционирования ТП приведены в обобщенной структурно-логической схеме на рис. 1 [2]. Как видно из схемы, возникают две группы отказов: приводящие к низкому качеству продукции и снижению производительности.

Первая группа отказов, возникающая вследствие низкой надежности станочных систем, является определяющей. Возможность определения надежности станочных систем на стадии проектирования и стабильности технологических процессов производства повышает конкурентоспособность выпускаемой продукции.

Проблема повышения надежности станочных систем и стабильности технологических процессов, как и других сложных систем, — комплексная. Надежность системы закладывается на этапе проектирования и поддерживается в процессе эксплуатации. Поэтому необходимо выявление причинно-следственных связей между показате-

лями надежности и возможностями их повышения на каждом из этапов проектирования, изготовления опытного образца, серийного производства и эксплуатации.

Этап 1. Проектирование и разработка конструкторской документации. Научные исследования [3, 4] и опыт разработки рациональных компоновок конкурентоспособного технологического оборудования позволяют установить основные принципы, обеспечивающие нормированные показатели надежности (ГОСТ 27.002—83, [5]) (нормы надежности универсальных станков в отечественном станкостроении (табл. 1) и классы надежности технологических систем в зависимости от последствий отказов (табл. 2):

— минимизация числа сборочных узлов и единиц при обеспечении заданных функциональных требований;

— компоновочное решение и структура разрабатываемого оборудования должны предусматривать максимальное применение однотипных агрегатов, узлов, эле-



Рис. 1. Структурно-логическая схема отказов функционирования технологических процессов

ментов (желательно унифицированных);

— применение резервных устройств и средств, сохраняющих работоспособность машины при отказе одного или нескольких элементов (структурное резервирование);

— дублирующая проверка расчетных схем наиболее ответственных узлов путем физического и макетного моделирования;

— ограничение числа "новых" элементов (устройств, материалов, комплектующих и т. п.), не

имеющих достаточного подтверждения по требуемым показателям надежности;

— применение автоматических средств защиты при возникновении экстремальных (или аварийных) ситуаций;

— функциональное резервирование в сложных станочных системах, в которых отдельные элементы или узлы обладают способностью принимать на себя функции других отказавших элементов на время восстановления их работоспособности без существенного снижения технико-экономических показателей;

— временное резервирование, заключающееся в образовании для отдельных устройств некоторого дополнительного времени, которое может быть использовано для восстановления функционирования станочной системы без появления временных разрывов (например, создание запаса мощности, избыточной производительности и т. п.).

Этап 2. Организационно-техническая подготовка производства. На этом этапе выполняют комплекс работ, обеспечивающих готовность предприятия к выпуску нового оборудования заданного качества в установленные сроки. Разрабатывают технологическую документацию, изготавливают опытные образцы и необходимую технологическую оснастку. Проводят конструкторско-технологическую доводку опытного образца до заданных показателей надежности. Приемочные испытания опытных образцов производят по проектным техническим условиям (ПТУ) разработчика конструкторской документации. Из всей номенклатуры показателей надежности технологических систем (табл. 3) [5] в ПТУ разработчики вносят, как правило, один-два показателя.

В основном это показатели ресурса и срока службы. Это объясняется тем, что для установления проектных значений большинства показателей надежности необхо-

Таблица 1

Группа станков	Класс точности (ГОСТ 8-82Е)	Масса станка, т	Ресурс по точности T_p , тыс. ч	Наработка на отказ T_o , тыс. ч
Токарные, револьверные, фрезерные, сверлильные, расточные	Н, П	<10 >10	46 50	1,0 1,1
	В, А, С	<10 >10	46 50	1,0 1,1
Шлифовальные	П, В, А	<10	43	0,9
		>10	46	

Таблица 2

Класс надежности	Допустимое значение вероятности безотказной работы	Последствие отказа	Примеры
0	<0,9	Без значительных последствий	Элементы станка, не влияющие на качество и производительность
1	>0,9	Экономические потери	Станки нормальной и повышенной точности
2	>0,99	Значительный экономический ущерб	Прецизионные станки для финишной обработки. Станки или станочные модули в автоматических станочных системах для изготовления прецизионных деталей
3	>0,999		
4	>0,9999	Катастрофические (изготовление ответственной детали с дефектом)	Станки или станочные модули в автоматических станочных системах для изготовления прецизионных деталей
5	1	Прекращение функционирования	Все виды оборудования, входящие в технологические системы

Таблица 3

Свойство надежности	Единичный показатель надежности	Обозначение
Безотказность	Вероятность безотказной работы Средняя наработка до отказа Гамма-процентная наработка до отказа Средняя наработка на отказ Интенсивность отказов Параметр потока отказов	$P(t)$ T_{cp} T_γ T_o $\lambda(t)$ $\omega(t)$
Долговечность	Средний ресурс Гамма-процентный ресурс Назначенный ресурс Средний срок службы Гамма-процентный срок службы Назначенный срок службы	T_p $P_{p\gamma\%}$ $T_{pн}$ $T_{сл}$ $T_{сл\%}$ $T_{сл.н}$
Ремонтопригодность	Вероятность восстановления в заданное время Среднее время восстановления Интенсивность восстановления	$P_{в(t)}$ $T_{в}$ $\mu(t)$
Сохраняемость	Средний срок сохраняемости Гамма-процентный срок сохраняемости	$T_{сохр}$ $T_{сохр\gamma\%}$
Комплексные показатели	Запас надежности по выходному параметру Коэффициент технического использования Коэффициент готовности Коэффициент планируемого применения	K_H $K_{Т.И}$ K_G $K_{п.п}$

димы обобщенные фактические данные по изделиям-аналогам, получить которые в условиях конкуренции практически невозможно. Поэтому после приемки опытного образца по техническим требованиям ПТУ проводят комплекс исследований и испытаний по определению значений показателей надежности. Обобщенная блок-схема возможных видов исследований и испытаний приведена на рис. 2. Некоторые виды испытаний проводят по ускоренной программе (например ресурсные) с последующей экстраполяцией результатов на весь срок службы.

Объектами испытаний на надежность могут быть как отдельные виды оборудования, входящие в станочную систему, так и вся станочная система в целом. В результате испытаний на надежность определяют запас надежности по каждому из параметров и вероятность безотказной работы при принятом ресурсе или ресурс при заданной вероятности (гамма-процентный ресурс).

Возможны следующие варианты методического подхода к программе испытаний.

Первый вариант состоит в том, что объект испытаний доводят до отказа по параметрам точности (или иным параметрам) при оптимальных режимах функционирования.

Второй вариант испытаний заключается в определении закона распределения сроков службы (наработки) до отказа с прогнозированием потери точностных параметров в результате износа базовых деталей.

Третий вариант предусматривает экстремальные условия испытаний, например на максимальных из допустимых режимов резания.

По результатам испытаний всех видов (см. рис. 2) производят доводку оборудования по параметрам надежности, что позволяет перейти от расчетно-графической модели продукции к реальному образцу с заданным уровнем надежности. Параллельно с довод-

кой опытного образца проводят техническую подготовку производства к серийному производству. Разработка серийной технологии и ее доработка по результатам изготовления первой промышленной серии — необходимое условие производства высоконадежных станочных систем.

Этап 3. Технологическое обеспечение надежности на стадии серийного производства. Под технологическим обеспечением надежности в машиностроении понимают достижение показателей надежности любого серийного образца в процессе производства. Эта задача многофакторная, решение которой зависит от множе-

ства внутренних и внешних переменных. Надежность выпускаемой продукции обеспечивается сохранением стабильности технологических процессов, ранее апробированных при изготовлении установочной серии (рис. 3). Негативное влияние внешних факторов устраняется входным контролем материалов, полуфабрикатов, комплектующих.

На современном этапе развития науки о надежности оценка стабильности технологии в силу многообразия внешних факторов носит субъективный (экспертный) характер. Точный качественный учет совокупности влияния отдельных технологических опера-

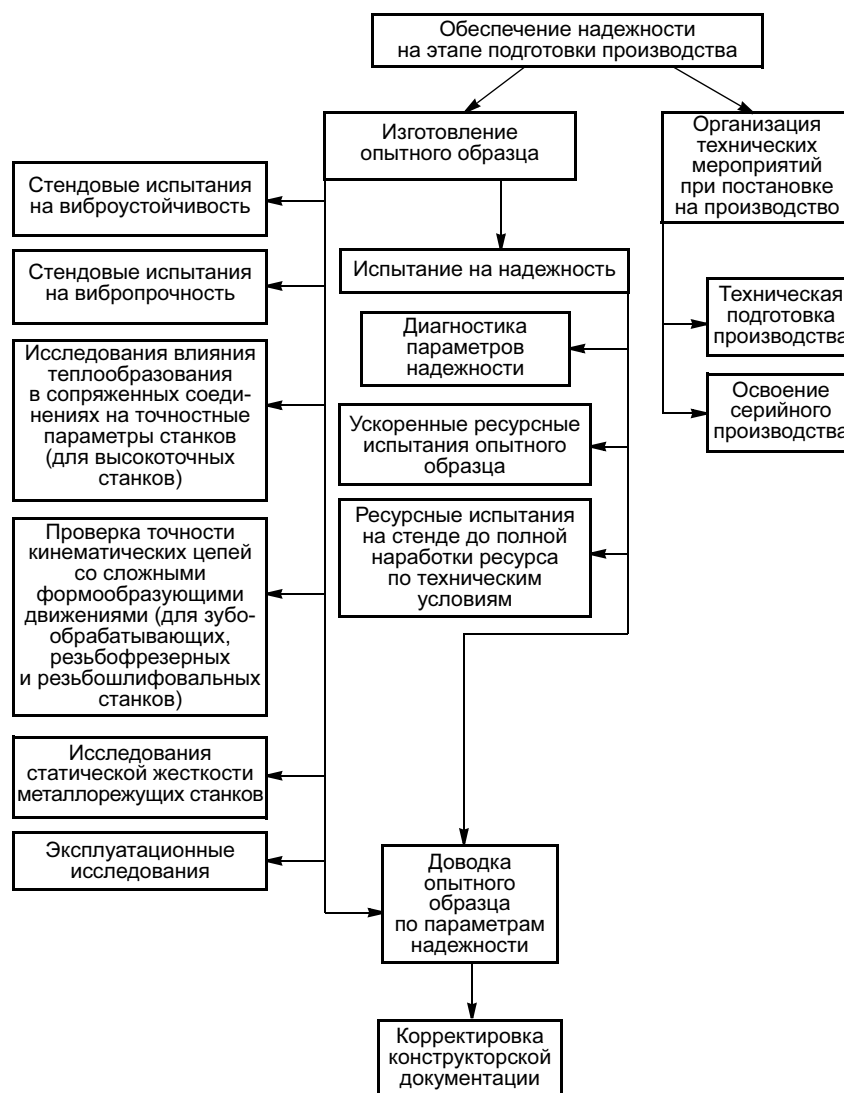


Рис. 2. Обобщенная блок-схема сохранения надежности станочных систем в процессе эксплуатации

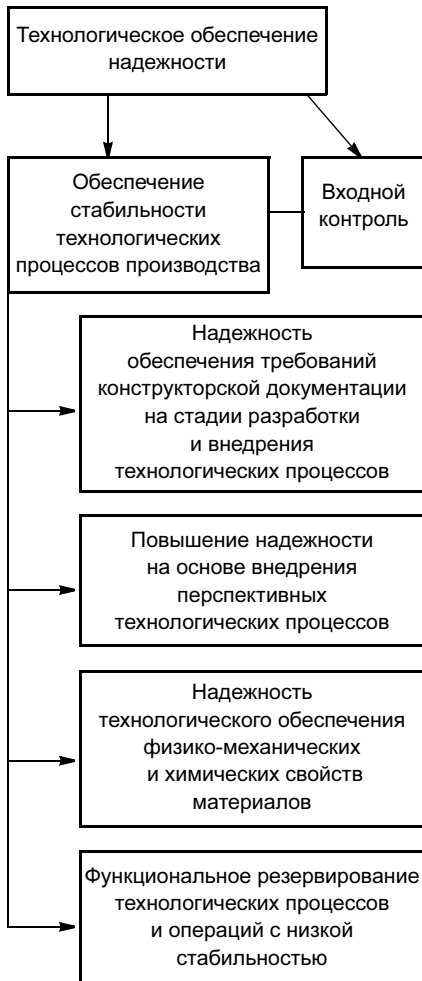


Рис. 3. Обобщенная блок-схема обеспечения стабильности технологических процессов

ций на показатели надежности продукции пока имеет решения. Но при этом установлена прямая взаимосвязь между надежностью функционирования технологического процесса и качеством и себестоимостью продукции. Отказы функционирования технологических процессов можно разделить на отказы, ведущие к неудовлетворительному качеству продукции, и отказы, приводящие к снижению объема выпуска. Учет и анализ отказов первой группы — основное направление обеспечения стабильности технологических процессов.

Этап 4. Эксплуатация станочных систем. В процессе эксплуатации станочные системы изнашиваются, в результате чего теряют свои первоначальные значения показателей надежности. Если качественные изменения своевременно не предупредить, то оборудование станочных систем подвергается необратимым процессам и приближается к предельному состоянию.

На четвертом этапе сохраняют достигнутые показатели надежности станочных систем и ее отдельных элементов по трем направлениям (рис. 4):

— профилактическое обслуживание и ремонт, обеспечиваю-

щие показатели надежности станочных систем, прошедших капитальный ремонт, на уровне новых (вновь изготовленных);

— диагностика основных ответственных узлов, обеспечивающая прогнозирование остаточных значений показателя надежности с целью их восстановления;

— модернизация, обеспечивающая доведение показателей надежности до уровня новых станочных систем с более эффективными рабочими, экономическими, эргономическими и другими свойствами по сравнению со станочными системами предыдущих поколений.

ВЫВОДЫ

1. Надежность, долговечность и работоспособность являются одними из основных показателей конкурентоспособности станочных систем на рынке машиностроительной продукции.

2. Повышение надежности, долговечности и работоспособности — многофакторная задача, решение которой необходимо рассматривать на этапе проектирования, подготовки производства, изготовления и эксплуатации.

3. Направления повышения надежности станочных систем представляют собой комплекс научно-исследовательских, опытно-конструкторских и организационно-технологических работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3 т. Т. 3. Проектирование станочных систем / Под ред. А. С. Пронилова. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. 584 с.*
2. *Технологическое проектирование и его автоматизация в машиностроении: Учебное пособие / В. В. Новоселов, В. А. Иванов, Ю. И. Некрасов, Ю. И. Шаходанов. Тюмень: ТюмГНГУ, 2001. 207 с.*
3. *Пронилов А. С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978. 592 с.*
4. *Надежность технологических систем / Под ред. И. А. Ушакова. — М.: Радио и связь, 1985. 608 с.*
5. *Нормы надежности. РТМ2 Н00—14-8. М.: ЭНИМС, 1980.*

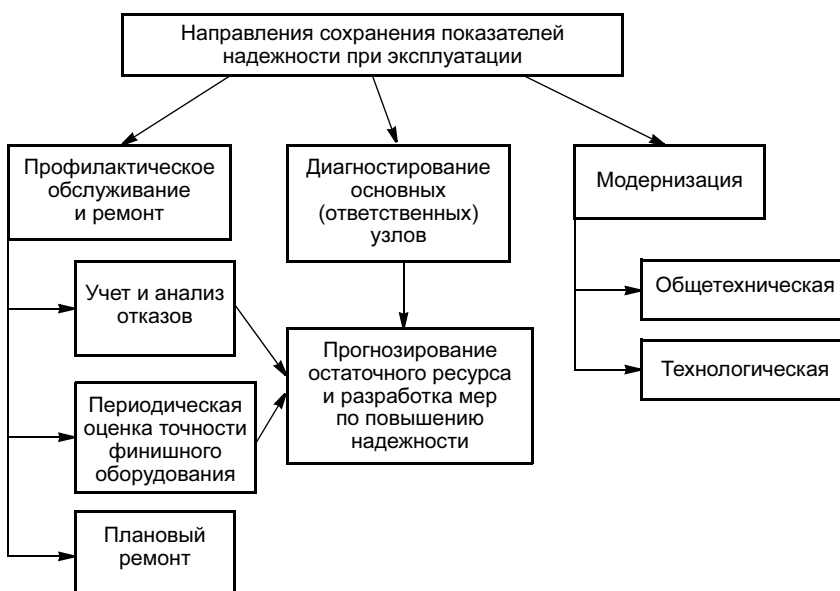


Рис. 4. Обобщенная блок-схема сохранения надежности станочных систем в процессе эксплуатации

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Ю. П. ТРЫКОВ, д-р техн. наук, А. Ю. ТРЫКОВ, канд. техн. наук, Л. М. ГУРЕВИЧ, канд. техн. наук,
Д. Н. ГУРУЛЕВ, канд. техн. наук, А. Э. ПЕТРОВ, аспирант
Волгоградский государственный технический университет

Кольцевые крупногабаритные титаностальные переходники с паяно-сварными стыковыми соединениями

Промышленное изготовление крупногабаритных титаностальных кольцевых биметаллических переходников механической вырезкой из сваренных взрывом листовых заготовок [1] экономически невыгодно из-за низкого коэффициента использования материала (менее 0,1—0,2) и необходимости организации специального производства крупногабаритных титановых и стальных листов. Сотрудниками Волгоградского ГТУ разработана и реализована принципиально новая технология изготовления таких переходников, включающая резку сваренного взрывом листового биметалла сталь 08X18H10T + титан BT1-0 на полосы требуемых размеров, их сварку плавлением, вальцевание в цилиндрическую заготовку и сваркопайку замыкающего продольного стыка.

При сварке плавлением биметаллического стыкового титаностального соединения недопустимо превышение предельных температурно-временных условий на примыкающих к свариваемому стыку границах биметалла из-за возможности образования хрупких интерметаллидов. Поэтому для обеспечения прочности и герметичности [2] стыковое соединение биметаллических титаностальных полос (рис. 1) выполняли путем предварительной аргонодуговой (АДС) или электронно-лучевой (ЭЛС) сварки каждого стыка однородных металлов Ti—Ti и сталь—сталь в "безопасных" областях и электроконтактной пайкой (ЭКП) — в "опасной" области $h_1^{\min} + h_2^{\min}$ (рис. 2), где возможно образование интерметаллидов. Выбранный способ пайки электросопротивлением конусной титановой вставки 3 через прослойку припоя 2 в высверленном в стыке коническом отверстии (см. рис. 1, б) [3] обеспечивает необходимую высокую скорость нагрева и охлаждения соединяемых деталей, точность регулирования температуры t_p и времени τ_p пайки за счет изменения плотности тока, регулирование давления на конусную вставку для формирования качественного паяного шва требуемой толщины, возможность бесфлюсовой пайки в проточном аргоне, кристаллизацию паяного шва под давлением.

Предложенная конструкция соединения потребовала теоретического и экспериментального определения величины "опасной" области при сварке

плавлением на различных режимах, обработки параметров электроконтактной пайки, разработки алгоритмов расчета прочностных характеристик биметаллических и многослойных изделий со сварнопаяными узлами.

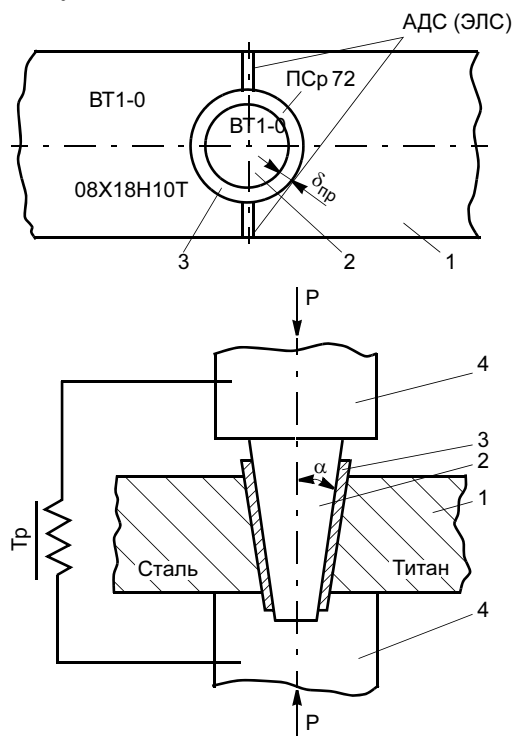


Рис. 1. Паяносварное соединение биметалла титан—сталь: а, б — схемы соединения и пайки соответственно (1 — биметаллическая полоса, 2 — вставка, 3 — припой, 4 — электроды)

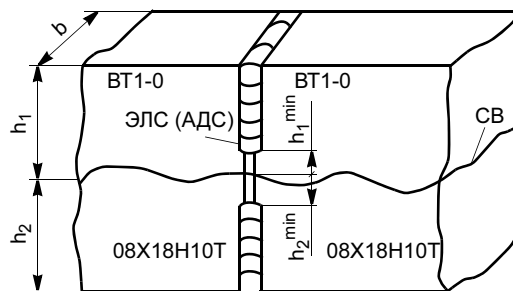


Рис. 2. Схема стыкового соединения биметаллических титаностальных полос, выполненного электронно-лучевой или аргонодуговой сваркой

Минимально допустимое расстояние от корня шва в каждом слое до линии соединения слоев в биметалле титан—сталь (см. рис. 2) определяли с рядом допущений [4] на основе теории распространения теплоты при сварке [5].

Изменение температуры во времени τ при ЭЛС титанового слоя на расстоянии $y = h_1$ по оси ординат от корня шва до линии соединения слоев

$$T = (T_1 - T_0) e^{\frac{\tau}{\tau_0}} + T_0, \quad (1)$$

где T_0, T_1 — соответственно температура окружающей среды и плавления титана; $T_1 \approx (R_1^2/a_1)$ (R — радиус электронного пучка, a_1 — температуропроводность).

Приближенное уравнение температуры металла T в области между точками с координатами $(0, h_1)$ и $(h_1, 0)$ имеет вид

$$\frac{dT}{dt} = \frac{a_1}{h_1^2} \left[(T_1 - T_0) e^{\frac{\tau}{\tau_0}} + T_1 \right] - \frac{a_1}{h_1^2} T, \quad (2)$$

где первый член учитывает нагрев рассматриваемой области за счет теплового потока после окончания сварки металла, второй — теплоотвод.

Решением уравнения (2) является функция

$$T = T_1 \frac{\tau a_1}{h_1^2} e^{-\frac{a_1 \tau^2}{h_1^2}}. \quad (3)$$

Уравнение (3) аппроксимируется для времени $\tau \leq (h_1^2/a_1)$ линейной функцией, считая, что экспонента близка к единице:

$$T = T_1 \frac{\tau a_1}{h_1^2}, \quad (4)$$

для времени $\tau \geq (h_1^2/a_1)$:

$$T = T_m \left(\frac{2h_1^2}{(a_1 - t) \frac{h_1^2}{a_1}} \right). \quad (5)$$

Тогда из выражений (4) и (5) интервал времени, в течение которого температура у границы раздела больше T_s ,

$$\Delta \tau = 2 \frac{h_1^2}{a_1} - 3,7 \frac{h_1^2}{a_1} \frac{T_s}{T_1}. \quad (6)$$

Окончательно для сварки слоев биметалла

$$h_1^{\min} \geq \left(\frac{1}{3,7} \frac{T_1 a_1}{v_c} \right)^{0,5} \text{ и } h_2^{\min} \geq \left(\frac{1}{3,7} \frac{T_2 a_2}{v_c} \right)^{0,5}, \quad (7)$$

где v_c — скорость охлаждения металла.

Экспериментальную проверку результатов расчета безопасного места остановки источника теплоты от границы разнородного соединения проводили при сварке плавлением состыкованных биметаллических полос шириной b , равной 2 и 4 мм, и $h_1 = h_2 = 20$ мм. Термические циклы сварки в точках на линии соединения слоев регистрировали осциллографом с помощью установленных на границе соединения титан—сталь на расстоянии 1 мм друг от друга тонких хромель-алюмелевых термопар. Процесс начинался на вводных планках и последовательно прерывался на расстоянии 5, 4, 3, 2 и 1 мм от границы соединения ВТ1-0 + 08Х18Н10Т. После полного остывания образца аналогичные опыты проводили при сварке второго слоя. Анализ термических циклов и микроструктуры биметалла показал, что при ЭЛС и АДС на оптимальных режимах без охлаждения образцов со стороны сплава ВТ1-0 величина $h_1^{\min} = 1,5$ мм, а со стороны стали 08Х18Н10Т $h_2^{\min} = 1,8$ мм. За пределами "опасной" области ($x = y$) $> h_1^{\min}$ (h_2^{\min}) исходная структура и твердость биметалла практически не изменялись. Термические циклы при сварке титана и стали в точке, расположенной на расстоянии $h^{\min} = h_2^{\min} = 1,8$ мм от плоскости стыка на границе разнородного соединения, приведены на рис. 3.

При сварке титана $t_{\max} < 850$ °С, стали — меньше 1000 °С, а суммарное время термического воздействия при $t = 600 \div 1000$ °С меньше латентного

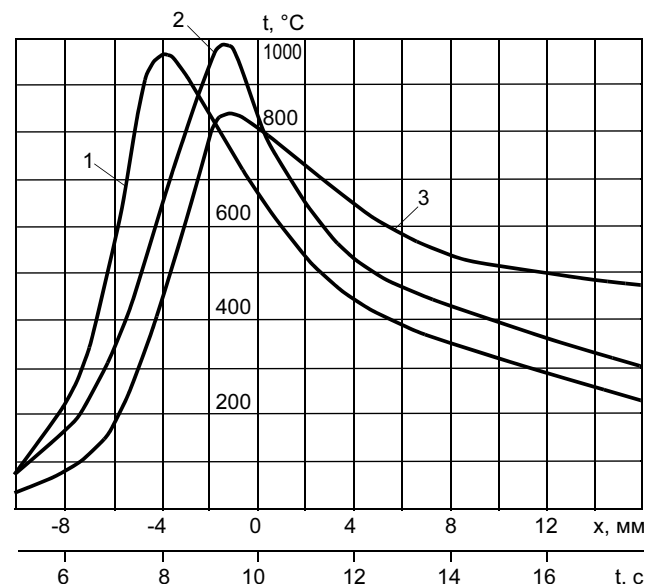


Рис. 3. Термический цикл аргонодуговой сварки слоев биметалла ВТ1-0 + 08Х18Н10Т: 1, 2 — расчетный и экспериментальный для стали 08Х18Н10Т; 3 — экспериментальный для сплава ВТ1-0

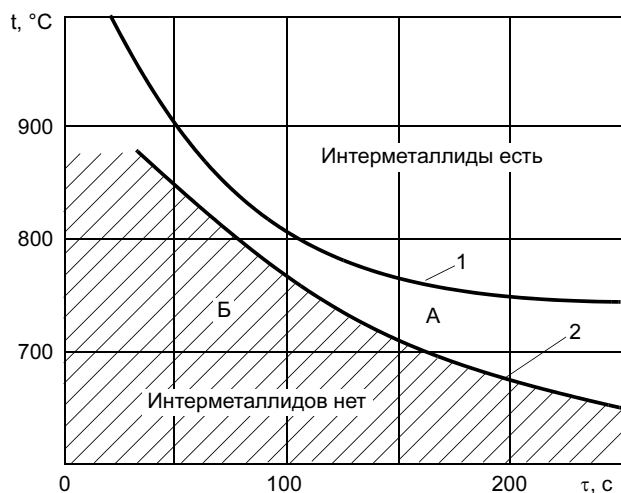


Рис. 4. Диапазон допустимых (А) и "безопасных" (Б) температурно-временных режимов пайки биметалла ВТ1-0 + 08Х18Н10Т: 1 — температурно-временная зависимость начала образования интерметаллидов при изотермической выдержке; 2 — результирующая кривая термических циклов сваркопайки

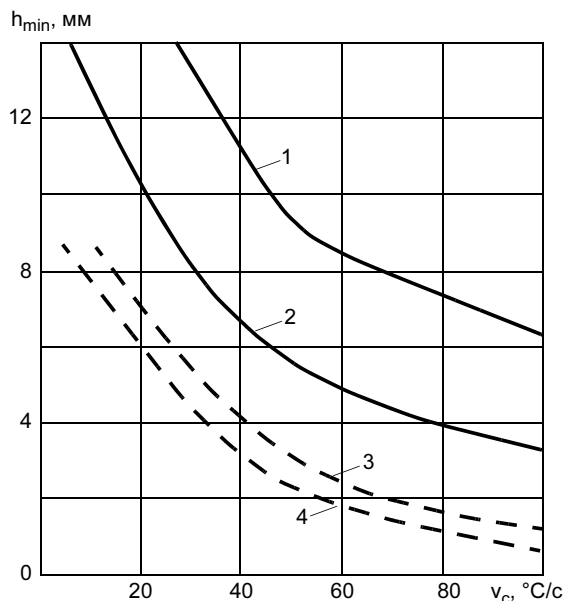


Рис. 5. Зависимость величины минимально допустимого непровара при сварке стыкового соединения биметалла ВТ1-0 + 08Х18Н10Т от скорости охлаждения: 1, 2 — расчетные данные; 3, 4 — экспериментальные данные; 1 — сталь; 2—4 — титан; 3 — АДС; 4 — ЭЛС

периода $\tau_{л}$ образования интерметаллидов (рис. 4). Например, при $t_1 = 1000^\circ\text{C}$ $\tau_1 < 10$ с, $\tau_{л1} = 20$ с, а при $t_2 = 800^\circ\text{C}$, $\tau_1 < 40$ с, $\tau_{л1} = 130$ с. Анализ термических циклов показал, что в интервале $800\text{--}1000^\circ\text{C}$ расчетные значения предельных температур превышают реальные на $150\text{--}230^\circ\text{C}$, а в интервале $600\text{--}800^\circ\text{C}$ — на $50\text{--}100^\circ\text{C}$.

Количественное несоответствие расчетных и экспериментальных допустимых минимальных непроваров h_1^{min} и h_2^{min} (рис. 5) объясняется принятыми допущениями, и для практических целей предлага-

но [4] ввести в выражения (7) поправочные коэффициенты 0,21 для ЭЛС и 0,14 для АДС.

Для обеспечения равнопрочности биметалла в ЗТВ при назначении термического режима пайки сопротивлением необходимо учитывать общее термическое воздействие при сварке плавлением комбинированного узла (переходника), пайки и последующей его варке в изделие. "Безопасная" область термических циклов пайки может быть определена как разность латентного периода образования интерметаллидов при изотермической выдержке и общего времени термического воздействия сварки плавлением в заданном интервале температур. Заштрихованная область Б (см. рис. 4), ограниченная результирующей кривой 2, соответствует "безопасному" температурно-временному диапазону режимов пайки сопротивлением стыкового соединения биметаллических полос сечением $10 \times (5 + 5)$ мм.

Совместимость материалов паяемого узла может быть обеспечена применением среднеплавких серебряных припоев с интервалом температур плавления $500\text{--}980^\circ\text{C}$, хорошо смачивающих титан и сталь, обладающих высокими механическими свойствами и образующих прочные и в сравнении с другими припоями менее хрупкие соединения с титаном. Наиболее подходящим присадочным материалом для пайки комбинированного узла [6] является широко используемый в промышленности двухкомпонентный эвтектический припой ПСр 72 с содержанием серебра 72 % и температурой плавления 779°C . Рекомендуемые режимы пайки этим припоем стали 08Х18Н10Т и титана ВТ1-0 укладываются в "безопасный" температурно-временной диапазон процесса. Область $\tau_{п}$ (рис. 6) характеризует оптимальный режим пайки сопротивлением, обеспечивающий качественное формирование паяного шва толщиной $\delta_{пр} = 0,20 \pm 0,22$ мм

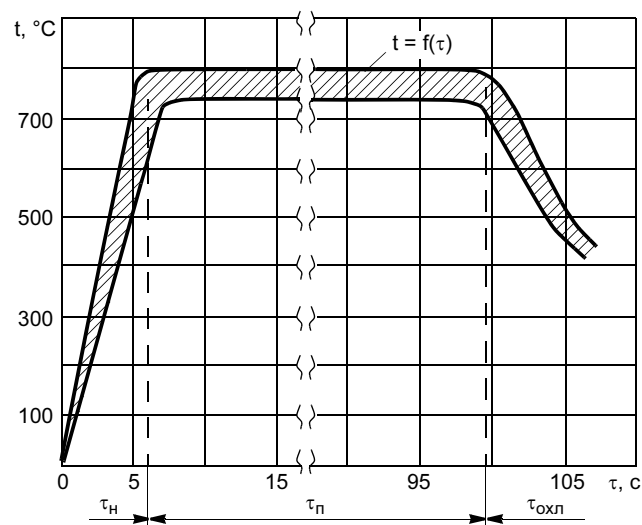


Рис. 6. Оптимальный температурно-временной диапазон пайки сопротивлением замыкающего узла стыкового соединения титаностальных полос

и реализацию равнопрочности паяносварного соединения основному материалу (биметаллу ВТ1-0 + 08Х18Н10Т) при одноосном растяжении.

Расчет на прочность при одноосном растяжении механически неоднородного сварнопаяного соединения проводили с учетом поведения мягкой прослойки (паяного шва), прочность которой ниже, чем основного металла. Критическую толщину паяного шва $\delta_{пр}^{кр}$, при которой реализуется равнопрочность паяного соединения основному металлу, в инженерных расчетах можно определять по выражению [6]

$$\delta_{пр}^{кр} = \frac{2b}{3\sqrt{3\pi}(K_B - \pi/4)}, \quad (8)$$

где K_B — коэффициент механической неоднородности; b — ширина полосы.

При испытании на растяжение образцы стыкового сварнопаяного соединения титаностальных полос сечением $(5 + 5) \times 5$ мм с толщиной паяного шва $\delta_{пр} = 0,20 \div 0,25$ мм [6] разрушались по основному материалу при нагрузке 24,0 кН (аналогичные образцы со сварным узлом без впаяной вставки разрушались при 16,5 кН), работа разрушения стыкового соединения в 3,0—3,5 раза увеличивалась, что обеспечивало повышение надежности замыкающего узла. Металлографические исследования биметалла вблизи замыкающего узла показали, что термические циклы АДС (ЭЛС) и пайки на оптимальных режимах не вызывали опасного развития диффузионных процессов и образования хрупких интерметаллических фаз высокой твердости.

Помимо равнопрочности паяных соединений при одноосном растяжении в трубах и сосудах необходимо обеспечить равнопрочность паяного шва кольцевой формы основным материалам при действии внутреннего давления p_B . Давление на наружную поверхность вставки приводит к заклиниванию высверленного канала в биметалле и несущая работоспособность сварнопаяного узла будет определяться в основном механическими свойствами материалов вставки и композиционного соединения. Расчет прочности комбинированного узла из разнородных материалов с учетом основных положений теории контактного упрочнения [7] позволил получить соотношение для оценки несущей способности соединения конусной вставки с пластиной (или оболочкой):

$$p_B = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_B^M \frac{1}{x} \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2x} \right) \left[\left(\frac{\sin 2\alpha}{1K_B^{\min}} \right)^2 + \cos^4 \alpha \right]^{-1/2}, \quad (9)$$

где σ_B^M — предел прочности припоя; α — угол наклона вставки.

При механических испытаниях на выдавливание титановых вставок из титановых пластин при толщине

не припоя ПСр 72 0,18—0,20 мм разрушение паяных соединений с конусностью $\alpha = 45^\circ$, соответствующей условию полной реализации контактного упрочнения паяной прослойки, происходило по материалу вставки; при $\alpha = 15^\circ$, соответствующей 60—70 % полной реализации, носит смешанный характер; при $\alpha = 2^\circ$ разрушение происходит по паяному шву.

Контроль на герметичность комбинированных стыковых соединений гидравлическими испытаниями при избыточном давлении до 400 МПа и методом керосиновой пробы подтвердили высокое качество стыковых соединений сварнопаяных узлов опытно-промышленной партии кольцевых титаностальных переходников диаметром 1,5 м.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная и внедренная технология изготовления кольцевых крупногабаритных титаностальных переходников включает резку сваренного взрывом листового биметалла на полосы требуемых размеров, их сварку плавлением, вальцевание в цилиндрическую заготовку и сваркопайку замыкающего продольного стыка.

2. Теоретическое и экспериментальное определение при сварке плавлением на различных режимах безопасного расстояния от места остановки источника теплоты до границы разнородного соединения позволило исключить образование хрупких интерметаллидных прослоек.

3. Разработанные методы расчета прочности биметаллических сварнопаяных титаностальных соединений и крупногабаритных переходников при различных схемах нагружения достоверно подтверждены результатами лабораторных и промышленных испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трыков Ю. П., Гуревич Л. М., Проничев Д. В. Композиционные переходники. Волгоград: ВолГТУ, 2007. 329 с.
2. Особенности изготовления изделий из сваренных взрывом слоистых композиционных материалов / Ю. П. Трыков, А. С. Карасев, В. А. Сурков и др. // Сварка взрывом и свойства сварных соединений. Волгоград: ВПИ, 1985. С. 100—111.
3. Трыков А. Ю., Белоусов В. П., Шахматов М. В. Особенности электроконтактной пайки титаностальных соединений, полученных сваркой взрывом // Сварка взрывом и свойства сварных соединений. Волгоград: ВПИ, 1987. С. 114—126.
4. Оценка оптимальных условий сварки стыковых соединений биметаллических (титан—сталь) пластин / А. А. Углов, С. С. Селищев, В. С. Седых и др. // Автоматическая сварка. 1987. № 11. С. 6—8.
5. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М.: Mashgiz, 1951. 246 с.
6. Трыков А. Ю., Богомолова А. С. Оценка работоспособности сварнопаяного соединения из разнородных металлов // Сварка взрывом и свойства сварных соединений. Волгоград: ВПИ, 1986. С. 137—143.
7. Бакши О. А. О несущей способности тонкой косоугольной мягкой прослойки в сварных и паяных соединениях // Вопросы сварочного производства. Челябинск: ЧПИ, 1978. С. 8—12.

ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

А. А. АФАНАСЬЕВ, д-р техн. наук

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

Технология восстановления и упрочнения изношенных поверхностей стальных деталей

Проблема восстановления и последующего упрочнения деталей машин неизменно вызывала и вызывает интерес. В связи с этим в отечественной и иностранной научной литературе постоянно появляются публикации, посвященные данной проблеме [1—11]^{1, 2}.

В данной работе предлагается технология интенсивного восстановления изношенных поверхностей деталей машин с последующим диффузионным упрочнением.

Известные способы восстановления изношенных поверхностей предусматривают наплавку электродом по схемам дуговой сварки^{2, 3}, вибронаплавку, напыление в плазме или инертной среде, электролитическое наращивание, навивку проволоки или ленты⁴ с последующим их закреплением на поверхности контактной сваркой⁵, установку разрезных втулок, гильз с последующим их закреплением приклеиванием, пайкой, сваркой или комбинацией этих процессов⁶.

Перспективны способы восстановления поверхностных слоев на изношенных деталях из целостного материала (широкой ленты, полос, полувтулок и полугильз (оболочек)), который полностью покрывает восстанавливаемую поверхность детали. Эти способы обеспечивают наиболее полное восстанов-

ление механических, технологических и эксплуатационных свойств.

Общими недостатками указанных выше способов являются низкие технологичность их осуществления, производительность, надежность, трудность предотвращения коробления и поводок деталей при большом объеме сварочных работ.

Устранение указанных недостатков осуществляется разными способами. Например, с целью повышения качества восстановления деталей машин применяют приемы предотвращения деформации ленты в поперечном направлении при одновременном снижении энергозатрат на основе контактной сварки. Сущность способа состоит в нанесении насечки на подготовленную шлифованием поверхность детали, заполнением образующихся в результате насечки ячеек пастообразным припоем перед укладкой ленты и воздействием сварочного тока по схеме роликовой двухточечной контактной сварки. Сцепление ленты и восстанавливаемой поверхности детали достигается за счет ее припайки в области ячеек и образования сварных точек в области выступов (ребешков) на краях ячеек.

Однако предлагаемая технология на практике оказалась несовершенной. Результаты механического переноса схемы роликовой сварки тонких листов на сварку деталей, где один тонкий лист заменен сплошным цилиндром, не одинаковы в течение цикла закрепления ремонтного элемента (полосы) на детали. Выполнение насечки на поверхности детали является в техническом отноше-

нии неудачной попыткой реализовать схему рельефной сварки в комбинации с роликовой. Выполнение насечки на поверхности ответственных валов является нежелательным, так как местные углубления на шейках валов могут явиться концентраторами напряжений с последующим развитием усталостных микро- и макротрещин. Известно, что галтели шеек и их цилиндрические поверхности специально подвергают обкатыванию шариками или роликами, которые завальцовывают микротрещины, образующиеся в результате предыдущих обработок. В рассматриваемом способе представленная технологическая схема может быть реализована лишь только для тонкого материала. При использовании полос для лент толщиной $t > 0,3$ мм возможно проскальзывание ролика по поверхности или детали, или ленты. Вместе с тем применение тонких лент не может в полной мере предотвратить деформацию профиля ленты в поперечном сечении. Режимы пайки и сварки при этом в первом полуобороте детали будут отличаться от режимов во втором полуобороте, так как сварные точки должны получаться у нижнего ролика, а затем после контакта ленты со вторым роликом одновременно и у нижнего, и у верхнего роликов (рис. 1). Во втором полуобороте из-за одностороннего контакта роликов с лентой и появления деформаций под действием усилий сжатия и наличия припоя-проводника будет затруднительно создать высокую плотность тока в отдельных точках-ребешках, а следовательно, и концентрацию теплоты, необхо-

¹ А. с. 1199556, 1456294, 1606300, 1704998, 1459887, 1433739, 1597256, 1597257, 1636168 (СССР).

