

ТЕХНОЛОГИЯ



МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:**

Гл. редактор

В. А. Казаков

Зам. гл. редактора

Н. В. Посметная

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

А. В. Медарь

Б. А. Никитин

Н. А. Паничев

В. Н. Семенов

О. С. Сироткин

А. К. Скворчевский

Н. В. Смирнов

А. В. Телушкин

А. Н. Феофанов

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. Сулов

Редактор-переводчик

Е. О. Егорова

Корректор

Е. В. Комиссарова

**3 (69)
Март
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

ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Коротков В. А., Шекуров А. В. — Исследование плазменной закалки 5

ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ, ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ

Бекасов Д. Л. — Фрезоточение некруглых профилей с продольной подачей. 9

Чепчуров М. С. — Контроль и регистрация основных параметров резания при обработке крупногабаритных деталей 11

Еренков О. Ю., Гаврилова А. В. — Термомеханические параметры процесса резания полимерных материалов 13

СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Смольников Н. Я., Скребнев Г. Г. — Некоторые особенности процесса стружкообразования и износа зубьев фасонных угловых фрез 18

Боченин В. И. — Экспресс-анализ карбида вольфрама радиоизотопным способом при производстве высокопрочных металллокерамических сплавов 20

МЕХАНОСБОРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Моргунов А. П., Сердюк В. С., Стищенко Л. Г., Коржова О. П., Чуранкин В. Г. — Технология сборки профильных подвижных соединений деформирующим протягиванием. 23

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА И РОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Болдырев А. М., Биржев В. А., Мартыненко А. И. — Исследование влияния внешнего магнитного поля на коэффициент расплавления электродного металла при дуговой наплавке 26

Звягинцева А. В., Шалимов Ю. Н. — Особенности электрохимического образования Ni—В-покрытий 27

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ

Чирков Г. В. — Использование основных признаков нанотехнологии в технических системах 35

Стенин В. А., Дрондель В. Г. — Совершенствование технологии промывки гидравлических систем. 43

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Антонов А. А., Капустин О. Е. — Оптико-электронный интерферометр для измерения остаточных напряжений. 45

Пасси Г. — Неразрушающий контроль как компонент стратегии минимизации рисков и затрат на эксплуатацию и обслуживание потенциально опасных объектов. 53

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ, САПР

Феофанов А. Н. — Понятие риска на этапе проектирования гибкой автоматической линии и возможности реализации данной продукции 58

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Интегрированная автоматизированная система управления учреждением высшего профессионального образования. Общие требования (ГОСТ Р 52655—2006) 63

ОХРАНА ТРУДА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Добринский Е. С., Сеин В. А. — Проблемы энергосбережения и экологии автомобильной техники 67

ЭКОНОМИКА МАШИНОСТРОЕНИЯ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Будкин Ю. В. — Механизм и стратегия развития инновационных производственных процессов 70

Медарь А. В. — Принципы технологического синтеза. 74

Носачев А. Н. — Аутсорсинг в тяжелом машиностроении: мировой опыт и возможности для российских компаний 76

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Потапова Г. С. — Содержание зарубежных журналов 80

ИНФОРМАЦИЯ

Калашников Е. А. — Презентация программы развития ОАО "Русич" — КЗКТ им. Д. М. Карбышева 85

Иванов А. Н. — 4-я Международная выставка "КИП Экспо—2007" 86

Добринский Е. С., Сеин В. А. — Международный конгресс "Биодизель—2007": состояние, прогнозы и тенденции 91

Батов Г. П., Бирюкова Н. П., Ермолаев А. А. — 1-я Международная школа-семинар "Определение напряженно-деформированного состояния и оценка остаточного ресурса технических устройств и сооружений" 94

Зинченко В. М., Чертов В. М. — Объединение разработки новой технологии и изготовления современного оборудования 96

Добринский Е. С. — К 100-летию В. В. Бойцова 97

Календарь выставок на II квартал 2008 г. 98



ТЕХНОЛОГИЯ

МАШИНОСТРОЕНИЕ

REVIEW-ANALYTICAL, SCIENTIFIC-TECHNICAL
AND PRODUCTION JOURNAL

EDITORIAL BOARD:

V. A. Kazakov
Editor-in-Chief

N. V. Posmetnaya
Deputy Editor-in-Chief

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
A. V. Medar
B. A. Nikitin
N. A. Panichev
V. N. Semenov
O. S. Sirotkin
A. K. Skvorchevsky
N. V. Smirnov
A. V. Telushkin
A. N. Feofanov
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
E. V. Komissarova

3 (69) March 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

BLANK PRODUCTION

- Korotkov V. A., Shekurov A. V. — Plasma hardening study 5

TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR MACHINING, PHYSICOTECHNICAL PROCESSING, NON-CUTTING SHAPING

- Bekasov D. L. — Traverse mill cutting of non-round profiles 9
Chepchoorov M. S. — Control and recording of the cutting process main data at large dimension part cutting 11
Yerenkov O. Yu., Gavrilova A. V. — Thermodynamic characteristic of the polymeric materials cutting 13

TOOLING PRODUCTION

- Smolnikov N. Ya., Skrebnev G. G. — Some specific features of the chipping process and angle-form-milling cutters' teeth wear 18
Bochenin V. I. — Radioisotope rapid analysis of the tungsten carbide at high-strength metal-ceramic alloys production 20

MACHINING-AND-ASSEMBLY PRODUCTION

- Morgunov A. P., Serdyuk V. S., Stishenko L. G., Korzhova O. P., Choorankin V. G. — Profile movable joint assembly technique using deforming broaching work 23

TECHNOLOGIES AND MACHINES FOR WELDING PRODUCTION AND RELATED PROCESSES

- Boldyrev A. M., Birzhev V. A., Martynenko A. I. — Study of the external magnetic field effect on the electrode metal fusing factor at weld deposition 26
Zvyaguintseva A. V., Shalimov Yu. N. — Special properties of electrochemical Ni—B coatings formation 27

SPECIAL TECHNOLOGIES

- Chirkov G. V. — Nano-technology major features application in engineering systems 35
Stenin V. A., Drondel V. G. — Hydraulic systems sluicing technological advancement 43

TESTING AND DIAGNOSTICS METHODS IN ENGINEERING INDUSTRY

- Antonov A. A., Kapustin O. Ye. — Optical-electronic interferometer for temper measurement 45
Passi G. — Non-destructive check-and-testing as a part of risk and operating and servicing costs minimizing strategy for potentially hazardous facilities 53

PROCESSES AND PRODUCTION AUTOMATION AND CONTROL, CAD SYSTEMS

- Feofanov A. N. — Risk concept at the stage of an automated line design and possibility of sales of the product 58

STANDARDIZATION AND QUALITY MANAGEMENT

- Information-and-communicative technologies in education. Integrated automated system for a higher vocational education institution management. General requirements (GOST R 52655—2006) 63

LABOUR PROTECTION

- Dobrinsky Ye. S., Sein V. A. — Energy-saving and ecological problems of the automotive equipment 67

ENGINEERING INDUSTRY ECONOMICS, PRODUCTION ORGANIZATION

- Boodkin Yu. V. — Innovative flow process advancement gear and strategy 70
Medar A. V. — Principles of technological synthesis 74
Nosachiov A. N. — Out-sorting in the heavy engineering industry: World practice and scope for the Russian companies 76

FOREIGN EXPERIENCE

- Potapova G. S. — Foreign journals contents 80

INFORMATION

- Kalashnikov Ye. A. — Presentation of the plan for expansion of the "Rusich" JSC — D. M. Karbyshev KZKT 85
Ivanov A. N. — The 4th International exhibition "KIP Expo'2007" 86
Dobrinsky Ye. S., Sein V. A. — "BioDiesel'2007" International congress: state, prediction and tendencies 91
Batov G. P., Biryukova H. P., Yermolayev A. A. — The 1st International seminar "Deflected mode determination and estimation of the engineering facility remaining life evaluation" 94
Zinchenko V. M., Chertov V. M. — Integration of the innovative technology development and modern equipment manufacturing 96
The 100th anniversary of V. V. Boytsov's birth 97
-

В. А. КОРОТКОВ, д-р техн. наук, А. В. ШЕКУРОВ, аспирант
ООО "Композит" (Нижний Тагил)

Исследование плазменной закалки

В конце 40-х годов XX века за рубежом решали проблему автоматизации аргонодуговой наплавки стеллитами. Вследствие хрупкости невозможно волочение данных сплавов в проволоку, поэтому непрерывную подачу в дугу производили вдуванием порошка. Но разлетающиеся частицы быстро засоряли конец вольфрамового электрода. Чтобы избежать этого, электрод поместили внутри водоохлаждаемого сопла. При этом был получен побочный эффект — повышение устойчивости горения дуги в результате ее обжатия и превращения из конусообразной в шнуроподобную (рис. 1). Такую дугу сначала называли обжатой, но затем с учетом ее более высокой температуры стали называть плазменной. Она сохраняла устойчивость в широком диапазоне

расхода плазмообразующего газа, поэтому данный способ кроме наплавки нашел применение также при сварке и резке. В конце 70-х гг. с применением такой дуги стали проводить поверхностную закалку [1]. Наиболее общие характеристики процесса плазменной закалки приведены в работах [2—6].

Плазменной дугой прямого действия, когда деталь находится под напряжением, удается закалить слой небольшой толщины (около 1,0 мм). При этом, как правило, не требуется подачи воды на разогретый участок. Из-за его малых размеров необходимая для закалки скорость охлаждения обеспечивается теплоотводом в тело детали.

Твердость, получаемая при плазменной закалке, обычно на 1—3 HRC выше, чем при объемной закалке с нагревом в печах и охлаждением в воде или масле. Это обусловлено структурным наклепом в результате высоких скоростей нагрева и охлаждения.

Обычно поверхностная твердость на закаленной дорожке имеет наибольшее значение в средней ее части, а по краям — ниже на 1—3 HRC. Кроме того, снижение твердости происходит в результате отпуска от теплового воздействия соседних дорожек.

По мере удаления от поверхности твердость, как правило, снижается. Но в высокоуглеродистых и легированных сталях в тонком поверхностном слое может сохраняться повышенное количество (30—80 %) остаточного аустенита, который снижает твердость. В этих случаях с удалением от поверхности твердость сначала увеличивается, а затем начинает снижаться.

Плазменная закалка изменяет рельеф поверхности. На сталях, при закалке которых выделяется небольшое количество остаточного аустенита (60ХН), закаленные

дорожки из-за мартенситного превращения, сопровождающегося увеличением объема, поднимаются над незакаленными прилегающими участками. В сталях же, при закалке которых образуется повышенное количество остаточного аустенита (150ХНМ), закаленные дорожки, наоборот, опускаются.

Остаточные напряжения в закаленной дорожке обычно сжимающие вследствие мартенситного превращения, но за пределами дорожек и в местах их перекрытия переходят в растягивающие. При односторонней закалке тонкой пластины (около 20 мм) закаленная грань приобретает вогнутость. Это свидетельствует о преобладании растягивающих макронапряжений.

На качество закалки заметно влияют изменения длины дуги и скорости ее перемещения. В одних случаях это приводит к оплавлению поверхности, а в других — к исчезновению закаленного слоя. Поскольку поддержание указанных параметров при ручном ведении процесса затруднительно, то ручная плазменная закалка практического применения долго не получала. Это было существенным упущением, поскольку многие быстроизнашивающиеся поверхности неудобны для применения автоматической плазменной закалки и поэтому эксплуатируются неупрочненными. Совершенствование оборудования и технологии позволило преодолеть указанный недостаток и с 2002 г. ручную плазменную закалку стали применять в промышленных масштабах.

Ручную закалку стали 40Х проводили с поперечными колебаниями на образце размером 600 × 80 × 40 мм при токе 120 А. Сначала закалили одну сторону образца, а затем другую. Время закалки первой стороны (образец 120-1) составило 55 с, а второй

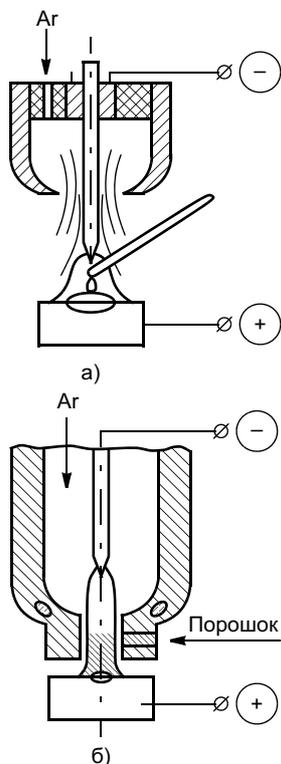


Рис. 1. Аргонодуговая горелка (а) и плазмотрон (б)

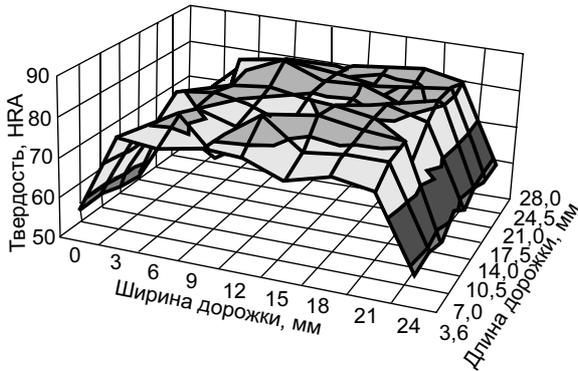


Рис. 2. Твердость поверхности образца 120-1 (средняя — 35 HRC; средняя по центру дорожки — 41 HRC)

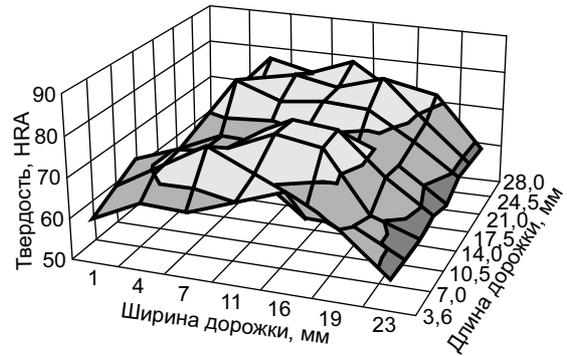


Рис. 3. Твердость поверхности образца 120-2 (средняя — 47 HRC; средняя по центру дорожки — 56 HRC)

(образец 120-2) — 39 с. Уменьшение времени закалки второй стороны образца связано с его разогревом и, чтобы избежать оплавления второй стороны, перемещение дуги было ускорено.

Из образца вырезали закаленный темплет размером 80 × 40 × 30 мм. Торцы образца отполировали и протравили 20 %-ным раствором азотной кислоты. Травлением выявили, что глубина закалки на образце 120-1 составляет около 0,6 мм при ширине дорожки 17—18 мм, тогда как глубина закалки образца 120-2 составляет около 0,8 мм при ширине дорожки 19—20 мм. Глубину закалки определяли на микроскопе МПБ-2 (× 24, цена деления шкалы 0,05 мм).

Поверхность образца 120-1 была разбита на семь участков, а образца 120-2 — на девять. На каждом участке твердомером ИТ-5006 проводили несколько измерений твердости по шкале HRA алмазным конусом при нагрузке в 588,4 Н. Результаты, пересчитанные на твердость HRC, приведены на рис. 2 и 3. Из них можно заключить, что плазменная закалка, выполненная вручную, обеспечивает довольно равномерное распределение твердости на упрочненной поверхности.

Разработанная для закалки плазменная горелка имеет небольшие размеры, что позволило приступить к упрочнению крупномодульных зубчатых колес (рис. 4). Износостойкость исследовали на валу-шестерне (сталь 45, $m = 20$,

$z = 27$) привода мельницы МШР 3,6 × 4,0 Высокогорского горно-обогатительного комбината. Поверхностная твердость в результате закалки увеличилась¹ с 23 до 43 HRC. В неупрочненном состоянии вал-шестерня эксплуатируется до полного износа зубьев около 9 мес. С плазменной закалкой после 19 мес. эксплуатации износ зубьев не превышал 50 %. Аналогичный результат был получен на зубчатых венцах (сталь 35ГЛ, $m = 24$, $z = 90$) барабана главного подъема сталеразливочного крана грузоподъемностью 225 т Нижнетагильского металлургического комбината. Венцы с плазменной закалкой (рис. 5), повысившей твердость с 20 до 50 HRC, находились в работе до нормативного износа 17 мес., т. е. в 2,8 раза дольше, чем неупрочненные.

Штампы из стали 5ХНМ для горячей штамповки подвергают закалке с отпуском. При этом сквозная прокаливаемость не обеспечивается и по мере удаления от поверхности твердость снижается. Молотовый штамп для горячей штамповки титана BT-20 (ВСМПО, г. Верхняя Салда) был изготовлен с твердостью 36 HRC. После восьми осадок со средним съемом на каждой до 10 мм твердость снизилась до 30 HRC, что обусловило его непригодность к работе. Вместо утилизации штам-

па его сложную гравюру вручную упрочнили плазменной закалкой с увеличением твердости до 55 HRC. С закаленного штампа сняли 1862 заготовки, что в 1,7 раза больше, чем обычно снимали между осадками штампа. Штамп был отправлен на девяную осадку и повторную плазменную закалку. На рис. 6. приведено распределение твердости стали 5ХВ2С при плазменной закалке.

На Уралвагонзаводе в 2000-х гг. начали применять более прочные категории металлопроката, что увеличило расход вырубных штампов. С целью продления срока

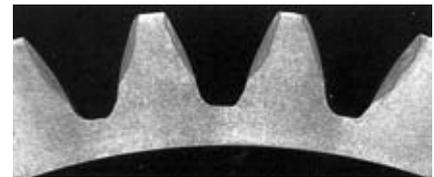


Рис. 4. Макрошлиф зубьев шестерни после ручной плазменной закалки



Рис. 5. Ручная плазменная закалка зубчатого венца сталеразливочного крана грузоподъемностью 225 т

¹ Все измерения твердости на промышленных изделиях выполняли переносным ультразвуковым прибором УЗИТ-3.

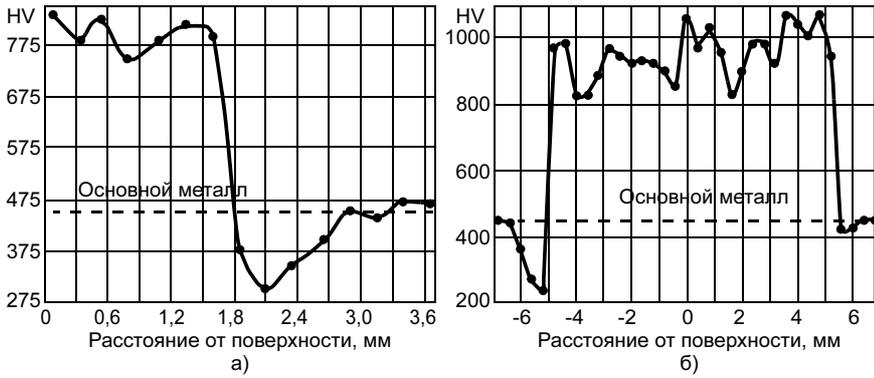


Рис. 6. Распределение твердости по глубине (а) и ширине закаленной дорожки на глубине 0,3 мм (б) при плазменной закалке стали 5ХВ2С

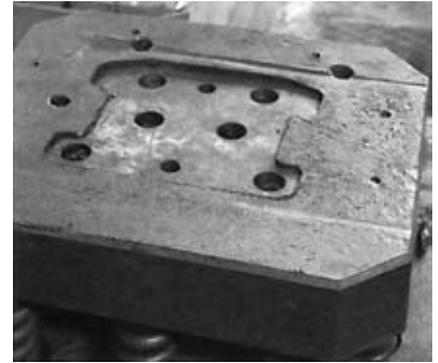


Рис. 7. Штамп из стали 5ХВ2С



Рис. 8. Распределение твердости по глубине (а) и ширине закаленной дорожки на глубине 0,3 мм (б) при плазменной закалке стали 5ХНМ

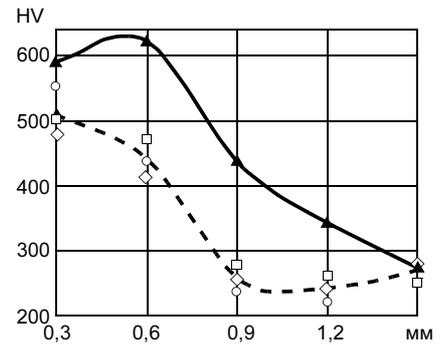


Рис. 9. Распределение твердости по глубине модифицированного чугуна после плазменной закалки (□ — 80 А, ◇ — 100 А, ○ — 140 А, сплошная линия — 140 А с колебаниями)

службы была опробована ручная плазменная закалка рабочих кромок. На рис. 7 приведен штамп из стали 5ХВ2С для горячей (с нагревом до 900 °С) вырубki фигурной планки толщиной 10 мм из стали 30ХГСА. Обычно на штампе вырубают 4000 заготовок, затем его перешлифовывают (осаживают) и повторно вырубают еще 4000 заготовок, после чего штамп утилизируется. Новый штамп подвергали ручной плазменной закалке, что увеличило твердость рабочих кромок с 52 до 62 HRC. После изготовления 7800 заготовок перешлифовали торец пуансона, после изготовления еще 32 000 заготовок у пуансона зачистили боковые поверхности от задиров. После того как на штампе вырубili 42 200 заготовок, произошел раскол матрицы. Таким образом, стойкость вырубного штампа из стали 5ХВ2С в результате плазменной закалки увеличилась в 5,3 раза (рис. 8).

Исследовали ручную плазменную закалку чугуна, модифицированного магнием (%): 3,7 С; 0,6 Мп; 1,2 Si; 0,05 Mg. На рис. 9 приведено распределение твердости по глубине закалки, на рис. 10 — микроструктура закаленного слоя. Можно отметить существенное увеличение твердости в результате плазменной закалки.

Из модифицированного чугуна на Челябинском трубопрокатном заводе изготавливают вкладыши для штампов окончательной формовки труб диаметром 530—820 мм. После отливки вкладыши отжигают и производят механическую обработку. Перед установкой их упрочняли газовой закалкой с увеличением твердости с 32 до 52 HRC. Для увеличения твердости до 60 HRC проводили плазменную закалку. Стойкость штампов исследовали на формовке труб диаметром 530 мм. Всего было отформовано 74 тыс. т трубного

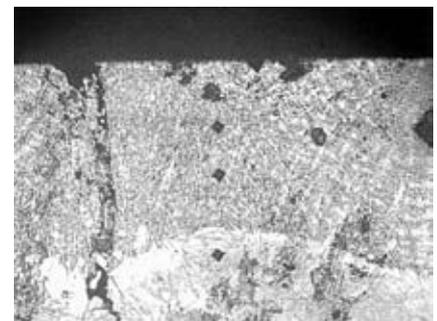


Рис. 10. Микроструктура (× 100) чугуна: а — закаленный слой; б — основной металл

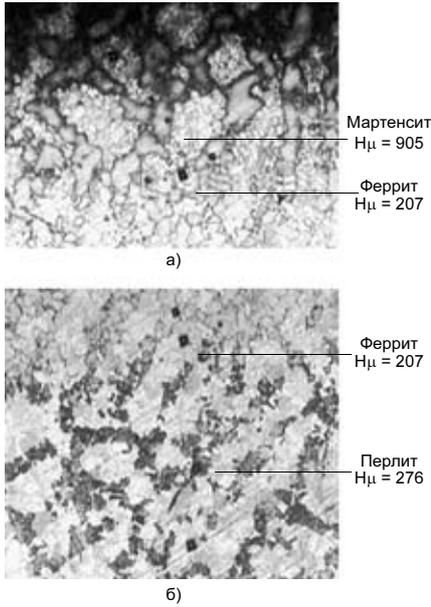


Рис. 11. Микроструктура (× 100) низкоуглеродистой стали после плазменной закалки: а, б — см. рис. 10

проката, при этом на одном комплекте вкладышей с плазменной закалкой отформовали 54 тыс. т, а на двух комплектах с газовой закалкой — 20 тыс. т (по 10 тыс. т на один комплект). После плазменной закалки стойкость формовочных вкладышей из модифицированного чугуна увеличилась в 5,4 раза по сравнению с газовой закалкой.

Низкоуглеродистые стали при закалке с печным нагревом пренебрежимо мало повышают твердость, поэтому затраты на упрочнение не компенсируются увеличением срока службы изделий. Вместе с тем известно, что закалка с быстрого нагрева создает на месте перлитных зерен мартенситные участки с высокой твердостью, которые способны существенно влиять на износостойкость

изделий. Проверку возможности такого упрочнения при ручной плазменной закалке проводили на образцах размером 350 × 250 × 25 мм из литой стали с содержанием (%): 0,22 С, 0,85 Мп, 0,47 Si. После закалки из плиты вырезали темплет, на торце которого готовили микрошлиф. По микроструктуре стали (рис. 11) можно проследить, что в закаленном слое на месте перлитных зерен ($H_{\mu} = 297$) образовались мартенситные участки ($H_{\mu} = 905$). Износостойкость такой структуры определяли на машине трения по схеме диск — колодка. В результате плазменной закалки износ упрочненного образца снизился в 9,6 раза, а неупрочненного контртела — в 2,3 раза (см. таблицу).

Из низкоуглеродистой стали изготавливают надрессорные балки вагонных тележек. Быстрому изнашиванию, всего через 150 тыс. км пробега, подвергается бурт подпятникового места. Для защиты от износа в 90-х годах к нему стали приваривать полукольца из более прочной стали 30ХГСА, которые при эксплуатации отрывались. Тогда в подпятниковое место стали укладывать "чашу" из той же стали 30ХГСА, но при спуске вагонов во время соударений она могла выходить из подпятника. Поэтому с учетом полученных результатов проводили упрочнение бурта ручной плазменной закалкой (рис. 12). В результате закалки твердость поверхности увеличилась с 180 НВ до 40 HRC. Испытания закаленных балок проводили на экспериментальном железнодорожном кольце станции Щербинка. После пробега, эквивалентного 0,5 млн км общесетевой эксплуатации, износ

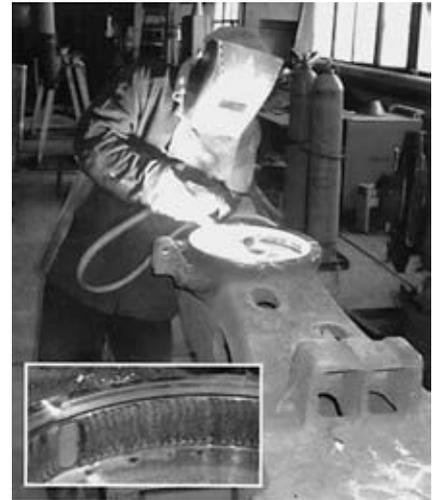


Рис. 12. Ручная плазменная закалка бурта подпятника железнодорожного вагона с фрагментом закаленной поверхности

буртов оказался в 3 раза меньше допустимого.

ВЫВОД

Применение ручной плазменной закалки обеспечивает достаточные для практического применения толщину и твердость закаленного слоя. Так, срок службы шестерни увеличился в 2,8 раза, стальных штампов — в 1,7 и 5,3 раза, чугунных штампов — в 5,4 раза, подпятника железнодорожного вагона из низкоуглеродистой стали — в 3 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roggen R. Durcissement superficial par plasma des aciers au carbone et des fontes // Revue de Metallurgie. 1979. N 7. P. 532—537.
2. Поверхностное упрочнение сталей плазменной закалкой / В. А. Линник, А. К. Онегина, А. И. Андреев и др. // МИТОМ. 1983. № 4. С. 2—4.
3. Кобяков О. С., Гинзбург Е. Г. Использование микроплазменного нагрева в процессах упрочняющей технологии // Автоматическая сварка. 1985. № 5. С. 65—67.
4. Толстов И. А., Коротков В. А. Справочник по наплавке. Челябинск: Металлургия, 1990. 384 с.
5. Особенности электродуговой поверхностной закалки валковых сталей / В. Н. Давыдов, Р. И. Силин, Н. Н. Давыдова и др. // Черная металлургия. 1990. № 5. С. 58—60.
6. Коротков В. А., Бердников А. А., Толстов И. А. Восстановление и упрочнение деталей и инструмента плазменными технологиями. Челябинск: Металл, 1993. 144 с.

Колодка			Диск		
Состояние	Износ, г	$K_{изн}$	Состояние	Износ, г	$K_{изн}$
Без упрочнения	1,6011	1,0	Без упрочнения	1,8942	1,0
С плазменной закалкой	0,1666	9,6		0,8305	2,3

Примечание. Приведены средние значения по трем парам; каждая пара подвергалась трем циклам трения.