² А. с. 1609604 (СССР).

³ А. с. 1690970, 1706828 (СССР).

⁴ А. с. 1734957, 1754388 (СССР).

⁵ А. с. 1756089 (СССР).

⁶ А. с. 1756090, 1785862, 1791090, 1792817, 1814605, 1830327, 2007287, 2050243, 742095, 1710259, 1278171 (СССР), патент 2062204 (РФ).

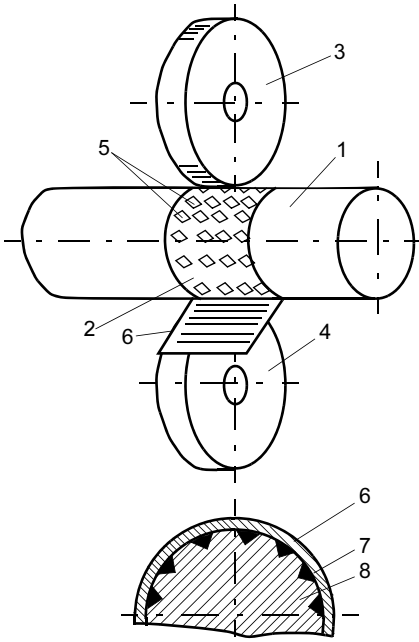


Рис. 1. Существующая схема восстановления изношенных поверхностей: 1 — деталь; 2 — изношенная поверхность; 3, 4 — сварочные ролики; 5 — ячейки насечки; 6 — лента; 7 — впадины с припоем; 8 — гребни

димой для размягчения стали. Следовательно, практически будет иметь место расплавление припоя и образование практически паяного соединения, а не паяносварного.

Осуществлению сварки по типу рельефной в значительной степени будет препятствовать масштабный фактор, так как при рельефной сварке листов контактные выступы, которые специально штампуют, имеют более значительные размеры, чем ячейки, создаваемые на восстанавливаемой поверхности детали. Расход энергозатрат во втором полуобороте детали значительно возрастает при одновременном снижении эффективности сцепления ленты с восстанавливаемой поверхностью. Увеличение толщины ленты привело бы к еще большему снижению качества закрепления ленты на детали и эффективности использования энергозатрат при сварке из-за затруднений с созданием локальных участков с высокой плотностью тока и, следовательно, условий для концентрированного выделения теплоты, способствующей получению сварных точек.

Применение предлагаемого способа восстановления изношенной поверхности обуславливает возникновение искажений структурно-напряженного состояния поверхностных слоев восстановленных деталей и их недостаточную надежность в эксплуатации.

При разработке эффективного способа восстановления изношенных поверхностей поставлены следующие задачи: разработка более совершенных приемов установки и закрепления ремонтного элемента на восстанавливаемой поверхности, уменьшение отклонений в расположении поверхностей изделия и высокие эксплуатационные показатели качества, надежности и долговечности детали в целом. Это достигается последовательным выполнением ряда операций и приемов, из которых часть является общей с анализируемым способом, а другие — изобретением автора⁷.

Общими операциями являются предварительное шлифование изношенной поверхности для устранения отклонений ее формы (овальности, огранки местных углублений, задиров и получение поверхности с малой шероховатостью), укладка ленты или полосы на восстанавливаемую поверхность, ее соединение с изношенной деталью, заключительное шлифование и упрочнение поверхностных слоев восстановленной поверхности.

Специфическими операциями, составляющими суть разработанного способа, являются прикатывание мерной нагретой полосовой заготовки к восстанавливаемой цилиндрической поверхности, ее соединение с деталью односточечной контактной сваркой и использование в качестве заполнителя стыковочного шва высокотемпературного (твердого) припоя. Схема восстановления изношенной цилиндрической поверхности в начале, продолжении и конце процесса установки и закрепления

ремонтной заготовки приведена на рис. 2. Прикатывание мерной заготовки 4 к шейке вала 3 осуществляется двумя плоскими плашками (прикатывателями) 1 и 2, между которыми устанавливается деталь для восстановления поверхности. Нагретая с помощью нагревателя 5 мерная заготовка полосы или ленты подается с подогревателя под верхним прикатывателем на деталь и ее концевой участок соединяется с восстанавливаемой поверхностью точечной сваркой (электрод 6).

Прикатывающие плашки совершают встречное поступательное движение и одновременно сжимают между собой восстанавливаемую деталь. Создаваемая схема сил и изгибающих моментов в зоне контакта приводит к появлению растягивающих напряжений в ее наружных слоях и сжимающих напряжений во внутренних. Это обеспечивает плотное прилегание мерной заготовки к восстанавливаемой поверхности

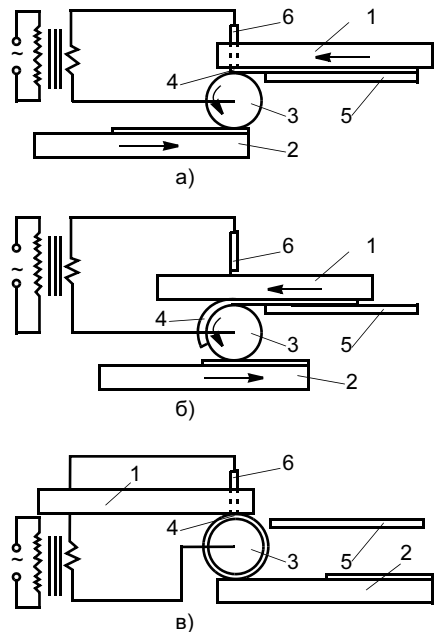


Рис. 2. Схема восстановления изношенных шеек валов: а — начало закрепления полосы; б — средняя часть процесса прикатывания полосы; в — конец процесса прикатывания и закрепления конца полосы; 1, 2 — верхний и нижний прикатыватели; 3 — вал; 4 — мерная заготовка; 5 — нагреватель (утюг); 6 — электрод

⁷ Патент 2133183 (РФ).

детали в результате ее изгиба. Для исключения возможности скольжения прикатывателей по поверхности детали при прикатке толстых полос к валу следует приложить дополнительный крутящий момент.

Закрепление заготовки на детали осуществляется в два этапа. Первый этап ускоренный и состоит в приварке точечной сваркой начальных и конечных участков мерной заготовки к восстанавливаемой поверхности. Длительность этого этапа определяется скоростью вращения восстанавливаемой детали и временем приварки.

Ускорение проведения приварки необходимо для предотвращения резкого снижения температуры нагретой заготовки. Второй этап заключается в окончательной приварке прикатанной заготовки, сжимающей подобно биндажу поверхность шейки или ступени вала. Прикатыватели на втором этапе удаляют, чтобы не мешали выполнению сварки. Сварка ведется как и на первом этапе по одноточечной схеме изолированными друг от друга сварными точками. Точечную сварку прикатанной полосы осуществляли на машине точечной сварки МТПР-50. Напряжение от трансформатора подается на электрод, которым упираются в поверхность привариваемой заготовки и на водоохлаждаемый контакт-зажим, закрепляемый на детали. Контакт-зажим связывают со сварочным трансформатором гибкими шинами, имеющими возможность закручиваться при вращении детали.

Сплошного перекрытия сварных точек между восстанавливаемой деталью и прилегающей к ней заготовкой не требуется, так как опыт использования напрессованных втулок и гильз в машиностроении показывает достаточность размещения нескольких точек. Расположение сварных точек осуществляют в шахматном порядке или в виде сетки со стороной ячейки 10—20 мм.

Предварительный нагрев мерной заготовки осуществляется до температуры 350—450 °С для достижения необходимой длины заготовки, равной длине окружности восстанавливаемой поверхности детали. Нагретая заготовка при плотном прилегании ее к детали обеспечивает при ее последующем охлаждении натяг средней величины, что способствует упрочнению восстанавливаемой поверхности и созданию однородного структурно-напряженного состояния в поверхностных слоях восстанавливаемой детали. Мерные заготовки получают отрезкой по упору на гильотинных ножницах. Длину заготовки рассчитывают по формуле

$$L_{\text{заг}} = \pi D [1 - \alpha(t - 293)],$$

где D — диаметр восстанавливаемой поверхности до прикатки после шлифования, мм; α — температурный коэффициент линейного расширения металла заготовки, K^{-1} ; t — температура нагрева мерной заготовки.

Толщину заготовки выбирают на основе суммарной величины, складывающейся из припуска на окончательное шлифование после прикатки и приварки заготовки, припуска на деформирование металла под электродами, линейных изменений межремонтных размеров и остаточной толщины прикатываемой полосы после предполагаемого последнего ремонтного размера. Остаточную толщину заготовки принимают в процентах от диаметра восстанавливаемого вала и ее можно рекомендовать в пределах 2—3 % от номинального размера.

Например, для вала диаметром 50 мм при плановых четырех ремонтах толщина заготовки для прикатывания составит

$$b = (0,2 \div 0,5) + (0,2 \div 0,5) + 1 + (0,5 \div 1) = (1,9 \div 3) \text{ мм.}$$

Здесь первое слагаемое равно припуску на деформацию металла под электродом, второе — припуску на окончательное шлифование, третье — припуску на из-

менение размеров при ремонтах (по 0,25 мм на один ремонт), четвертое — остаточной толщине прикатываемой полосы.

Стык на поверхности формируется с применением медно-цинкового или медно-никелевого (высокотемпературного) припоя, после чего восстановленная поверхность подвергается предварительному и чистовому шлифованию. Применение высокотемпературного припоя способствует уменьшению термического влияния на свойства стали.

Заключительным этапом обработки восстановленной поверхности является применение традиционных методов упрочнения ее поверхностных слоев. Это может быть обкатывание поверхности вибрирующим роликом для упрочнения вследствие пластического деформирования металла или диффузионное насыщение элементами, значительно увеличивающими поверхностную твердость.

Химико-термическую обработку отдельных участков рекомендуется проводить высокопроизводительным и эффективным способом, описанным в предыдущем разделе.

Разработанная технология восстановления изношенной поверхности реализована при ремонте двигателя внутреннего сгорания мотопомпы. Восстановлению подлежали две опорные шейки, имеющие первоначальные размеры $\varnothing 46_{-0,085}^{-0,069}$ и $\varnothing 43,5_{-0,085}^{-0,069}$ соответственно. После предварительного шлифования размеры составили $44,5_{-0,062}$ и $42_{-0,062}$ соответственно. В качестве ремонтного элемента выбрали полосу из стали 30X толщиной 2 мм и шириной 20 мм. Длина полосы для расчетной температуры 400 °С составила для первой шейки 139 мм и для второй — 131 мм. Восстанавливаемую деталь установили в приспособление на нижний прикатыватель, на котором заранее укладывали полосу толщиной, равной толщине ремонтного элемента.

Последний укладывали на электронагреватель, температуру нагрева измеряли терморпарой. Верхний прикатыватель опускался винтом до образования зазора между шейкой вала и прикатывателем. К валу водоохлаждаемым медным зажимом прикрепляли гибкую медную шину из жгутов от трансформатора установки МТПР-50. В зазор над шейкой вала сдвигался ремонтный элемент и прижимался прикатывателем с помощью винта. Электрод опускался через отверстие-вырез в прикатывателе и с его помощью край ремонтного элемента приваривался к валу, а затем поднимался. Встречное движение прикатывателей осуществлялось винтом, одновременно с помощью хомута поворачивался вал.

Полоса на нижнем прикатывателе перемещалась в торец при ослаблении нажатия верхним прикатывателем для того, чтобы обрез ремонтного элемента совпал с ее торцем. При этом устранялось заклинивание нижнего прикатывателя из-за образования уступа краем ремонтного элемента. Как только второй концевой обрез ремонтного элемента оказывался под электродом, он приваривался несколькими точками к валу. Верхний прикатыватель затем поднимался и сдвигался в сторону. Дальнейшее закрепление ремонтного элемента осуществлялось по окружности шестью-семью точками с шагом 10—20 мм последовательно в три ряда по бокам в центре. Режим приварки: плотность тока 100 А/мм²; напряжение 2—4 В; диаметр пятна контакта 5 мм; усилие прижатия электрода 800 Н.

После установки и закрепления элемента диаметр шеек составил 46,5 и 44 мм соответственно.

Способ восстановления изношенных поверхностей деталей усовершенствован с учетом новых достижений науки и техники. Закрепление ремонтного фрагмента на восстанавливаемой поверхности осуществляется лазером путем сквозного проплавления полосы. Сама технологическая схема вос-

становления изношенной поверхности детали не изменяется. Установка ремонтной мерной полосы ведется теми же прикатывателями, двигающимися навстречу друг другу и с усилием прижимающими эту полосу к детали. Прихватка концевых участков полосы и окончательное ее закрепление на детали проводится в том же порядке, который описан выше. Благодаря точечному сквозному проплавлению полосы возможно восстановление стальными лентами как стальных, так и чугунных деталей. Таким образом, применение в качестве энергетического источника мощного лазерного излучения делает разработанный метод восстановления изношенной поверхности деталей более универсальным, так как становятся ремонтноспособными и чугунные детали.

Изгибающий момент в сечении ремонтного элемента, имеющий ширину b и толщину h ,

$$M = b \int_{-h/2}^{+h/2} \sigma y dy.$$

Поперечное сечение полосы делится на две зоны: упругого и пластического деформирования. При этом в сечении имеет место нейтральная плоскость, выше которой наблюдается растяжение, а ниже — сжатие. Границу упругой зоны определяет величина y_T . Разбивая интеграл на два по зонам деформирования, получим:

$$M = 2b \int_0^{y_T} \sigma y dy + 2b \sigma_T y_T.$$

Так как относительное удлинение $\varepsilon = \frac{y}{r}$, по закону Гука

$$\sigma = E\varepsilon = E \frac{y}{r},$$

где E — модуль упругости; r — радиус вала.

После интегрирования получим

$$M = \frac{2}{3} b \frac{E}{r} y_T^3 + b \sigma_T \left(\frac{h^2}{4} - y_T^2 \right).$$

Подставляя значения $y_T = \varepsilon_T r = \frac{\sigma_T r}{E}$, получим

$$M = \frac{bh^2}{4} \sigma_T - \frac{1}{3} b \sigma_T^3 \frac{r^2}{E^2}.$$

Часть данного момента обеспечивают плашки, прижимающие ремонтный элемент к восстанавливаемой поверхности и двигающиеся навстречу друг другу.

Момент силы трения качения

$$M_K = F_K r = f_K P r l r = f_K P,$$

где P — усилие прижима плашек-прикатывателей.

Дополнительный момент, который следует приложить к детали, чтобы исключить скольжение по ней прикатывателей

$$M_D = M - M_K = \frac{bh^2}{4} \sigma_T - \frac{1}{3} b \sigma_T^3 \frac{r^2}{E^2} - f_K P.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аскинази Б. М. Упрочнение и восстановление деталей машин электро-механической обработкой. М.: Машиностроение, 1989. 200 с.
2. Аскинази Б. М., Минабаев Г. Г. Восстановление деталей контактной наваркой проволоки в поверхностные канавки // Сварочное производство. 1986. № 3. С. 15—17.
3. Черноиванов В. И., Андарева В. П. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин. М.: Колос, 1983. 288 с.
4. Воловик Е. П. Справочник по восстановлению деталей М.: Колос, 1981. 352 с.
5. Горохов В. А., Руденко П. А. Ремонт и восстановление коленчатых валов. М.: Колос, 1978. 348 с.
6. Дорожкин Н. Н. Упрочнение и восстановление деталей машин металлическим порошком. Киев: Наукова думка, 1975. 152 с.
7. Доценко Н. И. Восстановление автомобильных деталей сваркой и наплавкой. М.: Транспорт, 1972. 352 с.
8. Есенберлин Р. Е. Восстановление автомобильных деталей сваркой, наплавкой и пайкой. М.: Транспорт, 1994. 256 с.
9. Казарцев В. И., Галибин Г. А., Крылов В. С. Восстановление коленчатых валов металлизацией напылением // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1966. № 12. С. 32—36.
10. Клименко Ю. В. Электроконтактная наплавка. М.: Металлургия, 1978. 128 с.
11. Кряжков В. М., Ожегов Н. М. Перспективные способы и оборудование для восстановления и упрочнения деталей машин. Л.: ЛДНТП, 1984. 22 с.

Г. М. ГЕОРГИЕВСКИЙ, инж., М. Г. ГЕОРГИЕВСКИЙ, инж.

(ОАО "Гидромаш"),

К. А. БАТЫШЕВ, канд. техн. наук, А. И. БАТЫШЕВ, д-р техн. наук

(МГОУ)

Совершенствование конструкций шестеренных насосов

Шестеренные гидромашины — насосы одно- и многосекционные, гидромоторы и делители потока — являются наиболее массовой продукцией машиностроения и потому очень привлекательны инвестиционные вложения в их производство. С другой стороны, сложившиеся стереотипы их конструкций и процессов изготовления, кажущиеся неизбежностью совершенствования с целью повышения надежности и снижения себестоимости, а также доминирующее положение на рынках СНГ и дальнего зарубежья их традиционных производителей сдерживают эти инвестиции.

После развала СССР Россия фактически осталась без собственной отрасли гидромашиностроения и является экономически зависимой от импорта изделий гидромашиностроения из других стран.

Во многих отраслях промышленности — от сельхозмашиностроения до нефтедобычи и нефтепереработки — применяют насосы шестеренные, плунжерные, винтовые и центробежные. Каждый из насосов имеет свою область применения. Шестеренные и плунжерные насосы применяют как в гидросистемах рабочих органов самоходных машин с высоким давлением (более 16 МПа), так и для перекачивания жидкостей со смазывающим эффектом при высоком и низком (до 4 МПа) давлении. Винтовые и центробежные насосы применяют для перекачивания жидкостей только с низким давлением (производительность центробежных насосов от 180 м³/ч и более). Но потребности многих отраслей требуют перекачивания жидкостей, в том числе и несмазывающих, большими объемами и с давлением до 19 МПа. В этом случае применяют способ после-

довательного соединения центробежных секций насосов, при котором давление перекачиваемой жидкости повышается от одной секции к другой (примерно на 1 МПа). На практике получается насосный агрегат больших размеров и массы с мощным приводным двигателем (более 1500 кВт · с) и частотой вращения 3000 мин⁻¹. Большие разгонные крутящие массы, низкий объемный коэффициент подачи, большое число пар трения приводят к тому, что КПД такого агрегата получается чуть больше, чем у паровоза.

В этой связи невольно возникает желание добиться, чтобы шестеренные насосы могли работать в любых условиях и заменили собой насосы всех типов при перекачивании различных объемов жидкостей разных видов с необходимым давлением — высоким или низким. Вопрос лишь в повышении надежности подшипников, производительности и способе защиты зубьев шестерен от преждевременного износа при перекачивании жидкостей, не обладающих смазочным эффектом.

В современных шестеренных насосах возможности повышения надежности подшипников за счет создания новых материалов для поднятия уровня давления нагнетания практически исчерпаны. Шестеренных насосов с рабочим давлением 25 МПа и производительностью более 2 м³/ч в мире не существует. Нет и шестеренных насосов производительностью более 37,5 м³/ч, а созданные и работающие — не способны поднять давление выше 0,25 МПа.

В данной работе рассмотрены способы снижения нагрузок на подшипники в 2 раза, повышения рабочего давления и производительности шестеренных насосов

до производительности центробежных агрегатов типа ЦНС с возможностью перекачивания несмазывающих жидкостей без разрушения зубьев шестерен из-за отсутствия масляного клина между эвольвентами зубьев.

Первая задача — повышение надежности подшипников и рабочего давления насосов любой производительности (до 25 МПа и выше) — решена уменьшением вдвое сил, действующих на рабочий ротор (пару шестерен) со стороны зоны высокого давления, т. е. со стороны выхода жидкости из насоса, и применением самоустанавливающихся подшипников по углу изгиба цапф шестерен, обеспечивающих постоянство площади трения при любой нагрузке.

С помощью конструкции торцевого компенсатора, уплотняющего торцы венцов шестерен, со стороны зоны низкого давления, т. е. со стороны входа жидкости в насос, создаются силы противоположного знака, частично нейтрализующие силы со стороны зоны высокого давления.

Шестеренный насос (рис. 1, а) состоит из передней крышки 7, корпуса 3 и установленных в нем компенсаторов 4 с рабочей и нерабочей поверхностями, уплотнений 6, шестерен ведущей 5 и ведомой 8, подшипников скольжения 2 и задней крышки 1. На рабочей поверхности компенсаторов со стороны зоны низкого давления в поперечном разрезе показаны кольцевые каналы 9 (рис. 1, б), соединенные с областью зоны жидкости высокого давления и подведенные под уплотнение компенсатора, зоны высокого 10 и низкого 11 давления (h — радиус входного отверстия). На рис. 1, в приведены эпюры сил со знаком "+", действующих на пару шестерен со сто-

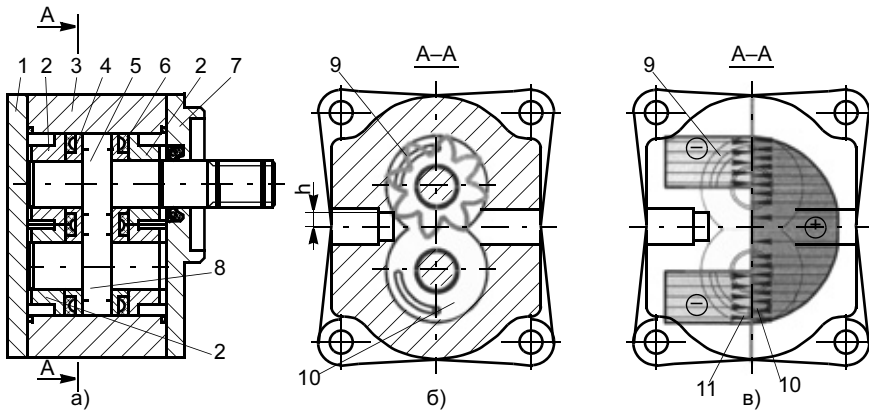


Рис. 1. Шестеренный насос: а, б — продольный и поперечный разрезы; в — эпюры сил

роны зоны высокого давления, со знаком "-" — со стороны зоны низкого давления.

Насос с компенсатором новой конструкции работает следующим образом. Рабочая жидкость, поступившая в зону низкого давления 11 (на вход насоса), заполняет впадины между зубьями вращающихся шестерен 5 и 8 и переносится в зону высокого давления 10. При выдавливании жидкости из впадин между зубьями на выходе насоса создается высокое гидравлическое давление, которое, воздействуя на уплотнения б компенсаторов, обеспечивает их прижим к торцам шестерен. Шестерни под воздействием давления нагнетания смещаются в зону низкого давления, т. е. к входному отверстию насоса, а зубья шестерен "вгрызаются" во внутреннюю поверхность корпуса насоса, обеспечивая герметизацию зоны высокого давления от зоны низкого давления. На стороне зоны высокого давления в результате смещения шестерен образуется зазор между венцами шестерен и внутренней поверхностью корпуса, по которому давление нагнетания на выходе распространяется по высоте пары шестерен; при этом величина гидравлического давления снижается с уменьшением проходного сечения зазора, образуя убывающую силу, воздействующую на пару шестерен со стороны зоны высокого давления.

Поступающая в кольцевые каналы или отверстия жидкость под

высоким давлением создает во впадинах между зубьями шестерен, находящихся в зоне этого канала, давление, равное давлению нагнетания. При этом образуется противодействующая на шестерни сила со знаком "-", нейтрализуя частично силы со знаком "+".

Для того чтобы жидкость под высоким давлением из впадин между зубьями не попала во входное отверстие и не снизились коэффициент подачи и давление нагнетания, необходимо обеспечить ее надежную герметизацию. Достигается это при условии, когда между каналом на компенсаторе и входным отверстием будет находиться одновременно два зуба шестерни. Исходя из этого условия длину канала, а следовательно, и силы со знаком "-" можно увеличить, уменьшив радиус отверстия и удлинив канал. В результате воздействующая на шестерни и подшипники сила реакции от давления нагнетания сокращается при данном расположении каналов (см. рис. 1, в) в 2 раза.

Эффективность предложенного технического решения будет неполной, если подшипники оставить при высоком давлении нагнетания неподвижными. Изгиб цапф шестерен приведет к сокращению площади их трения в подшипниках скольжения до двухточечной: на входе цапфы в подшипник и на выходе из него. В результате из-за многократно возросшей силы трения произойдет выдавливание масляного клина и задиры подшип-

ников. Чтобы этого не произошло, конструкция подшипников выполнена самоустанавливающейся по положению угла изгиба цапф для насосов различной компоновки с помощью сферических упоров.

Насос в разрезе с вариантами исполнения сферы на подшипнике и упорной втулке приведен на рис. 2, а, с исполнением сферы на цилиндре меньшего диаметра подшипника и крышке насоса — на рис. 2, б, с исполнением сферы на цилиндре меньшего диаметра подшипника и дне корпуса насоса — на рис. 2, в.

Насос состоит из корпуса 4, передней крышки 7, шестерен ведущей 3 и ведомой 8, подшипников 2, помещенных в упорную втулку 9, компенсаторов 5 с манжетами 6. На рис. 2, а сфера контакта подшипника и упорной втулки имеет радиус R_1 ; на рис. 2, б сфера контакта подшипника и дна корпуса насоса — R_2 ; на рис. 2, в — сфера контакта подшипника, передней и задней крышек — R_3 .

Насос с подшипниками новой конструкции работает следующим образом. При вращении шестерен 3 и 8 нагнетаемая под высоким давлением жидкость воздействует на площадь пары венцов этих шестерен распределенной нагрузкой, вызывая прогиб шестерен как балок с шарнирно-подвижными опорами, которыми в данном случае стали подшипники 2 с упорной сферой радиусом R_1 , R_2 или R_3 . Подшипники поворачиваются при изгибе шестерен и одновременно с цапфами по сфере их контакта с упорной втулкой и крышками, сохраняя площадь трения цапфы с подшипником при любой нагрузке.

Вторая задача — повышение производительности и возможности перекачивания шестеренным насосом несмазывающих жидкостей — решается созданием многосекционного насоса нетрадиционной компоновки, т. е. не последовательным соединением, а параллельным. В основу новой конструкции многосекционного моноблочного насоса положена конструкция планетар-

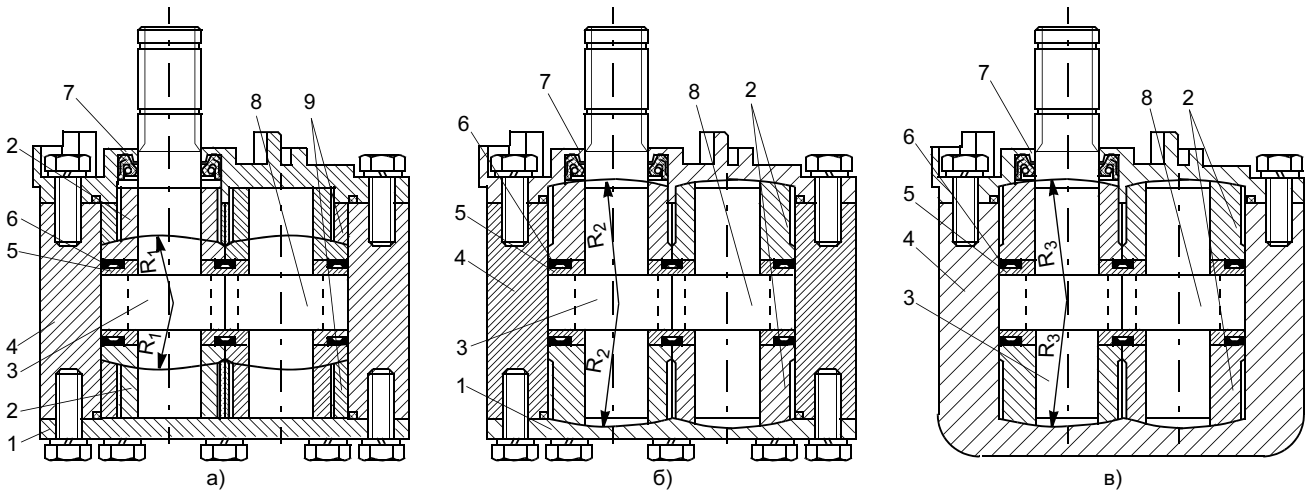


Рис. 2. Шестеренные насосы различной компоновки с самоустанавливающимися подшипниками

ной передачи, в которой сателлиты являются ведомыми шестернями отдельных насосов, а солнечная шестерня — ведущей для всех насосов. Независимость вновь образованных насосов друг от друга по давлению нагнетания и производительности обеспечивается торцевыми уплотнениями между этими насосами. Передаточное отношение между ведущей и ведомыми шестернями позволяет применить приводной двигатель любой частоты вращения, лишь бы обеспечивалась минимальная скорость вращения ведомых шестерен (500 об/мин), при которой можно добиться максимального давления. От частоты вращения приводного двигателя будет зависеть только производительность насоса в целом, на давление это не влияет.

Расчеты показывают, что трехсекционный насос с шестернями с модулем 10 мм, шириной 65 мм (ведущая с 20 зубьями, ведомые с 14) при частоте вращения ведущей шестерни 1460 об/мин обеспечивает производительность 180 м³/ч, но габаритные размеры и масса такого насоса на порядок меньше его центробежного аналога типа ЦНС. Кроме того, сокращение на несколько порядков инерционных вращающихся масс и пар трения повышают КПД такого насоса не менее чем до 0,75.

Новый насос (рис. 3) состоит из отдельных секций, расположенных в одном корпусе. Ведущей шестерней для всех секций является солнечная. Ведомые шестерни расположены по окружности на равном расстоянии от центральной и образуют в зацеплении с ней отдельные секции насоса. Число секций в насосе определяется числом ведомых шестерен, а производительность каждой секции — частотой вращения ведомой шестерни, которая может быть и выше частоты вращения солнечной шестерни из-за передаточного отношения между ними. Мини-

мальная частота вращения шестеренного насоса для создания высокого давления не должна быть менее 8,5 с⁻¹. Высокий гидромеханический КПД насоса обусловлен отсутствием ведущих шестерен и оригинальным секционным торцевым уплотнением каждой секции, обеспечивающим высокий коэффициент объемной подачи и независимость секций по расходу и давлению нагнетания. Это позволяет применять насос в качестве многосекционного агрегата для различных исполнительных устройств при раздельном выходе из каждой секции. Торцевое уплот-

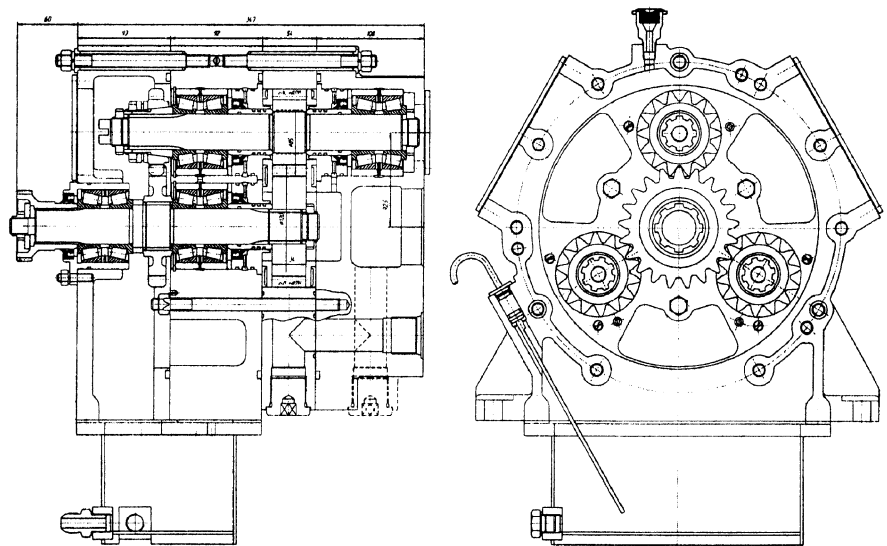


Рис. 3. Общий вид многосекционного шестеренного насоса моноблочной компоновки

нение позволяет применять насос и в качестве высокомоментного гидромотора.

Таким образом, приводная мощность многосекционного шестеренного насоса по сравнению с приводной мощностью аналогичного по характеристикам центробежного агрегата меньше на 25—30 %, т. е. снижаются не только эксплуатационные затраты из-за экономии электроэнергии, но и стоимость насосного агрегата в целом вследствие применения электродвигателя меньшей мощности и частоты вращения.

Конструкция многосекционного моноблочного насоса легко трансформируется в насос для перекачки несмазывающих жидкостей, в частности, воды любой минерализации, кислотности и температуры (без опасности износа эвольвент зубьев шестерен при отсутствии масляного клина в зацеплении шестерен). Достигается это за счет введения в конструкцию насоса дополнительного ряда аналогичных шестерен, помещенного в масляную среду и кинематически соединенного с соответствующими шестернями, перекачивающими воду.

Во время обкатки насоса при приемо-сдаточных испытаниях за счет заложенного при сборке в насос "ноу-хау" происходит перераспределение крутящего момента к дополнительному планетарному ряду с разгрузкой шестерен рабочего ряда от контактных на-

пряжений между зубьями. Это предохраняет эвольвенты зубьев шестерен рабочего ряда от износа, а отсутствие трения между зубьями позволяет применять для их изготовления менее прочные и более пластичные материалы — от сплавов цветных металлов до пластмасс.

Разработанный по такой схеме шестеренный многосекционный моноблочный агрегат имеет более совершенные характеристики по сравнению с центробежными насосными агрегатами. В таблице приведены характеристики самого мощного центробежного агрегата ЦНС 180-1900 (Украина) и нового шестеренного моноблочного насоса НШ 1200 × 3Г (ОАО "Гидромаш", Россия).

Выбор материалов для деталей насосов и обеспечение их работоспособности в несмазывающей среде является одной из главных задач при создании агрегата. Особые требования предъявляются к секционному торцевому уплотнению, контактирующему с торцами венцов пар шестерен. Одним из вариантов применяемых материалов является медистый силумин с добавками свинца, разработанный специалистами МГОУ и ОАО "Гидромаш", а наиболее приемлемым способом изготовления заготовок для деталей торцевого уплотнения (втулок и компенсаторов) с заданными антифрикционными свойствами — технологический процесс

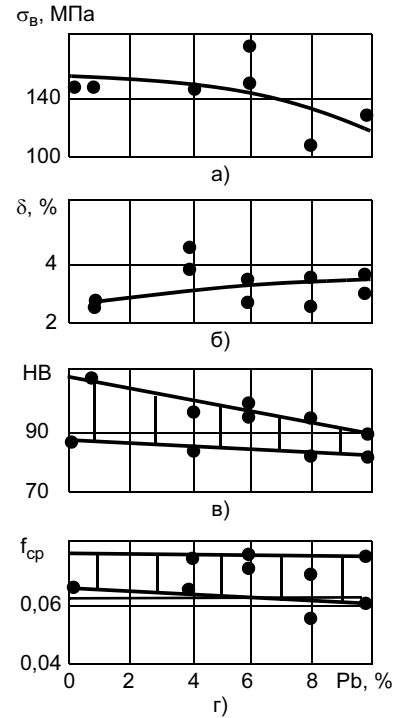


Рис. 4. Зависимость механических свойств отливок (а—в) и среднего коэффициента трения (г) от количества добавки свинца в сплав АК7М6

литья с кристаллизацией под давлением.

На рис. 4 приведены зависимости механических свойств ($\sigma_{в}$, δ , $НВ$) и среднего коэффициента трения $f_{ср}$ медистого силумина АК7М6 от количества добавок свинца в расплаве. Отливки изготовляли способом литья с кристаллизацией под давлением 160 и 240 МПа. Видно, что с увеличением количества добавки свинца в расплаве прочностные характеристики сплава в отливках значительно снижаются, пластические — повышаются, а коэффициент трения остается практически постоянным. Однако вводить добавку свинца в количестве свыше 4 % в сплав АК7М6 нежелательно, так как повышается склонность последнего к обратной ликвации, в результате чего усвоение свинца резко снижается. Например, при добавке свинца в расплав в количестве 4 % его усвоение составляет около 45 %, а при добавке 10 % — 22,5 %.

Насосы НШ 1200 × 3Г серийно выпускают в ОАО "Гидромаш".

Показатель	ЦНС 180-1900	НШ 1200x3Г
Производительность, м ³ /сут	5000 (постоянная)	2500—5000 (регулируемая)
Напор на выходе, МПа	19	
Кпд (гидромеханический)	0,48	0,74
Привод (тип)	Электродвигатель (нерегулируемый)	Электродвигатель (регулируемый)
Частота вращения привода, с ⁻¹	3000	1000—15 000
Мощность привода, кВт	1600	1200
Перекачиваемая жидкость	Нефтепродукты, вода	
Температура жидкости, °С	4—80	4—165
Безопасность	Опасность разрушения из-за высокой скорости вращения и большой инерционности вращающихся масс	Безопасен в связи с регулируемой скоростью вращения и мгновенной остановкой при отключении привода
Габаритные размеры, мм	2930 × 1200 × 1305	900 × 700 × 700
Масса, кг	3800	850

Д. Ю. КРОПАЧЕВ, инж., В. А. НИКОНЕНКО, канд. техн. наук
ОАО НПП "Эталон" (Омск)

Контроль и регулирование температуры хлорида бария в солевых печах

Для измерения температуры расплава соли в печах в настоящее время используют в основном термоэлектрические датчики температуры, помещенные в чехол из оксида алюминия и защищенные арматурой из высокохромистой стали.

Специалисты ОАО НПП "Эталон" опробовали пирометрическую

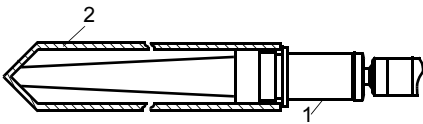


Рис. 1. ИК-термопара



Рис. 2. Измерение температуры хлорида бария ИК-термопарой в солевой печи



Рис. 3. Результаты измерения температуры солевой печи

систему измерения температуры на предприятии ОАО "Омскгидропривод". Основным преимуществом данной системы является использование в качестве измерительного датчика так называемой ИК-термопары 2 (рис. 1). Последняя представляет трубу, заглушенную с одной стороны доньшком в виде конуса, с другой стороны установлен приемник ИК-излучения 1 от пирометра ПД-7, сфокусированный на конус доньшка. Приемник ИК-излучения соединен с пирометром высокотемпературным армированным оптоволоконным кабелем, позволяющим устанавливать электронную часть прибора на безопасном расстоянии от объекта контроля. Таким образом исключается перегрев и выход из строя чувствительного элемента и электроники.

Для проведения сличения параллельно штатной термопаре, осуществляющей измерение температуры и передачу измерительного сигнала на регулятор, в расплав соли помещена ИК-термопара (рис. 2).

Результаты измерений получены во время плановой заправки стальных деталей и приведены на рис. 3. Видно, что в момент максимального нагрева печи температура, измеренная ИК-термопарой, составила 1233 °С, в то время как показания штатной термопарой в данный момент времени составили 1211 °С. В момент остывания ИК-термопара показала температуру 1177 °С, а штатная термопара — 1209 °С, т. е. в верхнем значении температуры ИК-термопара завывшала на 22 °С относительно

штатной, а в нижнем занижала на 32 °С, в то время как на регуляторе установлена верхняя уставка регулирования 1211 °С, а нижняя — 1209 °С.

По мнению специалистов ОАО НПП "Эталон", такое расхождение результатов измерений связано с разной инерционностью датчиков, осуществляющих измерение температуры, а также непропорционально подобранной мощностью, вкачиваемой в солевую расплав. Средняя инерционность термопар в защитной арматуре, разрабатываемых для температур свыше 1000 °С, составляет от 20 до 40 с, в данной печи за это время разница действительной и измеренной температур составляет от 20 до 30 °С. Так как регулирование расплава соли на большинстве предприятий в основном релейное (включено/выключено) и скорость нагрева/остывания высокая, то это приводит к забросам температуры и, соответственно, ухудшению качества закалки стальных деталей.

Благодаря конструктивному исполнению ИК-термопары и высокому быстродействию пирометра существенно снижается инерционность измерений по отношению к обычным термоэлектрическим датчикам. Данная конструкция также позволяет значительно уменьшить финансовые затраты, связанные с износом датчика, так как при выходе из строя замене подлежит лишь ИК-термопара, стоимость которой существенно ниже стоимости термоэлектрических датчиков.

К другим преимуществам можно отнести и то, что пирометр сам может регулировать температуру с помощью встроенных в прибор ключей регулирования (5 В, 20 мА), таким образом потребность в отдельном регуляторе отпадает. На рис. 4 приведена схема возможной реализации релейного регулирования температуры хлорида бария в солевой печи.

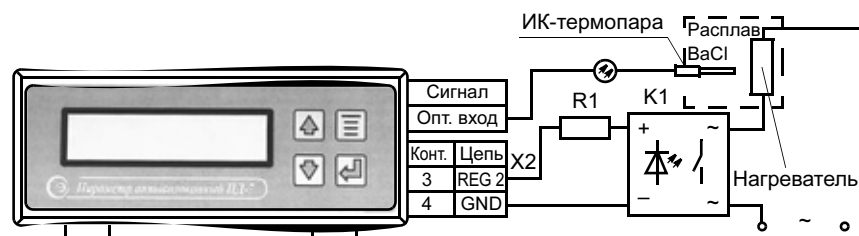


Рис. 4. Схема реализации релейного регулирования на пирометре ПД-7

С. Б. КРАСИЛЬНИКОВ, инж., Г. И. СОНИН, инж.
ЗАО "Синтез НДТ" (Санкт-Петербург)

Рентгеновский радиометрический контроль кольцевых сварных соединений при строительстве магистральных газопроводов

Необходимость обеспечения надежной работы магистральных газопроводов с одновременным сокращением затрат на контроль качества требует повышения доли современного автоматизированного оборудования, использующего цифровую обработку видеоизображения и имеющего показатели качества контроля не хуже, чем при традиционных методах НК.