Д. Л. БЕКАСОВ, инж.
Ковровский филиал МГОУ

Фрезоточение некруглых профилей с продольной подачей

В работах [1, 2] приведены способы и схемы фрезоточения некруглых профилей с радиальной подачей. В основу данных способов положена комбинированная схема резания, при которой детали и фрезе сообщают взаимосвязанное синхронное вращение и радиальную подачу. В работе [2] приведена схема обработки и методика расчета основных режимных параметров процесса фрезоточения с радиальной подачей.

Анализ схемы обработки и расчеты, проведенные по методике работы [2], показали, что при фрезоточении с радиальной подачей возникают очень большие силы резания. Это объясняется большой шириной срезаемого слоя, которая равна длине обрабатываемого участка вала.

Для устранения этого недостатка предлагается использовать схему фрезоточения с продольной подачей. Процесс резания по этой схеме имеет определенные особенности.

Цель данной работы — разработка методики определения и расчета основных режимных параметров процесса фрезоточения некруглых профилей с продольной подачей.

На рисунке приведена схема фрезоточения трехгранного профиля с продольной подачей при одинаковой частоте вращения детали и фрезы. Из схемы следует, что толщина срезаемого слоя

$$a = S \sin \varphi,$$

ширина срезаемого слоя

$$b = t / \sin \varphi,$$

где φ — главный угол в плане; t , S — глубина резания и продольная пода-

ча на оборот детали, значения которых выбирают по нормативам [3] как для случая точения с продольной подачей.

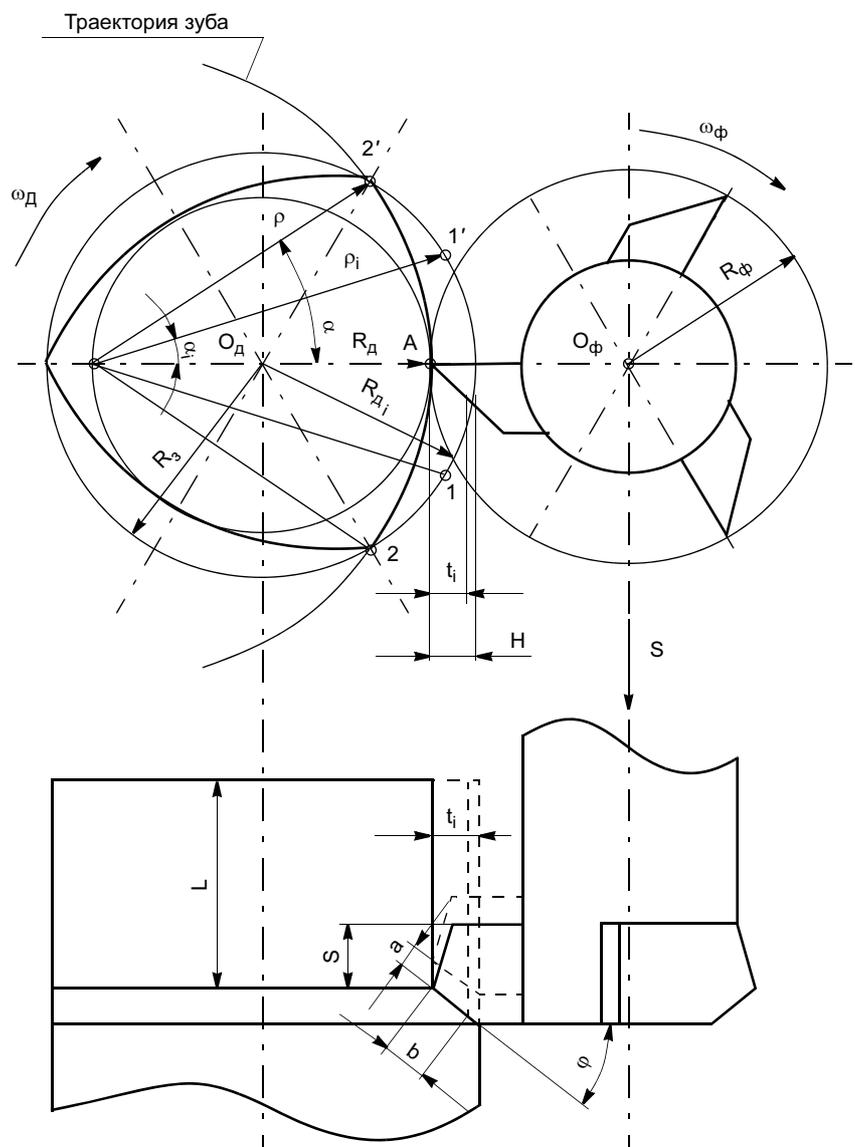


Схема фрезоточения трехгранного профиля с продольной подачей

Длина срезаемого слоя l при фрезоточении непостоянна, она увеличивается с увеличением числа проходов i :

$$l_i = \frac{\pi \rho_i}{90} \alpha_i,$$

где ρ_i — радиус кривизны траектории относительного движения вершины зуба фрезы на данном проходе;

$$\alpha_i = \arccos \frac{(\rho_i - R_{дi})^2 + \rho_i^2 - R_3^2}{2(\rho_i - R_{дi})\rho_i},$$

где R_3 — радиус заготовки; $R_{дi}$ — радиус детали на рассматриваемом проходе, равный $R_3 - t_i$ (t_i — глубина резания на данном проходе).

Скорость резания при фрезоточении в общем случае представляет векторную сумму линейных скоростей вращения детали и фрезы в рассматриваемой точке обрабатываемой поверхности. В точке A (см. рисунок) скорость резания будет равна алгебраической сумме скоростей детали и фрезы

$$v = v_d \pm v_f,$$

где знак "плюс" соответствует схемам встречного фрезоточения, знак "минус" — попутного.

Суммарную скорость резания выбирают по нормативам [3] или рассчитывают как для случая точения валов с продольной подачей [4]:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{xv} S^{yv} (HB/200)^{zv}},$$

где T — стойкость фрезы, значение которой назначается по нормативам [3, 4]; C_v , xv , yv , zv , m — коэффициент и показатели степени, значения которых выбирают по нормативам [4]; HB — твердость обрабатываемого материала детали по Бринеллю.

Частоту вращения детали n_d и фрезы n_f рассчитывают в зависимости от принятой схемы обработки [1, 2]:

$$n_f = \frac{1000v}{\pi(kD_d \pm D_f)};$$

$$n_d = \frac{k1000v}{\pi(kD_d \pm D_f)},$$

где k — отношение частоты вращения детали и фрезы, равное n_f/n_d .

Силу резания P рассчитывают как для случая точения валов с продольной подачей [4]:

$$P = C_p t^{xp} S^{yp} HB^{zp},$$

где C_p , xp , yp , zp — коэффициент и показатели степени, значения которых выбирают по нормативам [4].

Эффективная мощность, затрачиваемая на процесс резания, [4]

$$N_э = \frac{Pv}{60}.$$

Мощность электродвигателей приводов вращения детали и фрезы:

$$N_d = P \frac{v_d}{60} \eta_d;$$

$$N_f = P \frac{v_f}{60} \eta_f,$$

где η_d , η_f — КПД приводов детали и фрезы соответственно.

Основное время фрезоточения с продольной подачей

$$t_o = \frac{L}{Sn_d},$$

где L — длина обрабатываемого участка вала.

При сравнении расчетных значений параметров процесса фрезоточения установили, что при фрезоточении с продольной подачей ширина срезаемого слоя, а следовательно, сила резания и эффективная мощность, значительно меньше, чем при фрезоточении с радиальной подачей. Поэтому способ фрезоточения с продольной подачей можно рекомендовать для обработки валов некруглого профиля большой длины при больших припусках на обработку.

Представленная методика позволяет оперативно рассчитать основные параметры процесса фрезоточения некруглых профилей с продольной подачей, сравнить их с параметрами альтернативных способов обработки и выбрать наиболее рациональный способ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов В. Н. Технологические возможности процесса фрезоточения // Автоматизация и современные технологии. 1999. № 3.
2. Воронов В. Н. Режимные параметры процесса фрезоточения некруглых профилей // Автоматизация и современные технологии. 2004.
3. Режимы резания металлов: Справочник / Ю. В. Барановский, Л. А. Брахман, А. И. Гдалевич и др. М.: НИИТавтопром, 1995.
4. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов: Учебник. М.: Высшая школа, 1985.

М. С. ЧЕПЧУРОВ, канд. техн. наук
БГТУ им. В. Г. Шухова (Белгород)

Контроль и регистрация основных параметров резания при обработке крупногабаритных деталей

Энергетические показатели технологического процесса механической обработки деталей позволяют произвести оценку не только себестоимости обработки, но и найти оптимальные режимы обработки. Восстановление рабочих поверхностей крупногабаритных деталей связано с поиском оптимальной технологии их обработки, который в свою очередь связан с проведением серии экспериментов по обработке типовых наплавленных поверхностей. При этом требуется как контроль, так и регистрация основных параметров технологического процесса [1].

При проведении эксперимента необходимо осуществлять замеры следующих параметров технологического процесса:

- мощности, потребляемой электродвигателем в процессе механической обработки;
- размера обрабатываемой детали (до и после обработки и текущего).

Детали, демонтированные с механизмов для ремонта, чаще всего имеют неравномерный износ рабочей поверхности. Вследствие этого при механической обработке возникают скачки по мощности и, как следствие, низкое качество обрабатываемой поверхности, быстрый износ режущего инструмента или его поломка.

В настоящее время в условиях ремонтного производства отсутствует оборудование, на котором имеется адаптивная система управления. Для разработки, внедрения и установки адаптивной системы управления в производство требуются большие капитальные вложения, что экономически не оправдано.

Следовательно, выход необходимо искать в контроле параметров с использованием простейших систем управления механической обработкой в процессе обработки деталей. Рассмотрим возможные критерии контроля параметров обработки:

- параметр "подача" — контроль осуществить невозможно;
- параметр "глубина резания" — припуск на обработку неравномерный, изменяется в процессе резания. Для контроля данного параметра необходимы промеры во время обработки, что влечет за собой установку дополнительных датчиков и оборудования, а следовательно, дополнительные материальные затраты;
- параметр "сила резания" — для реализации контроля данного параметра требуется дополнительная установка тензометрических датчиков со

специальным оборудованием, а это в свою очередь экономически невыгодно.

Выход из данной ситуации видится в контроле мощности, потребляемой приводом подачи (если он установлен) или приводом главного движения. Контроль мощности, потребляемой приводом главного движения, может осуществляться по схеме, приведенной в работе [2].

Мощность, расходуемая на механическую обработку,

$$P = \sqrt{3} UI \eta \cos \varphi, \quad (1)$$

где U — линейное напряжение питания электродвигателя, В; I — ток, протекающий через обмотку электродвигателя, А; η — КПД электродвигателя.

Мощность резания [3]

$$P = \frac{CS^x t^y}{T^n} (K_1, K_2, \dots), \quad (2)$$

где C — безразмерный коэффициент; S^x — подача; t^y — глубина резания; индексы "x" и "y" — показатели, учитывающие свойства материалов и условия обработки; T^n — период стойкости; n — показатель, учитывающий свойства материалов режущей части инструмента; K_1, K_2, \dots — коэффициенты, учитывающие особенности обработки.

Формула (2) получена для различных режимов, материалов и инструментов эмпирическим путем.

Таким образом, подставив формулу (1) в выражение (2) получаем уравнение для вычисления текущего значения подачи при механической обработке

$$S = \sqrt[x]{\frac{\sqrt{3} UI \eta \cos \varphi T^n}{C t^y} K K}. \quad (3)$$

Таким образом, при отображении предельных значений мощности можно подкорректировать значение подачи, тем самым увеличивается срок службы инструмента и улучшается качество обрабатываемой поверхности детали.

Схема, предложенная в работе [1], имеет основной недостаток, связанный с ее реализацией: в качестве датчика применяют трансформаторы тока, что создает значительные помехи при снятии показаний, обработка подобных данных сопряжена со значительными трудностями. Автором разработана и испытана более совершенная схема снятия показаний мощности резания, структурная схема которой приведена на рис. 1.

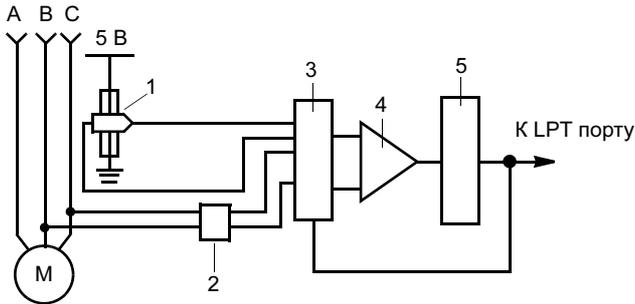


Рис. 1. Схема контроля мощности привода главного движения

Датчик Холла 1, размещаемый непосредственно на подводящем проводнике питания привода, используется как датчик тока. Устройство гальванической развязки 2 между высоковольтной цепью питания привода и низковольтной цепью прибора предназначено для снятия напряжения питания привода; мультиплексор 3 — для переключения между датчиками тока и напряжения; усилитель 4 постоянного тока — для усиления слабых сигналов датчиков до величины, приемлемой для последующей обработки, а аналогово-цифровой преобразователь 5 — для преобразования аналогового сигнала в цифровую форму для последующей их обработки в ПЭВМ.

Для управления прибором и обработки данных по мощности возможно использование различного программного обеспечения. Для уменьшения времени автор использовал возможности программного обеспечения Simulink + MatLab 6.5, вариант подобного виртуального прибора приведен на рис. 2.

Возможна реализация виртуального прибора и в других программных продуктах, но в любом слу-

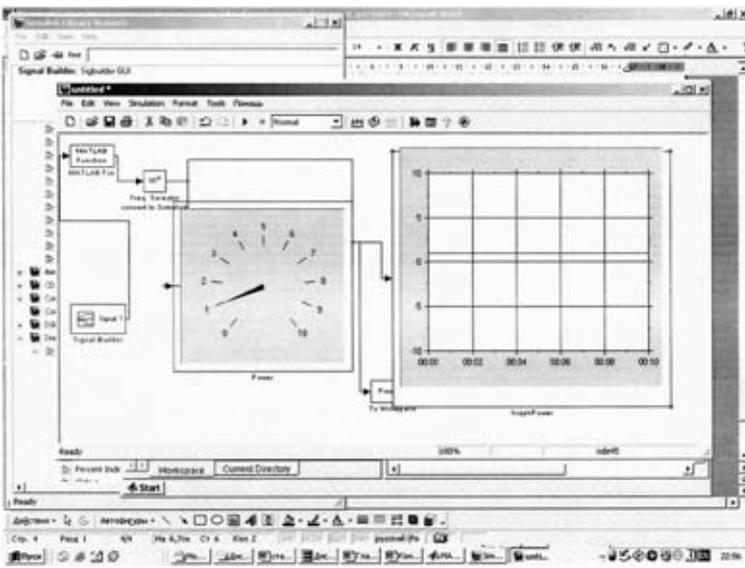


Рис. 2. Виртуальный прибор для управления прибором для контроля мощности и регистрации его показаний

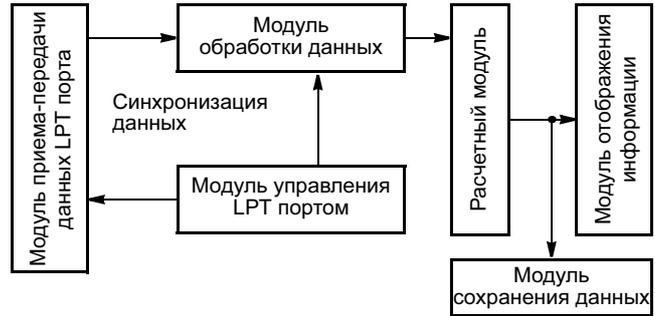


Рис. 3. Схема виртуального прибора

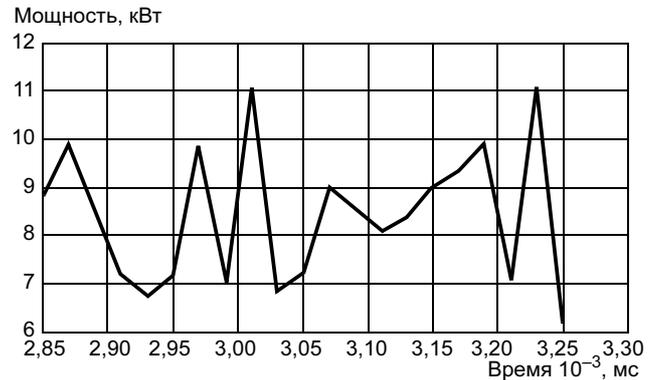


Рис. 4. Изменение мощности привода главного движения станка в процессе обработки

чае программное обеспечение должно реализовывать схему управления, приведенную на рис. 3.

Применение виртуального прибора позволяет произвести измерение текущего значения мощности в процессе обработки (рис. 4).

Таким образом, применение предлагаемого прибора для контроля и регистрации мощности резания позволяет быстро выполнить комплекс экспериментальных исследований по определению режимов обработки крупногабаритных деталей, имеющих различные дефекты на поверхности, а также неравномерный по структуре припуск материала [3, 4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Погонин А. А., Чепчуров М. С., Старостин С. В. Снятие характеристик процесса механической обработки крупногабаритных деталей // Тяжелое машиностроение. 2005. № 3. С. 15—16.
2. Аршинов В. А., Алексеев Г. А. Резание металлов и режущие инструменты. М.: Машиностроение, 1975. 436 с.
3. Технология ремонта крупногабаритных корпусных деталей металлургического оборудования / А. А. Погонин, М. С. Чепчуров, С. В. Старостин, А. Г. Схиртладзе // Ремонт, восстановление, модернизация. 2005. № 2.
4. Глуховченко А. А., Погонин А. А. Характеристики механической обработки крупногабаритных деталей // Тяжелое машиностроение. 2005. № 3. С. 18—20.

О. Ю. ЕРЕНКОВ, канд. техн. наук, А. В. ГАВРИЛОВА, аспирант
Тихоокеанский государственный университет (Хабаровск)

Термомеханические параметры процесса резания полимерных материалов

Разрушение твердого тела является результатом преодоления сил взаимодействия между его атомами и молекулами, которое может происходить под влиянием тепловой энергии, механических воздействий, излучений, электрических разрядов и т. д. Следовательно, обработку материалов резанием, и полимеров в частности, можно представить как разновидность процесса разрушения, сопровождающегося динамическим воздействием режущих кромок инструмента на обрабатываемую поверхность. Общность процессов разрушения и резания, в частности протекание обоих процессов при превышении действующих напряжений предела прочности материала, установлена в работах [1—3].

На современном этапе физические представления о прочности полимерных материалов базируются на кинетической концепции прочности, положения которой представлены в работе [4] и др.

При кинетическом подходе основное внимание обращается на атомно-молекулярный механизм процесса разрушения, который рассматривается как конечный результат постепенного развития и накопления микроразрушений или как процесс развития микротрещины. Основным фактором при этом является тепловое движение кинетических единиц (атомов, молекул, сегментов), вызывающее межатомные или межмолекулярные перегруппировки и активизирующее влияние механических напряжений, изменяющее вероятность этих перегруппировок.

В этой концепции долговечность тела под нагрузкой принимается в качестве фундаментальной величины, определяющей прочность и находящей свое естественное выражение в уравнении временной зависимости прочности:

$$\tau = \tau(\sigma, T), \quad (1)$$

где τ — долговечность; T — абсолютная температура; σ — среднее напряжение в образце.

Эмпирическим аналогом теоретического соотношения (1) для долговечности при постоянной абсолютной температуре T является экспоненциальный закон

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{U_0 - \gamma\sigma}{kT}\right), \quad (2)$$

где τ_0 — время тепловых колебаний атомов в твердых телах; U_0 — энергия активации элементарного акта разрыва процесса разрушения в отсутствие напряжения, близкая по величине к энергии хими-

ческих связей для полимеров; γ — коэффициент, зависящий от природы и структуры материала, значения γ меняются с изменением структуры материала; k — постоянная Больцмана; T — температура.

Из анализа уравнения (2) следует, что долговечность материала равным образом зависит от приложенного напряжения и температуры — оба параметра входят в показатель степени. Это позволяет предположить, что в процессе разрушения большую роль играет тепловая энергия и именно ее флуктуации, т. е. в том месте материала, где тепловые флуктуации становятся больше энергии разрываемой связи, последняя разрывается. Приложенное напряжение создает возможность накопления этих флуктуаций в определенном направлении и снижает энергию активации разрыва, т. е. снижает потенциальный барьер по закону $U = U_0 - \gamma\sigma$, и облегчает распад напряженных связей под действием тепловых флуктуаций, вероятность которого зависит от отношения U_0/kT . Экспериментально [4, 5] доказано, что при нагружении полимерных материалов происходит разрыв химических связей, которые деформируются под влиянием приложенного напряжения и разрываются под действием тепловых флуктуаций.

Уравнение (2) относится к случаю одноосного растяжения полимерного образца постоянным напряжением σ . Анализ влияния растяжения, кручения и их совместного действия показал [4—6], что при реализации этих режимов нагружения материала основные закономерности кинетики разрушения в целом справедливы и механизм не зависит от вида напряженного состояния. В отличие от металлов для полимеров не обнаружено заметных изменений энергии активации U_0 процесса разрушения при переходе испытаний на растяжение к другим видам напряженного состояния, наблюдаются лишь некоторые изменения коэффициента γ . Постоянство значения U_0 свидетельствует о том, что процесс разрушения при различных видах нагружения носит термофлуктуационный характер и имеет один и тот же механизм.

Согласно кинетическим представлениям, процесс разрушения полимерных материалов осуществляется в следующей последовательности:

- возбуждение межатомных связей приложенным механическим усилием;
- разрыв возбужденных связей в полимерных цепях тепловыми флуктуациями;

— группирование "элементарных" разрывов — образование первичных микроскопических трещин;

— возникновение трещины разрушения из начальной микротрещины, ее рост и разрыв образца.

Первичным актом разрушения является напряжение химической связи под влиянием механического поля.

Перенапряжения связей возникают в первую очередь в слабых "дефектных" местах структуры полимера. Именно в этих участках, где в основном разрываются макромолекулы, возникают зародышевые трещины или субмикротрещины, т. е. трещины размером от 1 до 10^3 нм [4]. Субмикротрещины могут сливаться с образованием более крупных микротрещин. Субмикротрещины и микротрещины возникают в течение некоторого времени после приложения нагрузки. Затем образуются новые трещины, а трещины, появившиеся ранее, постепенно разрастаются.

На основании рассмотренных закономерностей разрушения и анализа результатов экспериментальных исследований [4—6] данного процесса можно сделать вывод о существенном влиянии температуры и действующих напряжений на прочность структуры и процесс разрушения полимерного материала. В связи с этим представляет научный интерес исследование теплового и механического воздействия на полимерные материалы, предшествующих механической обработке заготовок, для снижения прочности связей между полимерными цепями и, соответственно, прочности самого материала.

В данной работе, считая обработку режущим инструментом разновидностью процесса управляемого разрушения твердого полимерного материала, на основе анализа термофлуктуационного механизма разрушения рассмотрим комбинированный способ токарной обработки полимерных материалов. Методической основой рационального осуществления данного метода обработки является такая схема нагружения, при которой процесс протекает с наименьшими энергозатратами при обеспечении заданных параметров шероховатости обработанной поверхности.

Сущность способа заключается в том, что предлагаемый к токарной обработке полимерный материал предварительно подвергают механическому, тепловому или комбинированному термомеханическому воздействию. Путем регулирования величины прикладываемого напряжения σ и температуры T теплового воздействия на материал обеспечивается возбуждение межатомных связей приложенным механическим усилием и разрыв части возбужденных связей в полимерных цепях тепловыми флуктуациями в соответствии с кинетической концепцией прочности. Таким образом, в объеме материала образуется "ослабленная" структура, в которой часть связей разрушена, а часть напряжена. Это приводит

к уменьшению энергии активации связей полимера и при дальнейшем взаимодействии поверхностного слоя материала с режущим клином инструмента — снижению силы резания, так как облегчается процесс деформирования срезаемого слоя за счет образования зоны предразрушения. Размер зоны пластической деформации перед режущим клином в срезаемом припуске материала уменьшается, магистральная трещина приобретает более устойчивое направление развития вдоль линии среза, что является предпосылкой снижения шероховатости обработанной поверхности, так как снижается вероятность образования взрывов, сколов и подобных дефектов обрабатываемого резанием материала.

При реализации предложенного способа представляется важным выбор значений параметров теплового и механического воздействий.

Известно, что работоспособность полимерных материалов ограничивается интервалом температур

$$T_{\text{хр}} < \Delta t_{\text{экспл}} < T_{\text{стекл}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{хр}}$ — температура хрупкости материала; $T_{\text{стекл}}$ — температура стеклования; $\Delta t_{\text{экспл}}$ — температурный диапазон эксплуатации изделий из исследуемого материала.

В связи с этим температура нагрева выбирается из диапазона $\Delta t_{\text{экспл}}$ конкретного материала в соответствии с технической характеристикой, ГОСТ или ТУ.

Величину усилия на сжатие/растяжение выбирают с помощью механической диаграммы нагружения материала из области, соответствующей упругой деформации, до развития явления вынужденной эластичности, т. е. до момента образования на образце участка с измененным поперечным сечением, имеющим название "шейка" (при растяжении) или "бочка" (при сжатии). При этом прикладываемые к заготовке усилия должны удовлетворять следующему условию:

$$\sigma_{\text{н}} < (0,6—0,8)\sigma_{\text{в}}, \quad (4)$$

где $\sigma_{\text{н}}$ — напряжения, создаваемые в заготовке усилием растяжения/сжатия; $\sigma_{\text{в}}$ — предел вынужденной эластичности полимерного материала. В случае реактопластов вместо величины $\sigma_{\text{в}}$ следует подставлять значение разрывного напряжения $\sigma_{\text{р}}$.

Как отмечено рядом исследователей [4], при выполнении условия (4) разрушение твердых полимерных тел имеет чисто термофлуктуационный механизм, а в случае превышения величины создаваемых в заготовке напряжений $(0,6—0,8)\sigma_{\text{в}}$ наблюдается заметное отклонение от линейной зависимости для начального участка кривой нагружения.

Известно [4, 6], что растяжение является наиболее опасным видом напряженного состояния полимерных материалов. Испытания материалов чаще всего

производятся при растяжении, так как этот вид деформации практически можно осуществить почти в чистом виде (в противоположность сжатию, сдвигу, кручению). Поэтому определяемые при растяжении механические характеристики являются основными исходными данными при расчетах на прочность деталей и сооружений из полимерных материалов.

С целью правильного выбора значений параметров предварительного механического воздействия на полимерный материал проведены экспериментальные исследования процессов деформирования и разрушения полимерных материалов в условиях одноосного растяжения. Также представляет практический интерес определение интервала времени существования ослабленной структуры полимерного материала после прекращения действия нагрузки, т. е. отрезка времени, в течение которого целесообразно проводить обработку резанием заготовки.

Исследования проводили на серии стандартных плоских образцов с использованием штатного нагружающего устройства универсальной установки ИМАШ 20-75. Образцы для испытаний пластмасс изготавливали в виде двусторонних "лопаток" и имели сечение в рабочей зоне 3×2 мм. Кривую нагружения регистрировали также при помощи штатного самописца разрывной установки.

В качестве исследуемых материалов выбрали такие представители реактопластов и термопластичных пластмасс, детали и изделия из которых широко применяют в различных отраслях промышленности: фторопласт-4, капролон, гетинакс и текстолит. Образцы испытывали при постоянной температуре (20°C), скорость нагружения образцов для всех опытов составляла $0,5$ мм/с. Исследования проводили в несколько этапов. На первом этапе была поставлена цель определения предельных характеристик исследуемых материалов — разрывного напряжения для реактопластов и предела вынужденной эластичности для термопластов. Цель второго этапа — определение времени релаксации напряжений после предварительного нагружения образцов. Образцы предварительно нагружали до $0,6\text{--}0,8 \sigma_B$ для капролона и фторопласта и $0,6\text{--}0,8 \sigma_p$ для гетинакса и текстолита согласно условию (4). Затем нагружение прекращали, образец освобождался из захватов установки и "отдыхал", т. е. выдерживался без нагрузки в течение определенного фиксированного интервала времени. По истечении соответствующего временного интервала образец нагружался до разрушения либо до момента образования "шейки".

Полученные экспериментальные данные в виде зависимостей $\sigma = f(\tau)$ приведены на рис. 1, 2.