Для проведения радиационного контроля при строительстве магистральных газопроводов разработана и изготовлена опытно-промышленная радиометрическая установка (РМУ), которая может эксплуатироваться как с рентгеновскими аппаратами, так и с радионуклидными источниками. Ее применение значительно повысит оперативность и объективность радиационного контроля, уменьшит временные и финансовые затраты, долю ручного труда, позволит архивировать результаты контроля в цифровом виде.

Принцип работы радиометрической установки

Радиометрический контроль относится к системам цифровой радиационной дефектоскопии. В этих системах радиационное изображение преобразуется в цифровой массив данных (цифровое изображение), который в процессе проведения контроля может подвергаться различным видам цифровой обработки и в виде полутонового изображения построчно выводиться на монитор ПК.

Радиометрический метод основан на принципе измерения изменения потока гамма- или рентгеновского излучения, прошедшего через материал контролируемого объекта. Детектором для радиометрического контроля является фотодиод с наклеенным на него сцинтиллятором. Под действием излучения сцинтиллятор испускает видимый свет, световой выход сцинтиллятора пропорционален энергии квантов. Это световое излучение вызывает ток в фотодиоде.

Итак, детектор преобразует излучение, проходящее через контролируемое изделие, в электрический сигнал, величина которого пропорциональна интенсивности гамма-излучения.

Приемник рентгеновского излучения представляет собой линейку сцинтилляционных детекторов, каждый из которых оснащен своим усилителем, образуя с ним единый независимый канал. Число детекторов в линейке определяется требуемой шириной зоны контро-

ля. Каждый канал в каждом детекторном блоке последовательно опрашивается, и с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) полученные сигналы оцифровываются. Блок сбора информации проводит опрос детекторных блоков и передает полученный цифровой массив на ПК.

Перемещая детекторные блоки относительно контролируемого сварного соединения, получаем непрерывно считываемый массив данных. Этот массив записывается в память ПК для последующего более детального исследования и архивирования, а в обработанном виде выводится в виде полутонового изображения на монитор для оперативной оценки качества контролируемого участка в реальном времени.

Требования к рентгеновским аппаратам

Как известно, в радиографическом методе контроля флуктуации интенсивности и энергетического спектра, проходящего через объект излучения, не влияют на чувствительность контроля, поскольку фиксируемое на рентгеновской пленке изображение определяется интегральной дозой излучения за время экспозиции. Поэтому при радиографическом контроле можно применять рентгеновские аппараты любых типов. Изготовители рентгеновских аппаратов не приводят данных по флуктуации интенсивности излучения, так как эта величина абсолютно не критична при радиографическом контроле.

Радиометрия — метод измерения в режиме реального времени при построчном сборе информации. Сканирование одной строки занимает десятые доли секунды. Поэтому к рентгеновскому аппарату предъявляются два основных требования: во-первых, плотность потока излучения, прошедшего через контролируемую толщину объекта, должна быть достаточно велика, чтобы можно было зарегистрировать за это время изменение толщины объекта вдоль участка сканирования на фоне постоянной составляющей прошедшего и рассеянного излучения. Во-вторых, интенсивность излучения в течение сканирования должна быть постоянной. Итак, при радиометрическом контроле требуется применение высокостабильных источников ионизирующего излучения с максимально возможной плотностью потока излучения и постоянным энергетическим спектром.

Для сравнения современных панорамных рентгеновских аппаратов постоянного потенциала был разработан переносной прибор, который обеспечил проведение измерений интенсивности рентгеновского излучения в полевых условиях. С точки зрения применимости этих аппаратов для радиометрического контроля их можно разделить на три группы.

К первой группе относятся аппараты, имеющие фиксированную частоту флуктуаций интенсивности рентгеновского излучения. Эти регулярные изменения интенсивности создают поперечные полосы на изображениях. Среднеквадратичные отклонения интенсивности при этом в 2—3 раза превышают статистические шумы. Влияние этих флуктуаций можно ослабить программным образом. Для этого радиометрическая установка должна быть оснащена программами, которые будут определять спектральную составляющую флуктуаций для каждого применяемого рентгеновского аппарата. Такие аппараты можно считать условно применимыми для радиометрического контроля.

Ко второй группе отнесем рентгеновские аппараты постоянного потенциала, имеющие высокочастотные случайные во времени флуктуации. Величина средне-статистических отклонений интенсивности излучения превышает 1 %. Такие аппараты нельзя применять при радиометрическом контроле.

Идеальным вариантом являются аппараты, у которых стабильность излучения выше 0,5 %, а частота флуктуаций ниже 0,1 Гц. Такие незначительные по величине низкочастотные изменения интенсивности легко устраняются на изображении программно.

Для работы с РМУ был выбран рентгеновский панорамный аппарат РПД-200 П. После определенной модификации системы питания он показал, что может быть успешно применен для проведения радиометрического контроля.

Выбор параметров РМУ

Параметры РМУ определяются прежде всего требованиями к чувствительности и производительности контроля.

Главным элементом установки являются апертура детектора и его размер вдоль направления распространения излучения (лучевая протяженность детектора). При выборе этих размеров необходимо максимально учесть все факторы и возможные условия, при которых будет эксплуатироваться данная РМУ.

К таким факторам относятся:

- диапазон контролируемых толщин;
- требуемая чувствительность контроля;
- критерии отбраковки сварного соединения согласно нормативной документации на радиационный контроль;
- требуемая производительность контроля;
- вид применяемого источника гамма-излучения;
- интенсивность гамма-излучения (радиационная нагрузка детектора);
- экономически целесообразная стоимость аппаратуры.

Как известно, чувствительность радиометрического контроля к дефектам величина регулируемая, зависящая от параметров контроля [1]. В свою очередь чувствительность контроля определяется соотношением контрастного и пространственного разрешения детектирующего элемента. Контрастная чувствительность определяется квантовой эффективностью детекторов, которая прямо пропорциональна объему сцинтиллятора. Пространственное разрешение обратно пропорционально апертуре детектора. Конструктивные решения и условия сбора информации могут улучшать пространственное разрешение аппаратуры.

Как известно, для контроля сварных соединений на трубопроводах диаметром 1420 мм применяется как рентгеновские аппараты, так и радионуклидные источники ^{192}Ir . При этом требуемая производительность контроля должна быть не менее пяти сварных соединений в 1 ч.

Исходя из этих условий были выбраны детекторы с лучевой протяженностью 20 мм и апертурой $1,4 \times 1,5$ мм. Как показали измерения, для ^{192}Ir квантовая эффективность этих детекторов превышает 70 %. Необходимо учесть, что столь значительная величина лучевой протяженности детекторов требует строгой юстировки блока детекторов относительно источника гамма-излучения, что технологически легко достижимо. Оптимальное соотношение между пространственным разрешением и контрастной чувствительностью определяет выбор апертуры детектора. Качество полутонового видеоизображения должно обеспечивать получение требуемой чувствительности согласно нормативной документации на контроль данного сварного соединения. Это необходимое и достаточное условие правомерности выбора размеров детекторов.

Для проверки чувствительности радиометрического контроля использовались проволочные, канавочные и пластинчатые эталоны качества изображения. Самые объективные оценки пространственного разрешения позволяют получить пластинчатые эталоны с отверстиями. При толщине стенки 20 мм выявляются отверстия 2Т на эталоне № 17 и отверстие 1Т на эталоне № 30. Это соответствует самым жестким требованиям на радиационный контроль. Естественно, изображение проволочных и канавочных эталонов показывало чувствительность, превышающую требуемую.

В случае применения при контроле только рентгеновских аппаратов и при фокусном расстоянии не более 500 мм с любым источником можно применять детекторы с меньшей апертурой и лучевой протяженностью.

Применение линейки детекторов при радиометрическом контроле имеет два существенных недостатка, которые могут привести к ухудшению выявляемости дефектов:

- между элементами в линейке детекторов всегда существует технологический зазор, что уменьшает величину сигнала от объекта в контролируемом участке, часть проекции которого может приходиться на технологический зазор;

— существует вероятность, величина которой зависит от соотношения ширины детектора и величины технологического зазора между детекторами, что сигнал от узкого дефекта типа непровара распределится между двумя соседними детекторами.

При этом условии дефекты с малой шириной и низким контрастом, к которым относятся непровары и трещины в сварном соединении, могут вообще не выявиться на изображении.

Влияние этих факторов можно значительно уменьшить, применяя для радиометрического контроля устройство, оснащенное двумя параллельно ориентированными линейками детекторов, последовательно считывающими информацию с контролируемого участка. При этом линейки смещены относительно друг друга на половину ширины детектора. В этом случае проекция технологического зазора в одной линейке приходится на центр детектора в другой линейке. При работе с двумя детектирующими линейками информация о контролируемом участке содержится как в каждом из двух независимых изображений от каждой линейки, так и в суммарном изображении от обеих линеек. На суммарном изображении возрастает выявляемость и точность измерения дефектов, зарегистрированных обеими линейками, так как отношение сигнал/шум от этих дефектов на суммарном изображении в 1,4 раза больше, чем на изображениях от каждой линейки.

Базовым элементом механизма сканирования для радиометрического контроля сварных соединений при строительстве магистральных газопроводов выбран бандаж, аналогичный применяемому при автоматической сварке. Замыкание бандажа осуществляется тяжелой рычажной защелкой. Для обеспечения производительности контроля применяли шесть детекторных блоков, которые одновременно проводят контроль своих сегментов сварного шва. Каждый детекторный блок установлен на своей пассивной каретке на роликах. Ролики выполнены на шарикоподшипниках и опираются на бандаж.

Перемещение приводной каретки с мотор-редуктором по образующей трубы и бандажу на длину 1/6 периметра (с учетом перекрытия смежных участков) осуществляется звездочкой и цепью Галля, закрепленной на бандаже. Натяжение цепи и исключение самопроизвольного перемещения достигается талрепом и двумя подпружиненными натяжителями цепи, установленными на приводящей каретке. Синхронное перемещение детекторных блоков обеспечивается металлическими шарнирами с рычагами, связывающими каретки между собой. После завершения контроля очередного сварного соединения бандаж с закрепленными на нем детекторными блоками перемещается к следующему шву с помощью транспортной тележки. Транспортная тележка перемещается по контролируемому трубопроводу. На ней можно располагать источники питания и необходимую аппаратуру.

Программное обеспечение радиометрической установки состоит из четырех основных блоков — программы сбора информации, программы улучшения

изображения, программы управления блоками и аппаратурой в целом, и программы автоконтроля.

Проведение радиометрического контроля

Отработка методики радиометрического контроля, отладка и согласование блоков и узлов аппаратуры проводилась в рентгеновской камере на катушке диаметром 1420 мм с двумя сварными соединениями (сварка покрытым электродом, автоматическая сварка под флюсом). При проведении измерений применяли радиоактивный источник ^{192}Ir активностью от 40 до 65 Ки и различные рентгеновские аппараты. Все источники излучения при проведении измерений располагались в центре катушки, т. е. фокусное расстояние составляло 760 мм.

Предельную чувствительность радиометрического контроля измеряли с применением рентгеновского аппарата направленного действия ERESO65 MF2 при 225 кВ и анодном токе 3,8 мА. Считывание информации проводилось одним детекторным блоком с учетом диаграммы направленности рентгеновского излучения. Скорость сканирования детекторных блоков при проведении измерений выбиралась от 2,2 до 3 мм/с. Чувствительность контроля составляла 0,3 мм по канавочному эталону № 1, 0,25 мм по проволочному, на пластинчатом с отверстиями ASTM № 17 выявлено отверстие 2T, на ASTM № 30 — 1T.

Контроль сварных соединений на катушке диаметром 1420 мм проводили с применением панорамного рентгеновского аппарата РПД-200 П с модифицированным источником питания. Параметры излучения — 190 кВ, анодный ток 4,8 мА. Так как интенсивность рентгеновского излучения аппарата РПД-200 П в выбранном режиме в 2 раза ниже, чем от аппарата ERESO, то отношение сигнал/шум в 1,5 раза ниже, следовательно, и чувствительность контроля ниже.

Радиометрическую установку испытывали в полевых условиях на контроле поворотных стыков трубопровода при температуре окружающей среды от -30 до 0 °С с дождем и мокрым снегом. РМУ и РПД-200 П продемонстрировали свою работоспособность в этих условиях. Были, конечно, и сбои в работе аппаратуры по зависящим и не зависящим от авторов статьи причинам. Замечания по работе аппаратуры были учтены, отработана технология радиометрического контроля поворотных сварных соединений при строительстве газопроводов.

Сварной шов, выполненный автоматической сваркой под флюсом, имеет выпуклость над основным металлом 6—8 мм, а с учетом выпуклости внутренней подварки толщина в районе корня шва превышает толщину стенки трубы на 10 мм. При радиационном контроле сварных соединений переменного сечения с большим перепадом просвечиваемых толщин на контролируемых участках (тонкостенных сварных соединений с относительно большой выпуклостью шва, швов приварки патрубков, различных тавровых соединений и т. д.) оценка качества сварного соединения затруднена из-за значительного контраста изображения контролируемого участка.

При радиометрическом контроле большинства сварных соединений с переменной толщиной значительное изменение толщины поглотителя распределяется вдоль ориентации линейки детекторов, а в направлении сканирования изменения толщины под каждым элементом линейки детекторов незначительны. Это позволяет определить среднюю толщину поглотителя — "усредненный профиль", зарегистрированную каждым детектором, усредняя текущие значения выходных сигналов в данном канале.

Для уменьшения диапазона градаций серого в получаемом изображении участка с переменной толщиной поглотителя достаточно из текущих значений сигналов, полученных в процессе контроля сварного соединения, вычесть значения "усредненного профиля" в каждом канале. Применение вычитания "усредненного профиля" приводит к тому, что резко повышается выявляемость дефектов в сварном соединении; изображение сварного шва с выпуклостью и пришовной зоной лежат практически в одном и том же диапазоне градаций серого. Необходимо учесть, что вычитание "усредненного профиля" может привести к исчезновению на изображении протяженного непровара. Но его изображение всегда присутствует в необработанном массиве данных, в который не вносятся изменения, вызванные последующей обработкой изображения.

На рис. 1 показано, в каком виде выводится на мониторе ПК изображение сварного шва (автоматическая сварка) в реальном времени при радиометрическом контроле. Сверху располагаются изображения от двух линеек детекторов в блоке, которые последовательно считывают информацию с контролируемого участка. Нижняя часть изображения — выполненное программным образом суммарное изображение от этих двух линеек. На рис. 2 приводится результат от действия вычитания "усредненного профиля" на том же участке сварного соединения. Естественно, чем меньше продольные колебания толщины выпуклости, тем выше эффективность применения этого метода.

На рис. 3 изображено сварное соединение, выполненное ручной сваркой. Анализ изображения такого шва показал необходимость разработки программного обеспечения по подавлению пространственных шумов, обусловленных неравномерностью поверхности сварного соединения. Наличие сопутствующего сигнала значительно ухудшает выявляемость дефектов как при оценке качества оператором (как и на рентгеновской пленке), так, в еще большей степени, при автоматизации обнаружения дефектов с помощью программного обеспечения. Поэтому поверхность сварного соединения с грубой чешуей должна быть зачищена с использованием средств механической обработки до начала проведения радиометрического контроля. При контроле швов, полученных ручной сваркой, метод вычитания "усредненного профиля" дает положительный эффект, но в меньшей степени, чем при контроле швов, полученных автоматической сваркой.

На рис. 4 показано изображение, полученное при контроле сварного соединения, выполненного ручной дуговой сваркой, с применением радионуклидного ис-

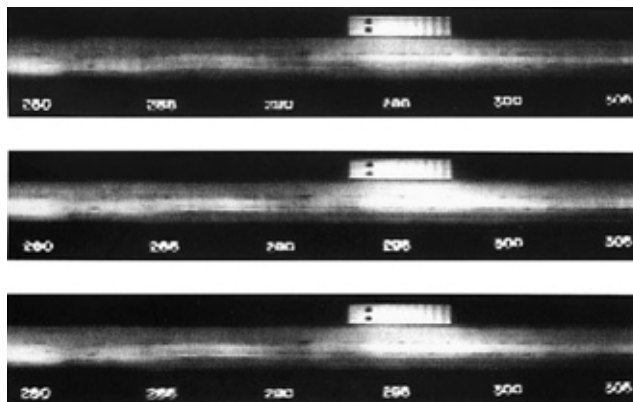


Рис. 1. Автоматическая сварка. РГД-200 П — 190 кВ, 4,8 мА. Сверху — два изображения, полученные от каждой линейки детектора в блоке, внизу — суммарное изображение этих двух линеек



Рис. 2. Результат от действия вычисления "усредненного профиля" на том же участке сварного соединения

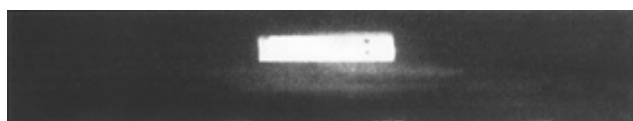


Рис. 3. Сварное соединение, выполненное ручной сваркой

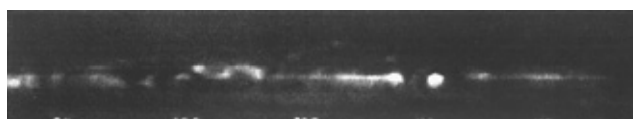


Рис. 4. Контроль сварного соединения с применением ^{192}Ir . Активность ^{192}Ir — 80 Ки. Скорость сканирования 8,7 м/ч. Изображение после вычитания "усредненного профиля"

точника ^{192}Ir . Предварительные расчеты показали, что при радиометрическом контроле трубопроводов диаметром 1420 мм для обеспечения производительности контроля 6 мин на шов активность ^{192}Ir должна быть не меньше 60 Ки. В нашем распоряжении был источник с начальной активностью 65 Ки. Чувствительность контроля без снижения скорости сканирования по канавочному эталону выполнялась вплоть до активности 45 Ки. При более низкой активности необходимо уменьшать скорость контроля.

Анализ результатов радиометрического контроля

Выявляемость дефектов в сварных соединениях при радиометрическом контроле определялась сравнением с радиографическим изображением. По рентгеновскому снимку определялся размер выявленных в сварном соединении дефектов. Чувствительность

контроля и, как следствие, выявляемость дефектов при радиометрии уменьшается по мере уменьшения радиационной загрузки детекторов и увеличения энергии гамма-излучения. Наилучшие результаты получены при использовании аппарата ERESO65 MF2 при 225 кВ и анодном токе 3,8 мА (с прямым пучком), наилучшие — при применении ^{192}Ir .

Основной объем работы проводился с использованием аппарата РПД-200 П. Получена полная воспроизводимость по выявляемости дефектов, конечно, в пределах статистической погрешности. Выявляемость при размере 0,7 мм составляла 90 % при работе с ERESO, 70 % при работе с РПД-200 П и не более 20 % при использовании ^{192}Ir . Все дефекты размером больше чем 1,2 мм были выявлены во всех случаях. Поэтому можно утверждать, что несмотря на то, что активность ^{192}Ir была низкой, аппаратура обеспечила требования чувствительности контроля при времени сканирования 6 мин.

Все сказанное выше относится к контролю швов, сваренных в автоматическом режиме. Измерения показали, что радиометрическому контролю можно также подвергать швы, выполненные ручной сваркой. Но перед проведением контроля такие швы должны обязательно зачищаться в соответствии с нормативной документацией. Даже на рентгеновском снимке иногда невозможно отличить шлаковое включение от резкой впадины между грубыми "чешуями" сварки.

Конечно, принятые в данной установке размеры детектора не оптимальны для контроля толщин около 20 мм, но только такие детекторы позволяют проводить контроль с использованием ^{192}Ir . Эксперимент на плоских образцах сварных соединений различной толщины показали, что такой размер детекторов является оптимальным для радиометрического контроля сварных соединений толщиной от 30 до 100 мм как с применением рентгеновского излучения, так и с использованием радионуклидных источников. При контроле толщин от 45 мм и выше пространственное разрешение радиометрического изображения близко к пространственному разрешению радиографии, а коэффициент накопления рассеянного излучения при радиометрии значительно меньше, чем при радиографии при тех же условиях просвечивания. При размерах апертуры $1,4 \times 1,5$ мм разрешение изображения в направлении сканирования составляет 0,4 мм, поперек движения — 1,7 мм, а с учетом применения двух параллельных линеек детекторов — около 1 мм. Применяя технологические и программные решения, можно достичь размера пикселя $0,4 \times 0,7$ мм.

При радиационном контроле сварных соединений пространственное разрешение детектирующего устройства должно обеспечить более точное определение формы и размеров выявленных дефектов, разделить близко лежащие дефекты. Но прежде всего эти дефекты должны быть выявлены. Выявляемость дефектов в первую очередь зависит от контрастной чувствительности детектирующего устройства. В свою очередь контрастная чувствительность метода определяется эффективностью и линейностью регистра-

ции гамма-излучения, динамическим диапазоном детектирующего устройства [2, 3]. По всем этим параметрам РМУ значительно превосходит все остальные методы радиационной дефектоскопии во всем диапазоне энергий гамма-излучения. С учетом того, что дефектоскопическая чувствительность радиометрического контроля величина регулируемая, радиометрический контроль достаточно универсальный метод в широком диапазоне толщин исследуемых материалов и энергий гамма-излучения.

Заключение

Радиометрический контроль имеет наихудшее пространственное разрешение по сравнению с другими радиационными методами, однако этот недостаток может быть скомпенсирован наивысшей контрастной чувствительностью. Это обеспечивает выявление и измерение недопустимых дефектов в контролируемых изделиях. При радиометрическом контроле могут применяться как рентгеновские аппараты, так и радионуклидные источники. Для обеспечения радиометрического контроля в диапазоне толщин от 10 до 200 мм достаточно применение трех-четырёх типовых размеров детектора.

Радиометрический контроль может широко применяться для исследования большого объема однотипных изделий, он обеспечивает высокую производительность, оперативность и степень автоматизации. Этот метод может применяться при строительстве магистральных газо- и нефтепроводов, на трубных заводах, при изготовлении цистерн для агрессивных сред, на машиностроительных заводах, в авиа- и ракетостроении и т. д. По данным статистики, в толстостенных сварных соединениях до 70 % дефектов располагаются в корне шва. Как правило, толстостенное изделие, на котором заварен только корень шва, нельзя передать на рентгеновскую камеру для технологического контроля. С помощью радиометрической установки можно проводить контроль корня шва прямо на сварочном стенде, не отключая обогрев свариваемого соединения.

Стремительно развивающаяся электронная и вычислительная техника открывает широкие возможности для усовершенствования и удешевления радиометрической аппаратуры.

Измерения, проведенные с помощью панорамного рентгеновского аппарата РПД-200 П, показали, что на базе рентгеновских аппаратов этого типа могут быть созданы радиометрические комплексы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев В. А., Сонин Г. И. Область применения радиометрических установок // В мире НК. 2002. № 1 (15). С. 24—27.
2. *Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / Под ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 1995.*
3. Зуев В. М., Табакман Р. Л., Удралов Ю. И. Радиографический контроль сварных соединений. СПб.: Энергоатомиздат, 2001.

"В мире неразрушающего контроля", 2006, № 4

АВТОМАТИЗАЦИЯ И КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

И. В. ШРУБЧЕНКО, канд. техн. наук, И. И. КУЗНЕЦОВА, аспирант,
А. В. КОЛОБОВ, аспирант, М. И. ШРУБЧЕНКО, аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

Оптимизация параметров бесцентровой обработки крупногабаритных бандажей технологических барабанов на основе математического моделирования

На предприятиях различных отраслей промышленности — строительных материалов, химической, металлургической, горнодобывающей — широко применяются вращающиеся технологические барабаны (ТБ). Данные агрегаты имеют широкий спектр исполнений и типоразмеров. Типичным примером агрегата такого рода является вращающаяся печь для обжига цементного клинкера.

Любой ТБ имеет две или более опоры, каждая из которых содержит бандаж — стальное кольцо, охватывающее корпус агрегата, и два опорных ролика. ТБ обычно вращаются с небольшой частотой — 1—2 об/мин, в результате материал, располагающийся внутри, перемешивается, подвергается физико-химической или другой обработке и транспортируется.

Вследствие погрешностей изготовления и сборки ТБ, значительных удельных нагрузок, действующих на опоры, высокой температуры и других факторов на поверхностях качения бандажей и роликов возникает значительная погрешность, что отрицательно сказывается на эксплуатационных характеристиках агрегата. Особенно опасно отклонение поверхности бандажа в радиальном направлении (отклонение от круглости). Для обработки поверхностей качения непосредственно на работающем ТБ в настоящее время широко применяют мобильное оборудование, в частности специальный переносной встраиваемый станок¹.

Для исправления формы бандажа в радиальном направлении целесообразно обрабатывать его на станке, установленном в пространстве между опорными роликами, однако это не всегда возможно. Для того чтобы обеспечить обработку бандажа с исправлением формы в радиальном направлении, разработана специальная конструкция адаптивной технологической системы — динамический самоустанавливающийся суппорт (ДСС). При использовании ДСС станок устанавливают на корпусах подшипников роликоопоры, инструмент располагают за пределами роликов. ДСС (рис. 1) устанавливают на продольный суппорт спе-

циального переносного встраиваемого станка УВС-01. Траверса 1 шарнирно соединена с подпружиненной пинолью 4. Усилие прижима ДСС к обрабатываемой поверхности может регулироваться при помощи винта 5. Конструкция ДСС с двумя опорными роликами 2 и поперечным суппортом 3 является наиболее простой и одновременно надежной, обеспечивает эффективное исправление дефектов формы бандажей.

Для исследования процесса формообразования бандажа ДСС с двумя опорными роликами разработана математическая модель.

Контур бандажа задается в натуральную величину в виде массива радиус-векторов:

$$R_i = R_{\text{ном}} + \Delta R \sin\left(\frac{i}{N}\right)^2,$$

где $R_{\text{ном}}$ — номинальный радиус бандажа; ΔR — величина задаваемой погрешности радиуса; i — индекс радиус-вектора ($i = 1, 2, 3, \dots, 360N$); N — задаваемое число точек контура поверхности на 1° .

Для вычисления положения роликов ДСС в процессе обработки определяли эквидистанту к исходной

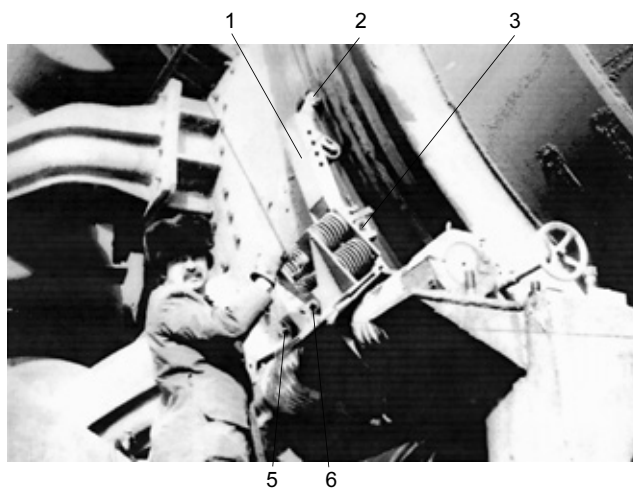


Рис. 1. Станок УВС-01, оснащенный ДСС

¹ А. с. 1306648 (СССР).

поверхности банджа (рис. 2). Выделяли две соседние точки контура и переводили их из полярной системы координат в прямоугольную:

$$x_1 = R_1 \cos(f_1); x_2 = R_2 \cos(f_2);$$

$$y_1 = R_1 \sin(f_1); y_2 = R_2 \sin(f_2),$$

где f_1, f_2 — угловые положения радиус-векторов R_1 и R_2 соответственно.

Из точек контура восстанавливали нормали к прямым, которые соединяют соседние точки контура. Угол расположения нормали определяли по формуле

$$\alpha_{i,i+1} = \arctg\left(\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}\right) - \frac{\pi}{2}.$$

Область определения функции \arctg лежит в пределах $\left(-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right)$, поэтому если выражение в знаменателе будет меньше нуля, то угол $\alpha_{i,i+1}$ должен быть увеличен на π .

Точки эквидистанты определяются следующими зависимостями:

$$x_{ek_i} = x_i + R_{po} \cos(\alpha_{i,i+1});$$

$$x_{ek_{i+1}} = x_{i+1} + R_{po} \cos(\alpha_{i,i+1});$$

$$y_{ek_i} = y_i + R_{po} \sin(\alpha_{i,i+1});$$

$$y_{ek_{i+1}} = y_{i+1} + R_{po} \sin(\alpha_{i,i+1}),$$

где R_{po} — радиус роликов ДСС.

Полученные координаты точек эквидистанты в полярной системе формируют массив значений

$$R_{ek_i} = \sqrt{x_{ek_i}^2 + y_{ek_i}^2}; f_{ek_i} = \arctg\left(\frac{y_{ek_i}}{x_{ek_i}}\right),$$

где R_{ek_i}, f_{ek_i} — значения радиус-векторов точке эквидистанты и их угловые положения соответственно.

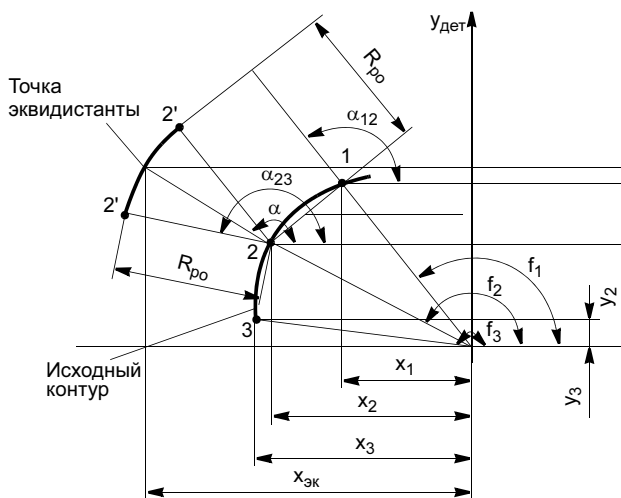


Рис. 2. Построение эквидистанты к поверхности банджа

Для преобразования этих значений в один массив выделяли две соседние точки эквидистанты, например 1' и 2', и определяли изменение радиус-вектора при изменении угла на 1° :

$$\frac{\Delta R}{\Delta f} = \frac{R_{ek_2} - R_{ek_1}}{f_{ek_2} - f_{ek_1}}.$$

Таким образом, на отрезке 1'—2' (рис. 3) можно определить точку, положению которой соответствовал бы целочисленный индекс в соответствии с исходным контуром.

Последовательно увеличивая индекс на единицу, определяли точку эквидистанты, соответствующую целочисленному индексу:

$$R_{ek_1} = R_{ek_2} = \frac{\Delta R}{\Delta f} (f_{ek_3} - f_{ek_1}),$$

где f_{ek_3} — угловое положение радиус-вектора, соответствующее целочисленному индексу.

Таким образом формируется массив точек контура эквидистанты.

Задавая положение первого ролика ДСС индексом i_1 (рис. 4), определяли положение второго его ролика, используя интерполяцию.

Индексы точек 2 и 3 (i_{pr} и i_{sl}) определяли перебором, проверяя условие

$$A > L, C < L,$$

где L — заданный в конструкции ДСС межосевой размер роликов.

Координаты точек 1, 2 (i_{pr}) и 3 (i_{sl}) в полярной системе

$$1\left(\frac{i_1 2\pi}{N 360}; R_{ek_1}\right); 2\left(\frac{i_{pr} 2\pi}{N 360} R_{ek_{pr}}\right); 3\left(\frac{i_{sl} 2\pi}{N 360} R_{ek_{sl}}\right).$$

Длина отрезков A, B и C :

$$A = \sqrt{(x_{sl} - x_1)^2 + (y_{sl} - y_1)^2};$$

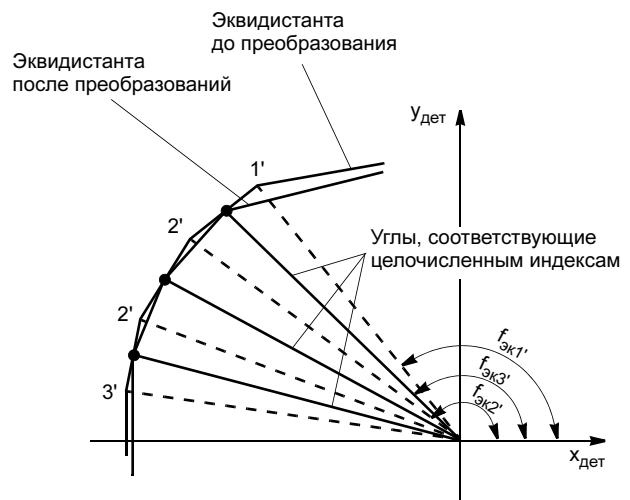


Рис. 3. Преобразование эквидистанты для работы в один массив

$$C = \sqrt{(x_{pr} - x_1)^2 + (y_{pr} - y_1)^2};$$

$$B = \sqrt{(x_{sl} - x_{pr})^2 + (y_{sl} - y_{pr})^2},$$

где $x_{sl}, x_1, y_{sl}, y_1, x_{pr}, y_{pr}$ — координаты точек 1, 2 (i_{pr}) и 3 (i_{sl}) в декартовой системе.

Для определения точки, соответствующей центру второго ролика (точка 4), необходим отрезок D .

Используя линейную интерполяцию, определяли координаты точки 4, соответствующей расположению оси второго ролика ДСС:

$$x_4 = x_{pr} + D \frac{x_{sl} - x_{pr}}{B};$$

$$y_4 = y_{pr} + D \frac{y_{sl} - y_{pr}}{B}.$$

Координаты вершины резца 1 ($x'; y'$) (рис. 5) в системе координат бандажа

$$\begin{cases} x'_p = x_1 + x''_p; \\ y'_p = y_1 + y''_p; \end{cases}$$

где x''_p, y''_p — координаты вершины резца, полученные после поворота системы координат в новое положение

$$\begin{pmatrix} x''_p \\ y''_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma \\ \sin \gamma & \cos \gamma \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x_p \\ y_p \end{pmatrix}.$$

Угол поворота системы координат определяется системой уравнений

$$\begin{cases} \gamma = \arccos\left(\frac{x_2 - x_1}{L}\right); \\ \gamma = \arcsin\left(\frac{y_2 - y_1}{L}\right). \end{cases}$$

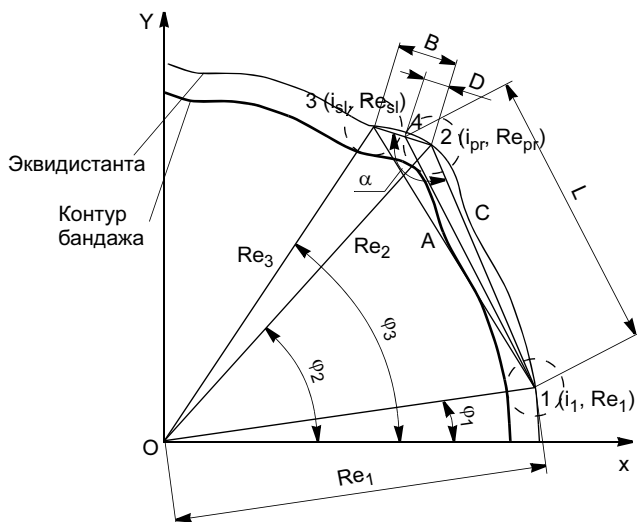


Рис. 4. Расчетная схема определения положения роликов ДСС

Радиус-вектор положения вершины резца и угол в полярной системе координат бандажа соответственно равны

$$R_{p_i} = \sqrt{x_{p_i}^2 + y_{p_i}^2}; \varphi_{p_i} = \arcsin\left(\frac{y_{p_i}}{R_{p_i}}\right).$$

Значения R_{p_i} сравниваются с R_i — радиусами исходного контура. Если $R_i \leq R_{p_i}$, то в новый массив радиусов обрабатываемой поверхности вносят старое значение (съем слоя припуска не осуществляется). Если $R_i > R_{p_i}$, то съем слоя припуска произведен и в массив вносят новое значение радиуса, соответствующее R_{p_i} .

Последовательно осуществляя поворот бандажа на один шаг i , повторяют процедуру вычисления. Таким образом, формируется массив значений радиус-векторов бандажа после выполнения очередного его оборота.

Сравнивая значения радиус-векторов детали, полученные после выполнения оборота, можно определить фактическую форму и величину биения поверхности.

Следует выделить два основных технологических параметра, определяющих форму поверхности обработанного бандажа, а следовательно, и эффективность применения ДСС: межосевой размер роликов самоустанавливающегося суппорта L и коэффициент глубины резания K .

Так как при обработке бандажа по бесцентровой схеме глубина резания является переменной, для ее определения используется коэффициент глубины резания

$$K = \frac{t_{\max}}{B i_n}$$

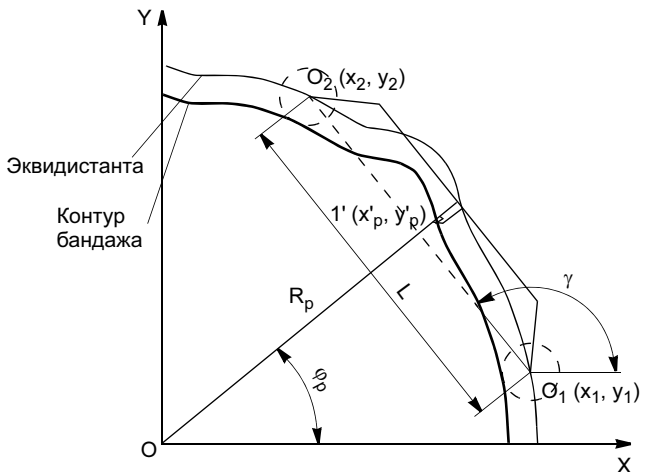


Рис. 5. Определение координат вершины резца в системе координат бандажа

где t_{\max} — максимальная глубина резания за оборот бандажа; $Bi_{\text{и}}$ — биение поверхности качения бандажа, измеренное относительно базы ДСС.

Для обоснования применения бесцентровой обработки бандажей с использованием ДСС следует определить критерии оценки — конкретные численные характеристики.

Так как целью обработки бандажей с использованием ДСС является исправление формы поверхностей качения, введем коэффициент исправления $K_{\text{и}}$, характеризующий уменьшение биения поверхности бандажа (относительно оси ТБ):

$$K_{\text{и}} = \frac{Bi'}{Bi},$$

где Bi' , Bi — биение поверхности бандажа после и до обработки соответственно. Если $K_{\text{и}} < 1$, происходит исправление формы бандажа, если $K_{\text{и}} > 1$, происходит его ухудшение.

Так как резание поверхности бандажа при обработке с использованием ДСС происходит с переменной глубиной, фактическая стойкость инструмента выше, чем рассчитанная исходя из величины максимальной глубины резания. Поскольку резание происходит в области низких скоростей, а длина обрабатываемой поверхности весьма значительна, период стойкости инструмента может оказаться меньше продолжительности одного рабочего хода, поэтому важно правильно оценить его величину. Период стойкости инструмента характеризует коэффициент стойкости

$$K_{\text{ст}} = \frac{T(t_{\max})}{T_{\text{ф}}},$$

где $T(t_{\max})$ — период стойкости инструмента, рассчитанный из условия равномерного резания с постоянной глубиной t_{\max} ; $T_{\text{ф}}$ — фактический период стойкости инструмента.

Бандажи технологических барабанов передают на ролики опор нагрузку от веса агрегата и находящегося внутри сырья, а также динамические нагрузки, возникающие вследствие наличия изгиба оси ТБ, отклонения в расположении опор и др. Поэтому к прочности бандажей предъявляются повышенные требования. Сточенные более чем на 0,1 толщины бандажи подлежат выбраковке. Поэтому при обработке бандажей важно произведе-

сти сьем минимально необходимого количества металла. Кроме того, при выполнении данного условия уменьшается необходимое время обработки, а следовательно, ее стоимость.

Для характеристики количества снимаемого при обработке металла введем два коэффициента.