Как следует из приведенных данных (см. рис. 1, а, б, кривые 1), прочность хрупких твердых тел характери-

зуется одним предельным состоянием, соответствующим переходу от упругой деформации к разрушению. Разрывное напряжение для гетинакса составляет 108 МПа, для текстолита — 78 МПа. При

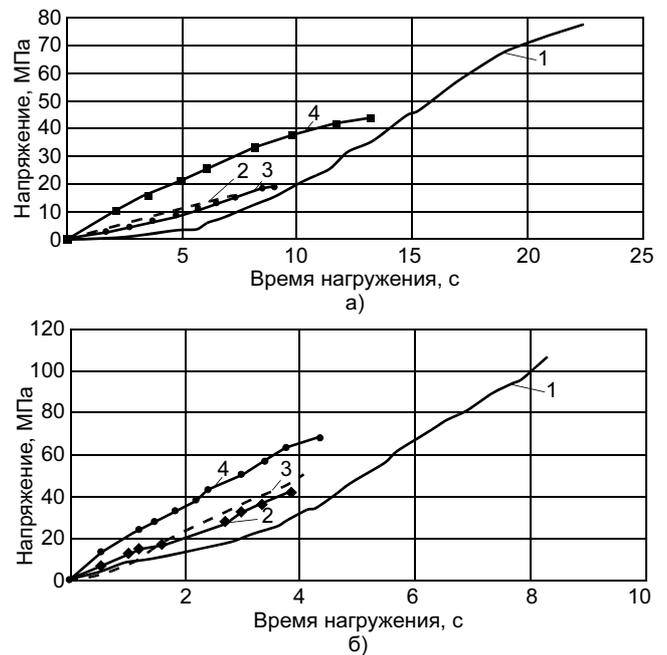


Рис. 1. Механические диаграммы нагружения образцов из текстолита (а) и гетинакса (б): 1 — базовая диаграмма; 2—4 — выдержка без нагрузки в течение 5, 20 и 30 мин соответственно

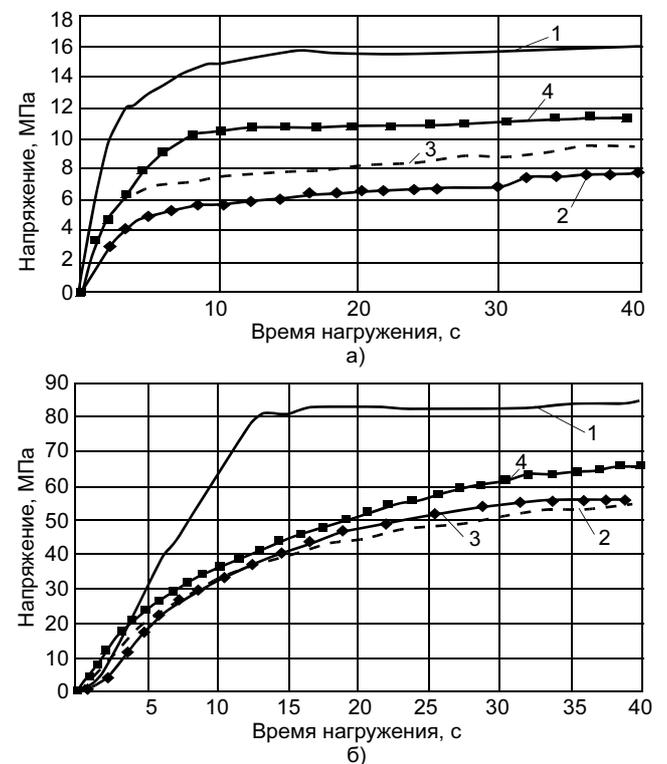


Рис. 2. Механические диаграммы нагружения образцов из фторопласта (а) и капролона (б): 1 — 3 — см. рис. 1; 4 — выдержка без нагрузки в течение 60 мин

этом прочность пластических твердых материалов характеризуется двумя предельными состояниями: переход от упругой деформации к пластической и переход от пластической деформации к разрыву. Это подтверждается наличием двух характерных участков на соответствующих диаграммах (см. рис. 2, а, б, кривые 1). Максимальные значения напряжений имеют место в точках, где наблюдаются резкие изломы на соответствующих диаграммах растяжения. Напряжение в этих точках составляет 82 МПа и 16 МПа и эти значения можно рассматривать как предел вынужденной эластичности капролона и фторопласта-4 соответственно.

Результаты анализа данных рис. 1, 2 позволяют сделать вывод о том, что эффект от предварительного нагружения сохраняется для гетинакса и текстолита в течение 20 мин, для фторопласта и капролона — в течение 60 мин. Это подтверждается соответствующим распределением предельных характеристик σ_B и σ_p (см. рис. 2, кривые 2—4).

Исследовали влияние параметров процесса резания, параметров и вида предварительных воздействий на шероховатость поверхности, получаемой после токарной обработки заготовок из полимерного материала.

На основании физических представлений, изложенных выше, в данной работе исследовали следующие варианты комбинированной обработки заготовок из капролона: нагрев заготовки и последующая ее токарная обработка; растяжение (сжатие) заготовки и последующая ее токарная обработка; последовательное растяжение (сжатие) и нагрев заготовки и последующая токарная обработка.

В качестве экспериментального материала использовали заготовки из капролона диаметром 50 мм.

В соответствии с условием (3) и учитывая значения температуры хрупкости капролона ($T_{хр} = -50^\circ\text{C}$), температуры стеклования капролона ($T_{стекл} = 100^\circ\text{C}$) и температурный диапазон $\Delta t_{экспл}$ эксплуатации изделий из капролона, который составляет от -20 до 75°C , заготовки из капролона нагревали струей горячего воздуха до температуры 60°C непосредственно перед точением. Усилие растяжения/сжатия заготовок из капролона принимали согласно условию (4) с учетом данных, приведенных на рис. 2, а. Режимы резания: скорость резания $v = 160$ м/мин; глубина резания $t = 1$ мм; продольная подача $s = 0,084 \div 0,28$ мм/об.

В качестве выходного параметра из номенклатуры параметров шероховатости (ГОСТ 2789—73*) выбрали среднее арифметическое отклонение профиля Ra . Обработку заготовок из капролона производили на универсальном токарно-винторезном станке 16К20.

Экспериментальные исследования проводили в несколько этапов. На первом этапе выполняли базовый эксперимент, цель которого — оценка ка-

чества обработанной поверхности капролона при стандартных условиях резания, т. е. без применения какого-либо предварительного воздействия на обрабатываемый материал. На последующих этапах обработку проводили после применения как индивидуальных, так и комплексных предварительных воздействий на материал заготовки.

На рис. 3 приведены результаты исследования зависимости параметра шероховатости Ra от подачи для различных видов индивидуальных предварительных воздействий на заготовки. Видно, что предварительное растяжение заготовок из капролона позволяет при дальнейшей токарной обработке получить более качественную поверхность. Об этом свидетельствуют наименьшие по сравнению с другими видами индивидуальных предварительных воздействий значения параметра Ra шероховатости обработанной поверхности в исследуемом диапазоне подач. Это можно объяснить тем, что предварительные напряжения растяжения заготовки в большей мере обеспечивают реализацию термофлуктуационного разрушения материала при последующей токарной обработке. Растягивающие напряжения способствуют образованию и развитию микротрещин в структуре материала заготовки и, следовательно, снижению степени деформирования срезаемого слоя, что является предпосылкой снижения шероховатости обработанной поверхности.

Результаты экспериментов показывают, что применение предварительного нагрева до 60°C заготовок (см. рис. 3) приводит к некоторому снижению среднего арифметического отклонения профиля по сравнению с базовым вариантом обработки во всем диапазоне реализуемых подач. Такие результаты можно объяснить тем, что предварительный нагрев заготовок приводит к возникновению дополнительных тепловых флуктуаций атомов материала, которые способствуют снижению энергии активации процесса разрыва химических связей. Это и является в конечном итоге предпосылкой некоторого снижения шероховатости обработанной впоследствии точением поверхности заготовки.

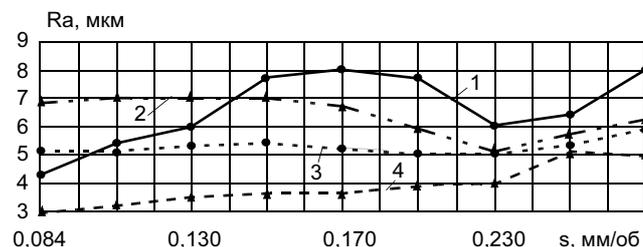


Рис. 3. Значения параметра шероховатости Ra обработанной поверхности заготовки из капролона для различных видов предварительного воздействия: 1 — базовый вариант обработки; 2—4 — предварительные сжатие, нагрев и растяжение заготовки соответственно

При сжатии полимерного материала происходит помимо напряжения связей его сдавливание, заполнение имеющихся дефектов на поверхности и в объеме, что приводит к искажению формы наружной поверхности и, как следствие, к росту ее шероховатости. Кроме того, при сжатии материала в нем возникают внутренние напряжения, максимальное значение которых находится в поверхностных слоях заготовки. Данные напряжения вызывают появление поверхностных микротрещин. Последние являются причиной интенсивного растрескивания поверхностного слоя после проведения токарной обработки и, соответственно, ухудшения шероховатости обработанной поверхности. При этом для всех исследуемых случаев обработки заготовок наблюдается рост значений Ra с увеличением подачи в исследуемом диапазоне.

На следующей стадии исследований проводили токарную обработку заготовок из капролона, которые предварительно подвергали комбинированному термомеханическому воздействию. Результаты исследования зависимости параметра шероховатости Ra поверхности капролона при применении предварительного сжатия и теплового воздействия приведены на рис. 4. Видно, что применение такого варианта предварительной обработки (сжатие и нагрев) приводит к некоторому снижению шероховатости обработанной точением поверхности, при этом наибольшие отклонения от базового варианта в сторону снижения параметра Ra имеют место в диапазоне подач 0,15—0,28 мм/об и составляют примерно 2 мкм.

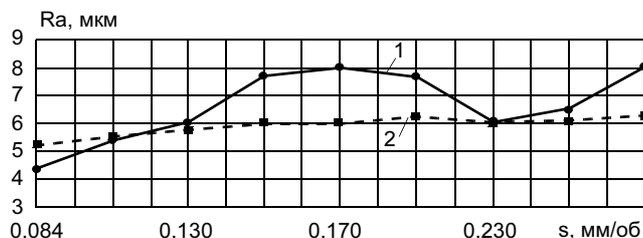


Рис. 4. Влияние комбинированного воздействия на параметр шероховатости обработанной поверхности заготовки из капролона: 1 — базовый вариант обработки; 2 — предварительное сжатие и нагрев

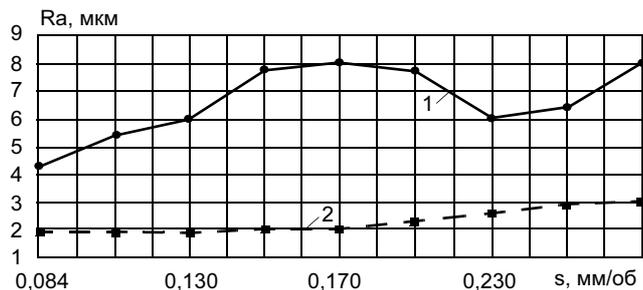


Рис. 5. Влияние комбинированного воздействия на параметр шероховатости обработанной поверхности заготовки из капролона: 1 — см. рис. 4; 2 — предварительное растяжение и нагрев

Следующий этап эксперимента — исследование совместного предварительного растяжения и нагрева заготовок из капролона перед их механической обработкой (рис. 5). Анализ результатов на рис. 5 позволяет сделать вывод о том, что такой вариант обработки является наиболее предпочтительным с точки зрения формирования шероховатости поверхности заготовки, обрабатываемой впоследствии точением. Во всем диапазоне реализуемых подач наблюдается значительное (до 4 раз) снижение среднего арифметического отклонения профиля обработанной поверхности по сравнению с параметром Ra для базового варианта обработки. С увеличением значения продольной подачи наблюдается некоторый рост параметра Ra .

ВЫВОДЫ

1. На основе рассмотрения механизма термофлуктуационного разрушения материалов обосновано применение предварительных механических и тепловых воздействий на обрабатываемый материал для снижения его прочности при последующей токарной обработке за счет уменьшения энергии активации процесса разрыва связей в материале и повышения качества токарной обработки.

2. Предложен комбинированный способ токарной обработки заготовок из полимерных материалов, снижающий шероховатость обрабатываемой точением поверхности за счет создания предварительных напряжений сжатия или растяжения и нагрева заготовки.

3. Установлено, что эффективное время для обработки материала резанием после предварительного механического воздействия составляет для гетинакса и текстолита 20 мин, для фторопласта и капролона — 60 мин. Создание предварительных напряжений величиной до 0,6 предела вынужденной эластичности материала при сжатии или растяжении заготовок из капролона и применение предварительного нагрева заготовок до 60 °С позволили снизить среднее арифметическое отклонение профиля при последующей токарной обработке до 4 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудинов В. А. Динамика станков. М.: Машиностроение, 1967. 359 с.
2. Подураев В. Н. Резание труднообрабатываемых материалов: Учебное пособие для вузов. М.: Машиностроение, 1974. 430 с.
3. Математическое моделирование самоорганизующихся процессов в технологических системах обработки резанием / Ю. Г. Кабалдин, А. И. Олейников, А. М. Шпилев, А. А. Бурков. Владивосток: Дальнаука, 2000. 195 с.
4. Карташов Э. М., Цой Б., Шевелев В. В. Структурно-статистическая кинетика разрушения полимеров. М.: Химия, 2002. 736 с.
5. Тагер А. А. Физикохимия полимеров. М.: Химия, 1978. 544 с.
6. Огибалов П. М., Ломакин В. А., Кишкин Б. П. Механика полимеров: Учебное пособие для вузов. М.: Изд-во МГУ, 1975. 528 с.

Н. Я. СМОЛЬНИКОВ, д-р техн. наук, Г. Г. СКРЕБНЕВ, канд. техн. наук

Волгоградский государственный технический университет

Некоторые особенности процесса стружкообразования и износа зубьев фасонных угловых фрез

В металлообрабатывающей промышленности широко применяют различные виды фрез, сверл, метчиков, разверток и др. Одним из важных элементов в конструкции данных инструментов являются стружечные канавки, имеющие фасонный профиль. Стружечные канавки выполняют фрезерованием фасонными фрезами. Операция фрезерования трудоемка, поэтому даже небольшое увеличение производительности или повышение стойкости фрез дает значительный экономический эффект. Существует большой класс фрез для обработки стружечных канавок различных видов режущего инструмента (фрез, метчиков, сверл, разверток и др.), которые имеют сложный профиль, что приводит к работе различных участков режущих кромок зуба фрезы с неодинаковой нагрузкой.

Рассмотрим, например, работу дисковой фрезы для обработки стружечных канавок сверл. Профиль зуба фасонной фрезы (рис. 1)

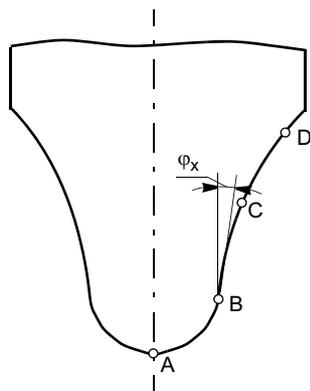


Рис. 1. Профиль зуба фасонной фрезы

состоит из дугового участка AB и прямолинейного BD . Точка A является вершиной зуба и ей соответствует наибольшая скорость резания. Другие точки профиля работают при меньших скоростях. Участки режущих кромок дисковых фрез срезают слои неодинаковой толщины, что обусловлено различными значениями угла профиля φ_x . Между величиной угла профиля φ_x и толщиной срезаемого слоя существует прямая зависимость.

В случае одновременной работы нескольких участков криволинейной режущей кромки материал переходит в стружку в результате совместных деформаций сдвига и смятия¹.

Степень деформации стружки характеризуется коэффициентом усадки стружки, который для различных участков профиля зуба инструмента может быть определен по следующей зависимости:

$$K_x = \frac{K_1}{\sin \psi_x},$$

где K_1 — коэффициент усадки стружки при свободном резании; ψ_x — угол сбега стружки.

Величины углов сбега и профиля в каждой рассматриваемой точке профиля имеют неодинаковые значения. Наименьшую деформацию имеет слой, срезаемый вершинной точкой A . По мере удаления от этой точки в одну и другую стороны углы сбега уменьшаются

и коэффициент усадки стружки увеличивается, причем увеличение это весьма значительно. При малых значениях ψ_x относительные сдвиги и коэффициенты усадки могут быть в несколько раз больше, чем для вершинного лезвия или чем при свободном резании.

Результаты анализа показывают, что вершинная режущая кромка имеет наиболее благоприятную геометрию, но срезает слой металла наибольшей толщины и наиболее продолжительное время участвует в работе. Скорость резания вершинной режущей кромки имеет максимальное значение, стружка образуется в стесненных условиях. Все это обуславливает большую нагрузку режущих кромок, их низкую стойкость и интенсивный износ. Стружки имеют монолитный вид, когда переход недеформированного материала в стружку происходит только путем сдвига.

Коэффициент усадки зависит от целого ряда факторов: геометрии среза и инструмента, свойств обрабатываемого материала и др. Поэтому на величину нормальных напряжений σ_k , вид стружки и характер ее деформации влияют многие факторы, но в большей степени ширина слоя и направление сбега стружки.

До тех пор, пока σ_k меньше предела текучести, взятого с учетом изменения напряженно-деформированного состояния в зоне давления, а также повышения температуры металла вследствие пластической деформации, стружка испытывает только сдвиг и имеет монолитный вид. Но как только σ_k

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

станет больше предела текучести, слои сминаются и меняют направление своего схода. В результате возникает разрыв по смежным торцам.

Таким образом, тип стружки зависит от вида деформации. Если срезаемые слои испытывают только сдвиг, то образуется стружка монолитная. Если срезаемые слои испытывают наряду со сдвигом смятие, то всегда образуется стружка с разрывом. Ширина смятых слоев зависит от угла перекрещивания стружек. По мере их отклонения от режущих кромок и увеличения угла перекрещивания смятию подвергаются более широкие слои. Возникновение смятия немедленно сказывается на интенсивности неодинакового по ширине срезаемого слоя. С ростом смятия стружка все больше отклоняется от режущего лезвия и это снижает деформацию сдвига. Но в связи с разным направлением схода стружек происходит взаимное их затормаживание, причем силы, затормаживающие движение стружек, находятся в прямой зависимости от ширины смятых слоев.

При фрезеровании дисковыми фрезами стружечных канавок на режущих инструментах в зависимости от ширины слоя, срезаемого боковыми кромками зуба фрезы, могут образовываться как стружки с разрывом по смежным торцам, так и монолитные. Рассмотрим интенсивность деформации срезаемых слоев и характер износа зубьев при образовании монолитных стружек. Предположим, что боковые кромки срезают слои одинакового поперечного сечения и толщины, что имеет место у симметричных двугловых фрез. Тогда направление сбегания стружек будет нормальным к режущим кромкам. В связи с малым углом профиля зуба боковые стружки одинаково подвергаются сильной деформации сдвига. Высокая степень деформации боковых стружек и является одной из основных причин повышенного износа боковых кромок.

Но для многих видов инструментов сечения срезаемых слоев неодинаковы. Более широкие и толстые смежные стружки фасонного инструмента отклоняют более тонкую стружку от нормали к режущей кромке. Условия деформации срезаемых слоев различны. Толстая стружка подвергается деформации сдвига гораздо меньше, чем тонкая. Даже при сравнительно небольшом отклонении сбегания стружек от перпендикуляра к вершине значительно снижается деформация толстой стружки и повышается — тонкой. Таким образом, на участке лезвия, срезающего тонкую стружку, создаются высокие давление и температура, которые приводят к сильному износу передней грани. Малая толщина и, следовательно, сечение у смежного торца тонкой стружки способствуют образованию разведенной стружки. Тонкая стружка сминается и разрывается, направление ее сбегания отклоняется от режущего лезвия.

Интенсивная деформация смятия сопровождается и более высокой пластической и упругой деформацией поверхностного слоя. Повышенное давление со стороны поверхности резания на заднюю грань вызывает усиленный износ задней грани этого участка. Таким образом, при образовании стружки с разрывом по торцу создаются исключительно тяжелые условия стружкообразования, приводящие к прорыву режущего лезвия, интенсивному износу его граней и появлению локального износа².

На основании анализа характера износа фрез для обработки стружечных канавок инструмента можно сделать следующие выводы.

Износ зуба по режущему периметру зуба фасонной фрезы неодинаковый. Наибольший износ имеет задняя грань участка режущего лезвия, прилегающего к вершине и срезающего тонкую стружку, мень-

ший — задняя грань режущего лезвия, срезающего толстую стружку и самый малый — задняя грань вершины зуба.

Основной причиной повышенного износа задней грани режущего лезвия, срезающего тонкую стружку, относительно лезвия, срезающего толстую стружку, является отклонение тонкой стружки под давлением толстой стружки.

С целью увеличения стойкости дисковых фрез для обработки стружечных канавок инструментов необходимо снизить до минимума деформацию слоев, срезаемых боковыми кромками зубьев, и особенно кромками, срезаемыми тонкими стружками. Это можно достигнуть только за счет изменения схемы резания фрезы. Для фрез, предназначенных для обработки стружечных канавок различных конструкций инструментов (сверл, метчиков, разверток, зенкеров, различных видов фрез), предлагается схема с попеременно нагруженными боковыми сторонами.

Дисковые фрезы с попеременно нагруженными боковыми сторонами (рис. 2) отличаются от обычных тем, что зубья с нечетными номерами (1, 3, 5, ...) по окружности фрезы заужены с левой стороны, режут вершинами и правыми боковыми сторонами. Зубья же с четными номерами (2, 4, 6, ...) заужены с правой стороны и режут вершинами и левыми боковыми сторонами, причем боковые стружки срезают слои удвоенной толщины. Представленная фреза работает по попеременно нагруженной схеме резания, которая обеспечивает лучшие условия стружкообразования.

Перевод фасонных фрез на новые схемы резания не всегда может быть оправдан. Все зависит от профиля зуба фрезы. Наиболее эффективно работают схемы с перераспределенными нагрузками, когда режущие кромки образуют небольшие углы φ с радиусом фрезы и срезают широкие и тонкие стружки. При увеличении

² Патент 2131796, 2080219 (РФ).

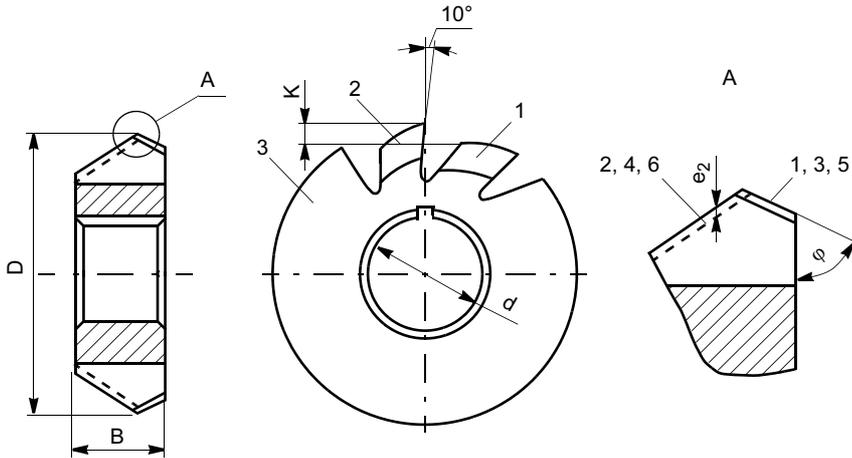


Рис. 2. Дисковая фреза попеременно нагруженной схемы резания

углов и толщины деформация сдвига в слоях, срезаемых кромками обычной фрезы, снижается, и преимущества применения но-

вых схем существенно уменьшаются, и при определенном сочетании угла с шириной среза фрезы с новыми схемами резания не

будут иметь преимущества и их применение станет нецелесообразным. Чтобы ответить на вопрос о целесообразности применения фрез с попеременно нагруженными боковыми сторонами проведены эксперименты по стойкости, силам резания и высоте шероховатости для двугловых фрез как симметричного, так и несимметричного профилей. Эти фрезы являются представителями большого класса фрез для обработки стружечных канавок различных видов инструментов. Кроме того, они могут считаться представителями других видов фасонных инструментов, содержать как прямолинейные, так и радиусные участки режущих лезвий.

В. И. БОЧЕНИН, д-р техн. наук
Курганский государственный университет

Экспресс-анализ карбида вольфрама радиоизотопным способом при производстве высокопрочных металлокерамических сплавов

Металлокерамические твердые сплавы ВК широко применяют в машиностроении для обработки резанием чугунов, высокопрочных сталей, цветных металлов, фарфора [1]. При производстве сплавов ВК предварительно карбид вольфрама смешивают с кобальтом в шаровых мельницах. В результате образуется порошкообразная мелкодисперсная смесь WC + Co. Так как режущие свойства данных сплавов зависят от содержания карбида вольфрама, то возникает необходимость контроля содержания WC на начальной стадии производства, т. е. при смешивании порошков WC и Co. Для управления этим процессом необходим экспресс-анализ WC в смеси. Существующий метод химического анализа обладает низкой экспрессностью и требует наличия химической лаборатории с дорогостоящими реактивами. Учитывая изложенное, разработан радиоизотопный способ экспресс-анализа карбида вольфрама в порошковой смеси (WC + Co) с помощью портативной регистрирующей аппаратуры. Физическая сущность способа основана на облучении кон-

тролируемой среды бета-частицами радионуклида с последующей регистрацией обратно рассеянного излучения, поток которого зависит от эффективного атомного номера вольфрама. По величине $Z_{эфф}$ определяется его содержание, а по отношению атомных весов — содержание карбида. Для снижения аппаратурной и методической погрешности применяют сравнительный прием измерений с регистрацией обратно рассеянного излучения от эталонного образца.

Зависимость потока обратно рассеянного бета-излучения от $Z_{эфф}$ следующая [2]:

$$N_S = \frac{0,0415 N \Omega Z_{эфф}^n}{2\pi}, \quad (1)$$

где N — поток бета-частиц, падающий на поверхность контролируемой пробы; Ω — телесный угол облучения пробы; n — постоянная величина, равная примерно 0,66.

Для контролируемой и эталонной проб формула (1) примет вид

$$N_S^k = \frac{0,0415 N \Omega (Z_{эфф}^{0,66})^k}{2\pi}; \quad (2)$$

$$N_S^э = \frac{0,0415 N \Omega (Z_{эфф}^{0,66})^э}{2\pi}. \quad (3)$$

Преобразуя выражения (2) и (3), получим

$$\frac{N_S^k}{N_S^э} = \frac{Z_{эфф}^{0,66k}}{Z_{эфф}^{0,66э}}. \quad (4)$$

Для однокомпонентной контролируемой среды

$$(Z_{эфф}^{0,66})^k = C_W^k Z_W^{0,66}; \quad (Z_{эфф}^{0,66})^э = C_W^э Z_W^{0,66}. \quad (5)$$

С учетом равенства (5) отношение (4) запишем в следующем виде:

$$\frac{N_S^k}{N_S^э} = \frac{C_W^k}{C_W^э}. \quad (6)$$

Из формулы (6) следует

$$C_{WC}^k = C_W^э \frac{N_S^k}{N_S^э}. \quad (7)$$

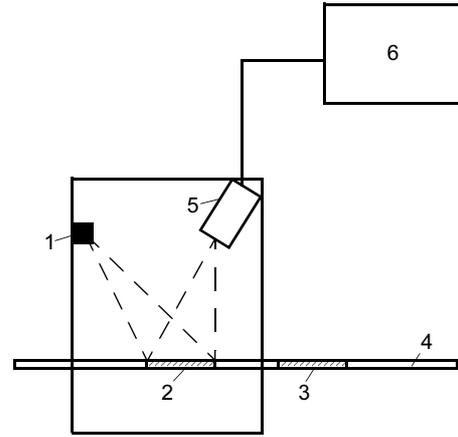
Содержание карбида вольфрама

$$C_{WC}^k = 1,065 C_W^k, \quad (8)$$

где "1,065" соответствует отношению атомных весов $\frac{A_{WC}}{A_W}$.

Настройку регистрирующей аппаратуры осуществляли по эталонным образцам, используя радионуклиды с различной энергией бета-излучения. Структурная схема регистрирующей установки приведена на рисунке. Бета-частицами радионуклида 1 облучается поверхностный слой контролируемого образца 2, установленного на перемещающемся прободержателе 3. При смещении его влево облучается потоком бета-частиц эталонная проба 4. Обратнорассеянное бета-излучение регистрируется детектором 5 МСТ-17. Сигнал со счетчика 5 подается в регистрирующий блок 6, в котором установлены усилитель, интегратор и измерительный прибор.