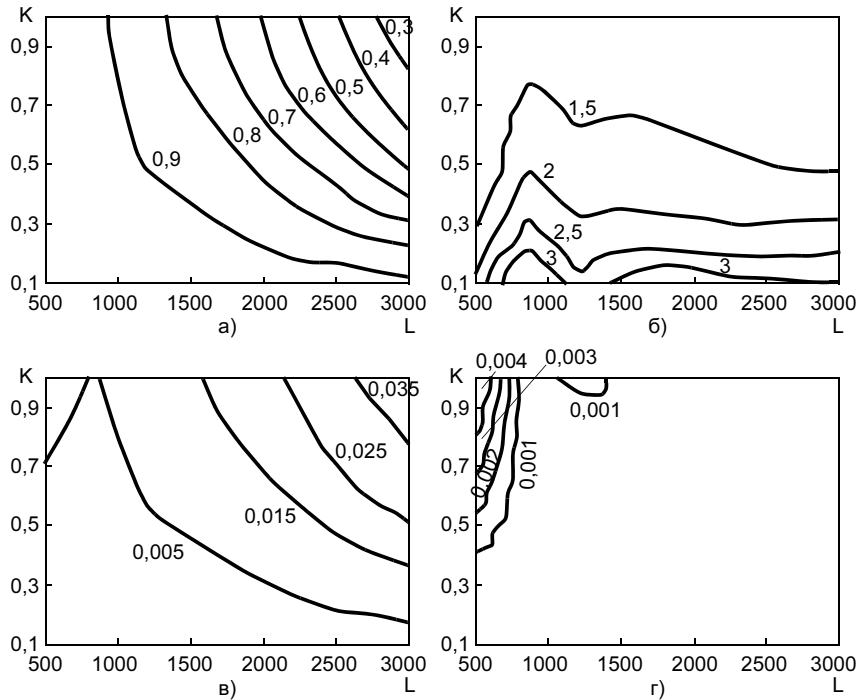


Рис. 6. Результаты моделирования обработки овального бандажа: а—г — коэффициенты исправления, стойкости, снятия металла и уменьшения радиуса соответственно

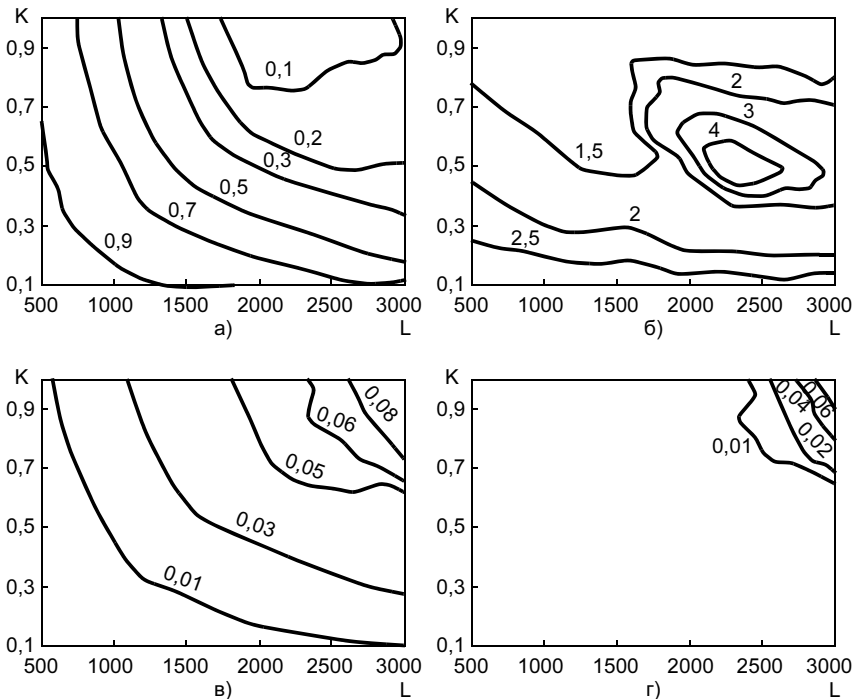


Рис. 7. Результаты моделирования обработки бандажа с наложенной на поверхности синусоидой (два периода): а—г — см. рис. 6

Коэффициент уменьшения радиуса бандажа

$$K_{\text{рад}} = \frac{R_{\text{min}} - R_{\text{min}}'}{\Delta_6},$$

где R_{min} , R_{min}' — минимальный радиус бандажа до и после обработки соответственно; Δ_6 — толщина бан-

дажа. При обработке следует стремиться достичь $K_{\text{рад}} \gg 0,9$.

Коэффициент снятия металла, характеризующий количество материала бандажа, уходящего в стружку,

$$K_{\text{см}} = \frac{S - S'}{S},$$

где S , S' — площадь поперечного сечения бандажа до и после обработки соответственно. При проведении обработки следует стремиться достичь минимального $K_{\text{см}}$.

Очевидно, что коэффициенты $K_{\text{см}}$ и $K_{\text{рад}}$ взаимозависимы и в некоторых случаях можно рассматривать только $K_{\text{см}}$.

Для определения оптимальных параметров процесса обработки бандажей с использованием ДСС можно применять компьютерное моделирование, которое в данном случае дает совершенно достоверные результаты.

Зависимости коэффициентов, характеризующих эффективность обработки, от параметров технологической системы (L и K) удобно представить в графическом виде при помощи номограммы.

Рассмотрим для примера обработку бандажа диаметром 6000 мм (толщиной 400 мм) в три прохода (коэффициент глубины резания по проходам не изменяется). На рис. 6—9 приведены номограммы изменения выбранных коэффициентов в зависимости от параметров технологической системы при обработке бандажей, имеющих наиболее часто встречающиеся виды дефектов.

Видно, что номограммы $K_{\text{см}}$ и $K_{\text{рад}}$ по форме не повторяют друг друга, но весьма близки в случаях, если происходит эффективное исправление формы бандажа. Кроме того, минимумы $K_{\text{см}}$ и $K_{\text{рад}}$ совпадают с максимумами $K_{\text{ст}}$, т. е. область наибольшей стойкости инструмента совпадает с областью наименьшего съема металла. Области минимума $K_{\text{и}}$ (наиболее эффективного исправления формы) и наибольшего $K_{\text{ст}}$ близки при обработке бандажа, имеющего единичный выступ, и бандажа с двумя наложенными на поверхность гармониками ("четырёхгранный" бандаж). В этих случаях можно говорить о возможности комплексной оптимизации процесса.

В остальных случаях оптимальные технологические параметры следует выбирать, ориентируясь на величину $K_{\text{и}}$.

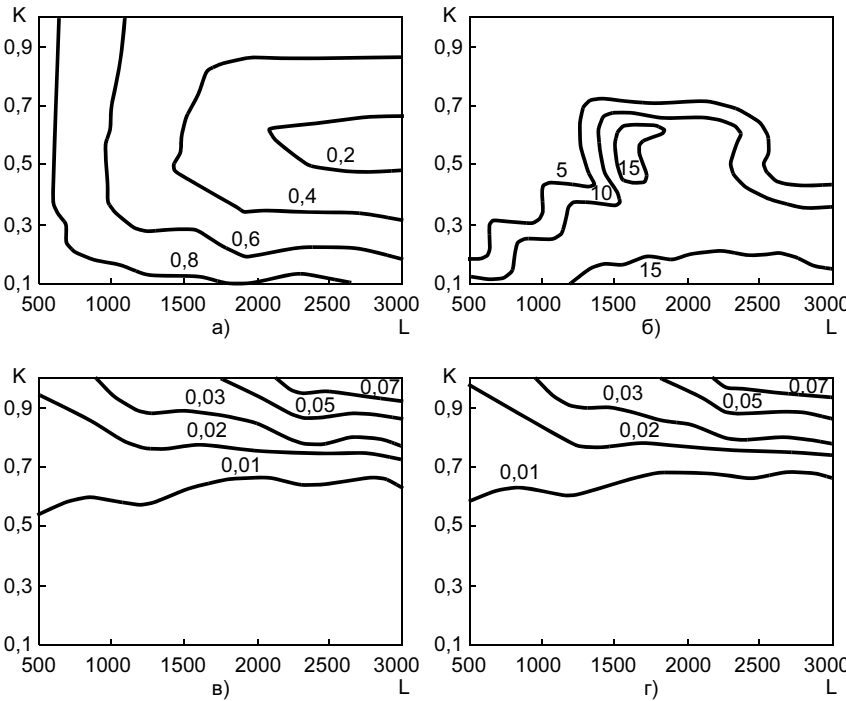


Рис. 8. Результаты моделирования обработки бандажа, имеющего на поверхности единичный выступ: а—г — см. рис. 6

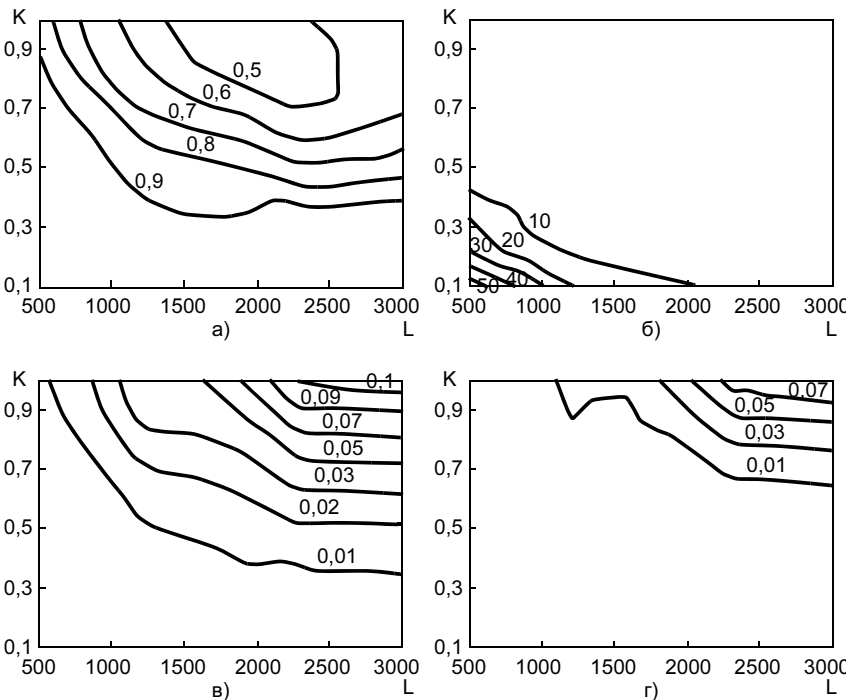


Рис. 9. Результаты моделирования обработки бандажа, имеющего на поверхности единичную впадину: а—г — см. рис. 6

Ю. Н. ШАЛИМОВ, д-р техн. наук
(ФГУП НКТБ "Феррит", Воронеж),

Е. Л. ХАРЧЕНКО, аспирант, В. В. ПЕШКОВ, д-р техн. наук
(Воронежский государственный технический университет)

Особенности эффектов тепловыделения в условиях импульсного электролиза

Впервые сведения о наличии эффектов тепловыделения опубликованы в работах [1, 2]. Дальнейшее развитие эти исследования получили в работах [3—5 и др.]. Однако трактовка природы этих явлений у авторов носит неоднозначный, а иногда даже противоречивый характер. Большинство заключений основаны лишь на предположениях и не подтверждаются аналитическими расчетами.

Системный анализ известных электрохимических процессов позволил установить, что основной причиной возникновения эффектов тепловыделения на электродах являются тепловые эффекты реакций, протекающих в электрохимических системах, являющиеся определенными стадиями суммарного электрохимического процесса. При этом тепловой эффект реакций может иметь как положительные, так и отрицательные значения. В общем случае он может быть определен по формуле:

$$\Sigma Q = M_1(-\Delta H_1) + M_2(-\Delta H_2) + \dots + M_n(-\Delta H_n) + Q_{Дж}, \quad (1)$$

где M_1, M_2, \dots, M_n — мольная доля прореагировавшего вещества; $\Delta H_1, \Delta H_2, \dots, \Delta H_n$ — энтальпия вещества; $Q_{Дж}$ — джоулевы потери в электрохимической системе.

Диаграмма тепловых эффектов для типичных электрохимических процессов приведена на рис. 1.

Влияние температуры на кинетику восстановления металлических ионов из водных растворов электролитов можно записать в виде уравнений

$$i = K_1 e^{\frac{-A_3}{RT}}, \quad (2)$$

$$A_3 = A_1'' - A_1' = \frac{16\pi\sigma^2 \left(\frac{M}{d}\right)^2}{3R^2 T^2 \left(\ln \frac{P_r}{P_\infty}\right)^2}, \quad (3)$$

$$i = i_0 \left(e^{\frac{\alpha n F}{RT} \eta} - e^{-\frac{(1-\alpha)n F}{RT} \eta} \right), \quad (4)$$

где K_1 — постоянная Больцмана; A_3 — работа по образованию зародыша; A_1'' — работа по образованию поверхности раздела; A_1' — работа, выделяющаяся при образовании зародыша; σ — удельное поверхностное натяжение; d — плотность вещества; T — температура; P_r, P_∞ — осмотическое давление в области образования зародыша и бесконечно удаленной точке соответственно; i_0 — ток обмена; α — коэффициент

переноса; n — число переходящих электронов; F — число Фарадея; η — электрохимическое перенапряжение.

Из анализа уравнений следует, что температура определяет не только скорость процесса и энергию, а также размеры зародыша металла на поверхности электрода, т. е. фактически определяет вероятность процесса электрокристаллизации металла.

Результаты экспериментальных исследований анодных и катодных процессов показали, что отклонение температуры поверхности электрода от средней в объеме электролита может составлять десятки градусов (рис. 2). Температура электролита в зоне реакции зависит от химического состава электролита, плотности тока и продолжительности электролиза. В неявной форме эта зависимость может быть записана в виде функции

$$T_s = f(i, \eta, pH, C_k, C_a, \text{природа электролита}). \quad (5)$$

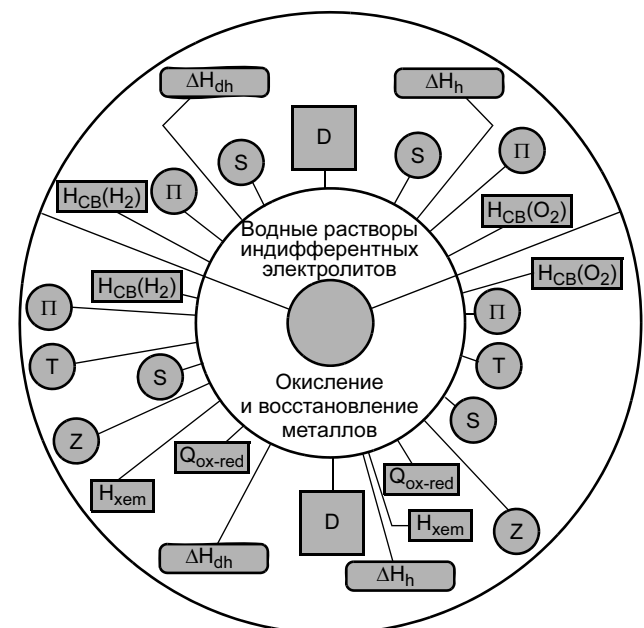


Рис. 1. Тепловые эффекты реакций на электродах и в электролите (Π, T, Z, S — эффекты Пельтье, Томсона, Зеебека, Соэрэ соответственно; $H_{хем}, Q_{ox-red}, H_{CB}(H_2), H_{CB}(O_2), H_h, H_{dh}$ — теплота хемосорбций, окислительно-восстановительных реакций, молизации H_2 и O_2 , гидратации и дегидратации ионов; D — тепловой эффект Джоуля)

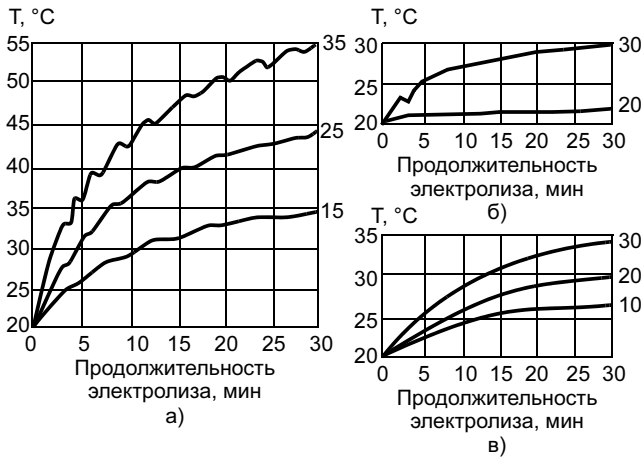


Рис. 2. Электротермограммы прикатодного слоя, полученные в электролитах хромирования: а—в — сульфатные, стандартные и перхлоратные электролиты соответственно

При определении мест локализации источников тепловыделения следует учитывать, что электрохимические процессы протекают непосредственно в двойном электрическом слое, а последующие за ними химические реакции (гидратации, дегидратации и др.) имеют очень малые значения времени релаксации, поэтому основные параметры процессов тепломассопереноса могут быть рассчитаны с достаточной степенью достоверности. Наибольшую трудность при этом представляет определение мест дислокации джоулевых потерь, поскольку характер диссипации этой энергии зависит от геометрии электродов и их взаимного расположения.

Поскольку процессы тепломассопереноса определяют основные качественные показатели технологического процесса, то определение их параметров является одной из главных задач электрохимии. Теория массопереноса в растворах электролитов включает описание движения ионов (уравнение материального баланса, тока, электронейтральности и механики жидких сред). Общий вид таких зависимостей может быть записан следующим образом:

$$N_i = z_i U_i F C_i \nabla \Phi + D_i \nabla C_i + C_i V, \quad (6)$$

где N_i — общий поток частиц; $\nabla \Phi$ — лапласиан потенциала; D — коэффициент диффузии; ∇C — лапласиан концентрации; V — скорость конвекции.

С помощью этого уравнения определяется общий поток частиц, перемещающихся в системе за счет миграции (первое слагаемое), диффузии (второе), конвекции (третье).

Аналогично поток массы может быть описан уравнением Нернста—Эйнштейна:

$$N_i = -\frac{D_i C_i}{RT} \nabla \mu_i + C_i V, \quad (7)$$

где $\nabla \mu_i$ — лапласиан химического потенциала.

В этом уравнении температура присутствует в явной форме и ее влияние уже можно оценить для всего процесса в целом. Ток в растворе электролита обусловлен движением заряженных ионов и может быть определен по формуле

$$i = F \sum_i z_i N_i, \quad (8)$$

При описании процессов массопереноса должно быть выполнено условие электронейтральности

$$\sum_i z_i C_i = 0, \quad (9)$$

где z_i — заряд i -го иона; C_i — концентрация i -го иона.

При решении уравнения для общего потока возникают некоторые трудности: поток N_i для компоненты i является векторной величиной и представляет количество молей, перемещающихся через 1 см^2 поверхности в 1 с , т. е. он указывает число молей, пересекающих площадку в определенном направлении за 1 с (при этом площадка ориентирована перпендикулярно потоку компонентов). Это движение вызвано течением жидкости с объемной скоростью V , однако скорость компонентов может отличаться от этой средней скорости за счет диффузии при наличии градиента концентрации ∇C_i или за счет миграции, если имеется градиент электрического поля $\nabla \Phi$, и компоненты несут электрический заряд (z_i — заряд иона в единицах заряда протона). Величина Φ означает электрический потенциал, градиент которого равен напряженности электрического поля с обратным знаком.

Непосредственное экспериментальное измерение этих параметров вызывает определенные трудности. Для упрощения решения задачи по определению суммарного переноса за счет различных компонентов потока его можно записать в виде классического уравнения тепломассопереноса

$$\frac{\partial i}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) - \left(\omega_x \frac{\partial i}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial i}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial i}{\partial z} \right) - \frac{1}{\rho} \text{div} \sum_j \vec{j}_j i_j, \quad (10)$$

где $\frac{\partial i}{\partial t}$ — суммарный перенос энергии в элементарном объеме; λ — теплопроводность среды; ρ — удельная плотность; t — температура; x, y, z — координаты; $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ — конвективная составляющая переноса; $\frac{\partial i}{\partial x}, \frac{\partial i}{\partial y}, \frac{\partial i}{\partial z}$ — изменение энергии по координатам; \vec{j}_j — химический потенциал; i_j — i -й компонент.

Левая часть этого уравнения описывает локальное изменение удельной энтальпии. Первый член правой части уравнения учитывает теплопроводность, второй — конвекцию, третий — молекулярную диффузию.

С целью общего анализа соотношения джоулевого нагрева и электродного тепловыделения в произвольной ячейке преобразуем систему

$$\tau_k U_k + \varphi_k(U_k) + U_a + U_k = U(\tau); \quad (11)$$

$$\tau_a U_a + \varphi_a(U_a) + U_a + U_k = U(\tau) \quad (12)$$

к одному электроду с минимальным числом параметров.

Параметр в уравнении Тафеля

$$U_0 = \frac{RT}{aF} = b, \quad (13)$$

где b — тафелевский температурный коэффициент; безразмерное напряжение

$$v = U_j - U_{0j}; \quad (14)$$

управляющий параметр

$$v_0 = \frac{2i_0 R_3}{U_0}, \quad (15)$$

где R_3 — сопротивление электролита; безразмерная плотность тока

$$j = \frac{R_3 i}{U_0}. \quad (16)$$

С учетом фонового напряжения при таком определении v соответствует только импульсной части прикладываемого напряжения.

В результате получим уравнение для напряжения на электроде, зависящее только от единственного параметра v_0 :

$$\tau_3 \dot{v} + v_0 sh(v) + v = U(\tau) - U_0. \quad (17)$$

Для реальных технических систем параметр v_0 может изменяться в пределах 10^{-8} — $1,0$ [6, 7], а плотность тока j — в диапазоне $0,1$ — 10 . Рассчитанные в этом диапазоне номограммы плотности тепловыде-

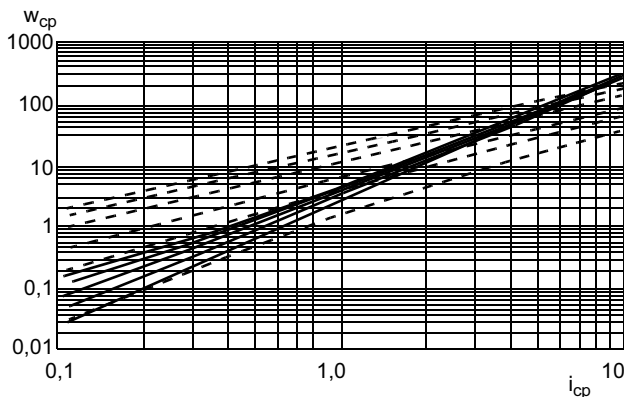


Рис. 3. Зависимость средней плотности тепловыделения от средней плотности тока на электроде $w_{эд}$ (штриховые линии) и в электролите w_3 (сплошные линии) (параметр v_0 принимает значения (снизу вверх) для сплошных линий $1, 10^{-2}, 10^{-4}, 10^{-6}, 10^{-8}$, для штриховых — $1, 10^{-1}, 10^{-3}, 10^{-5}, 10^{-7}$ и 10^{-9} соответственно)

ления на аноде w_a , катоде w_k и в электролите w_3 , нормированные на R_3 по соотношениям

$$w_a = \frac{U_0^2}{R_3} \varphi_a(U_a)(U_a - U_{0a}), \quad (18)$$

$$w_k = \frac{U_0^2}{R_3} \varphi_k(U_k)(U_k - U_{0k}), \quad (19)$$

$$w_3 = \frac{U_0^2}{R_3} (U - U_a - U_k)^2 \quad (20)$$

и решению уравнения (13) для импульсов длительностью $100\tau_3$, приведены на рис. 3 и 4.

Как видно, с ростом плотности тока объемное джоулево тепловыделение становится преобладающим над поверхностным электродным. При этом переходное значение плотности тока увеличивается с уменьшением параметра v_0 , а также увеличивается электродное тепловыделение. Это связано с ростом постоянной составляющей перенапряжения (постоянная a уравнения Тафеля) при уменьшении i_0 .

В исследуемой электрохимической ячейке имеем $U_0 = b = 0,0517$ В [7, 8], $R_3 = 1,85 \cdot 10^{-2}$ Ом \cdot дм². Тогда пересчитанные коэффициенты в натуральные единицы составляют для плотности тока $\frac{b}{R_3} = 2,79$ А/дм², а для

тепловой мощности $\frac{b^2}{R_3} = 0,144$ Вт/дм².

На водородном электроде (катоде) параметр $a = 0,65$ В [8], тогда $i_0 = \exp(-ab) = 3,47 \cdot 10^{-6}$ А/см² и $v_0 = 2,5 \cdot 10^{-4}$. На рис. 3 с учетом переводных коэффициентов находим для $i_{ср} = 5$ А/дм²: $w_3 = 1,9$ Вт/дм², $w_{эд} = 2,6$ Вт/дм²; для $i_{ср} = 25$ А/дм²: $w_3 = 36$ Вт/дм², $w_{эд} = 19$ Вт/дм².

На кислородном электроде (аноде) параметр $a = 1,08$ В [8], тогда $i_0 = \exp(-ab) = 8,47 \cdot 10^{-10}$ А/см² и $v_0 = 6,1 \cdot 10^{-8}$. Тепловые мощности для $i_{ср} = 5$ А/дм² —

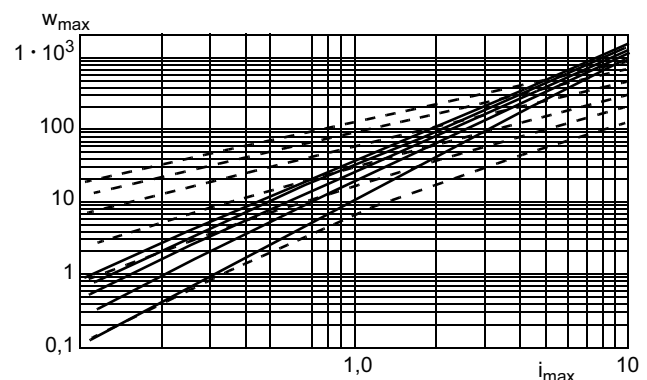


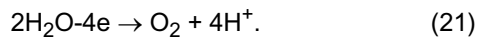
Рис. 4. Зависимость максимальной плотности тепловыделения от средней плотности тока на электроде (штриховые линии) и в электролите (сплошные линии) при различных значениях v_0 (см. рис. 3)

$w_3 = 2 \text{ Вт/дм}^2$, $w_{3д} = 4,5 \text{ Вт/дм}^2$; для $i_{ср} = 25 \text{ А/дм}^2$ — $w_3 = 36 \text{ Вт/дм}^2$, $w_{3д} = 27 \text{ Вт/дм}^2$.

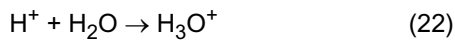
Более высокая интенсивность тепловыделения на кислородном электроде обусловлена значительно большей его поляризацией [7—9], что на микроскопическом уровне связано с влиянием оксидных пленок на кинетику электрохимического процесса. Поэтому кислородный электрод в электрохимической ячейке находится в более нагруженных тепловых условиях.

Кроме того, при электрохимическом разложении воды из щелочных растворов на аноде в результате дезинтеграции атомов кислорода выделяется большее количество теплоты, чем при образовании молекул водорода ($E_{свH_2} = 103 \text{ ккал/моль}$, $E_{свO_2} = 117 \text{ ккал/моль}$).

В случае электролиза кислых или нейтральных растворов количество теплоты, выделяющейся на аноде, значительно увеличивается в результате электрохимической реакции:



Процесс гидратации



сопровождается значительным термохимическим эффектом ($Q = 245 \text{ ккал/моль}$).

При исследовании кинетики изменения плотности тока в зависимости от амплитуды импульса и значения v_0 выявлен следующий эффект. При $j_{ср} < 1$ и $\lg v_0 < -1$ наблюдается "время отсечки" эффективного электрохимического действия импульса (рис. 5). Это связано с существенно нелинейным характером электрохимического элемента: при низком перенапряжении плотность электрохимического тока практически близка нулю и резко возрастает с ростом перенапряжения.

В целом это приводит к нелинейной зависимости амплитуды плотности тока от среднего значения и появлению эффектов перезарядки двойного слоя. Для устранения этого явления предлагается повысить фоновое напряжение выше равновесного значения так, чтобы эффекты перезарядки практически устранились, но уровень появляющегося при этом фонового тока оставался низким. Как показали результаты исследования, временная развертка импульсов тока совпадает с приведенной на рис. 5, г, т. е. эффекты отсечки практически устраняются. При использовании этого приема форма импульсов тока сохраняется почти синусоидальной (см. рис. 5).

Тогда результаты проведенного расчета легко обобщаются на импульсы произвольной скважности с использованием следующих соотношений:

$$j_{ср}^{(S)} = \frac{2}{Q} j_{ср}, \quad (23)$$

$$w^{(S)} = \frac{2}{Q} w, \quad (24)$$

где $j_{ср}^{(S)}$, $w^{(S)}$ — значения для требуемой скважности Q ; $j_{ср}$, w — соответствующие им значения для скважно-

сти $Q = 2$, используемые для расчета с номограммами (см. рис. 4 и 5).

Соотношения (23), (24) верны, если импульсы не перекрываются, это имеет место при $\tau_n > 3\tau_0$. Для $Q = 2 \div 10$ это условие выполняется полностью.

Практические конструкции электрохимических генераторов предусматривают использование электродных систем с коаксиальным расположением электродов. В зависимости от конструкций элементов электрода можно применять листовые или трубчатые профили. В качестве примера рассмотрим распределение токов и потенциалов в системах с трубчатыми электродами.

Рассмотрим электрохимическую ячейку, содержащую параллельные ряды одинаковых электродов, расположенных по узлам прямоугольной сетки. Ввиду симметрии задачи достаточно рассмотреть один ряд электродов. Для длинного электрода распределение тока по длине практически однородно, за исключением небольшой области краевых эффектов на конце электрода. Пренебрегая этой областью, будем считать задачу независимой от координаты вдоль электродов, в результате получим плоскую геометрическую область решения (рис. 6).

В объеме ячейки потенциал в окрестности точки

$$\Delta u = 0; \quad (25)$$

на границах Γ_2 — Γ_4 градиент потенциала на границе мембраны

$$\frac{\partial u}{\partial n} (\Gamma_3) = 0; \quad (26)$$

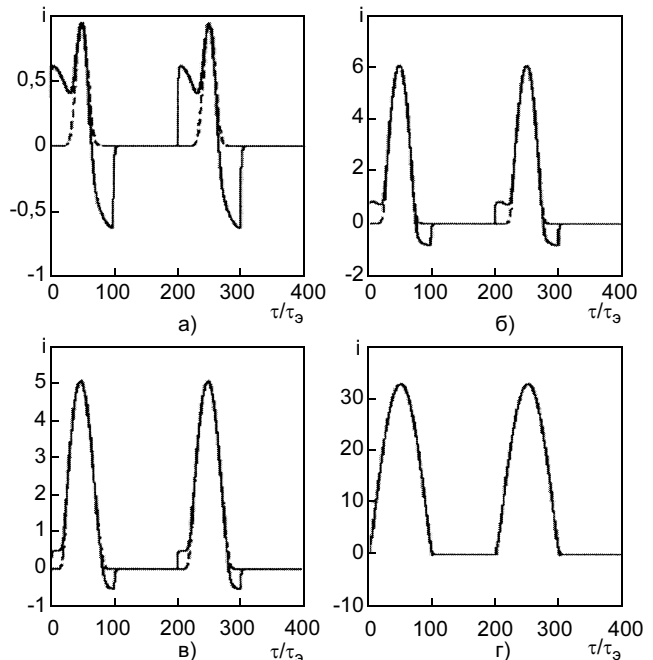


Рис. 5. Зависимость полной (сплошная линия) и электрохимической (штриховая) плотности тока от времени при $j_{ср}$, равной 0,1 (а), 1,0 (б, в) и 10 (г), и v_0 , равной 10^{-8} (а, б), 10^{-4} (в) и 1,0 (г)

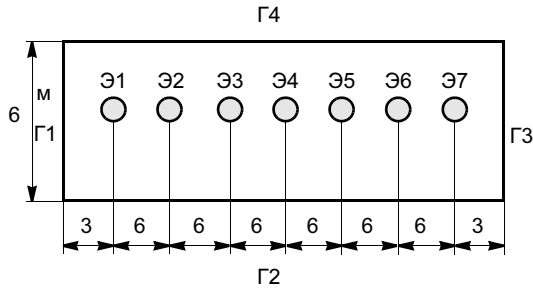


Рис. 6. Геометрия расчетной области для системы цилиндрических электродов (Э — электрод, М — мембрана, Г_к — граница области)

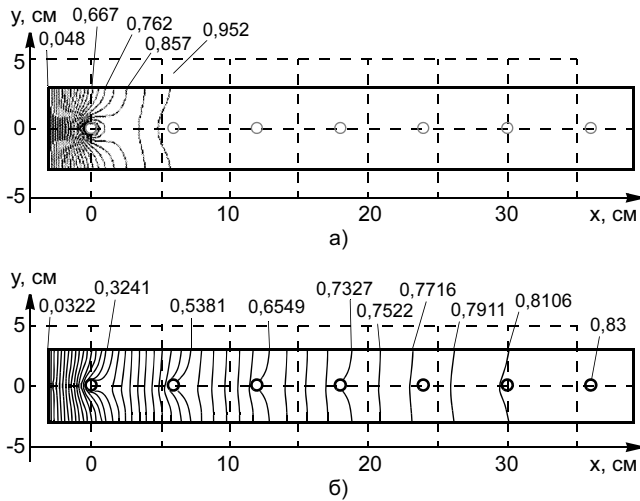


Рис. 7. Первичное (а) и вторичное (б) распределение безразмерного потенциала в ячейке с цилиндрическими электродами

V, В	0,32	0,45	0,81	1,35
i, А/дм ²	5	10	25	50
β	5,63	7,92	14,23	23,75
λ	191	269	483	806
kV/a, А/дм ²	43,2	60,7	109,3	182,2
kV ² /a, Вт/дм ²	13,82	27,315	88,53	245,97
kV ² /a ² , Вт/дм ³	138,2	273,15	885,3	2459,7

Примечание. kV/a, kV²/a, kV²/a² — плотность тока и тепловая мощность на электродах соответственно.

потенциал на поверхности мембраны

$$u(\Gamma_M) = \alpha_M l \frac{\partial u}{\partial n}(\Gamma_M), \quad (27)$$

где l — расстояние между точками;
потенциал на электродах

$$u = 1 - \frac{1}{\beta} \text{Arsh} \left(\frac{\lambda}{1 - \theta'} \frac{\partial u}{\partial n} \right) - \frac{\alpha(\theta)}{\sqrt{\rho}} \frac{\partial u}{\partial n}, \quad (28)$$

где β — коэффициент пересчета; λ — параметрический множитель; θ — тета-функция; α(θ) — параметр корреляции; ρ — плотность электролита.

Первичное распределение плотности тока приведено на рис. 7, а. Как видно, в этой задаче первый электрод почти полностью экранирует всю систему. Вторичное распределение, полученное в результате итерационного решения поставленной задачи, — на рис. 7, б. Здесь степень экранировки первым электродом остальных значительно ниже, но практически работающими все равно оказываются только два первых электрода.

Распределение потенциала электролита у электрода и определяемой плотности тока по периметру электрода имеет косинусоидальный характер (рис. 8).

На рис. 8, б видно, что плотность тока на первом электроде в 3 раза выше, чем на втором, и в 7 раз выше, чем на третьем. При этом неоднородность плотности по периметру составляет 50 % для первого электрода и 15 % — для третьего. Средняя плотность тока при β = 5,63 (см. таблицу) равна 3,7 А/дм². В этих условиях плотность тока на первом электроде составляет 5 А/дм², на втором электроде — 1,6 А/дм², а на седьмом — всего лишь 0,25 А/дм². Выявленная неоднородность нагруженности электродов хорошо согласуется с экспериментальными данными и обусловлена использованием схемы с одинаковым потенциалом на всех электродах. При этом наиболее тяжело нагруженными оказываются центральные электроды ячейки, находящиеся в условиях наихудшей теплоотдачи.

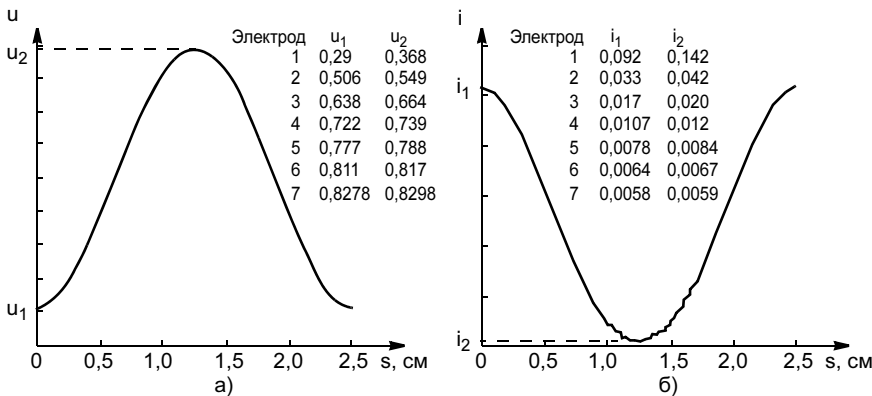


Рис. 8. Вторичное распределение безразмерных потенциалов (а) и плотности тока (б) в электролите по периметру цилиндрических электродов (индекс "1" и "2" — данные на лицевой и оборотной сторонах электродов)

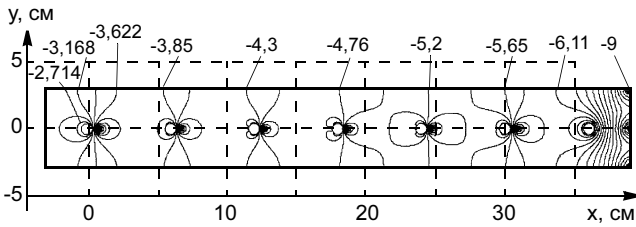


Рис. 9. Распределение десятичного логарифма объемной плотности

Это подтверждает также распределение джоулевых источников теплоты (рис. 9), плотность которых различается по длине расчетной области более чем на три порядка.

С целью оптимизации теплового режима целесообразно осуществить перераспределение нагруженности электродов по току за счет установления на них различных, специально подобранных потенциалов.

Распределение потенциала и плотности тока по оси между электродами приведено на рис. 10. Снижение градиента потенциала (см. рис. 10, б) обусловлено поглощением тока на электродах. В результате оптимизации необходимо добиться приблизительно линейного изменения градиента потенциала.

Для предварительного определения потенциалов электродов, обеспечивающих заданные плотности тока, рассмотрим упрощенную модель: будем считать плотность тока j_k на k -м электроде постоянной по поверхности. При этом среднее значение потенциала u_k электролита у электрода будет связано с потенциалом электрода граничным условием (28). Допускаемая в этом случае ошибка, согласно данным, приведенным на рис. 8, не существенна для данной упрощенной модели.

В результате нелинейности граничное условие исключается из задачи и фактически служит для определения потенциалов электродов по заданным плоскостям тока. В силу линейности оставшейся задачи будет иметь место пропорциональность между j_k и u_k :

$$u_k = \sum_{m=1}^n L_{km} \frac{\partial u}{\partial n} \Big|_m, \quad (29)$$

где n — число электродов в системе, а симметричная матрица L_{km} , имеющая размерность длины, определяется только геометрией системы. Эта матрица может быть легко получена из простого модельного расчета. Предположим, что для первого электрода $\frac{\partial u}{\partial n} = 1$,

тогда найденные в результате решения средние значения потенциалов u_k электролита у электродов сразу определяют первый столбец матрицы L . Повторяя

эту процедуру для остальных электродов, найдем всю матрицу L в результате решения n модельных задач:

$$L = \begin{bmatrix} 1,7641 & 1,4348 & 1,4340 & 1,4340 & 1,4340 & 1,4340 & 1,4340 & 1,4340 \\ 1,4348 & 4,3491 & 4,0194 & 4,0185 & 4,0185 & 4,0185 & 4,0185 & 4,0185 \\ 1,4340 & 4,0194 & 6,9335 & 6,6038 & 6,6029 & 6,6029 & 6,6029 & 6,6029 \\ 1,4340 & 4,0185 & 6,6038 & 9,5180 & 9,1883 & 9,1874 & 9,1874 & 9,1874 \\ 1,4340 & 4,0185 & 6,6029 & 9,1883 & 12,102 & 11,773 & 11,772 & 11,772 \\ 1,4340 & 4,0185 & 6,6029 & 9,1874 & 11,773 & 14,687 & 14,357 & 14,357 \\ 1,4340 & 4,0185 & 6,6029 & 9,1874 & 11,772 & 14,357 & 17,272 & 17,272 \end{bmatrix}. \quad (30)$$

Для оптимизации тепловыделения на электродах достаточно задать распределение требуемых плотностей тока на электродах и по выражению (29) с использованием матрицы (30) получить потенциалы u_k , а по граничному условию (28) — потенциалы v_k на электродах. При необходимости задания средней плотности j_0 тока на мембране распределение плотностей j_k должно удовлетворять соотношению

$$S_0 j_0 = \sum_{m=1}^n S_m j_m, \quad (31)$$

где S_0 — площадь мембраны; S_m — площадь m -го электрода.

При $S_m = S_3$ равенство (31) упрощается:

$$\frac{S_0}{S_3} j_0 = \sum_{m=1}^n j_m. \quad (32)$$

Например, для $j_m = 5 \text{ A/дм}^2$ получим $j_0 = 0,157$ и при $S_0/S_3 = 2,237$ (см. рис. 6) для равномерного распределения тока по электродам $j_k = 0,0394$ и, соответственно, $j_k = 1,7 \text{ A/дм}^2$, что соответствует $\beta \approx 1$, т. е. концентрация тока на конце электрода практически полностью ликвидируется. Найденное распределение потенциалов электролита по формулам (30), (31)

$$(u_k) = (0,409; 1,021; 1,531; 1,939; 2,245; 2,45; 2,251). \quad (33)$$

Граничное условие (29) определяет потенциалы электродов:

$$(v_k) = (0,892; 1,504; 2,014; 2,422; 2,728; 2,932; 3,034). \quad (34)$$

Проверка правильности полученных значений и необходимая корректировка могут быть осуществ-

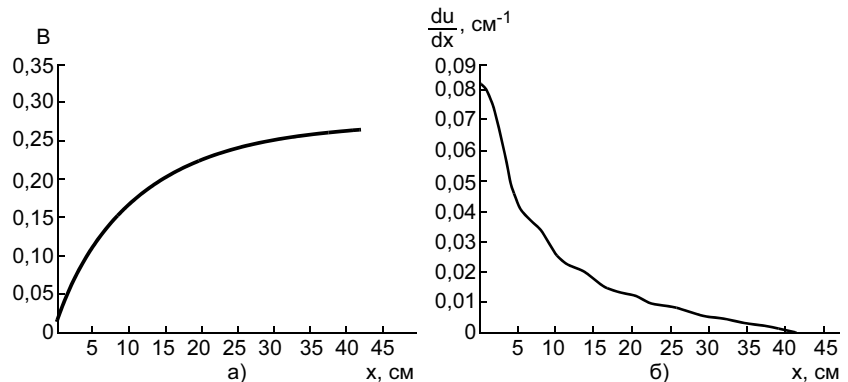


Рис. 10. Распределение безразмерных потенциала (а) и плотности тока (б) по оси между электродами

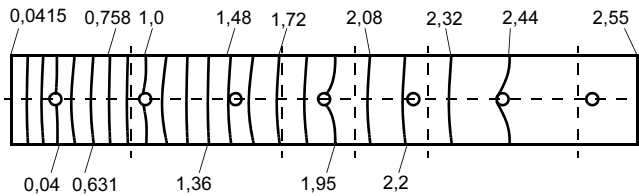


Рис. 11. Вторичное распределение безразмерного потенциала в оптимизированной ячейке

лены в рамках расчета полевой модели. При этом в граничном условии (28) на электродах вместо значения безразмерного потенциала электрода "1" следует подставлять полученные числовые значения v_k каждого электрода из выражения (34).

Рассчитанное с потенциалами электрода (34) распределение поля потенциалов приведено на рис. 11, а распределение плотности джоулевых источников теплоты — на рис. 12. Полученное значение $j_0 = 0,1169$, а значения $(j_k) = (0,0409; 0,0402; 0,0395; 0,0397; 0,0395; 0,0395; 0,0395)$.

Таким образом, точное распределение j_k практически совпадает с заданным в упрощенной модели, так же, как и входная плотность тока j_0 . Это подтверждает достоверность и эффективность упрощенной модели оптимизации. В результате оптимизации также достигается значительно более равномерное распределение джоулевых источников теплоты (см. рис. 12).

Рассчитанная неоднородность плотности тока на электродах составляет на первом электроде: $j_{\min} = 0,024$, $j_{\max} = 0,062$, а на седьмом — соответственно $j_{\min} = 0,038$, $j_{\max} = 0,041$, при этом эффективно работающими являются все электроды ячейки, причем по полной поверхности.

Такие режимы наиболее эффективны при использовании для питания электролизеров, электрохимических генераторов импульсного типа, являющихся составной частью ветросиловых агрегатов промышленного типа. Отсутствие сложных систем коммутации в таких установках позволяет высокоэффективно использовать ветровую нагрузку без дополнительных систем регулирования числа оборотов агрегата. Устройства такого типа применяют в качестве аккумуляторов энергоносителей с последующим использованием топлива и окислителя для работы любого типа энергопреобразователей. Разработанные системы могут быть эффективно использованы в установках утилизации отходов сельскохозяйственного и промышленного производства для получения энергии или гидрирования

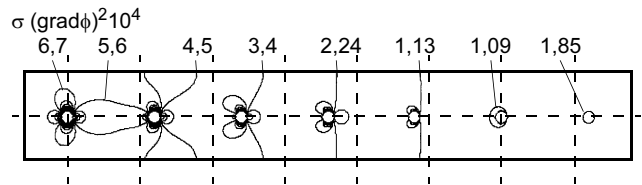


Рис. 12. Распределение плотности джоулевых источников теплоты в оптимизированной ячейке

получаемого топлива. Спроектированные комплексы входят составной частью в энергоблоки агрогородков и могут быть использованы для питания теплом и электроэнергией производственных помещений сельскохозяйственного назначения. Перспективы использования таких установок в настоящее время неоспоримы, поскольку природные запасы углеводородного топлива практически невозполнимы, а все увеличивающийся объем потребляемых ископаемых приведет к полному истощению природных ресурсов. Возобновляемые источники энергии, получаемые за счет фотосинтеза энергии солнечной системы, в настоящее время являются единственной альтернативой всем известным видам ископаемых топлив, и только комплексное использование этих ресурсов с новыми водородными технологиями позволит решить энергетическую проблему в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Температурные эффекты на поляризованных окислительно-восстановительных электродах / Д. Н. Грицан, Г. Л. Шатровский, В. И. Ларин, И. И. Фалько // Вестник Харьковского государственного университета. Сер. Химия. 1974. Вып. 5. С. 60—65.
2. Определение тепловых эффектов электродных реакций по данным электротермографии / Д. Н. Грицан, Г. Л. Шатровский, И. И. Фалько, В. И. Ларин // Докл. АН УССР. Сер. 5. 1975. № 2. С. 124—127.
3. Давыдов А. Д., Козак Е. Высокоскоростное электрохимическое формообразование. М.: Наука, 1990. 271 с.
4. Дикусар А. И., Энгельгардт Г. Р., Молин А. Н. Термокинетические явления при высокоскоростных электродных процессах. Кишинев: Штиница, 1989. 218 с.
5. Электрохимическая обработка изделий из титановых сплавов / Б. П. Саушкин, Ю. Н. Петров, А. З. Нистрян, А. В. Маслов. Кишинев: Штиница, 1988. 200 с.
6. Антропов Л. И. Теоретическая электрохимия. М.: Высшая школа, 1969. 510 с.
7. Феттер К. Электрохимическая кинетика. М.: Химия, 1967. 856 с.
8. Фрумкин А. Н. Электродные процессы. Избранные труды. М.: Наука, 1987. 336 с.
9. Ньюмен Дж. Электрохимические системы. М.: Мир, 1977. 464 с.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА

А. В. ФРОЛОВ, аспирант
"МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского

Пути решения проблемы внутренней проверки систем менеджмента качества авиакосмической отрасли

В настоящее время для отечественной авиакосмической отрасли управление качеством не является новинкой. Так, во второй половине XX столетия на большинстве предприятий военно-промышленного комплекса внедрялась комплексная система управления качеством продукции (КС УКП). В ее основе лежала четкая регламентация деятельности, стандартизация технологических процессов производства. Основные заложенные в ней принципы вошли спустя много лет в международные стандарты серии ISO 9000 на системы менеджмента качества (СМК), которые авиакосмическое производство России повторно осваивает в наши дни. Отличительной чертой этих стандартов стало то, что в их основу легли не теоретические изыскания научных организаций, а обобщение передового практического опыта, накопленного предприятиями нескольких стран: Англии, Германии, Франции, Канады, России и тех стран СНГ, которые применяли систему КС УКП.

С конца 90-х годов прошлого столетия стандарты серии ISO 9000 претерпели ряд изменений, связанных с переходом от обеспечения качества к менеджменту качества. В настоящее время действуют международные стандарты серии ИСО 9000:2000 или национальные стандарты серии ГОСТ Р ИСО 9000—2001 (для РФ), наиболее популярным из которых является ГОСТ Р ИСО 9001—2001, описывающий ключевые требования к СМК.

С развитием международных рыночных отношений наличие сертификата соответствия СМК требованиям стандартов серии ISO 9000 стало играть роль пропуска на мировой рынок, причем эта тенденция охватила почти все отрасли промышленности.

Логическим продолжением стандарта ISO 9000 является развитие на его основе так называемых отраслевых стандартов на СМК. Для предприятий авиакосмического комплекса, а также их поставщиков на сегодняшний день таким отраслевым стандартом стал AS 9100:2004 "Системы менеджмента качества. Авиакосмическая промышленность. Требования", внедрение которого позволит повысить конкурентоспособность отечественного производства авиакосмической техники, узлов и агрегатов для сборочных производств на мировом рынке. Как отмечалось выше, стандарт AS 9100 включает требования ISO 9001:2000 к СМК и дополнительные требования к СМК для авиакосмической промышленности.

С момента первого издания стандарта AS 9100 было осуществлено несколько его пересмотров. В августе

2001 г. SAE (The American Society of Automotive Engineers) выпустило стандарт AS 9100, пересмотр А. Этот стандарт содержит единые требования для авиакосмической отрасли и объединяет стандарт ASQ 9001:2000 и версию AS 9100, основанную на требованиях к системам качества по ASQ 9001:1994, в котором требования к системе качества дополняются законодательными, регламентными и контрактными требованиями для предприятий авиакосмической промышленности. Версия стандарта, которая на сегодняшний день является актуальной, была разработана в 2003 г., и масштабное ее внедрение началось в 2004 г. Необходимо уточнить, что AS 9100:2004 является стандартом США, в то время как в Европе действует его аналог EN 9100:2003, а в Азии — JISQ9100. Они идентичны в требованиях, разница между ними исключительно в национальном статусе. Предприятия, проходя сертификацию на соответствие требованиям AS 9100 или EN 9100, в равной степени соответствуют международным требованиям, и эти стандарты признаются без ограничений в соответствующих странах. В настоящее время наличие разработанной, внедренной и сертифицированной в соответствии с требованиями AS 9100 СМК является обязательным требованием со стороны ведущих мировых производителей авиакосмической отрасли, например, таких как Boeing, Airbus, Bombardier, Pratt & Whitney, по отношению к их поставщикам. Необходимость внедрения требований стандарта AS 9100 обусловлена потребностью предприятий в расширении рынков сбыта выпускаемой продукции и освоении новых.

Для того, чтобы удовлетворить требования заказчика, организации авиакосмической отрасли должны производить и постоянно улучшать надежность и безопасность продукции, которая соответствует или превышает требования потребителей, отраженные в нормативных документах. Глобализация авиакосмической отрасли, и как итог разнообразие региональных и национальных требований, затрудняют достижение этой цели. Предприятия-производители сталкиваются с проблемой качества исходных материалов, заготовок и комплектующих, приобретаемых у поставщиков по всему миру в пределах всей цепочки поставок, и интеграцией этого качества в качество готовой продукции. К тому же, сами поставщики как изготовители продукции авиакосмического назначения и со своей стороны сталкиваются с проблемой поставки продукции основным производителям авиакосмической техники (заказчикам), поскольку требования последних к качест-

ву готовой продукции постоянно меняются в ходе доработки проекта и постоянной модернизации.

Вышеупомянутый документ в значительной мере стандартизует требования к СМК, применяемым предприятиями авиакосмической отрасли. Наличие у организаций всего мира общих требований для использования на всех уровнях системы поставок однозначно должно привести к улучшению качества и безопасности продукции, снижению ее стоимости через отмену или уменьшение своих собственных требований, а также серьезных отличий от них.

Авиакосмическая промышленность — одна из самых наукоемких и сложных и соответственно возрастает риск, ответственность и требования к безопасности производимой продукции. Безопасность персонала, защита окружающей среды и общая эффективность предприятия требуют высокого уровня эксплуатационной целостности оборудования. Ключевым элементом в гарантии качества соответствующих изделий является СМК, внедренная и добытчиком сырья, и производителем комплектующих, и сборочным предприятием, и организацией, обслуживающей изделия. Мировой опыт показал, что дополнительные требования к международным стандартам ИСО 9001:2000 необходимы для обеспечения гарантии качества изделий и услуг во всей взаимосвязи отношений, которую можно представить в виде последовательной цепи (см. рисунок).

Сертификация на соответствие требованиям стандарта AS 9100 необходима предприятиям авиакосмической отрасли для оценки и выбора поставщиков сырья и комплектующих; машиностроительным и другим предприятиям для более полного удовлетворения требований и ожиданий организаций-потребителей из аэрокосмической отрасли, а также для сокращения затрат на всех стадиях жизненного цикла продукции.

Данный стандарт может быть использован внутренними и внешними сторонами, т. е. как самой организацией, так и ее внешними партнерами, заказчиками, поставщиками или органом подтверждения соответствия для оценки способности организации выполнять требования (потребителей, законодательные, нормативные и свои собственные) применительно к качеству.

Подтверждением соответствия требованиям стандарта AS 9100 служит признание приемлемости продукции предприятия международным условиям и правилам безопасности. Сертификат соответствия — признанный документ среди производителей и потребителей авиакосмической продукции, официально подтверждающий качество продукции и услуг. Соответствующая

организация, имеющая подобный документ, автоматически получает существенные преимущества и повышает свою конкурентоспособность как на российском, так и международном рынках.

За счет конкретизации требований международного стандарта ИСО 9001:2000 и установления дополнительных требований, специфических для отрасли, стандарт AS 9100:2004 позволяет достичь более полной удовлетворенности потребителей и получить более высокие показатели эффективности по сравнению с использованием только универсального стандарта ИСО 9001:2000. К факторам, обеспечивающим наибольший дополнительный рост эффективности, относятся:

- учет требований основных потребителей продукции;
- значительное повышение маркетинговых возможностей организации и вероятности успешного участия в тендерах и сокращение затрат на подготовку необходимой документации;
- снижение затрат на производство и контроль продукции для предприятий отрасли;
- исключение необходимости или снижение затрат на проведение проверок предприятия заказчиком (аудитов второй стороной);
- страхование рисков при реализации крупных проектов.

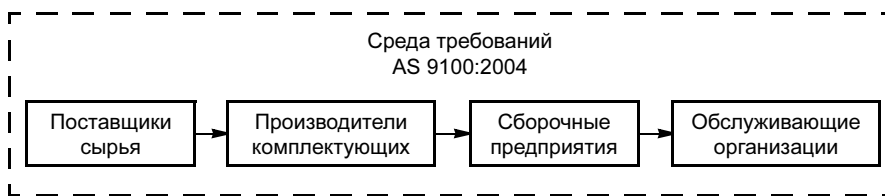
Кроме того, стандарт AS 9100:2004 может быть использован для:

- доработки имеющейся СМК предприятия на базе ГОСТ Р ИСО 9001:2001 с целью учета требований организаций-потребителей;
- учета специфических требований и ожиданий потребителей отрасли при разработке и подготовке к сертификации СМК;
- повышения маркетинговых возможностей предприятия.

Очевидно, что для успешного выполнения требований стандарта AS 9100:2004 и создания на предприятии специфической СМК необходимо повышать оперативность управления предприятием. Можно сделать вывод, что при расширении требований к СМК предприятия повышаются требования и к одному из важнейших процессов внутренней оценки — процессу внутреннего аудита СМК. Необходим оперативный мобильный внутренний аудит, способный выявлять возможности возникновения потенциальных несоответствий и их последствий. Таким образом, при внедрении положений стандарта AS 9100:2004 наряду с требованиями потребителей, внешней среды и нормативных документов формируется новая группа

требований к процессу внутреннего аудита, например повышение его информативности.

Проведенный анализ структуры AS 9100:2004 позволил сделать вывод о том, что дополнительные требования отраслевого стандарта напрямую влияют на планирование



Обеспечение гарантий качества изделий и услуг во всей взаимосвязи отношений

Отраслевые требования стандарта AS 9100:2004	Особенности проведения внутренней проверки
<p>4. Система менеджмента качества 4.3 Менеджмент конфигурации Организация обязана создать, документировать и поддерживать процесс менеджмента конфигурации, соответствующий ее продукции. П р и м е ч а н и е: Подробные рекомендации по менеджменту конфигурации приводятся в международном стандарте ISO 10007:2003.</p> <p>7. Создание продукции 7.2 Процессы, связанные с потребителями 7.2.2 Анализ требований продукции Дополнительное требование стандарта AS 9100 заключается в том, что при анализе требований продукции должна быть произведена оценка возможных рисков (применение новой технологии, сжатые сроки поставки).</p> <p>8. Измерения, анализ и улучшения 8.2 Мониторинг и измерения 8.2.3 Мониторинг и измерения процессов В случае выявления несоответствия процесса организация должна: предпринять соответствующие действия по исправлению несоответствующего процесса; выяснить, не привело ли несоответствие процесса к несоответствию продукции установленным требованиям; обеспечить идентификацию и управление несоответствующей продукцией в соответствии с разделом 8.3.</p>	<p><i>Конфигурация</i> — функциональные и физические характеристики, установленные в технических документах и реализованные в ней. Внутреннему аудитору в ходе выполнения своих обязанностей необходимо применять рекомендации ISO 10007. Проверки конфигурации следует проводить до принятия конфигурационной базы с целью гарантии того, что продукция соответствует контрактным или установленным требованиям и что она точно отражена в документах по конфигурации. Основной задачей аудитора является проверка документального оформления и обеспечения полной наглядности текущей конфигурации продукции и состояния выполнения требований к физическим и функциональным характеристикам продукции аэрокосмической отрасли. Внутренний аудитор в ходе выполнения различных видов аудиторских заданий помогает организации в выявлении и оценке рисков и предоставляет рекомендации, позволяющие эффективно эти риски контролировать. Внутренний аудитор содействует менеджменту в разработке и внедрении системы управления рисками организации. В рамках этого направления внутренний аудит может:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ инициировать создание системы управления рисками; ✓ обучать руководство концепциям управления рисками организации; ✓ участвовать в семинарах по выявлению рисков. <p>Внутренний аудитор может играть ключевую роль в обеспечении непрерывного функционирования процесса управления рисками, проводя объективный мониторинг его применения и эффективности. Внутренний аудитор обязан знать инструменты контроля качества и статистические методы управления качеством. Он должен разбираться в тонкостях технологических процессов, уметь предвидеть с помощью инструментов контроля качества потенциальные отклонения в технологических процессах. В случае выявления несоответствий в проверяемом процессе уметь в короткие сроки наладить систему так, чтобы данное несоответствие не возникало вновь.</p>

и проведение процесса внутренней проверки. В таблице приведены некоторые, дополнительные к требованиям международного стандарта ISO 9001:2000, требования стандарта AS 9100:2004 "Системы менеджмента качества. Авиакосмическая промышленность. Требования" и, кроме того, указаны особенности, которые должны быть учтены при внутреннем аудите отраслевой СМК.

В таблице приведена лишь малая часть дополнительных (отраслевых) требований стандарта AS 9100, которые приносят изменения во все стадии проведения внутренней проверки. Однако при этом остается открытым вопрос: "Отраслевые требования влияют на процедуру внутреннего аудита, построенного по стандарту ГОСТ Р ИСО 19011—2003, или же наоборот — стандартизованный процесс внутренней проверки определяет порядок применения этих отраслевых требований в составлении и внедрении документации СМК?"

На сегодняшний день наличие разработанной, внедренной и сертифицированной в соответствии с требованиями стандарта AS 9100:2004 СМК является обязательным требованием со стороны ведущих мировых производителей авиакосмической промышленности. Это своего рода пропуск на международный рынок.

Не последнюю роль в этом процессе играют Россия и страны СНГ, которые представлены заметным количеством предприятий. Первым на этот путь стал Усть-Каменогорский титано-магниевый комбинат (Ка-

захстан), вслед за ним сертификацию прошли украинские моторостроители: Запорожское машиностроительное КБ "Прогресс" и ОАО "Моторсич", а также предприятия "Одессавиасервис" и "Авиокон".

Одна их тенденций, ставшая прямым следствием "сырьевой" модели экономики, заключается в том, что наиболее заинтересованными в сертификации оказались металлурги. В России на соответствие требованиям стандарта AS 9100 сертифицированы Верхне-Салдинское и Белокалитвинское металлургические производственные объединения, Самарский металлургический завод, а также предприятия машиностроительного комплекса НПО "Сатурн" и ОАО "Гидромаш". Все они в разной степени являются поставщиками зарубежных авиастроительных корпораций. Хотя такая ситуация, сложившаяся в странах СНГ, нетипична для мировой аэрокосмической отрасли в целом, где, как правило, сертифицируются на соответствие требованиям стандартов серии AS 9100 производители комплектующих и услуг, а не поставщики сырья и материалов.

Однако, по мере того как российская авиакосмическая промышленность будет интегрироваться в мировой рынок, этот перекоп будет выравниваться, и уже сейчас подготовку к прохождению сертификационного аудита ведут ряд компаний, специализирующихся на выпуске агрегатов и узлов.

Е. И. СТОРЧАЙ, д-р техн. наук, Л. С. ЛАНТУШЕНКО, канд. техн. наук
ОАО "Криогенмаш"

Экологически чистая технология бесфлюсовой пайки алюминиевых сплавов

ВВЕДЕНИЕ

Бесфлюсовую пайку алюминиевых конструкций в настоящее время осуществляют в вакууме и атмосфере аргона. Пайку в вакууме выполняют в присутствии паров магния, причем магний, как правило, входит также и в состав припоя на основе силумина. Пайку осуществляют при температуре 600 °С в вакууме 10^{-2} — 10^{-3} Па [1]. Недостатками данного способа являются необходимость периодической очистки стенок камеры печи, экранов, нагревательных элементов и вакуумной системы от сконденсировавшихся паров магния и применение при пайке многокомпонентных припоев.

Одним из вариантов вакуумной технологии пайки является способ [2, 3], позволяющий вести процесс при нагреве в вакууме с остаточным давлением менее 10 Па и использовать в качестве припоя силумины без магния. Переход к низкому вакууму возможен благодаря применению вспомогательного контейнера с затвором, уплотненным титановой губкой, с введением паров магния из навески, которая размещена в затворе под губкой, выполняющей функцию неиспаряемого геттера. Этот способ позволяет осуществлять пайку на более простом оборудовании и перспективен при изготовлении негабаритных изделий.

Разработанный в ОАО "Криогенмаш" новый способ бесфлюсовой пайки крупногабаритных алюминиевых конструкций, в частности пластинчато-ребристых теплообменников¹ (ПРТ) [4], не имеет отмеченных недостатков вакуумной пайки.

¹ Патент 2124971 (РФ).

Пайку выполняют припоями системы Al—Si, не содержащими Mg, в арго-не, который перед поступлением в камеру пайки очищают от примесей кислорода и паров воды. Для получения качественных соединений необходима дополнительная очистка атмосферы камеры, так как в процессе нагрева и пайки в результате термической дегазации металла паемого изделия, конструкционных материалов камеры и сборочно-паяльного приспособле-

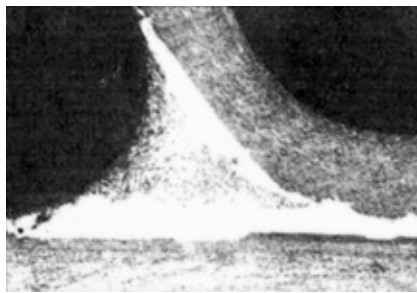


Рис. 1. Микроструктура паяного в арго-не с геттером соединения листа и насадки в макете ПРТ. $\times 70$

ния происходит непрерывное изменение состава атмосферы. Применение в качестве геттера пластин пористого титана [5], который по сравнению с титановой губкой более технологичен, позволяет осуществлять пайку в практически безокислительной атмосфере. При этом паяные соединения имеют хорошо сформированные галтели (рис. 1), а прочность на срез составляет 85—90 МПа.

На рис. 2 приведен термический цикл пайки в арго-не пакета ПРТ размером 1050×850×3000 мм и изменение содержания кислорода и паров воды в камере в процессе нагрева. Нагрев и циркуляция аргона в камере производятся встроенными в нее аэродинамическими нагревателями.

К недостаткам данного способа следует отнести необходимость предварительной очистки аргона от примесей кислорода и паров воды, а также многократного вакууми-

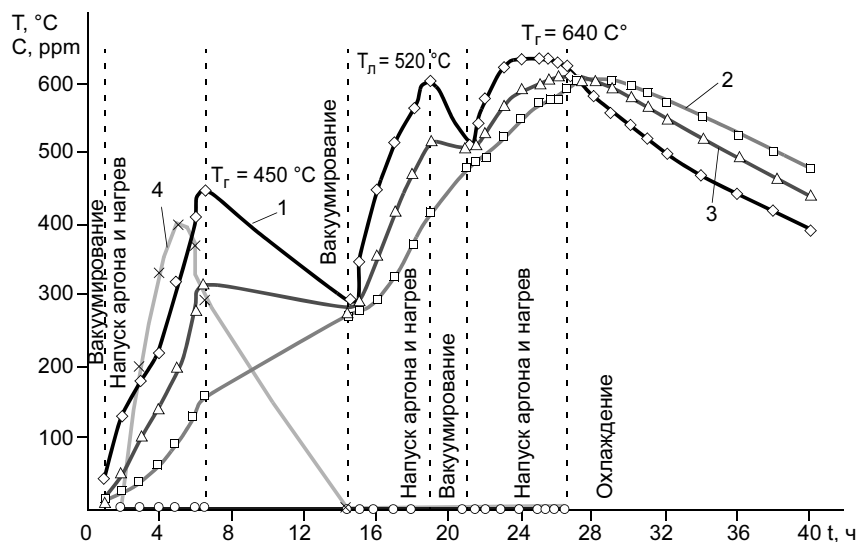


Рис. 2. Термический цикл пайки пакета ПРТ размером 1050×850×3000 мм и изменение содержания кислорода (4) и паров воды (5) в камере в процессе нагрева: 1—3 — температура газа, пакета (минимальная и максимальная) соответственно

рования камеры с целью дегазации изделия и геттера в процессе нагрева.

Регенерация геттера

Производственный опыт изготовления ПРТ пайкой в аргоне показал, что для сохранения высокого качества паяных соединений геттер, установленный в камере пайки, необходимо заменять после 120—150 ч нагрева при температуре пайки. Поскольку стоимость пористого титана высока, возникает вопрос о его регенерации для последующего использования при пайке.

Для регенерации титановой губки в работе [3] предложено проводить ее отжиг в вакууме $5 \cdot 10^{-2}$ Па при температуре 850°C в течение 1 ч. Установлено, что потерянные геттерные свойства губки восстановились, однако число термических циклов пайки, при которых обеспечивалось смачивание алюминия припоем, сократилось примерно в 2 раза.

Результаты исследований восстановления пористого титана [6] показали, что в интервале температур от 300 до 1000°C кривая зависимости содержания кислорода в пористом титане от температуры нагрева в вакууме при изотермической выдержке в течение 2 ч через каждые 100°C имеет два характерных минимума при 500 и 800°C (рис. 3). Наличие этих минимумов свидетельствует о десорбции кислорода из металла. При других температурах титан окисляется, причем в области температуры 600°C наблюдается его максимальное окисление.

Температура 500°C является критической, при которой кислород из фазового оксида на поверхности титана переходит в твердый раствор. При этом переходе в процессе вакуумирования часть кислорода десорбируется, что подтверждается увеличением давления в вакуумной камере (рис. 4) при нагреве пористого титана.

На основании полученных результатов разработан способ практически полной регенерации тита-

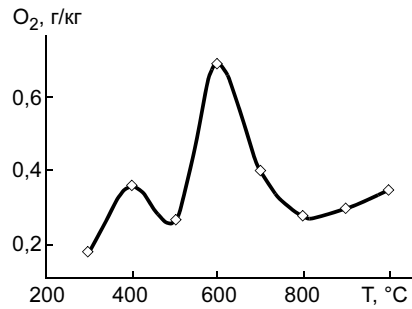


Рис. 3. Зависимость содержания кислорода в пористом титане от температуры нагрева в вакууме $(2-5) \cdot 10^{-3}$ Па при выдержке в течение 2 ч

на [6]. Сделано также предположение, что при пайке алюминиевых сплавов в вакууме использование пористого титана в качестве неиспаряемого геттера позволит отказаться от применения паров магния.

Пайка в вакууме в присутствии пористого титана

Для подтверждения приведенного предположения исследовали пайку алюминиевого сплава АМц, плакированного эвтектическим силумином. Пайку выполняли в вакуумной (10^{-3} Па) высокотемпературной печи СГВ-2.4-2/15-И2. В качестве геттера использовали пластины пористого титана ВТ1-0 ППТЭ-МП толщиной 4 мм. Паяемость оцени-

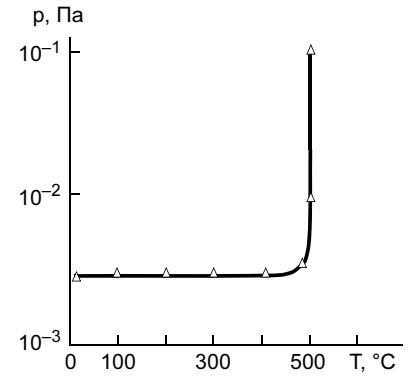


Рис. 4. Зависимость давления в вакуумной камере от температуры нагрева окисленного пористого титана

вали по прочности паяных соединений образцов и макетов ПРТ, качеству формирования галтелей и результатам металлографических исследований.

На рис. 5 приведен термический цикл пайки в вакууме макета ПРТ размером $100 \times 100 \times 9$ мм и изменение давления в камере в процессе нагрева. Охлаждение осуществляли с выдержкой при температуре 500°C для регенерации геттера, что обеспечило возможность его многократного использования [6].

При испытании паяных макетов на прочность разрушение происходит по насадке при давлении 10 МПа. Прочность соединений на срез составляет 100 МПа. Металлографические исследования паяных

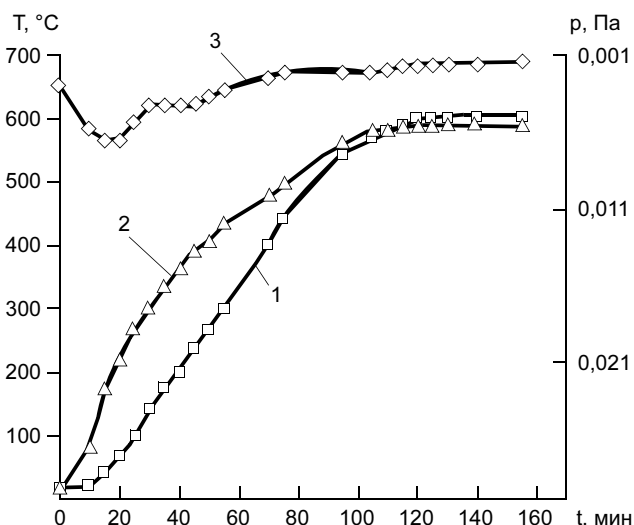


Рис. 5. Термический цикл нагрева в вакууме макета ПРТ размером $100 \times 100 \times 9$ мм и изменение давления в камере в процессе нагрева: 1, 2 — температура макета и титана соответственно; 3 — давление

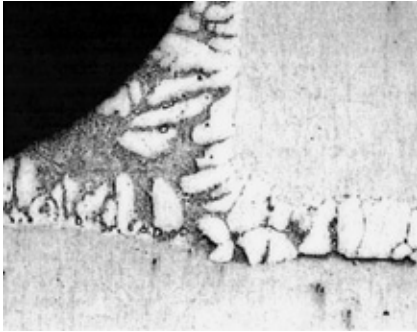


Рис. 6. Соединение сплава АМц, паянное эвтектическим силумином в вакууме в присутствии пористого титана при температуре пайки 605 °С с выдержкой в течение 30 мин. ×50

соединений подтвердили их высокое качество (рис. 6).

Экологически чистый способ подготовки поверхности алюминиевых сплавов к пайке

Для удаления жировых загрязнений и "старых" оксидных пленок с поверхности алюминиевых сплавов перед пайкой в основном применяют традиционные способы травления в щелочных растворах и растворах кислот. Однако эти способы подготовки поверхности не являются экологически чистыми и не отвечают современным требованиям защиты окружающей среды.

В ОАО "Криогенмаш" проведены комплексные исследования широкой номенклатуры современных очищающих средств различных фирм-производителей. Эти очистители представляют собой водные растворы щелочного и кислотного характера, являются нетоксичны-

ми, взрыво- и пожаробезопасными, полностью биоразлагаемыми жидкостями, в составе которых присутствуют поверхностно-активные вещества и компоненты, способные удалять с поверхности алюминиевых сплавов жировые загрязнения и оксидные пленки.

На основе полученных результатов разработан новый экологически чистый процесс подготовки поверхности деталей из алюминиевых сплавов [7] в растворе кислотного очистителя "Дескалер ФФ" (ООО "ЕСТОС-Техно"). При полном удалении жировых загрязнений и "старых" оксидных пленок скорость растворения металла в 10 %-ном растворе примерно на два порядка меньше, чем при традиционном щелочном травлении, и составляет 0,07 мкм/мин, что особенно важно при подготовке к пайке тонкостенных конструкций.

Разработанный процесс подготовки деталей из алюминиевых сплавов к пайке позволяет получать прочноплотные паяные соединения. Установлено, что максимальная прочность ПРТ, детали которых перед пайкой в вакууме обработаны в растворе "Дескалер ФФ", составляет 10 МПа, что близко к расчетной величине и превышает прочность ПРТ (7,5 МПа), паянных в аналогичных условиях после подготовки деталей по традиционной технологии.

ВЫВОДЫ

1. Использование в качестве геттера пористого титана позволяет

производить бесфлюсовую пайку алюминиевых сплавов не только в аргоне, но и в вакууме без применения паров магния.

2. Предварительная подготовка поверхности деталей в растворе кислотного очистителя "Дескалер ФФ" обеспечивает экологическую чистоту процесса пайки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шерр Х. Пайка твердым припоем конструкций из алюминиевых материалов // Bander Bleche Rohre. 1986. Bd. 27. N 4. С. 72—74.
2. Перевезенцев Б. Н., Соколова Н. М., Телицына Г. А. Пайка алюминия в низком вакууме // Сварочное производство. 1996. № 6. С. 2—4.
3. Перевезенцев Б. К., Соколова Н. М., Телицына Г. А. Активирование поверхности при вакуумной пайке алюминия // Сварочное производство. 1996. № 2. С. 4—5.
4. Разработка способа пайки алюминиевых пластинчато-ребристых теплообменников в среде аргона / Е. И. Сторчай, Ю. В. Горбатский, А. В. Соколова, Л. С. Лантушенко // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 1999. № 9. С. 6—10.
5. Применение титана в качестве геттера при высокотемпературной бесфлюсовой пайке алюминиевых пластинчато-ребристых теплообменников / Е. И. Сторчай, А. В. Соколова, И. В. Рослан, Л. С. Тарасенко // Изготовление теплообменной аппаратуры. М.: ЦРДЗ, 1993. С. 24—31.
6. О возможности регенерации титанового геттера, применяемого при пайке алюминиевых конструкций в среде аргона / Е. И. Сторчай, Ю. В. Горбатский, А. В. Соколова, Л. С. Лантушенко // Современное состояние и перспективы развития высокотемпературной пайки. М.: ЦРДЗ, ЗАО "АЛАРМ", 2004. С. 61—66.
7. Новая экологически чистая технология подготовки поверхности алюминиевых сплавов к пайке / Е. И. Сторчай, Ю. В. Горбатский, Л. С. Лантушенко и др. // Сварочное производство. 2001. № 1. С. 37—41.

Вниманию подписчиков!

Напоминаем Вам, что оформить подписку на журнал можно с любого месяца

в любом почтовом отделении связи.

Подписной индекс в каталоге Агентства "Роспечать" — 79494,

в Объединенном каталоге "Пресса России" — 27869,

в каталоге "Почта России" — 60190.

ЭКОНОМИКА ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Г. П. БЕНДЕРСКИЙ, д-р техн. наук, В. К. ФЕДОРОВ, д-р техн. наук
("МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского)

А. Е. КИСЛУХА, инж.
(НПО "Лианозовский электромеханический завод")

Управление инновационным процессом в условиях действия государственного оборонного заказа

Инновационный процесс представляет последовательную совокупность научно-исследовательских, проектно-конструкторских, производственных и технологических работ от новой перспективной идеи до производства новых изделий и последующего внедрения и сбыта в условиях острой конкуренции, проводимых на фоне сложных маркетинговых исследований, стратегического менеджмента всесторонних технико-экономических обоснований и др.

Организация инновационной деятельности по этапам инновационного процесса достаточно подробно рассматривается во многих исследованиях [1—3 и др.]. При этом отмечаются следующие основные этапы инновационного процесса (см. рисунок): создание инновации, внедрение, устойчивый рост, зрелость и спад.

Управление инновационным процессом — целенаправленная организационная система деятельности по разработке, внедрению и обеспечению стабильного производства нового изделия.

Организация управления инновационным процессом достаточно хорошо изучена, и, казалось бы, сложные и неясные управленческие ситуации отсутствуют. Однако управление инновационным процессом на предприятиях оборонного комплекса в условиях действия государственного оборонного заказа имеет свою специфику и сложные проблемы.

Государственным оборонным заказом (гособоронзаказом) называется ежегодный заказ со стороны государства на производство и поставку вооружений, военной и специальной техники, отвечающий целям и максимально совпадающий по основным параметрам с соответствующим годовым срезом Государственной программы вооружений.

Гособоронзаказ является краткосрочным плановым документом, устанавливающим задания на поставки продукции (работ, услуг) для государственных нужд в пределах средств, предусмотренных в федеральном бюджете на соответствующий год, в целях поддержания необходимого уровня обороноспособности государства.

Гособоронзаказ содержит детальный (полный) перечень создаваемой про-

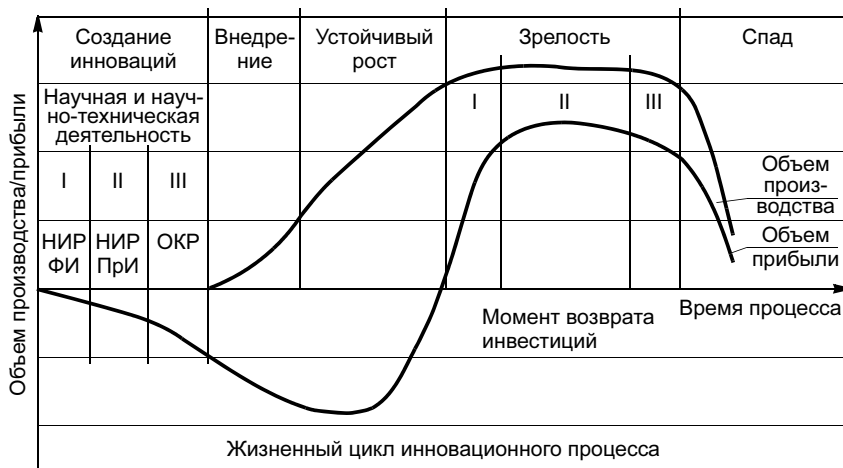
дукции (работ, услуг), серийного производства новых образцов, а также ремонта имеющихся на вооружении комплексов и систем вооружений, военной и специальной техники. Гособоронзаказ как часть государственного заказа по объемам и параметрам финансирования должен соответствовать реальным экономическим возможностям государства.

В соответствии с действующим законодательством предприятие оборонного комплекса может получить заказ от государственного заказчика — гособоронзаказ — в результате победы в конкурсе, как правило, закрытом, либо в случае, когда оно является единственным поставщиком (исполнителем) данной техники. После подписания соответствующего госконтракта, обоснования и авансирования предприятие приступает к выполнению заказа.

В чем проявляются особенности управления инновационным процессом в условиях действия гособоронзаказа?

Этап инновационного процесса, на котором проводится разработка, собственно создание инновации, можно разделить на три стадии научной и научно-технической деятельности.

На первой стадии в рамках научно-исследовательских работ (НИР) проводятся фундаментальные исследования с привлечением специализированных НИИ Минобороны, научно-исследовательских подразделе-



Основные этапы инновационного процесса

лений (кафедр и лабораторий) военных академий (университетов) и училищ (институтов). Финансирование при этом осуществляется в рамках бюджетных ассигнований по имеющемуся гособоронзаказу.

На второй стадии исследования проводятся в рамках НИР прикладного характера — прикладные исследования. Их проводят с привлечением тех специализированных НИИ Минобороны, научно-исследовательских подразделений (кафедр и лабораторий) военных академий (университетов) и училищ (институтов), которые в ходе фундаментальных исследований первого этапа добились положительных результатов. Финансирование прикладных исследований ведется государственным заказчиком в рамках бюджетных ассигнований по гособоронзаказу. Результаты прикладных исследований далеко не всегда дают положительный результат — достаточно велика вероятность получения бесперспективного (отрицательного) результата. Поэтому инвестиции в инновации на этом этапе носят венчурный (рисковый) характер.

Третья стадия характеризуется проведением опытно-конструкторских работ (ОКР) и экспериментальных разработок. Их проводят с привлечением специализированных НИИ Минобороны, научно-исследовательских подразделений (кафедр и лабораторий) военных академий (университетов) и училищ (институтов), на опытном производстве и в научно-производственных и конструкторских подразделениях предприятия. Источники финансирования те же, что и на втором этапе, а также при необходимости собственные средства предприятия.

Этап инновационного процесса, на котором проводится внедрение инновации, является одним из ключевых, он описывается комбинированной экспоненциально-степенной функцией [1]. Этап начинается с первой поставки изделия потребителю. Предприятие должно приложить значительные усилия, чтобы потребитель подтвердил востребованность нового изделия, его высокие тактико-технические характеристики, их новизну. Маркетинговая стратегия предприятия на этом этапе должна быть направлена на информирование потребителей, их убеждение. Для убеждения заказчика необходимо спрогнозировать как приемлемую цену изделия при организации серийных поставок, так и достаточный объем серийного производства.

При создании и внедрении нововведения предприятие становится монополистом и стремится получить от своего положения максимальные преференции заказчика. Время, в течение которого предприятие-инноватор удерживает монополию, определяется скоростью реагирования конкурентов и позицией заказчика. Чем быстрее предприятие разработает нововведение и внедрит его у военного пользователя, тем более устойчивую позицию оно будет занимать в рейтинге заказчика.

Этот этап имеет еще одну особенность. Здесь предприятие, несомненно, должно начать переход от производства, оснащенного традиционными технологиями, к новому производству, оснащеному новыми наукоемкими технологиями. Существует несколько методов

перехода от одной характерной технологии и организации производства к другой — новой, построенной на применении новых высоких наукоемких технологий.

Обычно выделяют последовательный, параллельный и смешанный методы перехода [1]. Переход может быть осуществлен как с остановкой производства, так и без нее. Как правило, переход к новой технологии и организации производства тесно связан с технологическими особенностями применяемых процессов и будущих новых изделий.

Наиболее эффективен последовательно-параллельный (смешанный) метод, который обладает рядом преимуществ, но для его реализации необходимо создавать так называемые переходные или гибридные модели организации производства. Смешанный метод перехода к новым формам технологии и организации производства и освоению новых изделий осуществляется плавно, без остановки производства. К тому же, с учетом постепенного обновления изделий может осуществляться и путем внедрения переходных, гибридных изделий в ходе серийного производства.