При выполнении анализа применяли стандартные кюветы из оргстекла, в которые помещали без взвешивания навесок порошковую смесь (WC + Co). В гнездо



Структурная схема регистрирующей установки

прободержателя установлен эталонный образец. При облучении поверхностного слоя проб бета-частицами радионуклида Pm^{147} ($E_{max} = 0,22$ МэВ, активность 0,40 мКи) измеряли поток обратнорассеянного β -излучения от проб N_S^k , при смещении прободержателя влево — эталона $N_S^э$. В табл. 1 приведены результаты определения содержания вольфрама в эталонных образцах. Видно, что погрешность радиоизотопного контроля оказалась значительной вследствие отражения бета-частиц от вольфрама, кобальта и углерода. Для снижения погрешности использовали радионуклид Sr^{90} , испускающий бета-частицы с максимальной энергией 2,2 МэВ. При измерениях с бета-излучателем (активностью 50 мКи) и установкой перед входным окошком детектора (см. рисунок) алюминиевого фильтра толщиной 0,2 мм удалось исключить влияние отраженного бета-излучения кобальта и углерода. В этом

Таблица 1

Содержание W в эталонных образцах, %	Радиоизотопный способ, %		Отклонение, %	
	Радионуклид Pm ¹⁴⁷	Радионуклид Sr ⁹⁰	Радионуклид Pm ¹⁴⁷	Радионуклид Sr ⁹⁰
85,6	81,3	84,9	-4,3	+0,7
82,9	88,5	83,1	+5,6	+0,2
74,9	71,4	74,2	-3,5	-0,7
73,9	72,3	72,7	-1,6	-1,2
68,4	71,6	68,8	+3,2	+0,4
65,6	69,1	65,0	+3,5	-0,6
63,7	58,7	63,9	-5,0	+0,2
62,9	55,6	62,6	-7,3	-0,3
61,6	64,3	61,1	+2,7	-0,5
61,8	65,6	62,3	+3,7	+0,5

случае погрешность контроля оказалась на уровне допустимой (см. табл. 1).

На основе изложенных результатов разработали методику промышленного контроля содержания карбида вольфрама в порошковой смеси (WC + Co). Подбирали оптимальный вариант отбора проб, обеспечивающий высокую экспрессность контроля и минимальную погрешность. Наиболее приемлемым оказался способ отсекаания проб с конвейера. Суть его заключалась в том, что пробы отсекались с конвейера через определенные промежутки времени. В данном варианте отбора необходимо определить время отсекаания каждой пробы, чтобы обеспечить минимальную погрешность контроля. Экспериментально установлено, что частота отсекаания составляла 1—1,5 мин. Наилучшую представительность контроля получили при отсекании с конвейера шести-восьми частичных проб, которые смешивали в общую.

Порошок смеси WC + Co засыпали в стандартные кюветы из оргстекла, выравнивая линейкой поверхностный слой. Затем каждую устанавливали на прободержатель регистрирующей установки (см. рисунок). В гнездо 4 помещали эталонный образец, содержащий 94 % WC. Облучая бета-частицами радионуклида Sr⁹⁰ поверхностный слой анализируемых проб, регистрировали в каждом случае поток обратнорассеянного излучения N_S^k . При установке под облучение эталонного образца с помощью прободержателя измеряли поток бета-частиц N_S^3 . Далее по формуле (7) рассчитывали содержание W, а по формуле (8) — карбида вольфрама. С учетом подготовки проб экспрессность контроля содержания WC составила 7—8 мин.

Методическую погрешность определяли путем оценки степени отклонения результатов определения содержания WC радиоизотопным способом от содержания его в эталонных образцах. Каждую пробу анализировали 5 раз. Рассчитывали среднюю квадратичную ошибку S_α и экспериментальное значение t -критерия [3]:

$$t_3 = \frac{\bar{C}_{WC}^k - C_{WC}^3}{S_\alpha \sqrt{5}}, \quad (9)$$

Таблица 2

Содержание WC в эталонных образцах, %	Среднее содержание WC, полученное радиоизотопным способом, %	S_α	t_3 -критерий
93,2	94,8	1,78	2,014
90,1	91,2	0,95	2,591
81,4	82,8	1,64	1,912
80,3	78,1	3,71	1,328
74,3	73,3	2,82	1,099
70,5	71,6	1,57	1,568
69,2	71,3	1,99	2,363

где \bar{C}_{WC}^k — среднее содержание карбида вольфрама, найденное изотопным способом; C_{WC}^3 — содержание карбида вольфрама в эталонных образцах.

Как следует из данных табл. 2, экспериментальное значение t -критерия оказалось меньше табличного ($t_{0,05} = 2,78$) для 5 %-ного уровня значимости. Следовательно, можно считать, что отличие средних результатов радиоизотопного способа незначимо и обусловлено только случайными погрешностями.

ВЫВОДЫ

1. Разработан радиоизотопный способ контроля содержания карбида вольфрама на начальной стадии производства смеси WC + Co, характеризующийся портативностью регистрирующей аппаратуры, высокой экспрессностью контроля (результат выдается за 7—8 мин).

2. Промышленный контроль содержания карбида вольфрама позволяет оптимизировать производственный процесс получения смеси WC + Co с требуемым химическим составом.

3. Биологическая защита от бета-излучающего радионуклида обеспечивает допустимый уровень радиации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1967. 510 с.
2. Бетин Ю. П. Радиоизотопные и рентгеноспектральные методы. М.: Атомиздат, 1960. 195 с.
3. Налимов В. В. Применение математической статистики при анализе вещества. М.: Физматгиз, 1960. 490 с.

А. П. МОРГУНОВ, д-р техн. наук, В. С. СЕРДЮК, д-р техн. наук, Л. Г. СТИШЕНКО, инж.,
О. П. КОРЖОВА, аспирант, В. Г. ЧУРАНКИН, аспирант
Омский государственный технический университет

Технология сборки профильных подвижных соединений деформирующим протягиванием

Применение деформирующего протягивания при получении профильных неподвижных соединений с заданным макрорельефом и обычных "гладких" соединений с натягом позволяет изготавливать детали соединения с меньшей точностью и высокой производительностью. Наличие отклонений формы охватываемой детали соединения при контактном взаимодействии с охватываемой деталью увеличивает площадь опорной поверхности, соответственно увеличивается сила трения в контакте и прочность неподвижного соединения.

Разработка профильных неподвижных неразъемных соединений (ПННС) и технологическое обеспечение их прочности, потребовавшие значительных теоретических и экспериментальных исследований на образцах, конструкция которых идентична конструкции подшипников скольжения, позволили сделать вывод о том, что неподвижность соединения обеспечивается в том числе макродискретностью профиля, создаваемого на внутренней поверхности охватываемой детали соединения (обоймы или корпуса узла).

Формообразование профиля осуществляли известными технологическими методами — нарезанием или накатыванием с изменением диаметра внутренней поверхности обоймы в сторону уменьшения при накатывании (рис. 1, а) или без изменения — при нарезании (рис. 1, б). Последующая операция — деформирующее протягивание (дорнование) — обеспечивала заполнение впадин профиля и микровпадин микрорельефа поверхности в результате упругопластического деформирования охватываемой детали (втулки), таким образом обеспечивая неподвижность элементов соединения в определенных пределах.

Цель данной работы — получение подвижного профильного соединения на основе результатов исследований, проведенных при разработке и обеспечении прочности ПННС с винтовым профилем.

Одна из основных задач — изучение возможности гарантированной относительной подвижности охватываемой и охватывающей деталей при выполнении тех же технологических операций, что и при получении ПННС.

При создании профильного подвижного, например винтового соединения (ППВС), с помощью деформирующего протягивания (дорнования, прошивания) наличие отклонений формы не способствует стабильному относительному перемещению деталей ППВС. Отклонения формы, распределяясь по со-

прягаемой поверхности как закономерно, так и случайно, создают участки с максимальным контактным давлением и противодействуют относительному перемещению в тангенциальном направлении деталей ППВС. В результате относительное вращение деталей может быть неравномерным и затрудняется при возникновении макро- и микродискретностей контакта. При неоднородном характере распределения контактных напряжений и деформаций происходит интенсификация износа сопрягаемых поверхностей соединения.

Деформирующее протягивание в осевом направлении может осуществляться с различными скоростью и качеством деформирующих элементов, а также натягом дорнования. В связи с этим заполнение впадин профиля обоймы материалом втулки осуществляется не всегда одинаково (рис. 2). Поэтому требуется дополнительное исследование влияния коэффициента заполнения $K_{зп}$ профиля на работоспособность ППВС.

Очевидно, сопротивление осевому относительному перемещению будет максимальным уже при $K_{зп} = 1$, где $K_{зп} = S_{оп}/S_k$ ($S_{оп}$, S_k — площади опорной и контурной поверхностей соответственно). В то же время с целью минимизации сопротивления тангенциального относительного перемещения деталей ППВС необходимо определить требуемое значение $K_{зп}$.

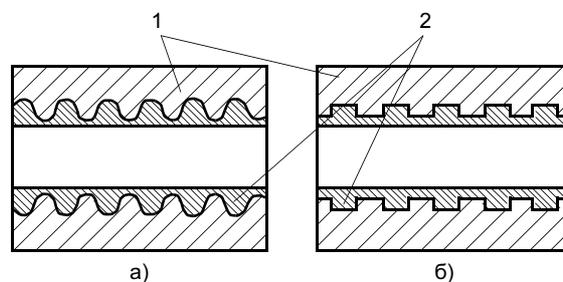


Рис. 1. Профильные соединения: 1 — обойма; 2 — втулка

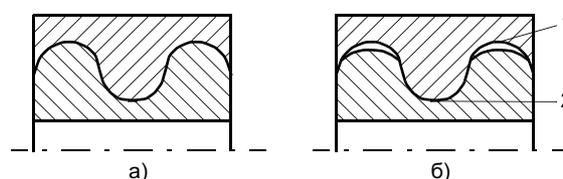


Рис. 2. Варианты заполнения профиля: а — полное при $K_{зп} = 1$, $S_{оп} = S_k$; б — частичное при $K_{зп} < 1$, $S_{оп} < S_k$; 1 — контурная поверхность профиля; 2 — опорная поверхность

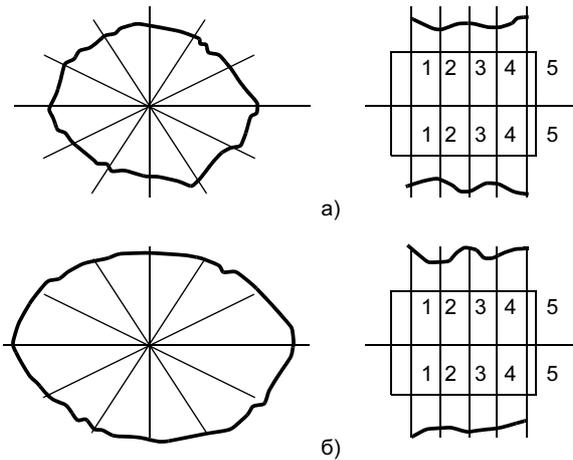


Рис. 3. Круглограмма и профилограмма обоймы до сборки дорнованием (а) и втулки после сборки дорнованием (б)

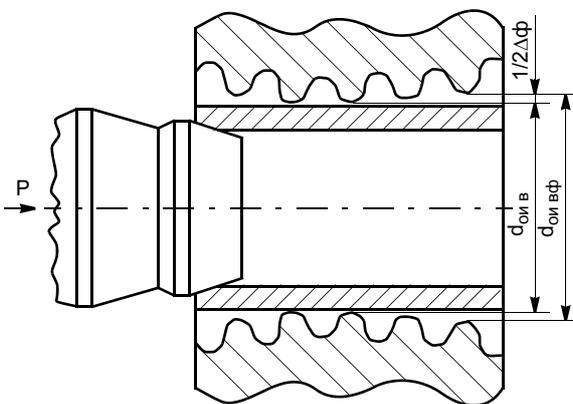


Рис. 4. Исходное положение сопрягаемых деталей ($d_{oiв}$ — исходный диаметр обоймы по линии выступов; $d_{oiвф}$ — то же, с учетом $\Delta\phi$)

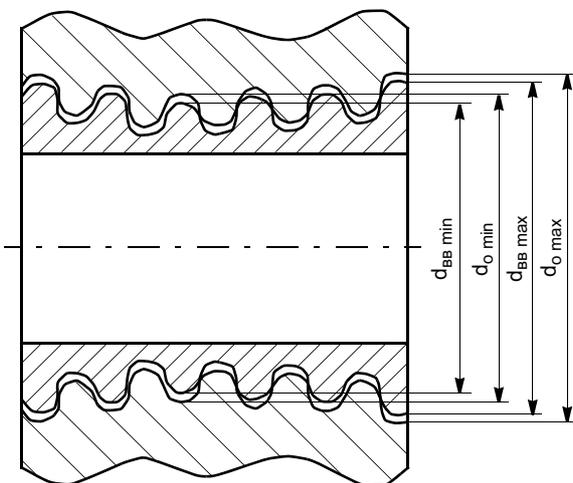


Рис. 5. Положение сопрягаемых деталей после дорнования ($d_{вв min}$, $d_{вв max}$ — минимальный и максимальный диаметры втулки по линии выступов; $d_{o min}$, $d_{o max}$ — минимальный и максимальный диаметры обоймы по линии впадин)

В данном случае не учитывают параметры микрорельефа и субмикрорельефа, считая их влияние на работоспособность ППВС значительно меньшим, чем геометрических параметров профиля.

В результате экспериментальных исследований образцов (охватывающая деталь из стали и охватываемая — из бронзы) установили, что при глубине профиля до 0,25 мм и относительном натяге $\delta/d_{в} = 0,34$ $K_{зп} = 1$. При этом натяг дорнования $\delta = d_{п} - d_{в}$ принимали равным 0,1—0,3 мм, диаметр деформирующих элементов дорна $d_{п} = 26,6 \div 26,9$ мм, внутренний диаметр втулки $d_{в} = 26,5$ мм, толщина сечения втулки 0,5—1,5 мм.

Таким образом, пока справедливо утверждать только то, что заполнение профиля зависит от натяга дорнования и толщины сечения охватываемой втулки. Хотя очевидно, что геометрические параметры профиля и скорость деформирования также оказывают существенное влияние на заполнение профиля.

С целью определения наличия наследования отклонений формы, возникающих в результате обработки охватываемой детали, проведены измерения продольных и поперечных отклонений до и после сборки деформирующим протягиванием в пяти сечениях вдоль оси и через каждые 30° окружности. На рис. 3 приведены круглограммы и профилограммы до и после дорнования.