Такой способ модернизации производства и внедрения инноваций широко распространен в автомобильной и авиационной промышленности, а также машиностроении.

При успешном прохождении инновационного процесса на данном этапе наступает этап устойчивого роста объема производства выпускаемой продукции. Математически эту динамику можно описать возрастающей экспоненциальной функцией. Если новое изделие удовлетворяет запросам потребителей, то заказы на его производство начинают расти.

Учитывая закрытость гособоронзаказа для покрытия издержек, целесообразно параллельно продвигать экспортный вариант изделия. Для продвижения нового изделия по линии военно-технического сотрудничества с зарубежными заказчиками требуется хорошая реклама — умная, точная, эффективная. Рекламная поддержка продвижения нового изделия на этом этапе требует больших затрат, так как конкуренция увеличивается, а цена существенно расти не может. Серийное производство покрывает издержки, и новое изделие постепенно становится прибыльным. Прибыль на этом этапе растет в связи с тем, что издержки на стимулирование сбыта приходится на большой объем продаж при одновременном сокращении издержек серийного производства [2].

Для максимального продления этого очень важного для предприятия этапа необходимо придерживаться стратегии постоянного поиска:

- повышения качества нового изделия;
- проникновения в новые сферы поставок изделия;
- использования рекламы, ориентированной на потребителя;
- своевременного снижения цены и др.

Самый продолжительный этап инновационного процесса — зрелость. Он может быть представлен в виде последовательности следующих стадий: замедление роста *I*; стабилизация *II*; снижение спроса *III* (см. рисунок).

Математически замедление роста можно описать стремящейся к определенному пределу производимых изделий второй функцией Торнквиста, а стабилизацию целесообразно аппроксимировать как параболу. На этом этапе, как правило, повышается конкуренция со стороны производителей аналога выпускаемого изделия. Предприятие старается сохранить свои позиции, придерживается оборонительной стратегии и пытается продлить этап во времени за счет:

- активизации рынка сбыта, когда предприятие пытается привлечь новых заказчиков путем дополнительных усилий по продвижению изделия;
- модификации изделия, когда предприятие пытается привлечь новых заказчиков (ранее предпочитавших продукцию конкурентов) за счет повышения качества улучшения дизайнерского решения изделия и др.;
- совершенствования комплекса маркетинговых мероприятий, когда предприятие стимулирует сбыт за счет снижения цены, проведения более продуманной рекламы, перехода на более дешевые схемы продаж и др.

Снижение спроса и спад производства математически описываются отрицательной линейной зависимостью. Этот этап характеризуется снижением объема производства. Причинами спада могут быть как появление другого инновационного изделия, так и появление аналога изделия, которые удовлетворяют возросшим требованиям потребителей.

На этом этапе жизненного цикла инновационного процесса неизбежно снижение прибыли, рост незагрузки производственных мощностей, необходимость снятия устаревшей продукции с серийного производства.

Необходимо своевременно начинать новый инновационный процесс по разработке нового изделия. Нужна новая эффективная инновационная стратегия предприятия, обновление и укрепление его инновационного потенциала. Возможным вариантом стратегии предприятия может стать диверсификация проводимого инновационного процесса.

Учет рассмотренных особенностей управления инновационными процессами на предприятиях оборонного комплекса в условиях действия гособоронзаказа позволяет обеспечить поддержание системы вооружения и ее компонентов в состоянии боеготовности, а в целом — систематическое техническое перевооружение вооруженных сил в целях поддержания необходимого уровня обороноспособности государства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Инновационный менеджмент: учебное пособие* / Под ред. Л. Н. Оголевой. М.: ИНФРА-М, 2007. 238 с.
2. *Васильева Л. Н., Муравьева Е. А. Методы управления инновационной деятельностью: учебное пособие*. М.: КНОРУС, 2005. 320 с.
3. *Ермасов С. В., Ермасова Н. Б. Инновационный менеджмент. Учебник для вузов*. М.: Высшее образование, 2007. 505 с.

Л. Е. КУРШАКОВ, В. В. МИРОНЕНКО

Общероссийское отраслевое объединение работодателей "Союз машиностроителей России"

Некоторые аспекты возрождения российского машиностроительного комплекса в свете диверсификации отечественной экономики

Отсутствие продуманной стратегии переходного периода в процессе реформ 90-х годов прошлого столетия привело к тому, что образовавшийся в результате приватизации государственной собственности частный капитал устремился, в основном в добывающие отрасли промышленности, обеспечивающие получение максимально ликвидной продукции, а следовательно, наиболее доходные.

В результате приватизированные предприятия обрабатывающих отраслей промышленности и, в частности, основной ее отрасли — машиностроения, не имея практического опыта деятельности в условиях рынка и оказавшись перед необходимостью решения вопросов самофинансирования при наличии неразвитой финансово-кредитной системы, либо обанкротились, либо осуществляют свою деятельность практически в режиме выживания. Одной из причин такого положения еще действующих предприятий машино-

строительного комплекса является то, что большинство из них до сих пор имеет структуру производства и использует технологии, внедренные еще в советский период и рассчитанные на деятельность в условиях плановой экономики. Кроме того, происходит обезценывание капитала в структуре финансовых балансов предприятий (так называемый "спазм ликвидности"), что привлекает их к низкой кредитной и инвестиционной привлекательности.

В России в настоящее время доля машиностроения в общем выпуске производственной продукции составляет около 20 %, в то время как объем машиностроения и металлообработки в экономически развитых странах (США, Германии, Японии) составляет 36—45 %. Это обеспечивает возможность перевооружения промышленности каждые 7—10 лет.

Сегодня благоприятная конъюнктура мирового рынка, в частности высокие цены на нефть и газ, позво-

лила значительно улучшить макроэкономическую ситуацию — расплатиться с внешним долгом, снизить инфляцию, создать значительный Стабилизационный фонд, накопить впечатляющие золото-валютные резервы и тем самым добиться определенной экономической и политической стабильности. В этой связи вполне обоснованным и своевременным представляется принятый руководством страны курс на создание конкурентоспособной, динамичной, диверсифицированной и инновационной экономики России на базе обрабатывающих отраслей промышленности, и в частности на базе ускоренного развития машиностроительного комплекса.

На сегодняшний день основными общими проблемами машиностроительной отрасли являются:

- наличие избыточных производственных мощностей, как правило, с устаревшей конфигурацией и архитектурой производственных зданий (излишние габаритные размеры, высокая энергоемкость, низкая ремонтпригодность и т. п.) и, соответственно, крайне высокие издержки на их содержание;

- морально устаревшая инфраструктура производственных мощностей (промышленные коммуникации, внутризаводская транспортная и складская система (внутренняя логистика), экологическая безопасность, санитарные нормы и требования (охрана труда), техника безопасности и т. п.);

- морально устаревшая система управления предприятием;

- слаборазвитая система производственной кооперации (промышленный субконтрактинг), особенно в форме малого и среднего бизнеса;

- критический моральный и физический износ оборудования и технологий;

- отток квалифицированных кадров;

- слаборазвитая система менеджмента качества (несоответствие международным стандартам качества, включая систему контроля, техническое регулирование, культуру производства);

- дефицит денежных ресурсов (низкая кредитная и инвестиционная привлекательность предприятий) для реализации программ стратегических преобразований, в том числе внедрения передовых управленческих и организационно-технических решений, модернизации производственной инфраструктуры, подготовки и привлечения квалифицированных кадров, разработки и освоения новых видов конкурентоспособной продукции;

- недостаток опыта и ресурсов для формирования эффективной маркетинговой (сбытовой) политики, особенно на рынке наукоемкой продукции;

- недостаточно развитая (вплоть до полного отсутствия) система сервиса и технической поддержки выпускаемой продукции в течение всего жизненного цикла изделия;

- реальные угрозы несанкционированных действий со стороны третьих лиц: инициация банкротства, рейдерство, дискредитация на рынке и в обществе и т. п.;

- неравные условия конкуренции на рынке с зарубежными производителями аналогичной продукции (как следствие изложенных выше проблем).

Основным условием решения проблем машиностроительного комплекса является формирование эффективной промышленной политики как неотъемлемой части экономической политики государства, направленной на достижение адекватного позиционирования российского машиностроения в условиях рыночной экономики и его интеграции в мировое экономическое пространство с достижением паритета с ведущими производителями наукоемкой, высокотехнологичной продукции на мировом рынке, в том числе с учетом сложившегося международного разделения труда.

Вполне понятно, что задачи подобного масштаба в одночасье не решаются. Необходима разработка четкой концепции развития машиностроительного комплекса в рамках диверсификации экономики с рассмотрением возможности придания этой концепции в процессе ее детализации статуса национальной программы. В настоящее время основные стартовые площадки инновационного роста промышленности сосредоточены в оборонно-промышленном комплексе (ОПК) страны. Именно поэтому ОПК уже сделал существенные шаги в своем развитии: созданы авиационный и судостроительный холдинги, в стадии завершения находится создание госкорпорации "Российские технологии", которая объединит предприятия как ОПК, так и гражданские. Такое объединение вполне логично: ускоренное развитие оборонных отраслей промышленности на практике придает мощный импульс и развитию гражданских отраслей. Ведь в процессе научно-исследовательских работ и опытно-конструкторских разработок продукции оборонного назначения подчас получаются результаты, которые с успехом используются и в гражданском машиностроении.

С другой стороны, предприятия гражданского комплекса (включая малые и средние) в состоянии успешно выполнять заказы на производство отдельных видов продукции (некоторых комплектующих, запчастей и т. п.), необходимых оборонным предприятиям, высвобождая тем самым для них дополнительные производственные мощности.

В этой связи при разработке данной концепции развития машиностроительного комплекса необходимо учитывать взаимосвязь и взаимные интересы как оборонных, так и гражданских отраслей обрабатывающей промышленности.

Рассматривая проблему диверсификации экономики, нельзя не затронуть и социальный аспект предстоящих преобразований.

К сожалению, перекосы в структуре экономики, явившиеся результатом реформ начала 90-х годов прошлого столетия, не смогли не сказаться и на социальной сфере. Развал обрабатывающих отраслей промышленности привел к значительному сокращению рабочих мест, явной и скрытой безработице, невыплате зарплат, обнищанию большого числа граждан страны, огромной дифференциации доходов богатых и бедных слоев населения. Все это создало такую си-

туацию в обществе, при которой рядовые граждане перестали доверять власти, разуверились в правильности проводимых государством реформ, результатом чего является политическая и гражданская пассивность населения России, что с очевидностью наблюдается сегодня.

В то же время диверсификация экономики страны, подъем обрабатывающих отраслей промышленности, и в частности машиностроительного комплекса, — задача стратегическая, масштабная, которая требует мобилизации усилий и государства, и частного бизнеса, и всего общества. Именно поэтому сегодня требуется активная разъяснительная работа о предстоящих преобразованиях в экономике и главное, что эти преобразования дадут в конечном счете конкретному человеку. Представляется, что эта работа должна вестись не только через СМИ, но также с использованием возможностей общественных организаций (профсоюзов, политических партий, союзов работодателей, иных общественных объединений). В частности, необходимо активизировать деятельность такого института социальной политики, как социальное партнерство.

Социальное партнерство — инструмент, с одной стороны, достижения общественного согласия, с другой — оптимизации политико-административного управления, использование которого утверждает основы истинной демократии, взаимной ответственности власти, бизнеса и общественности за развитие страны. Таким образом, социальное партнерство как фактор, благоприятно воздействующий на процессы сохранения политической стабильности, динамичного развития социальной сферы, формирования открытого демократического гражданского общества приобретает в современных условиях осуществления рыночных преобразований в России особую актуальность.

Первые шаги в активизации института социального партнерства уже предпринимаются. 27 апреля 2007 г. состоялся четвертый внеочередной съезд Союза работодателей машиностроения России, на котором был принят новый устав, максимально отвечающий задачам предстоящего реформирования машиностроительной отрасли, избраны новые руководящие органы. Одновременно союз был переименован в Общероссийское отраслевое объединение работодателей "Союз машиностроителей России".

В новом уставе в качестве основных целей деятельности союза выделены "объединение усилий работодателей по созданию и эффективному функционированию системы социального партнерства, участию в проведении переговоров, подготовке, заключении и исполнению соглашений, коллективных договоров с профсоюзами, а также координация действий работодателей по реализации обязательств, принимаемых по этим соглашениям и договорам", участие в создании "конкурентоспособной, динамичной, диверсифицированной и инновационной экономики России на базе отечественного машиностроительного комплекса".

Исходя из изложенного понимания происходящих изменений в социально-экономической сфере, союз приступил к разработке "Концепции развития российского машиностроения и других видов наукоемких производств". Первые шаги в разработке "Концепции" показали, что ряд проблем развития машиностроительного комплекса имеет дискуссионный характер, выявляет подчас прямо противоположные мнения о путях и возможностях их решения. В этой связи союз приглашает к обсуждению проблем машиностроения в СМИ и на интернет-сайте союза WWW.SRMR.RU всех заинтересованных лиц, занятых в сфере машиностроительного комплекса.

Внимание! Информация

27 декабря 2007 г. состоялось подписание контракта между фирмой "Боинг" США и ВСМ ПО "Висма" на поставку фирме "Боинг" титановой продукции около 56 наименований. Срок действия контракта 5 лет, его общая стоимость составляет 1 млрд долл. США.

Подписание контракта происходило в помещении Агентства "Интерфакс", контракт подписан руководителями фирмы ВСМ ПО "Висма" и "Боинг" в присутствии посла США в России г-на У. Бернса и генерального директора госкорпорации "Российские технологии" С. В. Чемезова. В ходе церемонии подписания контракта было отмечено, что данная сделка является первой от имени недавно образованной госкорпорации "Российские технологии".

Далее была организована пресс-конференция для представителей центральных средств массовой информации, в ходе которой руководитель фирмы "Боинг" проинформировал присутствующих о достигнутом соглашении с корпорацией "Российские технологии" по созданию в г. Верхняя Салда совместного предприятия "Урал-Боинг", ориентированного на производство деталей и узлов самолетов фирмы "Боинг".

Доля участия США и РФ в организации производств 50 на 50 %, основу производства будут составлять новейшие технологии, контингент инженерного состава и рабочих также будет смешанным.

Соглашение рассчитано на период до 2015 г., плановый объем выпуска продукции составит 18 млрд долл. США.

На пресс-конференции было отмечено, что сотрудничество такого рода позволит принципиально повысить технический уровень современных летательных аппаратов, будет способствовать росту технического интеллекта специалистов двух стран, позволит создать новые рабочие места в РФ, обеспечить значимый экономический эффект и, самое главное, благоприятно скажется на социальном сближении двух стран.

В. А. КАЗАКОВ, д-р техн. наук

В. А. ФРОЛОВ, д-р техн. наук, С. А. ФЕДОРОВ, канд. техн. наук
"МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского

Проблемы, основные цели и направления реформирования системы подготовки профессиональных кадров технологического профиля

Введение. Последнее десятилетие прошлого века вошло в историю России как период катастрофического падения экономики, развала отечественной промышленности и, как следствие, падения престижа и статуса профессии инженера. При этом очевидно, что именно инженерный корпус, а не менеджмент является основой жизнедеятельности любого производства.

Сегодня ситуация с экономикой несколько улучшилась, обозначился процесс возрождения индустрии, формируются новые и реконструируются действующие промышленные предприятия, организуется выпуск отечественной машиностроительной продукции.

И вот "вдруп" (как всегда в России) обнажилась новая проблема — острый дефицит квалифицированных инженерных кадров, особенно в инженерной элите — инженеров-технологов. К разрешению этой проблемы не в полной мере готова система вузовской подготовки инженерных кадров, также пережившая период застоя.

Сложившуюся ситуацию можно решить в кратчайшие сроки, используя новые подходы к системе подготовки компетентных, востребованных, конкурентоспособных кадров. Система подготовки профессиональных кадров технологического профиля, сложившаяся в период плановой экономики, не соответствует новым социально-экономическим реалиям и нуждается в комплексном реформировании. Основные направления ее реформирования стали темой дискуссий при проведении семинаров, круглых столов и различных опросов. В них в качестве экспертов выступают руководители и начальники управлений персоналом промышленных предприятий и организаций, представители профессиональных объединений (ассоциаций, союзов), вузовского сообщества и научно-педагогической общественности. Результаты дискуссий представляются в аналитических обзорах [1], находят отражение в учебно-методических пособиях [2, 3], статьях в отраслевых и научно-педагогических журналах [4—10] и трудах конференций [11].

Учитывая актуальность обсуждаемой темы, авторы данной работы сделали попытку систематизировать и обобщить различные мнения и предложения, а также накопленный вузами методический опыт и отработанные на его основе практические рекомендации с целью выработки общих взглядов на проблемы профессио-

нального образования и определения основных подходов к реформированию системы подготовки профессиональных кадров технологического профиля.

Проблемы подготовки профессиональных кадров технологического профиля. Проблемы подготовки профессиональных кадров технологического профиля возникли в 90-х годах прошлого века в связи с переходом общества к новым социально-экономическим условиям. Эти изменения привели к спаду промышленного производства в стране и невостребованности молодых специалистов, отказу государства от распределения и регулирования на рынке труда и неограниченному росту предложений на рынке образовательных услуг, что в итоге негативно отразилось на престижности технологических знаний и уровне мотивации абитуриентов на получение инженерного образования.

Проблемы подготовки профессиональных кадров технологического профиля обозначили и недостатки высшей профессиональной школы. Академичность форм организации обучения и методов преподавания, замкнутость образовательного процесса и отсутствие внешней оценки качества подготовки выпускаемых специалистов, увеличение возрастной диспропорции профессорско-преподавательских кадров и непрестижность их карьеры у молодежи; старение материально-технической базы научной и образовательной деятельности и недостаток средств на приобретение современного технологического и исследовательского оборудования, низкий уровень инновационных планов развития, неэффективность существующей системы управления качеством образовательной деятельности и отсутствие организационно-экономических механизмов ее активизации вызвали несбалансированность системы высшего профессионального образования и обусловили несоответствие конечных результатов работы вузов требованиям работодателей и перспективам социально-экономического развития регионов и страны в целом.

Современный работодатель, характеризуя молодого специалиста как интеллектуальный продукт сферы профессионального образования, отмечает повышенный уровень теоретических знаний и их оторванность от практики, расплывчатое представление перспективы и незаинтересованность в дальнейшей

профессиональной деятельности, ограниченность навыков общения в профессиональной среде и неумение преподнести себя и результаты своего труда, отсутствие креатива и излишнюю амбициозность. В целях доведения уровня компетенций молодого специалиста до стандарта предприятия вынуждены организовывать "внутрифирменные" образовательные центры и курсы, тратить существенные средства на переподготовку и повышение квалификации выпускников вуза.

В последние годы проблемы воспроизводства интеллектуального потенциала и сохранения преемственности кадров технологического профиля усугубились неблагоприятной демографической ситуацией. Кадровую проблему наиболее остро ощутили высокотехнологичные и наукоемкие отрасли производства страны. Появление госзаказа и приток инвестиций в эти сферы экономики обусловили необходимость инновационно-технологической модернизации высшей школы и комплексного реформирования всей системы профессионального образования, обозначили актуальность подготовки профессиональных кадров новой формации, обладающих совокупностью определенных качеств, необходимых для эффективной профессиональной деятельности в новых социально-экономических условиях.

Реформа системы высшего технического образования предполагает пересмотр основополагающих принципов организации системы подготовки профессиональных кадров технологического профиля.

Основы организации современной системы подготовки профессиональных кадров технологического профиля. Современную систему организации подготовки профессиональных кадров технологического профиля можно представить моделью, в которой "ядром" является обучаемый с его способностями и желаниями, интересами и потребностями, а "оболочку" формируют вуз, организующий учебный процесс в соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта и развивающегося рынка труда, и работодатель, взаимодействующий с вузом в практической подготовке молодого специалиста.

Такую модель образовательной системы можно рассматривать как методологическую основу для системного анализа ее основных элементов и направлений их развития. К ним относятся реализация компетентного подхода в обучении и аттестации, разработка гибких образовательных программ и планов, внедрение современных образовательных технологий и методов контроля уровня знаний студентов на каждом этапе обучения, внедрение новых подходов, функциональных и структурных решений в организацию профориентационной работы и создание института социального партнерства вуза, работодателя и профессиональных объединений.

Индивидуально-ориентированная организация образовательного процесса с обеспечением возможности построения индивидуальных образовательных

маршрутов предполагает активное вовлечение в образовательный процесс самого обучаемого. Поступая на ту или иную образовательную программу, обучаемый имеет одни знания, умения, навыки и способности, отражающие его индивидуальные особенности, и предшествующий уровень образования, а заканчивает с другой базой знаний, умений и навыков.

По мнению специалистов и экспертов, в современных условиях выпускник вуза должен быть компетентным деятелем с интегрированным мышлением и разносторонними навыками, необходимыми для успешной профессиональной деятельности.

Высокие темпы развития науки, техники и технологии ставят задачи подготовки молодого специалиста, способного самостоятельно обновлять и приобретать новые знания и творчески их применять при выполнении различных задач. Их востребованность и конкурентоспособность на рынке труда повышается при наличии не только профессиональных компетенций, сформированных не ниже уровня, указанного в государственных образовательных стандартах, но и знаний, умений и навыков в области экономико-управленческой деятельности, менеджмента и охраны интеллектуальной собственности.

Выпускник современного технологического вуза должен обладать и комплексом коммуникативных способностей. Его характеризует психологическая подготовленность к практической работе, быстрая адаптация к постоянно изменяющимся внешним условиям, деятельность на сохранение и приумножение корпоративных ценностей.

Работодатель считает, что молодому специалисту необходимо иметь четкое представление о своем месте в профессиональной нише на рынке труда, а уровень его мотивации должен быть направлен на достижение определенных целей в служебной активности, обеспечивающий карьерный рост.

Организуя учебный процесс и представляя образовательные услуги, вуз должен постоянно взаимодействовать с работодателем. Их социальное партнерство основано на том, что работодатель, являясь не только конечным потребителем интеллектуального продукта сферы профессионального образования, но и ее заказчиком, становится активным участником образовательного процесса. Совместной задачей вуза и работодателя является обеспечение обучаемого всеми необходимыми ресурсами и забота о мотивации труда исполнителей.

Эффективность их взаимодействия будет зависеть от координации действий со стороны общественно-профессиональных объединений, организационной основой которых должны стать существующие профессиональные сообщества. Их состав следует расширить за счет включения представителей органов законодательной и исполнительной власти, образовательных учреждений и учебно-методических объединений, научно-педагогической общественности и

профсоюзов. Являясь связующим звеном между активными участниками образовательного процесса, общественно-профессиональные объединения должны способствовать формированию параметров подготовки молодого специалиста, разрабатывать механизмы и создавать условия успешного взаимодействия вуза и работодателя при поддержке этих усилий со стороны государства. Работая совместно на рынках образовательных услуг и труда, каждый из участников образовательной системы должен нести консолидированную ответственность за качество подготовки молодого специалиста.

Основные направления деятельности вузов по повышению качества подготовки профессиональных кадров. Не обсуждая вопросы организационных изменений системы высшего профессионального образования в связи с переходом от традиционной (пятiletней) к двухступенчатой (бакалавриат — магистратура) моделям обучения и соответствующие им изменения в структуре управления вуза, выделим основные направления деятельности вузов по повышению качества подготовки профессиональных кадров.

Разработка гибких образовательных программ и планов. В разработке образовательных программ должна обязательно присутствовать инновационная компонента, предусматривающая адекватное и опережающее отражение в их содержательной части последних достижений в соответствующих областях науки и техники, а также требований сегодняшнего дня. Специалисты и эксперты говорят о необходимости их периодического пересмотра и обновления в среднем на 10—15 %. Это повышает гибкость образовательного процесса, что особенно необходимо при преподавании дисциплин информационно-компьютерного блока. Гибкие образовательные программы способствуют не только реализации межпредметных связей и преемственности различных учебных дисциплин, но и обеспечивают получение студентами системно-комплексных знаний, необходимых для эффективного управления информационными ресурсами.

Учитывая недостаточную практику молодых специалистов, необходимо сбалансировать теоретическую и практическую составляющие образовательных программ и обеспечить реальность тематики курсового и дипломного проектирования. Современные образовательные программы должны стать образовательно-производственными, а учебные планы предусматривать проведение части лабораторного практикума на производственных площадях и лабораториях ведущих промышленных предприятий и научных организаций, организацию обучения рабочей профессии, стажировку (индивидуальную практику) и трудоустройство студентов по специальности на условиях временной занятости, что принято в мировой практике. Такой подход к организации образовательного процесса обеспечит реальное погружение обучаемого в процесс непрерывного профессионального становления

и его включение в систему производственной деятельности. Заключая трудовой договор (контракт) выпускник вуза к окончанию обучения будет иметь практический опыт и трудовой стаж, обеспечивающий сокращение периода адаптации и повышение его ценности на рынке труда. В этих условиях система профессионального образования трансформируется в систему профессионального развития обучаемого.

Внедрение современных образовательных технологий и методов контроля уровня знаний студентов. В образовательной практике ведущих вузов, наряду с традиционными формами организации аудиторных занятий, такими как поточно-групповая, групповая и лекционно-семинарская, присутствуют элементы дистанционной формы обучения. Разработка интерактивных электронных учебно-методических комплексов, создание медиатек по изучаемым дисциплинам, внедрение оборудования видеоконференцсвязи и расширение технической возможности доступа студентов к современным информационным и телекоммуникационным ресурсам должны стать показателями качества образовательной системы вуза.

Существенным моментом в организации учебного процесса является изменение соотношения аудиторной нагрузки и самостоятельной работы в сторону увеличения последней и обучение студентов современным технологиям самообразования. Знание основ интеллектуальной деятельности и организации самостоятельной работы, развитие умений творческого владения стратегическими методами и тактическими приемами научного познания, приобретение навыков планирования работы и самооценки результатов своей деятельности позволяют подготовить креативного специалиста, способного к саморазвитию и построению планов своей трудовой карьеры. Повышенный уровень мотивации и профессиональных устремлений, система ценностей и установок позволяют выпускнику вуза успешно самореализоваться на рынке труда и социализироваться в соответствующих сферах профессиональной деятельности.

Среди оценочных средств контроля учебного процесса специалисты выделяют балльно-рейтинговую систему оценки знаний. Она, с одной стороны, активизирует самостоятельную работу студентов, а с другой стороны, обеспечивает оперативную обратную связь и предоставляет возможность преподавателю определять трудно усвояемые темы лекций и типы задач и соответственно корректировать содержательную часть учебных дисциплин.

Внедрение новых подходов, функциональных и структурных решений в организацию профориентационной работы. Определяя стратегические цели и формируя политику в области качества образовательного процесса, создавая системы менеджмента и маркетинга и совершенствуя организационно-управленческую структуру, внедряя вузовские стандарты и оптимизируя внутрисистемную документацию, вузы

повышают свой инновационный потенциал и конкурентоспособность своей образовательной системы.

Эксперты и специалисты считают необходимым сосредоточить все доступные вузу ресурсы на внедрении новых подходов, функциональных и структурных решений в практику профориентации. Учитывая переход современной экономики на инновационный путь развития и возрастающий спрос на компетентных специалистов, ведущие вузы в настоящее время создают на базе отделов практик и трудоустройства центры развития карьеры.

В отличие от кадровых агентств, как правило, работающих на запросы работодателей, вузовские центры развития карьеры направляют свою деятельность на студента, учитывая его профессиональные особенности и индивидуальные психологические качества, интересы и желания. К основным задачам таких центров можно отнести мониторинг рынка труда и образовательных услуг, создание информационной базы данных о кадровых потребностях предприятий и организаций и информирование студентов об этих вакансиях, обучение их современным технологиям поиска работы, составления резюме и договоров (контрактов), проведение консультаций по правилам общения и особенностям собеседования с работодателем при трудоустройстве на работу и условиям временной занятости в период обучения.

В связи с тем, что работодатель высказывает мнение о необходимости периодической переориентации специалистов на новые направления техники и смежные технологии (по некоторым оценкам этот период составляет 5—7 лет), следует расширить практику получения студентами вузов параллельно с основным дополнительного или второго высшего образования. Выпускники вузов, имеющие два диплома о высшем образовании (техническое и экономико-управленческое), характеризуются повышенной академической мобильностью, готовностью быстро адаптироваться в любой ситуации и перенимать передовой опыт. Приобретение комплексных знаний, умений и навыков повышает востребованность и конкурентоспособность таких специалистов.

К стратегическим направлениям деятельности вузов относится их взаимодействие с работодателем.

Форматы сотрудничества и партнерства вуза и работодателя и связующая роль общественно-профессиональных объединений в подготовке профессиональных кадров. Развитие института социального партнерства вуза и работодателя предполагает различные форматы их взаимодействия. В интересах ведущих предприятий, обеспеченных госзаказом и устанавливающих повышенные требования к молодым специалистам по сравнению с государственными образовательными стандартами, реализуется контрактно-целевой формат их взаимодействия. В рамках комплексного договора предприятие профориентирует и направляет на целевое обучение абитуриентов (целе-

вой набор), а вуз разрабатывает дополнительные образовательно-производственные программы, учитывающие специфику предприятия и дополнительные требования к молодым специалистам. Предприятие в этом случае выступает заказчиком и потребителем интеллектуального продукта сферы профессионального образования.

Для малых и средних промышленных предприятий и научных организаций вузы реализуют формат взаимодействия, предусматривающий оказание вузом услуг работодателю по подбору персонала. Вуз осуществляет подготовку молодого специалиста по государственному образовательному стандарту, а работодатель принимает студента на стажировку и преддипломную практику и после завершения обучения в вузе зачисляет в штат без испытательного срока. Деятельность вуза по подбору персонала наиболее выгодна работодателю, учитывая длительность обучения по основным образовательным программам и возможные изменения ситуации на рынке труда.

Важным аспектом взаимовыгодного сотрудничества и партнерства вуза и работодателя является проведение в вузе дней карьеры и ярмарок вакансий, участие студентов в презентациях и "промоушн-акциях" работодателей. В планах совместной деятельности вуза и работодателя должны находиться вопросы разработки индивидуальных программ адаптации молодых специалистов, дополнительных образовательных программ повышения квалификации и переподготовки кадров специалистов предприятия и преподавателей вуза, создания "корпоративных" образовательных центров и курсов, организации тренингов и мастер-классов.

Связующим звеном между вузом и работодателем должно являться общественно-профессиональное объединение. Обобщая мнение и предложения различных специалистов и экспертов, авторы сформировали правовое поле деятельности общественно-профессиональных объединений, предусматривающее их участие в процедурах государственного лицензирования, аккредитации и аудита вузов, экспертизе и аттестации основных и дополнительных образовательных программ; обновлении перечня специальностей и формировании набора компетенций выпускников вузов при разработке новых поколений государственных образовательных стандартов; работе попечительских и наблюдательных советов вузов; создании единого информационного пространства, объединяющего рынки образовательных услуг и труда, их мониторинге, оценке тенденций и прогнозировании потребностей; формировании заказа на индивидуальную целевую подготовку специалистов, сборе, обобщении и анализе отзывов работодателей о качестве подготовки молодых специалистов и определении рейтингов специальностей и вузов; выделении грантов вузам на разработку инновационных образовательных проектов, назначении именных стипендий и выделении обучае-

мым образовательно-кредитных линий из средств предприятий и организаций.

Заслуживает внимания мнение некоторых специалистов и экспертов о необходимости укрепления системы непрерывного многоуровневого профессионального образования и организации взаимодействия между образовательными учреждениями различных уровней профессионального образования. Эта цель может быть реализована при разработке интегрированного государственного образовательного стандарта по конкретным специальностям с сопряжением уровней и дифференциацией требований к компетенциям выпускников образовательных учреждений начального, среднего и высшего профессионального образования.

Форматы сотрудничества и партнерства вуза и работодателя должны быть направлены не только на достижение текущих результатов, но и на перспективу. Для решения проблем воспроизводства кадров различного уровня профессионального образования эксперты предлагают создать на базе ведущих вузов образовательные комплексы различной конфигурации с определенной степенью централизации и автономии входящих в него образовательных учреждений. Перспективы расширения форматов рынка образовательных услуг связывают также с созданием региональных корпоративных образовательных центров развития кадрового потенциала. Активное и эффективное использование всех ресурсов при решении наиболее значимых для развития регионов задач позволит образовательным комплексам и региональным корпоративным образовательным центрам получить дополнительное финансирование из отраслевых и региональных бюджетов.

Заключение. Подготовка компетентных, востребованных и конкурентоспособных профессиональных кадров технологического профиля становится все более сложным процессом, требующим внимания, дополнительных усилий и финансовых затрат. Интеграция всех участников образовательного процесса и дифференциация направлений их деятельности обеспечат целостность реформирования системы подготовки профессиональных кадров. Но эффективность реформ в этой сфере будет зависеть от разработки нормативно-правовой базы, регулирующей на долгосрочной основе отношения сотрудничества и партнерства образовательных учреждений, работодателей и общественно-профессиональных объединений.

Несмотря на некоторую коммерциализацию образовательного процесса за счет введения дополнительных платных образовательных услуг система профессионального образования нуждается в притоке инвестиций. Инвестор готов вкладывать средства на условиях престижности и выгоды их вложения. Заслуживает внимания мнение работодателей о необходимости создания организационно-экономических

механизмов активизации процесса инвестирования в образовательную сферу, обеспечения финансовой прозрачности деятельности образовательных учреждений и целесообразности разработки критериев оценки эффективности вложения инвестиций в человеческий ресурс.

Таким образом, профессиональное образование, являющееся важнейшей отраслью социального сектора и одним из основных факторов экономического развития страны, должно стать важным инструментом политики государства. Политика поддержки высокого статуса, профессионального уровня и престижности преподавательского труда, признание необходимости привлечения средств работодателя для совместного с государством финансирования профессионального образования и формирование открытых взаимовыгодных отношений вуза и работодателя будут способствовать притоку в эту сферу молодых кадров, способных обеспечить в ней позитивные изменения. В этом будет заключаться успех реализации реформы профессионального образования в России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Круглый стол "Взаимодействие крупных компаний с вузами: на пути к эффективному партнерству"*. М.: Ассоциация менеджеров. 2006. 88 с.
2. *Мануйлов В. Ф., Федотова А. В., Шестернина Е. Ю.* Целевая контрактная подготовка по интегрированным образовательно-производственным программам. Методическое пособие. М.: ЛАТМЭС, 2002. 128 с.
3. *Научно-методические основы и практика организации учебного процесса в вузе*. Учебное пособие. И. А. Новаков, Ю. В. Попов, В. Н. Подлеснов и др. Волгоград, 2003. 316 с.
4. *Фролов В. А., Родионов В. Б., Федоров С. А.* Новый этап подготовки инженерных кадров // *Авиационная промышленность*. 2002. № 2. С. 71—74.
5. *Фролов В. А., Федоров С. А.* Опыт разработки и внедрения образовательных программ подготовки инженерных кадров для предприятий машиностроительного комплекса // *Технология машиностроения*. 2006. № 5. С. 88—89.
6. *Кутин А. А., Коршунов Е. Д.* Подготовка специалистов-инноваторов — ключевая задача в обеспечении предприятий машиностроения конкурентоспособными кадрами // *Технология машиностроения*. 2005. № 11. С. 75—78.
7. *Фролов В. А., Федоров С. А., Голубева Т. В.* Опыт интеграции образовательной и производственной сфер в системе многоуровневого непрерывного профессионального образования // *Технология машиностроения*. 2003. № 5. С. 72—75.
8. *Сухов С. В.* Конкурентоспособность образовательной системы вуза // *Технология машиностроения*. 2007. № 9. С. 97—100.
9. *Тягунов Ф. Ф., Федоров С. А.* Возможно ли непрерывное профессиональное образование? // *Народное образование*. 2002. № 5. С. 110—114.
10. *Манушин З., Добряков А.* Модель подготовки элитного специалиста // *Высшее образование в России*. 2007. № 8. С. 3—16.
11. *Социальное партнерство и проблемы подготовки молодых специалистов* // *Труды конференции технических вузов, колледжей и промышленных предприятий машиностроительного комплекса Москвы*. М.: Изд-во "МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского, 2005. 178 с.

В. Н. БЕРНАДСКИЙ, канд. техн. наук, О. К. МАКОВЕЦКАЯ, канд. экон. наук
ИЭС им. О. Е. Патона

Европейское судостроение наращивает производство

В настоящее время в мировом судостроении наметилась устойчивая тенденция увеличения выпуска судов нового поколения и повышенного водоизмещения. Это подтверждают высокие темпы ежегодного прироста общего водоизмещения судов, выпускаемых на судовой верфях мира, который составил 23 % в 2004 г. и 25 % в 2005 г. Так, например, в Японии — лидере мирового судостроения — общее водоизмещение судов, спущенных на воду в 2006 г., превысило 23,0 млн т, что на 1,8 млн т больше по сравнению с 2005 г. Основными типами судов в современном судостроении являются танкеры, контейнеровозы и суда для транспортировки сжиженного газа [1].

Несмотря на серьезную конкуренцию со стороны судостроителей Азиатского региона, на долю которых приходится 70—75 % общемирового выпуска судов (по водоизмещению), заметно повышение активности и судостроителей стран ЕС (25). Непрерывно растет "портфель" новых заказов на строительство судов у европейских судовой верфей; в 2005 г. объем заказов составил 37,6 млн евро, что на 60 % больше суммы новых заказов в 2004 г. В европейском судостроении отмечено преимущественное расширение двух основных сегментов рынка — строительства контейнеровозов и пассажирских лайнеров, также растет и сегмент строительства судов внутреннего судоходства [2].

Европейские судостроительные компании и верфи инициировали разработку и принятие в рамках ЕС целевых программ "Leadership, 2025" и "Ship × Change", четко ориентированных на обеспечение инновационного развития строительства судов, повышение наукоемкости технологий производства и широкую автоматизацию процессов на всех стадиях строительства судов. В целом программы призваны обеспечить положительную перспективу и должную конкурентоспособность для судостроительного сектора ЕС на мировом рынке [3].

В современном судостроении в качестве основного конструкционного материала была и остается сталь и стальная металлопродукция. В 2006 г. верфи ЕС (25) потребили 1,79 млн т стали, в 2007 г. ожидается рост потребления стали на 4,0 %, и оно должно достигнуть 1,86 млн т. Характерно, что положительный темп прироста потребления стали и стальной металлопродукции в 2007 г. в отличие от всех других металлоперерабатывающих отраслей производства стран ЕС (25), включая строительство, имеет только судостроение [4]. Для сварных конструкций судов характерно применение сталей повышенной и высокой прочности, что позволяет снижать общую металлоемкость при одновременном сохранении или повышении эксплуатационной надежности судов.

Базовой, безальтернативной технологией обработки и соединения стали в производстве сварных конструкций, являются сварка и родственные ей технологии, в первую очередь разделительная резка. В связи с этим сварочное производство в мировом судостроении, в том числе и европейском, занимает значительное место и отличается стабильно растущими инвестициями в сварочную технику, прогрессивные технологии и другие инновации.

В 2006 г. европейские судовой верфи затратили на приобретение нового сварочного оборудования более 43,2 млн долл. В частности, небольшую, но значимую для произ-

водства долю составили затраты на оборудование для высоких технологий лазерной и лазерно-гибридной сварки, сварки трением с перемешиванием и др. Наибольшая доля (70 %) закупок включала оборудование для автоматической сварки под флюсом, газоэлектрической сварки (МИГ/МАГ) плавящимся электродом в защитных газах и технологических лазеров. Эти процессы с использованием современного оборудования, источников питания и компьютерных систем управления обеспечивают высокую производительность и стабильно высокое качество как сварных соединений, так и сварных корабельных конструкций.

В соответствии с объемами применяемых технологий сварки общие затраты судостроительных предприятий Европы на расходуемые сварочно-присадочные материалы в 2006 г. превысили 61,5 млн долл. Жесткие требования к качеству и надежности сварных соединений судовых конструкций, а также повышение производительности сварочных процессов привели, в частности, к увеличению объема потребления порошковой проволоки для газоэлектрической сварки. Это также связано с расширением применения для сварного корпуса судна сталей повышенной прочности. В настоящее время на верфях Европы доля порошковых проволок составляет 40 % общего объема расходуемых сварочных материалов. В современном судостроении широко применяют (15—20 %) сварку под флюсом, что обуславливает повышение закупок соответствующих материалов (проволоки и флюсов). Заметно упала доля применения на верфях ручной сварки покрытыми электродами (до 18 %), но их применение в таком объеме обосновано тем, что позволяет решать многие задачи при сборке и монтаже судовых элементов, плохо поддающихся механизации и автоматизации [3].

Рост заказов и расширение выпуска сварных грузовых судов и пассажирских кораблей положительно сказываются на укреплении и темпах развития в судостроении собственно сварочного производства. Согласно работе [3], ожидается, что объем инвестиций верфями Европы в сварочное оборудование и сварочные материалы в ближайшие семь лет будет стабильно расти. Прогнозная оценка позволяет ожидать, что к 2013 г. затраты на сварочное оборудование превысят 70 млн долл., а на сварочные материалы — до 100 млн долл. Масштаб этих затрат относительно невелик в сравнении с общим объемом европейского рынка сварочной техники, который в 2004 г. составил примерно 14 млрд долл., а объем продаж этого рынка для предприятий судостроения в 2006 г. составил около 150 млн долл. [5]. Представляется, что при анализе доли судостроения на европейском рынке сварочной техники [3] не были учтены объемы продаж машин и оборудования для разделительной резки и сварки пластмасс, техники для склеивания, промышленных сборочно-сварочных роботов, средств контроля и защиты при сварке. В этом случае можно полагать, что фактические затраты на сварку и родственные процессы еще в 2006 г. превысили 200 млн долл. (или 160 млн евро). Краткосрочное прогнозирование развития сварочного производства европейского судостроения предопределяет благоприятные условия для серьезного инвестирования отрасли в сварочную технику, связанные с увеличением объемов производства, а также с изменяющимися конст-

руктивно-технологическими новациями в сварных судах большого водоизмещения и переходом на применение новых, в том числе высокопрочных сталей.

Судостроение на перспективу предъявляет ряд дополнительных требований, влияющих на объем инвестиций в сварочную технику и организацию сварочного производства. Работая в условиях жесточайшей конкуренции, европейские судостроители прилагают много усилий для сокращения издержек производства. Во-первых, в связи с ростом цен на сталь актуальна проблема постоянного снижения расхода конструкционных и присадочных материалов. Во-вторых, необходимость снижения издержек производства требует повышения уровня автоматизации сварочного производства и его роботизации. Данное направление одновременно решает проблему острой нехватки квалифицированных сварщиков. В-третьих, остается актуальной проблема повышения производительности традиционных сварочных процессов или замены их на более высокопроизводительные инновационные технологии — сварку трением с перемешиванием, лазерно-гибридную сварку, склеивание или механическое соединение (чеканку, просадку) для тонкостенных элементов судовых конструкций, в том числе из разнородных материалов (сталь—алюминий, алюминий—пластмасса и др.).

Примером широкого использования современных сварочных технологий в практике немецкого судостроения могут служить морские верфи "Нептун" (Росток) и верфь в Папенбурге. Последняя выпускает в основном двухпалубные круизные суда речного и прибрежного плавания (110,0 × 11,4 × 6,0 м). Палубные перекрытия и переборки кают таких судов собирают из сварных двухслойных панелей размером 3000 × 5500 мм с внутренними ребрами высотой 46 мм и толщиной наружных листов 3 мм. Такая "легкая" сварная конструкция судов явилась серьезной мотивацией для масштабного применения высокопроизводительной лазерной и гибридно-лазерной сварки как для изготовления панелей на автоматизированной линии, так и для сварки палубных перекрытий и модулей кают.

Отдельные фрагменты палубных перекрытий толщиной 5—12 мм и приварку к ним 80 % профилей набора также выполняют гибридно-лазерной сваркой. На один лайнер приходится около 400 км таких соединений. К настоящему времени на верфи уже более 5 000 км швов выполнены лазерной и гибридно-лазерной сваркой.

В Германии успешно ведутся исследования по расширению диапазона толщин стального проката, свариваемых гибридно-лазерной сваркой. Одна из таких новых технологий уже принята на верфи "Нептун", где сооружаются морские суда для перевозки сжиженного газа (155 × 22,7 м; водоизмещение 17 000 т). В этом случае для сварки судовых конструкций из стали толщиной 20 мм применяют тандем-гибридно-лазерную технологию: корень шва выполняется горелкой для гибридно-лазерной сварки, а заполнение и наружное формирование шва обеспечивает следующая за ней MAG-горелка для сварки сплошной или порошковой проволокой в защитных газах [6].

Широкое внедрение в судостроение новых сварочных и родственных технологий, обеспечивающих повышение производительности и качества обработки и соединения, а также автоматизация и роботизация сварочного производства являются основой дальнейшего устойчивого роста сварочного производства в европейском судостроении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *2006 Trend of Welding & Joining of Japan / Journal of the JWS.* 2007. N 5. P. 48.
2. *CESA-3. World market // http://www.ceso-shipbuilding.org*
3. *Welding in European shipyards: A new direction of growth // Welding and Cutting.* 2006. N 3. P. 120—121.
4. *Report of the Economic and Steel Market Situation // European Confederation of Iron and Steel Industries,* 2007.
5. *Бернадский В. Н., Маковецкая О. К.* Сварочное производство и рынок сварочной техники в современной экономике // Автоматическая сварка. 2007. № 1. С. 44—49.
6. *Miebach R.* Schweißen in Schitban // *Schweißtechnik und Fügetechnik — Schlüsseltechnologien der Zukunft.* 2007. N 10. S. 24—25.

Содержание зарубежных журналов¹

American Machinist
(N 8 (июнь), Vol. 151, 2007, США)

Практические рекомендации, с. 12, ил. 3

Приведены некоторые рекомендации по усовершенствованию технологических процессов. Например, токарную обработку деталей с концентричностью поверхностей 0,025 мм можно производить с помощью четырехкулачкового патрона, закрепляемого в трехкулачковом патроне станка. Сверление отверстий с допуском по диаметру 0,0127 мм под установочные штифты на вертикально-фрезерном станке можно осуществить за несколько переходов: предварительное сверление, "сверление—расточивание" с припуском под развертывание с малой подачей инструмента по оси шпинделя, а не по оси отверстия, обработка разверткой до окончательного размера.

¹Раздел подготовлен инж. Г. С. Потаповой (по вопросам получения материалов обращаться по тел./факсу: (495) 611 21 37, e-mail: stankoinform@mail.ru)

Modern Machine Shop
(N 1 (июнь), Vol. 79, 2006, США)

Korn D. Многокоординатное фрезерование, с. 62, 64, ил. 1.

При многокоординатном фрезеровании в некоторых случаях нецелесообразно использование дорогих обрабатывающих центров с ЧПУ, в том числе при обработке глиняных и восковых моделей для новых конструкций, быстром прототипировании и обработке традиционных материалов при относительно свободных размерных допусках. В этих случаях робот может оказаться более целесообразным выбором. Преимуществом роботизированной технологии является также возможность обработки крупных деталей таких, как полноразмерные автокомпоненты и кузова автомобилей уменьшенных размеров. Во фрезерной системе робота Denso контроллер DMAC реагирует на неординарные ситуации. Робот выключается, чтобы программист пересмотрел траектории движений, заложенные в управляющую программу. Контроллер DMAC автоматически изменяет перемещения, при этом фреза не отводится от обрабатываемого изделия.

Schmitz T.-L. От донора в цех и к хирургу, с. 80—82, ил. 2.

Описана технология обработки имплантатов костных суставов на фирме Regeneration Technologies, Inc., которая занимается изготовлением аллогенных трансплантатов, полученных от доноров. Рассматриваются особенности применения токарных станков OmniTurn GT-Jr и обрабатывающих центров Fadal 904-1L в условиях высокой стерильности при обработке кости: пониженная скорость подачи во избежание расщепления материала, надежность крепления и точность позиционирования заготовки в зажимном приспособлении, своевременная смена режущего инструмента.

Оборудование для производства хирургических инструментов, с. 132—134, 136, 138, 140, ил. 2.

Описаны разработки компании Leeds (Великобритания) в области оборудования для эндоскопической хирургии, а также опыт применения профилешлифовального станка с ЧПУ Deminator английской фирмы Jones & Shipman Inc. и особенности его использования. Подробно рассматриваются технологические возможности и технические характеристики этого станка.

Делительные столы, с. 193.

Описаны делительные столы с ЧПУ и прецизионной червячной передачей фирмы Dorian, изготовленные в соответствии с последними достижениями технологии обработки, обладающие высокими жесткостью и прочностью и обеспечивающие рабочее усилие при закреплении детали, в 5 и более раз превышающее рабочее усилие аналогичных делительных столов. Точность поворота составляет 10". Столы полностью водонепроницаемы.

Modern Machine Shop
(N 2, (июль), Vol. 79, 2006, США)

Лазерная резка металлов, с. 134—136, 138, ил. 2.

Изложен опыт фирмы Tornqvist (США), непрерывно совершенствующей процессы лазерной резки на современном лазерном оборудовании. Применение лазерной установки 3718LVP-40CFX с автоматической системой MSCIII фирмы Mitsubishi позволило повысить производительность резки стальных и алюминиевых заготовок до 50 %. Приведены примеры, иллюстрирующие технологические возможности лазерной резки.

(N 3 (август), Vol. 79, 2006, США)

Chaneski W. Рационализация производства, с. 48, 50, ил. 1.

Рассмотрены проблемы производства и пути его рационализации за счет сокращения времени на транспортирование деталей, подготовку рабочего места, переделку брака и т. д. Анализ выполнен Центром производственных систем Технологического института Нью-Джерси.

Многорезцовый токарный станок, с. 188, 190, ил. 1.

Описан многорезцовый токарный станок Protigy GT-27 фирмы SNK America, Inc. Он оснащен шпинделем с осью C при полимерной станине, что позволяет осуществлять быструю и точную обработку небольших деталей из прутков диаметром до 27 мм с частотой вращения шпинделя до 6 000 мин⁻¹. Станок имеет три оси перемещений с управлением в абсолютных или наращиваемых координатах. Ось C станка позволяет осуществлять индексацию, позиционирование и фрезерование в полярных координатах с дискретностью 0,01°. Приведены области применения станка, включая операции черновой и чистовой обработки деталей медицинской аппаратуры, автомобилей, керамики и метизов.

Многокоординатная система ЧПУ, с. 304, ил. 1.

Описана многокоординатная (31 координата) система Sinumerik 840D фирмы Siemens, предназначенная для фрезерования, сверления, обточки, шлифования и других технологических процессов при высокоскоростной пятикоординатной обработке в аэрокосмической отрасли. В сочетании с УЧПУ Sinumerik 840D используется программируемый контроллер Simatic PLC.

(N 4 (сентябрь), Vol. 79, 2006, США)

Система автоматического контроля токарной обработки, с. 189, ил. 1.

Фирма N. A. Corporation (США) выпустила контрольное устройство D3 серии E, которое упрощает и ускоряет операции при поддержании заданной точности обработки. Используются функции искусственного интеллекта для выбора технологий при токарной обработке заготовок диаметром до 1750 мм и отверстий диаметром до 450 мм при расстоянии между центрами до 12 м. Реализуется резание под углом при изготовлении тонкостенных деталей, что уменьшает действующие силы, таким образом, повышается устойчивость при обработке изделий малого диаметра. Возможно изменение заданной технологии внесением корректировки в карту. Приведен каталог инструментов и технологических приемов для выбора оптимальных параметров обработки.

Werkslaf und Betrieb
(N 7/8, Vol. 139, 2006, Германия)

Müller R. Технология развертывания отверстий, с. 39—42, ил. 3.

Описаны процесс развертывания отверстий в труднообрабатываемых материалах, включая коррозионно-стойкие хромоникелевые стали, и предназначенные для эффективной обработки цельнотвердосплавные развертки HNC-VA фирмы August Beck с внутренними каналами для подвода СОЖ в зону резания. Благодаря новой геометрии "VA" и применению соответствующей СОЖ (12—15 %-ная эмульсия) развертка диаметром 7 мм работает со скоростью резания 13 м/мин и подачей 0,2 мм/об. Параметр шероховатости обработанной поверхности менее 2 мкм.

Wohlgenannt M. Автоматический агрегатный станок с ЧПУ, с. SPF 14—15, ил. 5.

Фирма W. E. Schiltz Elektromagnetet Feinmechanik (Германия) инвестировала значительные средства в разработку агрегатного станка НВ 32/16 семейства Hydromat фирмы Pfifner AG (Германия), предназначенного для серийного изготовления корпусов магнитов. Производительность одного станка 950 000 деталей в год, в то время как два шестипиндельных токарных автомата за год производили по 600 000 деталей. Приведено описание технологических возможностей совмещения гидравлической оснастки и системы ЧПУ, что нашло выражение в конструкции станка.

Программное обеспечение (ПО) инструментального хозяйства, с. SPF 46—47, ил. 1.

Фирма Datas Computer AG предлагает ПО "WinTool" для мониторинга инструментального хозяйства. Оно имеет собственную базу данных инструментов и может интегрироваться в центральный банк данных. Библиотека инструментов содержит большой объем данных об отдельных элементах инструментальной оснастки, инструментах в сборе, а также сведения о геометрических параметрах инструментов и технологических данных.

(N 10, Vol. 139, 2006, Германия)

Siemers C. et al. Обработка титановых сплавов, с. 64—67, ил. 5, библиограф. 5.

Сплавы титана благодаря уникальному комплексу свойств широко применяют в разных отраслях промышленности, однако изготовление из них деталей сложной геометрии резанием связано с большими трудностями. Решение проблемы достигнуто благодаря исследованиям Института материалов Технического университета (Брауншвейг). Специалистам удалось значительно улучшить обрабатываемость сплава TiAl6V4 ELI за счет легирования его максимальным содержанием лантана (2,3 %) с чистотой 99,9 %. В полученных образцах содержалось 0,9 % лантана в виде микрошариков диаметром 2—6 мкм. Короткая стружка при резании допускает автоматизацию процесса. Однако необходимо иметь в виду, что лантан несколько снижает механическую прочность сплава. Приведены микроструктуры разных обрабатываемых сплавов титана.

Technische Rundschau
(N 19, Vol. 98, 2006, Швейцария)

Stapel A.-G. Сборка осветительных приборов, с. 62, 64, ил. 2.

Приведены краткое описание и технологические особенности процесса сборки электроприборов (осветительных ламп) с помощью портального промышленного робота и электровинтоверта Tensor DL фирмы Atlas Copco, регулируемого по частоте вращения и крутящему моменту. Благодаря автоматизации процесса сборки ежегодно экономится 160 000 евро и обеспечивается высокое качество осветительных ламп накаливания. Робот осуществляет ввертывание винтов с диаметром резьбы M5 при частоте вращения головки 240 об/мин с крутящим моментом $2,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$ и точностью до $\pm 7,5 \%$ с рабочим тактом 54 ч.

Technische Rundschau
(N 6, Vol. 99, 2007, Швейцария)

Grundier E. Повышение эффективности фрезерных операций, с. 34, 35, ил. 4.

Сообщается об усовершенствованной технологии обработки сложных деталей на фрезерных станках с числом осей до пяти. В частности, на таких станках особенно эффективна обработка лопаток турбин, деталей компрессоров. Обработка осуществляется с высокими точностью и производительностью. В одном из приведенных примеров показана обработка с применением фрезерной головки с осями *V* и *Y*, тогда как перемещения обрабатываемой детали возможны по осям *X*, *Z* и *A*. Приведены и другие примеры обработки.

Schenk W. D. Усовершенствование процессов фрезерования хирургических инструментов, с. 53, 54, ил. 5.

Проанализированы проблемы, связанные с изготовлением хирургических инструментов из титановых сплавов и высоколегированных высококачественных сталей с учетом высокой производительности обработки и снижения расходов. Изложены технологии обработки инструментов сложных форм с применением высокоэффективных режущих инструментов. Приведены примеры полной обработки хирургических инструментов с пазами, отверстиями, сложными профилями.

MWP (Metalworking production)
(N 5, Vol. 150, 2006, Великобритания)

Технологические возможности нового оборудования, с. 10.

Сообщается о технологических процессах, которые можно с высокой эффективностью осуществлять на различных станках и устройствах фирмы Gewefa UK. Среди этого оборудования — гидравлические системы закрепления деталей для точения и растачивания, обладающие антивибрационными свойствами, что обеспечивает более точную обработку и высокое качество поверхности деталей, а также высокую стойкость инструментов. Фирмой разработаны также новые системы для предварительной наладки и контроля в процессах обработки.

Полностью интегрированный цикл обработки, с. 20, ил. 1.

Полная обработка точением/фрезерованием деталей сложного профиля может быть осуществлена на новом семикоординатном станке Colchester Tornado T6MS, в котором применена встроенная программируемая система APL 5000 автоматической загрузки и разгрузки. Технология обработки предусматривает последовательные комбинированные циклы точения и фрезерования. Имеются системы приспособлений, спутников и конвейерная. Технология обработки на данном оборудовании характеризуется высокой производительностью и экономичностью.

(июль, 2006, Великобритания)

Excell M. Технология обработки медицинских изделий, с. 16, 17, ил. 1.

Приведены сведения о деятельности фирмы Clago, изготавливающей высокоточные изделия из различных металлов и сплавов для использования в медицине. Это относится, главным образом к деталям протезов, выполняемых с микрометрической точностью при обеспечении высокого качества поверхности. Разработаны технологические процессы, в которых используются новые станки, лазерное оборудование и высокоэффективные системы фиксации.

(N 8 (сентябрь), Vol. 150, 2006, Великобритания)

Excell M. Электроэрозионная обработка в области нано- и микротехнологий, с. 55, 56, ил. 2.

В некоторых случаях при обработке резанием сталкиваются с определенными трудностями при удовлетворении специфических требований нано- и микрообработки. В то же время электроэрозионная обработка уже давно зарекомендовала себя как эффективный процесс в этой области. Проанализированы последние разработки ряда ведущих фирм в области электроэрозионной обработки и конструкции соответствующего оборудования.

Webzell S. Повышение эффективности токарной обработки деталей, с. 58, 60, ил. 2.

Указывается на все более распространяющиеся тенденции автоматизации токарных операций и анализируются необходимые условия для нее — эксплуатационная гибкость оборудования, жесткость системы обработки, упрощение технологических процессов, наличие средств для автоматического зажима деталей, автоматические ориентация, загрузка/разгрузка деталей и конвейерная транспортировка деталей для передачи их на следующие операции. Рассмотрены отдельные компоненты таких систем, выполняющие автоматические функции (зажимные патроны, станки, роботизированные системы и др.). Приведены примеры автоматизации токарной обработки.

Maschinenmarkt
(N 24, 2006, Германия)

Установки для удаления стружки, с. 19, ил. 1.

Сообщается, что фирма Metav (Германия) разработала установку для удаления и транспортирования металлической стружки при обработке деталей, а также для первичной обработки стружки (например компактирования), а фирма Maufrau (Германия) — семейство центрифуг LBC для отделения от стружки СОЖ.

(N 31/32, 2006, Германия)

Kuttkat B. Шлифование кругами из алмазов и КНБ, с. 23, ил. 1.

Анализируются преимущества процессов шлифования кругами из поликристаллического алмаза и поликристаллического КНБ. По сравнению с кругами из других абразивов они обеспечивают более высокие производительность, точность и качественную поверхность шлифованных деталей и инструментов. Достигается высокая стойкость кругов, что сокращает время между правками, существенно сокращается длительность циклов шлифования, что повышает экономичность процессов обработки и оптимизирует технологические процессы.

Weinert K. et al. Способ внутреннего шлифования, с. 20—22, ил. 2.

Сообщается о способе вихревого внутреннего шлифования с использованием шлифовальных кругов из КНБ на гальванической связке. Согласно приведенным данным, этот способ шлифования существенно снижает затраты времени на процесс обработки и обеспечивает повышенное качество поверхности шлифованных деталей и снижение сил резания. Отмечается также повышенная стойкость шлифовальных кругов. Процесс применим для чернового и чистового шлифования. Приведены сведения о правке шлифовального круга и описана кинематика этого процесса обработки.

(N 36, 2006, Германия)

Weiter E. Повышение производительности обработки, с. 100—102, ил. 2.

Проанализированы способы повышения производительности обработки резанием путем применения нового варианта ЧПУ типа CNC фирмы GEFapuc, обладающего повышенными эксплуатационными функциями с применением для этого различных систем передачи данных, сетей, шин и других коммуникационных средств подобного назначения. Показано, каким образом ЧПУ типа CNC этой серии позволяет оптимизировать процессы обработки.

(N 45, 2006, Германия)

Удаление заусенцев воздействием сухого льда, с. 10, ил. 1.

Фирма KTW (Германия) предложила способ удаления заусенцев у деталей из пластмасс, а у деталей из металла — чешуек и окалины с применением частиц диоксида углерода (сухого льда). Струя частиц направляется на деталь из сопла пистолета вместе со сжатым воздухом со скоростью более 300 м/с. При таком воздействии чешуя и окалина отделяются от основной детали за счет быстрого охлаждения. Очистка активизируется также благодаря превращению твердых частиц в газ.

(Приложение, 2006, Германия)

Kuttkat B. Высокопроизводительное шлифование, с. 6—8, ил. 4

Фирма Michael Deckel оснастила свой шлифовальный центр S22E высокооборотной шпиндельной головкой (50 000 мин⁻¹) и гидрофилированным зажимным патроном, что позволило на станке обрабатывать в базовом

корпусе из твердого сплава высокопрецизионные карманы для последующего напаивания режущих пластин из поликристаллических алмазов.

Пути повышения эффективности обработки, с. 20, ил. 1.

Сообщается об опыте фирмы Stama Maschinenfabrik по организации гибкого производства для обработки деталей высокой точности для различных отраслей промышленности. Фирма установила 18 разных вертикальных обрабатывающих и токарно-фрезерных центров, обеспечивающих эффективную обработку как отдельных деталей, так и различных по объему партий деталей (от мелких до крупных серий). Зпатентованная система инструментального хозяйства позволила сократить время прохода при обработке до 1,9 с.

Kuhn D. Шлифовальные станки для нанобработки, с. 58—59, ил. 3.

Описывается круглошлифовальный станок S12 фирмы Fritz Studer для высокоэффективной обработки с точностью до 0,00001 мм, что соответствует точности нанобработки. Высокие точность и скорость обработки обеспечиваются за счет новой комбинации привод/направляющие — линейные двигатели, которые обеспечивают скорость холостых перемещений до 30 м/мин при ускорении до 3 м/с²; а также за счет уникальной станины из гранита с высокими демпфирующими свойствами. Термическая стабильность конструкции гарантированно сохраняется благодаря встроенным агрегатам охлаждения.

(N 6, 2007, Германия)

Kuttkat B. Высокоэффективные шлифовальные ленты, с. 24, 25, ил. 3.

Сообщается об использовании новых керамических шлифовальных лент, обеспечивающих высокую производительность и меньший нагрев при шлифовании, а также характеризующихся высокой стойкостью. Проведенные эксперименты показали, что шлифовальная лента Norton R 980 фирмы Saint—Gobain Abrasives обеспечивает вдвое более высокую производительность по сравнению с известными лентами подобного назначения. Новые ленты позволяют шлифовать различные стали, включая высоколегированные, титан и никелевые сплавы. Приведены другие примеры применения таких керамических лент.

Warnatz U. Высокоскоростная прецизионная обработка на станке, с. 32—35, ил. 3.

Описана обработка на станке с ЧПУ типа CNC, обеспечивающем высокую степень автоматизации различных технологических функций в процессе обработки. Все движения органов станка контролируются, предусмотрена возможность наноинтерполяции. Оптимизация процесса обработки гарантируется используемым программным обеспечением. Обработка возможна при различных сменяемых программах. Во всех случаях достигаются высокие точность, качество поверхности, производительность обработки и надежность осуществляемого процесса, отсутствие коллизий. Приведены примеры, иллюстрирующие эффективность обработки.

Система для отсасывания керамической пыли при обработке, с. 46.

Сообщается о системе GLS BK для отсасывания пыли, образующейся в процессе обработки керамических деталей. В системе имеется устройство для накопления пыли, с которым связан пневматический вентиль. Предусмотрены фильтровальное устройство, сопло и устройство с запасом сжатого воздуха. Обеспечивается возможность быстрого удаления накопленной пыли.

7-я Международная специализированная выставка "Передовые технологии автоматизации—2007"

С 26 по 28 сентября 2007 г. в Москве в ЦВК "Экспоцентр" прошла 7-я Международная специализированная выставка "Передовые технологии автоматизации—2007", организованная Торгово-промышленной палатой РФ, российским представительством "Общества приборостроения и систем автоматики ISA", профильными министерствами и ведомствами. В выставке приняли участие многие российские и зарубежные предприятия.

Экспозиция выставки включала разделы "Автоматизация промышленных предприятий", "Автоматизация технологических процессов", "Бортовые и встраиваемые системы" и др.

Ниже приведено описание некоторых экспонатов, демонстрировавшихся на выставке, и предложения предприятий-разработчиков, вызвавшие наибольший интерес у специалистов.

ВНИИ автоматики им. Н. Л. Духова (Москва) демонстрировал:

— *аппаратуру ТПТС* для автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) энергетических и промышленных объектов. Программно-технические средства АСУ ТП реализуют принцип распределенного управления, когда каждый модуль связи с объектом содержит собственный микропроцессор и способен самостоятельно выполнять

функции управления независимо от состояния всей системы. Система оснащена самодиагностикой оборудования и линий связи в реальном масштабе времени. Надежность аппаратуры и коэффициент готовности на два-три порядка превосходят аналогичные показатели известных отечественных систем. Возможна перестройка и развитие АСУ ТП в процессе эксплуатации;

— *датчики серии ТЖИУ 406* (рис. 1) для работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности. Чувствительный элемент датчика давления представляет мембрану из монокристаллического кремния, на которой за счет диффузии сформированы тензорезисторы. Идеальная упругость кремниевого кристалла и однородность конструкции чувствительного элемента обеспечивают его высокие технические характеристики: повышенную точность и долговременную стабильность работы. В датчике предусмотрена защита от давления перегрузки. Микропроцессорная схема обработки сигнала датчика давления исключает пульсации давления, обеспечивает перестройку диапазонов измерения и высокую точность измерения (до 0,1 %). Измеряемые среды: газ, жидкость, пар; температура окружающей среды —60—80 °С; диапазон измеряемых давлений 0,06 кПа—25 МПа; основная погрешность измерения ±0,15, ±0,25, ±0,5 %; питающее напряжение 9—48 В от источника постоянного тока; средняя наработка на отказ 250 000 ч.

ЗАО "НВТ-Автоматика" (Москва) — один из ведущих поставщиков программно-технологических комплексов, демонстрировало на выставке:

— *контроллер АРМ КОИТ-300* для применения в системах автоматизации технологических процессов любой вычислительной мощности для управления функциональными узлами, оснащенными 6—12 исполнительными устройствами и несколькими

датчиками сбора информации с распределительных устройств и интеллектуальных датчиков. Время программного цикла около 10 мс, дискретный выход 70 мс. Ввод — до 512 удаленных аналоговых входных сигналов по RS-485 с периодичностью менее 1 с. Контроллер эксплуатируется при температуре окружающей среды 5—60 °С при атмосферном давлении 84—106,7 кПа и вибрации 9—150 Гц с ускорением 10 м/с². Он имеет прочный металлический корпус, встроенные часы и контрольный таймер (Watch-Dog). Питание контроллера от внешнего источника постоянного тока напряжением 24 В, мощность 10 Вт;

— *многофункциональный контроллер КРОСС-500* большой информационной и вычислительной мощности. Основу контроллера составляет 32-разрядный PC-совместимый процессорный модуль с частотой 166 МГц, оснащенный большим объемом оперативной и Flash-памяти, двумя каналами Fast Ethernet и четырьмя высокоскоростными последовательными каналами RS-485 со скоростью 1 Мбит/с. К каждому последовательному каналу может быть подключено до 32 модулей, устанавливаемых на DIN-рейку, что при 8—16 каналах ввода-вывода на модуле позволяет обрабатывать свыше 1024 сигналов в контроллере. Компактные размеры позволяют устанавливать контроллер в шкафы автоматики, что обеспечивает экономию кабеля, дорогостоящих материалов и монтажных работ;

— *систему технологического программирования Tk Aprog* на основе передовых технологий системного программирования. Объектный подход, используемый в программно-технологическом комплексе на всех уровнях, позволяет описать управление технологическим процессом любого уровня сложности в виде набора простых алгоритмов, технологически связанных между собой. Устройство "САРГОН", установленное на всех вычислительных узлах АСУ ТП, обеспечивает независимость технологи-

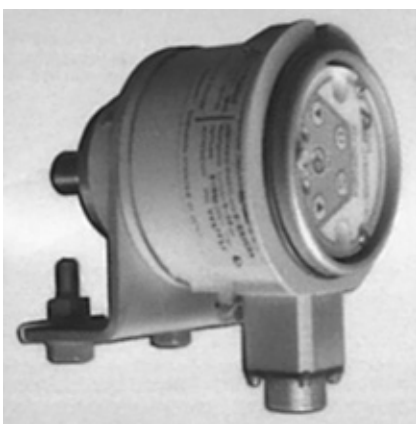


Рис. 1. Датчик серии ТЖИУ406

ческих программ от распределения по контроллерам.

НПО "Техника-сервис" (Москва) совместно с **ООО "ТС-СКН"** специализируется на производстве мобильных и стационарных вычислительных средств для тяжелых условий эксплуатации (удары, вибрации, влага, пыль, агрессивные среды, соляной туман и др.); корпоративных рабочих станций, серверов и ПК повышенной надежности для офисных и полупромышленных условий эксплуатации; заказных вычислительных систем со специальными требованиями. Приведем краткое описание оригинальных разработок, демонстрировавшихся на выставке:

— *промышленный защищенный ноутбук TS Strong Master 7020T (EC-1866) серии Pentium M* (рис. 2) для сбора, обработки и отображения информации в полевых условиях при повышенной влажности воздуха (дождь), сильной запыленности, температуре -50 — 55 °С и уровне акустического шума до 150 дБ. Может применяться как универсальный компьютер в транспортных средствах, условиях синусоидальной и случайной вибрации до 6 G и одиночных (до 120 G) и многократных (до 15 G) ударах, качки и других внешних воздействий. Жесткий диск ноутбука установлен в герметизированный объемный модуль с применением специальных амортизаторов. Вместо жесткого диска возможна установка электронного диска, более устойчивого к внешним воздействиям. Для эксплуатации в транспортных средствах ноутбук может комплектоваться виброизолирующей платформой с кронштейном, фиксирующим



Рис. 2. Промышленный защищенный ноутбук TS Strong Master 7020T (EC 1866) серии Pentium

положение его ЖК-дисплея. Виброизолирующая платформа с ноутбуком может устанавливаться на рабочий стол (горизонтальная установка) и монтироваться на стену транспортного средства (вертикальная установка). Промышленный ноутбук оснащен универсальным отсеком, позволяющим дополнять его накопителем на компакт-дисках CD-ROM, CD-RW, DVD-ROM, DVD-ROM Combo, DVD-RW или гибких магнитных дисках FDD. Можно также установить вторую питающую батарею. Установка любого из этих устройств не требует специальных знаний и занимает не более 1 мин;

— *промышленный защищенный планшетный компьютер M840* для эксплуатации в качестве переносного (массой 1,9—2,2 кг в зависимости от емкости штатной батареи) индивидуального средства сбора, обработки и отображения информации. Работает при температуре -20 — 50 °С, габаритные размеры 273 × 188 × 50 мм. Компьютер работает под управлением стандартных операционных систем Windows XP в отличие от ограниченной в своих возможностях системы Windows CE, под управлением которой обычно работают изделия такого размера. Корпус компьютера выполнен из алюминий-магниевого сплава.

НПП "Элемер" (Москва) предложило потребителям свои разработки:

— *измерительные преобразователи температуры и влажности ИПТВ-056 и ИПТВ-206*, обрабатывающие аналоговые сигналы. Диапазоны измерений: температуры -25 — 25 , 0 — 100 , -40 — 110 °С при относительной влажности 5—98 и 0—100 %. Погрешность измерения температуры $\pm 0,2$ и $\pm 0,4$ °С при относительной влажности ± 2 и ± 4 %. Выходной сигнал для ИПТВ-056 составляет 0—5 мА, для ИПТВ-206 — 4—20 мА. Степень защиты IP54. Давление измеряемой среды до 2,5 МПа;

— *измеритель-регулятор температуры и влажности ИПТВ-5215*, работающий совместно с ИПТВ-056. Погрешность измерений температуры $\pm 0,25$ %, относительной влажности $\pm 0,25$ %. Питающее напряжение 220 В. Регулирование по температуре и влажности двух- и трехпозиционное. Степень защиты лицевой панели IP54, корпуса — IP20;



Рис. 3. Поверочный комплекс давления и стандартных сигналов "Элемер" ПКДС-210

— *поверочный комплекс давления и стандартных сигналов "Элемер" ПКДС-210* (рис. 3) для поверки преобразователей давления: абсолютного — 0—120 кПа, 0—600 кПа, 0—2,5 МПа; избыточного — 0—100 кПа, 0—600 кПа, 0—2,5 МПа, 0—16 МПа; избыточного разрежения в диапазоне 10—600 МПа. При этом максимальная основная приведенная погрешность $\pm 0,05$ — $0,20$ %. Комплекс также может применяться для поверки термометров сопротивления, термомпар и преобразователей с унифицированным сигналом в диапазоне температур -50 — 200 °С с погрешностью $\pm 0,05$ °С. Комплекс работает при температуре -20 — 60 °С. Степень защиты комплекса от пыли и влаги IP54.

Компания PLC systems (Москва) предложила потребителям оригинальную разработку — многофункциональные цветные и монохромные графические сенсорные панели C-more (рис. 4) для любых контроллеров с экраном по диагонали 152—381 мм. Панели оснащены обновленными сенсорными экранами и доработанным программным обеспечением, отличающимся простотой настройки и программирования. Для хранения данных используется одна или две карты Compact Flash, возможно также подключение USB накопителя емкостью до 1 Гб. Панели имеют 16 оттенков



Рис. 4. Многофункциональные цветные и монохромные графические сенсорные панели C-пане

серого и 65 536 различных цветных оттенков. Для различных проектов имеется память объемом до 40 Мб.

ЗАО "Элтикон" (Москва) демонстрировало на выставке технические средства "Композит", приведем краткое описание только одного экспоната:

— модуль СА324 ввода сигнала с тензометрического датчика или системы тензометрических датчиков силы (массы). Модуль применяется в весовых терминалах статического и динамического взвешивания, распределительных системах сбора данных, автоматизированных системах управления технологическими процессами в промышленности. Модуль эксплуатируется при температуре окружающей среды -50 — 85 °С. Его питающее напряжение 14—32 В постоянного тока, выходное напряжение восьми тензодатчиков 5 В. Диапазон аналого-цифрового преобразования входного сигнала 0—20 мА. Частота передачи результатов преобразования по запросам master-устройства 1—1000 1/с. Подключение к общему каналу передачи данных осуществляется через преобразователь интерфейса CA714 или преобразователь RS-232, а также RS-485. Скорость передачи данных 115,2 кбит/с.

ООО "ТАУ-Автоматика" (Москва) среди прочих устройств демонстрировало *многофункциональный анализатор качества энергоснабжения СРМ-52/51*, осуществляющий высокоточное измерение, индикацию и передачу по информационной сети Modbus RTU всех электрических и мощностных параметров, а также производящий вычисление характеристик качества электроэнергии. Анализатор

осуществляет измерение амплитудных значений основных и высших гармоник тока и напряжения (до 31 гармоники), производит расчет суммарного коэффициента гармоник, может работать в силовых сетях со значительными гармоническими искажениями напряжения и тока без снижения точности измерений. Анализатор оснащен дискретными входами, выходами и последовательным интерфейсом, позволяющими осуществлять широкий спектр функций: дистанционное управление, сигнализацию, формирование аварийных сигналов, сбор статистических данных и запись информации.

Компания «Модульные системы "Торнадо"» (Новосибирск) предложила потребителям *систему автоматизации котельной на базе промышленно-технологического комплекса "Торнадо-1"*, выполняющую основные функции контроля и управления и обеспечивающую персонал достоверной и своевременной информацией о состоянии технологического оборудования, протекания и параметрах технологического процесса. Система позволяет автоматизировать работу котельных с любым отечественным или зарубежным технологическим оборудованием и любым видом топлива. При этом обеспечивается современный уровень управления оборудованием, экономичное сжигание топлива за счет повышения качества регулирования и в результате увеличение срока службы агрегатов котельной, улучшение ее экологических показателей. Объем аппаратных и программных средств можно наращивать поэтапно в соответствии

с текущими потребностями производства. Общая производительность системы может достигать более 1000 сигналов ввода-вывода.

Компания Omron (Нидерланды) демонстрировала на выставке датчики (контроллеры) серии ZS, выполняющие точные измерения толщины материала, гладкости и искривления поверхности. Приведем краткое описание *компактного цифрового контроллера ZS-HLDC* (рис. 5), оснащенного передовыми цифровыми технологиями. Результаты измерений и другая информация отображаются на светодиодном индикаторе с двумя рядами элементов по восемь сегментов каждый. Крупный размер цифр индикатора упрощает считывание показаний. С помощью клавиш на индикатор можно вывести информацию о проводимых измерениях, включая текущие и пороговые значения. Для ЖК-дисплея контроллера предусмотрена возможность индивидуальной настройки отображаемой на нем информации. По желанию при эксплуатации контроллеров можно изменять язык, на котором выводится информация. Размеры прибора 90 × 60 мм.

Фирма ALFRA (Германия) предложила потребителям свои новые разработки — сегментированные листовые штампы и компактный ручной гидравлический инструмент:

— *перфорационную систему Tristar*, оснащенную специальным пу-



Рис. 5. Цифровой контроллер ZS-HLDC

ансоном. Применяется для обработки специальных сталей и углеродистой стали 37. Система приводится в действие гидравлическим прессом "Компакт", ручным, ножным или электрогидравлическим насосом. Можно обрабатывать специальные стали толщиной 2,0—2,5 мм, осуществляя сверление диаметром до 20 мм;

— *специальный штамп ASN-20* для обработки отверстий. Уже готовые круглые отверстия с помощью такого штампа можно делать квадратными или прямоугольными. Во избежание скашивания окончательный размер отверстия предварительно следует накернить. Обрабатывается сталь толщиной до 2 мм. Таким штампом, оснащенным ручным прессом "Компакт", можно выполнять отверстия диаметром до 28,5 мм;

— *гидравлический ручной инструмент "Компакт-Комби"* для работы в ограниченном пространстве, оснащенный специальной головкой, расположенной под углом 90° с вращением на 360°. Таким инструментом можно обрабатывать (пробивать отверстия) в углеродистой стали диаметром до 85 мм, квадратные или прямоугольные отверстия 68 × 68 и 36 × 112 мм соответственно. При обработке специальной стали толщиной 2,5 мм можно изготавливать круглые отверстия диаметром 64 мм. Усилие резания 75 кН, масса инструмента 1,9 кг.

ООО "АББ Индустрия стройтехника" (Великобритания) продемонстрировало различное низковольтное оборудование:

— *электромеханическое реле времени ATS-1RM* для размыкания и замыкания цепи по заданной программе, оснащенное встроенным аккумулятором, заряжающимся от электросети. Реле обеспечивает сохранность программы при длительном (до 150 ч) отключении электропитания. Питающее напряжение реле 220—240 В, потребляемая мощность 1 кВт, температурный диапазон рабочего режима —25—55 °С;

— *цифровые реле времени DTS* — одно- и многоканальные реле с суточным или недельным циклом программирования. Они реализуют сложные функции управления несколькими нагрузками или независимыми груп-

пами нагрузок, требующими различных уставок времени и разного времени начала отсчета. В серии DTS используется память ЭСППЭУ, устраняющая риск стирания заданной программы независимо от продолжительности перебоев электропитания. Мощность реле 5 кВт. Для облегчения щитового монтажа реле с годовым циклом (шириной 6 DIN-модулей) оснащены съемной панелью управления;

— *выключатели OS20...400 и OESA630...800 PowerLine* с предохранителями OS и COSA, сочетающие возможность защиты плавкими предохранителями от токов короткого замыкания (КЗ) и выключение нагрузки в обе стороны от предохранителя. Плавкие вставки представляют стационарные детали, гарантирующие долговечность работы сетей переменного и постоянного тока с минимальной потребностью дополнительного пространства на панелях управления. Предохранители предотвращают короткое замыкание (КЗ) до 100 кА при повреждении, что сокращает число вариантов и проблем при выборе деталей. С помощью дополнительно поставляемых комплектов преобразования системы можно в любой комбинации установить шести- и восьмиполусные, реверсивные, байпасные переключатели и переключатели с механической блокировкой. Выключатели с предохранителями PowerLine прошли испытания в соответствии с требованиями МЭК 947-3. В результате изоляция даже после КЗ сохраняла свою надежность на протяжении всего срока службы рубильника;

— *компонентный привод (преобразователь частоты) ACS150* (рис. 6) для управления низковольтными асинхронными электродвигателями переменного тока, когда не требуется точно поддерживать момент, скорость или какую-либо внешнюю технологическую переменную. Встроенная панель управления с ЖК-дисплеем, кнопками управления и потенциометром делает процесс настройки и эксплуатации привода очень простым. Интерфейс привода ACS150 унифицирован с интерфейсом и другими моделями приводов (ACS350 и ACS550), что позволяет уменьшить время для настройки привода и освоения техно-

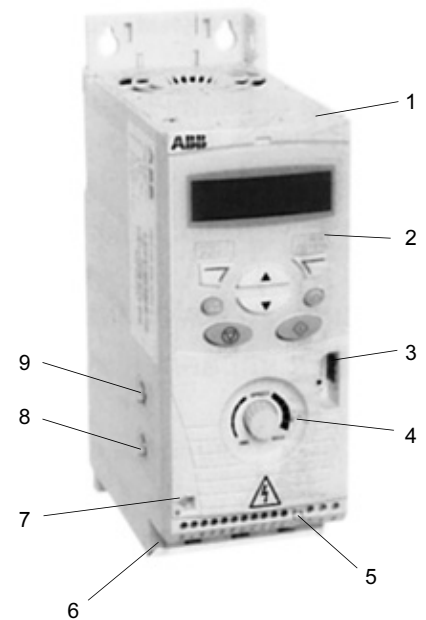


Рис. 6. Компонентный привод ACS150:
1 — съемный зажим для крепления маркировки; 2 — встроенная панель управления; 3 — подключение устройства Flash Drop; 4 — встроенный потенциометр; 5 — подключение входов (выходов) управления; 6 — подключение питания тормозного резистора и электродвигателя; 7 — переключатель типа сигнала аналогового входа; 8 — винт заземления вариатора; 9 — винт заземления фильтра

логического оборудования, в котором он применяется. Привод оснащен тормозным прерывателем (необходимым для обеспечения динамического торможения электродвигателя) и ЭМС-фильтром, позволяющим снизить уровень электромагнитных помех, генерируемых приводом. Привод также имеет монтажную плату с зажимами для крепления кабелей и увеличения срока службы, покрытую защитным слоем лака.

Основным событием деловой программы выставки стала Всероссийская конференция по АСУ ТП и встраиваемым системам, на которой разработчики поделились опытом, а специалисты по системной интеграции рассказали о предлагаемых услугах в области автоматизации технологических процессов.

А. Н. ИВАНОВ, инж.

Инновационные продукты. Технология, инструменты и материалы зарубежных фирм

В августе 2007 г. в Москве в рамках деловой программы международных автомобильных выставок "Интеравто-2007" прошел очередной VI Конгресс технологов автомобилестроения. На конгрессе выступили представители общественных организаций и корпоративных компаний. В работе тематических секций приняли участие представители ряда совместных и зарубежных фирм.

Выступление специалистов ООО "РУСЭНК" было посвящено теме "Инновационные продукты, технологии и материалы Henkel (Германия) для российского автомобилестроения". Компания Henkel является лидером в области торговых марок и технологий для обработки "черных" кузовов, шовных и днищевых мастик, клеев, а также препаратов для водоподготовки и очистки сточных вод. Объем продаж компании составляет более 3 млрд евро в год. На российском рынке продукция Henkel успешно востребована заводами АвтоВАЗ, ГАЗ, УАЗ, ЛиАЗ. Клиентами Henkel являются также автозаводы в России и совместные предприятия, выпускающие автомобили марок KIA, Ford, GM, Renault.

Продуктовый ряд расходуемых материалов:

- для обработки кузова автомобиля перед окраской (обезжиривания, активирования, фосфатирования, пассивации);

- для склеивания, уплотнения, фиксации резьбовых соединений, упрочнения, звукоизоляции, мастики для обработки швов и днища, системы вклеивания стекол, воски для консервации скрытых полостей кузова;

- для обработки и очистки сточных вод.

В настоящее время фирма Henkel производит ряд продуктов в России, среди них клеевые материалы (Сызрань), днищевые и шовные мастики (г. Энгельс). В 2006 г. запущена вторая очередь завода в Энгельсе, где осваивается производство широкой номенклатуры продуктов, в том числе для подготовки поверхностей кузовов автомобилей.

Сообщение специалиста фирмы MEZERVIS spol.s.r.o. (Чехия) — изготовителя и поставщика испытательной техники для автомобильной промышленности — освещает следующие направления деятельности:

- поставки комплектных испытательных стендов с электрическими динамометрами постоянного тока типа SDS, SDSi (мощностью от 20 до 500 кВт и скоростью до 3000 об/мин) и асинхронными динамометрами переменного тока типа ASD (от 130 до 400 кВт, до 10 000 об/мин) для обкатки и испытаний ДВС;

- испытательные стенды для коробок передач, редукторных коробок, барабанные испытательные средства для выходного контроля АТС;

- реконструкция и модернизация различных устаревших испытательных стендов с поставкой комплекта измерительной аппаратуры и сервисным обслуживанием.

Среди пользователей продукции в России ОАО "Заволжский моторный завод", ОАО "Сургутнефтегаз",

ПО "БелАЗ", УП "Минский моторный завод" и ряд других автомобильных и ремонтных предприятий России и Республики Беларусь.

Индустриальной технологии, оборудованию и материалам для порошковой окраски изделий автомобилестроения посвящено выступление специалиста ЗАО "Политех Холдинг". Приведены примеры применения порошковой окраски ведущими зарубежными фирмами.

Японская фирма Honda одна из первых внедрила процесс грунтования кузовов автомобилей порошковыми материалами. Окраска кузовов производится так называемым инверсионным способом. Цикл включает подготовку поверхности, нанесение порошковой краски (грунтование), отверждение покрытия, нанесение жидкой грунтовки методом электроосаждения, сушку, промежуточное легкое шлифование, нанесение жидких автоэмалей (верхний слой), отверждение.

Аналогичным способом обрабатывают поверхность кузова на заводе фирмы Fiat (Италия). Процесс окраски начинается с подготовки поверхности. После этого порошковую грунтовку наносят на внешнюю поверхность кузова с помощью роботов. Время отверждения при 180 °С составляет 15 мин, толщина покрытия на лицевой части — 68—80 мкм, на днище — 50—60 мкм. Далее процесс окраски осуществляется по стандартной схеме.

За последние годы в США смонтированы камеры порошковой окраски на более 10 линиях фирм Daimler Chrysler и General Motors Baltimore.

Порошковые краски начинают применять в качестве покрывных слоев кузовов автомобилей во Франции, Японии, США.

Благоприятные условия создаются и в отечественном автомобилестроении при производстве отдельных узлов и деталей автомобилей. Подобная технология уже получила применение при окраске дисков колес на ряде специализированных предприятий, при отделке корпусов фар и отражателей на заводе "Автоагрегат" (Кинешма), при окраске каркасов и поручней сидений на автобусных заводах, ручек автомобиля на Димитровградском автоагрегатном заводе и АвтоЗИЛе.

Порошковые краски начинают использовать при изготовлении таких узлов и изделий, как масляные фильтры и амортизаторы, традиционная окраска которых связана с применением жидких эмалей низкотемпературной сушки в связи с конструктивными особенностями изделий.

Высокие физико-механические свойства покрытий на основе порошковых красок позволяют окрашивать корпуса указанных изделий отдельно, а сборку узла производить после окраски. Это значительно повышает долговечность покрытий.

Перспективы дальнейшего развития технологии окраски узлов и деталей автомобилей как у нас в стране, так и за рубежом неразрывно связаны с вопросами эко-

номики, энергозатрат, экологическими проблемами и требованиями потребителей.

В сообщении представителя фирмы "АРКЕМА" (Франция) были рассмотрены уникальные свойства порошковых покрытий Rilsan®. Покрытие Rilsan®, нанесенное на сталь, эффективно заменяет полиэфирно-эпоксидные краски, термическую обработку (закалку поверхности), пластическое формование и химическую обработку (хромирование, никелирование) и широко используется в автомобилестроении при производстве следующих деталей:

- элементов механической системы передач — шлицевых втулок и карданных валов, рулевых колонок, вил, коробки передач;

- элементов открывающих устройств — направляющих салазок дверей, стеклоподъемников, деталей механизма подъема люков крыши;

- внутренних деталей — элементов фиксации сидений, труб для подачи жидкости, держателей капота, щупов для определения уровня масла, крепления ремней безопасности, рессор, поручней в автобусах и др.;

- внешних деталей — багажников на крыше, "кенгурятников", хомутов топливных баков грузового автотранспорта, грузил для балансировки колес, противоугонных замков.

Важным преимуществом покрытий Rilsan® является ударная прочность — почти 3 Дж, что почти в 2 раза превышает этот показатель для стандартных эпоксидных покрытий и на 50 % выше, чем стандартных полиэфирных покрытий. Другим отличительным свойством покрытий Rilsan® является достаточно высокая устойчивость к истиранию: потеря массы при 1000 циклах истирания стандартным методом при помощи абразивной машины Taber составляет менее 15 мг по сравнению с 40 мг для эпоксидного покрытия и 60 мг для полиэфирного покрытия. Поэтому Rilsan® применяют для покрытия трущихся стальных деталей автомобиля, подвергаемых высокому износу, в частности шлицевых втулок карданных валов. Покрытие Rilsan® позволяет в 5—10 раз продлить срок службы втулок по сравнению с углеродистой сталью.

Порошки Rilsan® нашли широкое применение на мировом автомобильном рынке, по своим отдельным физическим и химическим свойствам превосходя эпоксидные и полиэфирные покрытия, полиолефины.

Презентация фирмы "Скансоник" (Берлин) была посвящена системе наведения на стык для сварки и пайки. Технику "Скансоник" знают и применяют на многих предприятиях всего мира. Только предприятиями автомобильной промышленности в мире куплено уже более 600 систем слежения "Скансоник". Применение инновационной техники "Скансоник" позволяет оптимизировать процессы пайки и сварки, расширить ассортимент и дизайн продукции, повысить качество и существенно снизить производственные затраты.

Работающий на приборах "Скансоник" может легко видеть обрабатываемую поверхность и постоянно оценивать качество получаемого шва. Проволока-щуп направляет сварочную технику точно в месте оптимального прохождения шва. В противоположность оптическим датчикам методом "Скансоник" можно качественно обрабатывать малые радиусы. Встроенная в прибор ось качания обеспечивает саморегулирование вправо и влево соответственно на максимум 10 мм в каждом случае при отклонениях от запрограммированных величин. Необходимое расстояние по высоте для конкретного случая сварки обеспечивает телескопическая рука, сглаживающая отступления вверх и вниз соответственно на 5 мм в каждом случае.

Для четкого ведения шва телескопическая рука перемещается по высоте в место соединения деталей с помощью специальной пружины. При одностороннем ведении шва телескопическая рука с помощью серводвигателя перемещается в место стыка для обеспечения точного ввода проволоки. Это перемещение можно регулировать.

Такой способ применим для выполнения соединений, которые имеют один или более упорных краев для ведения проволоки, например, угловых, с отбортованными кромками и др. Проволока является при этом постоянно обновляющимся, не изнашиваемым щупом для ведения шва. Методика "Скансоник" успешно применяется при сборке модели "Фольксвагена" — "Гольф-5".

Е. С. ДОБРИНСКИЙ, канд. техн. наук
(Академия проблем качества)

В. А. СЕИН, инж.
(ЛАЛ "АСМ-холдинг")

Биодизель и двигатели на выставке "Золотая осень—2007"

Наиболее значимым событием на рынке сельскохозяйственной техники, оборудования и агротехнологий в России и СНГ стала 9-я Российская агропромышленная выставка "Золотая осень", проходившая в рамках Российской агропромышленной недели в октябре 2007 г. в Москве на ВВЦ.

В рамках Деловой программы выставки прошел 2-й Международный конгресс "Биоэнергетика—2007" с участием докладчиков из пяти стран мира. В докладах были

представлены достижения и проблемы применения биодизеля, экологии, технологии и организации производства биотоплива, возможности финансирования биоэнергетических проектов.

Ядром экспозиции являлся раздел нового и быстроразвивающегося направления "Биотопливо".

По прогнозам Международного энергетического агентства, к 2030 г. мировое производство биотоплива увеличится с 40 млн т энергетического эквивалента нефти

в 2006 г. до 150 млн т. Ежегодные темпы прироста производства составляют 7—9 %. В результате доля биотоплива в объеме потребляемого в мире транспортного топлива достигнет к 2030 г. 4—6 %.

В Европе принята программа достижения доли автомобильного топлива из возобновляемого сырья (биоэтанола и биодизеля) не менее 5,75 % к 2010 г. При этом потребление биотоплива в Европе возрастет с 7 млн до 15 млн т, будет построено 40 новых заводов по производству биодизеля и 60 заводов по производству биоэтанола с объемом инвестиций в 4 млрд долларов.

Наиболее предпочтительным направлением возобновляемых источников энергии (ВЗИ) является биоэнергетика. В России принят ряд важных решений, формирующих комплекс мер по практическому созданию и государственной поддержке этой инновационной отрасли экономики.

Тематические разделы экспозиции — производство топливного биоэтанола, биодизеля и биоводорода, переработка отходов в энергию (биогаз, твердое топливо) и возобновляемые источники энергии — отражали эту тенденцию.

ООО "ТехЭкспресс" демонстрировало технологию и комплект оборудования для производства экодизеля на основе топлива, получаемого из рапсового масла, дешевого альтернативного, экологически чистого топлива для дизельных двигателей. Представленный бизнес-план мини-завода по производству экодизеля производительностью 576 т рапса в год подтверждает не только экологическую, но и экономическую эффективность проекта. По сравнению с дизельным топливом экодизель эффективнее в 2 раза (с продажей шрота (отхода) — ценного и питательного корма для животных и отличного топлива для печей) и в 1,24 раза без продажи шрота.

Компания MerLoni Progetti, S.p.A. (Италия) представила технологии получения биоэтанола в качестве топлива, в первую очередь для общественного городского транспорта. Исследования компании показывают устойчивый рост мирового потребления биоэтанола в проекте "Биодизель" с 4,7 млн т в 2005 г. до 11,4 млн т в 2010 г. (рост в 2,4 раза). Сырьем для получения биоэтанола к 2010 г. будут служить злаки (51 %), сахарный тростник (36 %), а также другое сырье (13 %). Ведущим в мире производителем этанола (из сахарного тростника) является Бразилия, США находятся на втором месте с устойчивой перспективой на биотопливо. Германия и Франция являются лидирующими странами ЕС в продвижении биотоплива. Страны Юго-Восточной Азии занимают ведущее место в мировом производстве пальмового масла — сырья для производства биотоплива. В 25 странах Африки стартовал масштабный международный проект по обеспечению 20 млн малых биогазовых установок.

ОАО «"Тамбовский завод "Комсомолец" им. Н. С. Артемова» — один из крупнейших производителей оборудования для получения биоэтанола (абсолютированного спирта) — топлива для биодизеля. Комплектное оборудование и технологии производства биоэтанола значительно дешевле аналогичного, предлагаемого зарубежными производителями, обладают высокой адаптацией к российским условиям и требованиям отечественного покупателя.

Национальная биоэнергетическая ассоциация — общественная некоммерческая организация — ставит своей целью содействие в эффективном взаимодействии с государством в интересах развития национальной биоэнергетики, формирования законодательной базы и инвестирования перспективных проектов. НБА подготовила нормативную базу функционирования — соглашение с Минсельхозом России, РАН, биоэнергетическими ассоциациями ряда зарубежных стран, а также с администрациями заинтересованных субъектов федерации, осуществляющих реализацию биоэнергетических проектов на своих территориях.

На выставке были широко представлены двигателестроительные компании, в том числе производители энергоустановок, работающие на альтернативных видах топлива.

ОАО "РУМО" (Нижний Новгород) в продуктовом ряду имеет газопоршневые электроагрегаты с двигателями ряда ЧН 22/28 и 36/45, работающие на натуральном природном газе с тепловым объемом 7500—8600 Ккал/мм³. Номинальное давление топливного газа 0,2—1,2 МПа. Удельный расход топлива на номинальной мощности находится в интервале от 140—190 до 330—360 г/кВт·ч. Кроме того, завод производит газомотокомпрессоры 10ГКНАМ, МКС12, в качестве силового агрегата которых установлен двухтактный газовый ДВС. Топливом для него также являются природный или попутный нефтяной газ. В плунжерных насосных агрегатах 5ПлНА-1050 также применяется в качестве привода газодизельный двигатель.

ООО "Четра", представляющее интересы предприятий концерна "Тракторные заводы", демонстрировало на выставке двигатели ОАО ПО "Алтайский моторный завод", дизели воздушного охлаждения ОАО "Владимирский моторо-тракторный завод".

Дизельные двигатели широко применяют на тракторах, комбайнах, судах, в строительной-дорожной технике, компрессорах и электростанциях. Отдельные модификации двигателей могут работать на альтернативных видах топлива.

Компания Perkins (Англия) — признанный лидер мирового энергетического рынка — производит ежегодно более 300 тыс. двигателей мощностью от 9 до 2263 кВт·А (от 7 до 1811 кВт). Компания наряду с двигателями, использующими дизельное топливо, производит также газопоршневые двигатели различного назначения, работающие на природном газе (прежде всего в качестве силового агрегата генераторных установок). Объем производства двигателей для нужд электроэнергетики ежегодно составляет более 45 тыс. дизельных и газопоршневых двигателей. Максимальная мощность газопоршневых двигателей 1042 кВт. Газовая модернизация двигателя серии 4000 (мощностью 585—2263 кВт·А) получила Королевскую премию Англии за достижения в области охраны окружающей среды.

В табл. 1. приведен модельный ряд генераторных установок с силовым агрегатом — газопоршневым двигателем Perkins.

ГНЦ РФ ФГУП "НАМИ" представил семейство мобильных малогабаритных транспортных средств (ММТС) для сельского хозяйства, в качестве силовых агрегатов

Таблица 1

Серии генераторных установок с газопоршневым двигателем	Полная мощность двигателя (с постоянной нагрузкой), кВт	Частота вращения двигателя, об/мин	Кпд генератора, %	Мощность генераторной установки (с постоянной нагрузкой), кВт
406-23TRS1	322	1500	95,4	307
406-23TRS2	393	1500	95,4	375
408-30TRS1	447	1500	95	425
408-30TRS2	526	1500	95	500
4012TES1	632	1500	96	607
4016TES1	842	1500	96,8	815
4016E61TRS	1042	1500	96,8	1008
4008TES1	400	1200	96	384
4012TES1	600	1200	96	576
4016TES1	800	1200	96,5	772

Примечание. Коэффициент мощности нагрузки $\cos \varphi$ равен 1.

которых использованы двигатели, как дизельные и бензиновые, так и работающие на газе.

ММТС — малогабаритный автомобиль высокой проходимости с колесной формулой 4 × 4, максимальной скоростью 60 км/ч и возможностью выполнения ряда сельскохозяйственных работ. ММТС совмещает функции автомобиля и средств механизации в личных подсобных крестьянских хозяйствах, на малых и средних фермах и других предприятиях сельскохозяйственного назначения.

В табл. 2 приведены технические характеристики ММТС малого и особо малого классов с различными двигателями.

Таблица 2

Техническая характеристика	Модель ММТС	
	НАМИ 2339 малого класса	НАМИ 1339 особо малого класса
Распределение нагрузки по осям, %:		
передняя		45
задняя		55
Число мест в кабине		2
Скорость, км/ч:		
максимальная		≥50
минимальная устойчивая	≥2,23	≥2,03
Допустимая масса буксируемого прицепа, кг	1500	1200
Минимальный радиус поворота, м	≤6,5	≤5,5
Объем топливных баков, л		40
Двигатель:		
марка	ВАЗ-341	ВАЗ-21082
тип	Дизель с жидкостным охлаждением	Бензиновый (газовый) с искровым зажиганием и жидкостным охлаждением
Минимальный удельный расход топлива, л/л.с.ч	190	220
Экологические требования	Евро-2	
Система питания	ТНВД распределительного типа	Газобаллонное оборудование

ММТС различных классов построены из унифицированных модулей, в том числе с применением агрегатов и компонентов отечественных автомобиле- и тракторостроительных заводов, выполняющих самостоятельную функцию или существующих как отдельная сборочная единица.

В настоящее время ММТС проходят всесторонние сертификационные испытания в различных климатических условиях, после которых должно быть принято решение об организации их серийного производства на одном или нескольких заводах, имеющих соответствующие мощности и квалификацию персонала.

Следует отметить, что в России в ближайшей перспективе потребности в биодизеле не будет до тех пор, пока его цена не сравняется с ценой минерального дизельного топлива. И второй немаловажный фактор, влияющий на распространение и применение биодизеля в народном хозяйстве страны, — ограниченность двигателей, адаптированных к его применению.

Вместе с тем, с учетом существующих требований европейского законодательства по выхлопным газам для промышленного и сельскохозяйственного использования к настоящему времени уже допущены некоторые "биодизельные" двигатели, в частности "Ивеко" (Iveco), "Даймлер Крайслер" (Daimler Chrysler), "Джон Дир" (John Deere), "Фендт" (Fendt), "Дойц Фап" (Deutz Fahr), "Дойц АГ" (Deutz AG) и ряд других зарубежных брендов.

* * *

Четкая профессиональная направленность, комплексность концепции, продуманная и мощная рекламная поддержка выставки и ее деловая программа подтвердили статус выставки "Золотая осень" как основной выставки промышленного сектора экономики.

Выделение в отдельное специализированное направление выставки раздела "Биоэнергетика" позволило выявить мировые и отечественные тенденции развития наукоемкого энергетического направления и потребности производства в альтернативных видах топлива.

Е. С. ДОБРИНСКИЙ, канд. техн. наук
(Академия проблем качества РФ)

Рецензия на книгу "Синергетика явлений и процессов в металловедении, упрочняющих технологиях и разрушении"¹

Учебное пособие предназначено для студентов, магистрантов, аспирантов, обучающихся по специальности "Металловедение и термическая обработка металлов", а также по другим специальностям направлений "Металлургия" и "Материаловедение", может быть полезно и технологам-производственникам, и конструкторам-расчетчикам при оценке поведения, выбора и взаимозаменяемости материалов.

В книге приведена классификация сплавов по степени неравновесности их исходного состояния, рассмотрены новые уравнения для описания явлений и процессов, происходящих в структуре металлических материалов при технологических воздействиях, которые могут быть использованы для модернизации существующих и разработки новых упрочняющих технологий в производстве полуфабрикатов и готовых изделий. Учебное пособие содержит основные понятия, термины и принципы, программы расчетов предельных механических характеристик и новых критериев разрушения, выполненных для сталей всех классов; даны основы системного анализа, поиска новых решений, примеры разработок прогрессивных наукоемких технологий. В пособие включены контрольные вопросы и тесты для контроля знаний студентов и специалистов.

Актуальность книги определяется повышением уровня требований к технологическим системам. Системный анализ является в настоящее время одной из характеристик научно-технического прогресса. Поэтому, по мнению автора, важно в процесс подготовки инженеров-технологов включить синергетику как новую междисциплинарную часть науки. Эта часть представляет одно из быстро развивающихся направлений современной постклассической науки. Актуальность книги проистекает из необходимости дальнейшей интерпретации трудов создателей синергетики И. Пригожина и Г. Хакена.

Книга состоит из пяти глав с контрольными вопросами.

В гл. 1 дана характеристика синергетики как методологической основы решения современных задач материаловедения и создания новых технологий путем описания эволюционных процессов на основе явления самоорганизации и восьми принципов термодинамики неравновесного состояния (синергетики) открытых систем: равновесной термодинамики, минимума производства энтропии, текущего и локального равновесия, мозаичности, наименьшего принуждения, подчинения, неравновесности как источника упорядоченности, самоорганизация диссипативных структур.

В гл. 2 приведены характеристики множества фрактальных (искаженных) пористых, линейных, плоских и объемных кристаллических структур и дана оценка их

влияния на разрушение с помощью фрактальной размерности; приведен анализ влияния главного фактора разрушения — напряженного состояния на примерах предельной пластичности и сопротивления разрушению металлов, а также классические и новые критерии механики разрушения хрупких, квазихрупких и пластичных материалов. Впервые предложено новое решение условия разрушения А. Гриффитса для пластичных поликристаллов, показаны соотношения энергий, затрачиваемые на упругую и пластическую деформации хрупких, квазихрупких и пластичных материалов с пределом текучести от 300 до 3000 МПа. При этом установлено, что энергетическое условие Гриффитса для хрупких материалов по мере увеличения пластичности постепенно утрачивает свое значение и переходит в деформационно-энергетическое условие для квазихрупких материалов, а затем в деформационное условие вязкого разрушения. В последнем предельная деформация до разрушения является величиной, определяющей значение критерия зарождения трещин. Этот показатель контролирует величину критерия распространения трещин, поскольку перед вершиной движущейся трещины всегда сначала зарождается микротрещина, соединяющаяся с магистральной. Приведены расчеты критериев хрупкости и масштаба для чугунов, улучшаемых сталей, дана их связь с твердостью и другими механическими свойствами.

Введение новых критериев разрушения² обосновано тем, что исходная и текущая повреждаемость материалов при эксплуатации изделий влияет на разрушение, но количественно самостоятельно ранее не оценивалась, а в механических свойствах прямо не содержится. Два процесса — пластическая деформация и разрушение, одновременно протекающие в нагруженном или деформируемом теле от момента приложения нагрузки до распада тела на части, могут оцениваться самостоятельными количественными величинами — механическими свойствами и критериями разрушения. Это обеспечивает повышение точности прогноза надежности изделий при выборе материалов, их состояний и оценке поведения. В пособии приведены структурные уровни изучения отказов, фрактальные микроструктуры границ зерен, мартенситных, дендритных и разрушенных структур, многочисленные примеры применения новых критериев разрушения для оценки выбора состояний хрупких и пластичных сплавов железа.

В гл. 3 приведены новые уравнения, полученные автором на основе принципов самоорганизации конкури-

¹ Скуднов В. А. Синергетика явлений и процессов в металловедении, упрочняющих технологиях и разрушении. Нижний Новгород: НГТУ, 2007. 192 с.

² В. А. Скуднов везде обозначает разработанные им критерии разрушения как критерии разрушения синергетики. Так как само понятие синергетики, введенное Г. Хакеном, несколько отличается от принятого автором пособия, мы сочли возможным сократить это определение на одно — последнее — слово, предоставив читателям самим оценить это новое понятие.

рующих явлений и процессов на примере описания закономерностей формирования равноосной структуры и роста столбчатых кристаллов. Уравнения могут быть использованы для моделирования явлений и оптимизации процессов кристаллизации сплавов в неравновесных условиях (при инъекционной обработке расплавов порошками, промежуточной разливке, суспензионном модифицировании, ультразвуковой обработке, самораспространяющемся высокотемпературном синтезе, электростимулированной обработке давлением, электротермической обработке).

В гл. 4 даны примеры применения принципов синергетики для описания явлений и оптимизации структур при термической обработке путем управления обратными связями при легировании, приведены модели микроструктур сплавов 1—6-го уровней неравновесности (сверхупругих, с памятью формы, упорядоченных, термически стабильных, аморфных, сверхтвердых типа алмаза). Здесь же выведены новые феноменологические уравнения связи числа центров образования новых фаз, аустенита и мартенсита с основными параметрами состояния, дан анализ превращений структуры при среднетемпературной термоциклической обработке доэвтектидных сталей.

В гл. 5 рассмотрена взаимосвязь структурно-энергетических состояний железных сплавов, для чего впервые предложены:

- обобщенная диаграмма структурно-энергетических состояний в координатах предельная удельная энергия деформации — относительная твердость, показывающая относительное расположение сталей любого класса, любой стали своего класса, состояния стали после любой термической обработки (150 марок сталей и 600 состояний);

- новое феноменологическое уравнение, описывающее предельную удельную энергию деформации как основную синергетическую характеристику энергоемкости металлов, определяющее закономерности работоспособности изделий с учетом их уровней твердости, соотношений скорости внешнего нагружения и релаксации внутренних напряжений, напряженно-деформированного состояния, степени разрыхления. В частности, показана взаимосвязь энергоемкости, новых критериев разрушения синергетики (зарождения трещин, критерия распространения трещин с абразивной износостойкостью сталей) с пределом усталости, штампуемостью (на примере стали 08ЮОСВ). Автор указывает на недостаток стандарта ГОСТ 9045, в котором, кроме относительного удлинения и предела текучести, не содержатся другие предельные характеристики стали 08ЮОСВ (относительное сужение, предельная энергоемкость, критерии зарождения и распространения трещин), без которых невозможна объективная оценка штампуемости разных партий листовой стали;

- расчеты критериев разрушения для сталей 12 различных классов, показывающие диапазоны их расположения и позволяющие выбирать взаимозаменяемые состояния, стали и технологии их термической и комбинированной обработки.

Показано также, что изменение предельной деформации металлов (до разрушения) в технологиях обработки давлением и при эксплуатации изделий описывается уравнением, подобным функции перехода систем при

внешнем возмущении от локальной к глобальной адаптации, которая является отражением универсального закона природы в поведении любых систем. Фактически для любых пластичных конструкционных материалов — основы современной техники — предельная деформация до разрушения является однозначной величиной, определяющей уровень критерия зарождения трещин.

Представлены новые синергетические характеристики процесса разрушения хрупких и пластичных металлов с позиций принципа подчинения и с использованием фрактальных размерностей точечных, линейных, плоскостных и объемных очагов разрушения.

В гл. 6 представлен комплекс, состоящий из двух программ:

- расчет критериев работоспособности машиностроительных материалов — обеспечивает расчет уровней критериев синергетики;

- автоматизированная система анализа поведения критериев работоспособности различных сталей — обеспечивает расчет предельных механических характеристик и критериев разрушения синергетики (плотности, степени разрыхления, предела текучести, сопротивления разрушению, энергоемкости, новых критериев синергетики: зарождения трещин, распространения трещин, хрупкости, масштаба) в зависимости от соотношения скоростей релаксации внутренних напряжений и нагружения, показателя напряженного состояния и др.

Комплекс содержит базу данных о более чем 200 марках сталей (она может быть расширена неограниченно), используется для выполнения расчетов достигнутых уровней с учетом имеющихся графиков изменения всех предельных механических характеристик сталей и сплавов, по которым производится оценка и прогнозирование работоспособности и надежности изделий.

В заключении отражена сущность синергизма как естественного явления в системах различной природы, особенно важного в технологических (металлургических) системах, связанного с управлением структурообразованием на нано-, микро-, мезо-, макроуровнях и использующего принципы физического и технического металловедения для получения качественных изделий и обеспечения надежности. Показана новизна синергетики, заключающаяся в совмещении известных достижений науки, техники, технологий в новом качестве (в формулировке принципов, эволюционных уравнений, технологических приемов и т. д.), удовлетворяющих новым потребностям развития технологий на пути преодоления противоречий (научных, технологических, административных и др.), естественно возникающих при решении проблем современного этапа научно-технического прогресса.

Таким образом, в рецензируемой книге получили развитие взгляды известных ученых: А. Гриффитса, Л. Жильмо, В. С. Ивановой, Н. А. Махутова, В. Е. Панина, А. П. Гуляева, И. И. Новикова, Г. Ф. Баладина, Ю. А. Мешкова, Л. С. Кремнева, С. Н. Журкова, В. И. Бетехина, В. И. Владимирова, В. Т. Трощенко, Л. И. Погодаева и др.

Г. П. ФЕТИСОВ, д-р техн. наук (МАИ—ГТУ),
В. М. ЧЕРТОВ, инж.

Календарь выставок на I квартал 2008 г.

Москва*			
8-й Московский международный салон инноваций и инвестиций	03.03—06.03	ОАО "ГАО ВВЦ"	129223, Москва, пр-т Мира, вл.119, тел.: (495) 981 8220, факс: (495) 981 8221
Измерительные приборы и автоматизация <i>9-я международная выставка</i>	11.03—13.03	СК "Олимпийский"	129019, Москва, Олимпийский пр-т, 16, тел.: (495) 786 3117
		ООО "ПРИМэкспо"	190000, С.-Петербург, ул. Якубовича, 24, лин. А, тел.: (812) 380 6002, факс: (812) 380 6001
FASTTEX <i>6-я международная специализированная выставка крепежных соединений</i>	18.03—21.03	МVK, КВЦ "Сокольники"	107113, Москва, Сокольнический вал, 1, тел./факс: (495) 995 0595
Санкт-Петербург*			
Петербургская техническая ярмарка <i>Инструмент, металлургия, обработка металлов, литейное дело</i>	11.03—14.03	ЗАО "РЕСТЭК"	197110, С.-Петербург, Петрозаводская ул., 12, тел.: (812) 320 6303, факс: (812) 320 8090
Регионы России*			
Оборудование – нефть. Газ. Химия <i>10-я специализированная выставка оборудования и технологий</i>	05.02—07.02	ВВЦ "Регион"	400007, Волгоград, а/я 3400, тел.: (8442) 232 899, 233 360
Биохимические технологии <i>3-я выставка-конференция биотехнологий для промышленности</i>	05.02—07.02	"	"
Воронежский промышленный форум: инновации, инвестиции <i>Межрегиональная специализированная выставка</i>	06.02—08.02	ВЦ "ВЕТА"	394006, Воронеж, ул. Свободы, 73, оф. 201, тел.: (4732) 774 836, 512 012
ПРОМЭКСПО <i>9-я межрегиональная промышленная выставка</i>	06.02—08.02	"	"
Уфа ПРОМЭКСПО <i>7-я специализированная выставка предприятий различных отраслей промышленности</i>	12.02—14.02	ВЦ "Башэкспо"	460080, Башкортостан, Уфа, ул. Менделеева, 146/2, тел.: (3472) 908 710, факс: (3472) 908 707
Металлургия. Машиностроение. Металлообработка. Станки и инструменты <i>Всероссийская специализированная выставка с международным участием</i>	12.02—14.02	ООО ВП "ЭкспоКама"	Набережные Челны, тел.: (8552) 346 753, факс: (8552) 346 753
Инновационно-промышленный форум <i>В рамках форума специализированные выставки «ПРОМЭКСПО», «Станки и инструмент», «Технопарк»</i>	13.02—15.02	Башкирская выставочная компания	450080, Башкортостан, Уфа, ул. Менделеева, 158, тел.: (3472) 533 800, факс: (3472) 531 433
Сибирский промышленный форум <i>В рамках форума специализированные выставки «Машиностроение», «Инструменты», «Металлургия и металлообработка», «Литье и сварка»</i>	26.02—29.02	ЗАО "Красноярская ярмарка"	660049, Красноярск, а/я 25226, тел.: (3912) 989 048
Белоруссия**			
Сварка и резка <i>8-я международная специализированная выставка</i>	25.03—28.03	ЗАО "Минскэкспо"	220035, Минск, ул.Тимирязева, 65, тел.: (10-375-17) 226 9858
Украина***			
INTERTOOL KIEV <i>Все многообразие инструмента</i>	февраль	—	Киев
8-я Международная промышленная конференция-выставка	11.02—15.02	УИЦ «НТТ»	Карпаты, п.Славское, тел./факс: 573 3040
Бахрейн****			
Gulf Industry Fair 2008 <i>Международная промышленная выставка региона Персидского залива</i>	15.01—17.01	Exponet List Admin	Манама
Power-Gen Middle East 2008 <i>Ближневосточная энергетическая выставка и конференция</i>	04.02—06.02	"	"
Бельгия***			
METAPRO <i>Международная выставка металлургической промышленности</i>	март	VZW Kortrijkse Meubeldagen	Картрейк, тел.: +32056/ 241 111, факс:+ 32056/217 930
Болгария***			
Forum MTM – machines, technologies, materials <i>Выставка-форум по машиностроительной промышленности</i>	26.03—30.03	Bulgarreklama Agency Ltd	София, тел.: +35902/965 5220, факс: +35902/965 5231
Великобритания****			
ЗС -2008 <i>Контроль загрязнений и чистящие средства</i>	13.02—14.02	Exponet List Admin	Бирмингем
Machine Building 2008 <i>Машиностроение, автоматизация, дизайн</i>	13.02—14.02	"	"
Германия***			
NORTEC <i>Специализированная выставка производственных технологий для металлургии и машиностроения</i>	январь	—	Гамбург
Antriebstechnik 2008 <i>Выставка автоматизации производства</i>	19.02—20.02	—	Дортмунд
Z-Die Zuliefermesse 2008 <i>Международная специализированная выставка запчастей, модулей, технологий и промышленных услуг</i>	26.02—29.02	—	Лейпциг

Германия***			
International Hard Fair/ Practical World <i>Крупнейшая международная выставка инструментов</i>	09.03—12.03	UTS	Кельн, тел.: +7 (495) 723 7227
EUROGUSS <i>Международная специализированная выставка оборудования и технологий литья под давлением</i>	11.03—13.3	—	Нюрнберг
METAV <i>Международная специализированная выставка производственной техники и автоматизации</i>	31.03—01.04	—	Дюссельдорф
Индия***			
IMEX <i>Специализированная выставка машиностроения</i>	январь	—	Ченнаи
Metallurgy India <i>Международная выставка металлургической промышленности</i>	январь	—	Хайдерабад, тел.: +9111/697 1745, факс: +9111/697 1746
WELD INDIA 2008 <i>Международная сварочная выставка</i>	08.01—10.01	Indira Gandhi Centre for Atomit Research	Тел.: 91 44 27480121, факс: 91 44 27480081
IFEX – 2008 <i>Международная выставка-конференция литейных технологий и оборудования</i>	01.02—06.02	—	Ченнаи
INTEX <i>Международная выставка машиностроения</i>	07.02—10.02	—	Каинбатур
Schweissen&Schneiden 2008 <i>Международная выставка сварочного и металлорежущего оборудования и технологии</i>	14.02—16.02	Messe Essen GmbH	Дели
Испания****			
Biemh 2008 <i>Испанская выставка промышленного оборудования</i>	06.03—11.03	—	Бильбао
Италия****			
SAMOMETAL <i>Специализированная выставка оборудования и инструментов для металлообработки</i>	февраль	—	Парденоне
Seatec 2008 <i>6-я международная выставка судостроительных технологий и оборудования</i>	07.02—09.02	—	Каррара
Bi-Mu Mediterranea 2008 <i>Выставка механизмов, рабочих инструментов, робототехники и автоматизации</i>	21.02—24.02	—	Бари
Китай***			
LIN KAGE <i>Международная выставка металлообрабатывающего оборудования для смежных отраслей промышленности, штампованного оборудования и литейных форм</i>	март	—	Дунгуань
AVV China 2008 <i>Международная выставка оборудования и технологий переработки мусора и очистки воздуха</i>	07.03—10.03	—	Гуанчжоу
Water China 2008 <i>Международная выставка оборудования и технологий по переработке и очистке воды</i>	07.03—10.03	—	"
Нидерланды***			
Technik Show <i>Специализированная выставка технологий промышленного производства</i>	март	—	Утрехт
ОАЭ***			
Steel Fab 2008 <i>Ближневосточная выставка металлообрабатывающего оборудования</i>	21.01—23.01	Expo Centre Shariah	Shariah, тел.: +9716/577 000
США****			
Pipeline Piggig & Integrity Management Conference plus Training Coursee and Exhibition 2008 <i>Выставка, конференция и тренинг по контролю состояния и очистке трубопроводов</i>	12.02—14.02	—	Хьюстон
Франция***			
MACHINE OUTIL <i>Международная выставка производственного оборудования</i>	март	—	Париж
THERMIC <i>Международная выставка промышленного термического оборудования</i>	март	—	"
Inter OUTIL EXPO <i>Международная выставка технологической обработки металлов и композитов</i>	март	—	"
SIMODEC <i>Международная выставка металлорежущего инструмента</i>	март	—	"
ЮАР****			
ACNDT 2008 5-я африканская конференция по неразрушающему контролю	12.03—14.03	—	Хаммамед

*По данным ВЦ Москвы, С.-Петербурга и регионов России.

**По данным издательства ИЭС им. Е.О.Патона, тел./факс: (38044) 529 2623.

***По данным справочника «Навигатор ЭКСПО». Сер. специализированных справочников: Металлургия. Машиностроение. Сварка. Выставки и ярмарки 2008. Тел./факс: (495) 631 6382.

****Exponet List Admin (listadmin@exponet.ru).

Возможны изменения.

К. В. ФРОЛОВ

Отечественная наука понесла тяжелую утрату. 18 ноября 2007 г. на 76-м году жизни скончался выдающийся ученый и крупный организатор науки, специалист в области машиноведения и проблем машиностроения, Герой Социалистического труда, лауреат Государственной и Ленинской премий, премий Совета Министров СССР, премий Правительства Российской Федерации, акад. Константин Васильевич ФРОЛОВ.

Талант ученого, руководителя и организатора К. В. Фролова в полной мере проявился на постах вице-президента АН СССР и РАН; академика-секретаря Отделения проблем машиностроения, механики и процессов управления; заместителя академика-секретаря Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН; председателя Объединенного научного совета РАН по комплексной проблеме "Машиностроение"; председателя Комиссии по инновациям, высокотехнологичным и инженерным проектам Общественной палаты Российской Федерации.

С 1975 г. К. В. Фролов занимал пост директора Института машиноведения АН СССР (с 1991 г. РАН). Под его руководством институт стал центром научной и технической мысли в области машиностроения, где решались актуальные научные проблемы динамики машин, теории вибрации машин и вибротехнологий, выполнялись фундаментальные исследования в области биомеханики. Применительно к системам человек—машина—среда разработаны научные основы нормирования вибрационных и шумовых воздействий на человека-оператора. Полученные научные результаты широко используются при создании образцов специальной техники в атомном и ракетно-космическом машиностроении, авиации и судостроении.

Многие проблемы нелинейной динамики были решены в исследованиях К. В. Фролова в области виброзащиты и воздействия виброакустических полей на функциональные и физиологические возможности человека. Получены новые научные результаты по виброзащите и использованию вибраций для так называемого "тактильного управления". Эти разработки реализованы в науке, технике и производстве.

По инициативе К. В. Фролова созданы филиалы ИМАШ в С.-Петербурге, Саратове, Н. Новгороде, Волгограде, Самаре, Екатеринбурге. Некоторые из них приобрели статус самостоятельных научных организаций.

К. В. Фролов был главным редактором 40-томного издания "Энциклопедия машиностроения", главным редактором журналов "Проблемы машиностроения и надежности машин" РАН, "Машиностроение и инженерное образование" и международного журнала "Проблемы машиностроения и автоматизации", председателем правления международной научно-просветительской ассоциации "Знание". Под научным руководством К. В. Фролова защищены девять докторских и 18 кандидатских диссертаций, он автор более 400 научных работ, в том числе 12 монографий.

Международным признанием деятельности К. В. Фролова стало избрание его иностранным членом ряда зарубежных академий и присуждение ему зарубежных престижных наград. Добрая память о Константине Васильевиче Фролове — человеке исключительного таланта и прекрасной души навсегда останется в наших сердцах.

**РАН, Институт машиноведения, редколлегия
и редакция журнала "Технология машиностроения"**

Издательский центр "Технология машиностроения"

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 30.11.2007. Подписано в печать 15.01.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл.-печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 14,68. Заказ 02/08.

Отпечатано в типографии издательства "Фолиум", 127238, Москва, Дмитровское ш., 58, тел./факс: (495) 482 5590.

Подписные индексы журнала "Технология машиностроения":

79494 в каталоге Агентства "Роспечать"

27869 в Объединенном каталоге "Пресса России"

60190 в каталоге "Почта России"