Отклонения формы $\Delta\phi$ на внутренней поверхности втулки идентичны отклонениям на внутренней поверхности обоймы. Такое отображение отклонений формы наблюдается как у профильных, так и у "гладких" соединений. Оценивая влияние технологических отклонений формы, по мнению авторов, следует количественно оценить значения $K_{зп}$, радиального перемещения наружной поверхности втулки при деформировании ППВС и отклонений формы внутренней поверхности охватываемой детали (обоймы). На рис. 3 и 4 видно, что при наличии отклонений формы заполнение профиля обоймы неравномерно и, соответственно, $K_{зп}$ — также величина переменная за счет усадки втулки.

Рассматривая процесс дорнования на примере, когда доминирующей погрешностью является корсетность, можно найти простейшие зависимости, благодаря которым можно определить искомые величины $\Delta\phi$ и $K_{зп}$ (рис. 5).

Технология формообразования профиля накатыванием позволяет с некоторым приближением обеспечить постоянство геометрических параметров по глубине впадин, но не позволяет с достаточной экономической целесообразностью устранить отклонения формы.

Так, максимальное отклонение формы обоймы $\Delta\phi_{max o} = d_{o max} - d_{o min}$, максимальное отклонение формы втулки $\Delta\phi_{min в} = d_{вв max} - d_{вв min}$.

Очевидно, $K_{зп}$ должен быть меньше единицы на величину ΔK , определяемую из соотношения

$$\Delta K = \frac{\Delta S_K}{S_{оп}}$$

где $\Delta S_K = \sum_{i=1}^n \Delta S_{iK}$; ΔS_{iK} — незаполненные участки

контурной поверхности при дорновании с относительно малыми натягом и толщиной сечения втулки.

При решении поставленной задачи возникает необходимость выбора материала деталей соединения, изучения влияния его свойств на работоспособность ППВС, а также определения оптимальных конструкционных и технологических параметров. В данном случае не будем учитывать возникновение разнообразных отклонений формы и волнистости поверхностей, которые, как известно, создают дополнительный натяг $\Delta\phi$ в соединении. Будем считать полный натяг в соединении Δp равным среднеарифметическому значению измеренного натяга Δs_a ,

т. е. $\Delta p \approx \Delta s_a$ при $\Delta\phi = 0$. Здесь $\Delta s_a = d_{ca}^A - d_{ca}^B$, где d_{ca}^A , d_{ca}^B — среднеарифметическое значение диаметров соответственно отверстия и вала.

Определение минимального натяга или гарантированного зазора в профильном подвижном винтовом соединении возможно в результате расчета деформаций охватывающего и охватываемого элементов соединения. Известно, что деформации наружных поверхностей могут изменяться от нуля до некоторого максимального значения. Так, при соединении тонкостенных колец (рис. 6) изменение радиусов колец определяется следующим образом:

$$\Delta R_1 = U_1 = -\frac{\delta}{2} \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \lambda_2)};$$

$$\Delta R_2 = U_2 = \frac{\delta}{2} \frac{\lambda_2}{(\lambda_1 + \lambda_2)},$$

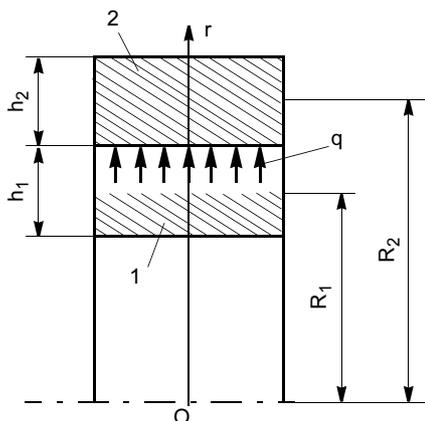


Рис. 6. Соединение тонкостенных колец: 1, 2 — внутреннее и наружное кольца (обойма)

где U_1, U_2 — радиальное перемещение колец, равное соответственно $-q\lambda_1$ и $q\lambda_2$ (q — контактное давление; λ_1, λ_2 — коэффициенты радиальной податливости); δ — диаметральный натяг.

В свою очередь

$$\lambda_1 = \frac{R_1^2}{E_1 h_1};$$

$$\lambda_2 = \frac{R_2^2}{E_2 h_2},$$

где E_1, E_2 — модули упругости охватываемой и охватывающей деталей соединения.

Окружные напряжения $\sigma_{\theta 1}$ и $\sigma_{\theta 2}$ для тонких колец определяют следующим образом:

$$\sigma_{\theta 1} \approx \varepsilon_1 E_1 = -\frac{E_1 \delta}{2 R_1} \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \lambda_2)};$$

$$\sigma_{\theta 2} \approx \varepsilon_2 E_2 = \frac{E_2 \delta}{2 R_2} \frac{\lambda_2}{(\lambda_1 + \lambda_2)},$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ — относительная деформация первого и второго колец соответственно; $\varepsilon_i = \Delta R_i / R_i$ (ΔR_i — изменение радиуса кольца).

Наибольший допустимый натяг в соединении из условия появления допустимых пластических деформаций

$$\delta_{max} = 2 \sigma_{ir} \frac{R_i}{E_i} \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\lambda_1},$$

где σ_{ir} — наименьшее значение (из двух) предела текучести материала кольца.

В рассматриваемом случае гарантированная подвижность ППВС должна обеспечиваться при условии $\lambda_1 > \lambda_2$; $\sigma_{1r} - \min$.

Кроме этих условий на величину сдвигающего момента влияет жесткость охватываемой втулки, которая зависит от шага винтовой линии, толщины стенки втулки, свойств материала, коэффициента заполнения профиля, наличия смазки в контакте и др.

ВЫВОДЫ

1. Работоспособность профильных подвижных винтовых соединений в значительной мере зависит от величины отклонений формы отверстия охватываемой детали.

2. Наследование отклонений формы охватываемой детали реализуется на сопрягаемой поверхности охватываемой детали и приводит к снижению стабильности работы соединения.

3. Результаты предварительных теоретических и экспериментальных исследований подтвердили возможность получения профильных подвижных винтовых соединений методом упругопластического деформирования охватываемой детали деформирующим протягиванием (прошиванием, дорнованием).

А. М. БОЛДЫРЕВ, д-р техн. наук, В. А. БИРЖЕВ, д-р техн. наук, А. И. МАРТЫНЕНКО, инж.

Исследование влияния внешнего магнитного поля на коэффициент расплавления электродного металла при дуговой наплавке

Известно [1, 2], что применение постоянного аксиального магнитного поля при наплавке позволяет повысить коэффициент расплавления электродной проволоки при неизменной тепловой мощности дуги в 1,35 раза. Однако данный способ применим лишь при увеличении скорости наплавки угловых швов. При наплавке же в нижнем положении происходит образование нежелательных односторонних подрезов [3]. По мнению авторов, для устранения данных недостатков рационально использовать переменное аксиальное магнитное поле. Наиболее оптимальной частотой магнитного поля при наплавке является частота 50 Гц [2].

В данной работе исследовали влияние переменного аксиального магнитного поля на процесс плавления электродной проволоки сплошного сечения при различных ее диаметрах и сварочном токе.

Наплавку проводили на пластины из стали 10ХСНД размером 700 × 100 × 10 мм автоматом АДФ-1002 проволокой Св-08 А под флюсом АН-348А током прямой и обратной полярности. Диапазон сварочных токов 200—1000 А, напряжение дуги 30—35 В. Скорость наплавки в соответствии с принятыми режимами составляла 25 м/ч [3].

Генерирование внешнего продольного переменного магнитного поля в зоне горения дуги осуществляли с помощью электромагнита, закрепленного на сварочной головке соосно с электродной проволокой. Индукцию продольного магнитного поля изменяли в интервале от 0 до 160 мТл. Индукцию магнитного поля в зоне горения дуги перед началом сварки измеряли прибором ИМИ-3.

Методика эксперимента заключалась в следующем. На сварочном аппарате устанавливали табличные значения тока и напряжения, при которых выполнялось условие стабильного горения дуги, т. е. соблюдалось равенство между скоростями расплавления и подачи электродной проволоки $v_p = v_{пп}$ (рис. 1, точка A_1).

При включении магнитного поля в результате увеличения скорости расплавления электрода $v_p > v_{пп}$ происходит увеличение напряжения дуги и уменьшение тока. Точка A_2 , соответствующая устойчивому горению дуги без магнитного поля, по внешней ВАХ

источника питания (которая в процессе сварки не изменялась) смещается вверх до точки A_2 (см. рис. 1). Поэтому после включения магнитного поля увеличивали скорость подачи проволоки, доводя величину напряжения и тока до первоначальных значений.

Производительность процесса плавления электрода оценивали коэффициентом расплавления α_p (г/(А · ч)) [4]:

$$\alpha_p = \frac{\pi r^2 \rho v_{пп}}{I},$$

где ρ — плотность металла проволоки, равная $7 \cdot 10^3$ кг/м³; $v_{пп}$ — скорость подачи проволоки, м/ч; I — ток дуги, А.

Результаты исследований приведены на рис. 2. Видно, что наложение продольного переменного магнитного поля промышленной частоты 50 Гц на дугу приводит к возрастанию процесса плавления электродной проволоки при практически неизменной тепловой мощности дуги.

Наибольшее влияние магнитное поле на скорость плавления проволоки оказывает при горении дуги на прямой полярности (производительность процесса возрастает в 1,75 раза), наименьшее — на обратной полярности (возрастает в 1,55 раза).

Зависимость α_p металла проволоки от магнитной индукции носит характер насыщения: при уве-

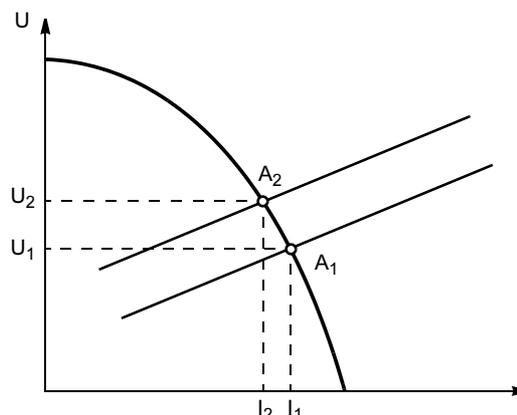


Рис. 1. К определению скорости расплавления электродной проволоки в магнитном поле

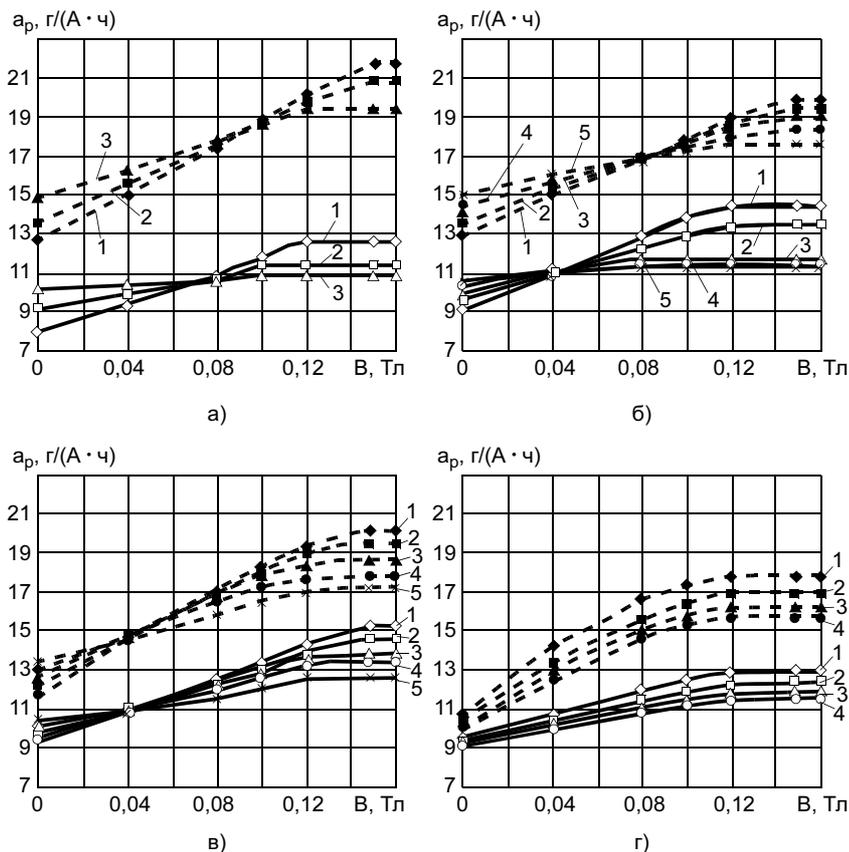


Рис. 2. Зависимость коэффициента расплавления электродной проволоки от индукции внешнего продольного магнитного поля (штриховая линия — прямая полярность, сплошная — обратная): а—г — диаметр проволоки равен 2, 3, 4 и 5 мм соответственно; а — 1—3 — ток равен 200, 300 и 400 А соответственно; б — 1—5 — 300, 400, 500, 600 и 700 А соответственно; в — 1—5 — 450, 500, 600, 700 и 800 А соответственно; г — 1—4 — 700, 800, 900 и 1000 А соответственно

личении индукции до 120—150 мТл наблюдается практически линейный рост, дальнейшее увеличение магнитной индукции не влияет на процесс плавления электрода (см. рис. 2). Это обусловлено тем, что переменное магнитное поле ускоряет процесс отрыва капель расплавленного электродного металла за счет дополнительного воздействия электромагнитных сил.

ВЫВОД

Применение магнитного поля при наплавке позволяет существенно повысить скорость расплавления электродного металла и, соответственно, производительность наплавочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пацкевич И. Р., Зернов А. В., Серафимов В. С. Влияние продольного магнитного поля на плавление и перенос электродного металла // Сварочное производство. 1973. № 7. С. 8—10.
2. Болдырев А. М., Биржев В. А., Черных А. В. Особенности плавления электродного металла при сварке во внешнем продольном магнитном поле // Сварочное производство. 1991. № 5. С. 28—30.
3. Сварочные и наплавочные работы при ремонте деталей строительных машин: Справочник. М.: Стройиздат, 1981. С. 91.
4. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1973. 448 с.

А. В. ЗВЯГИНЦЕВА, канд. техн. наук, Ю. Н. ШАЛИМОВ, д-р техн. наук
Воронежский государственный технический университет

Особенности электрохимического образования Ni—В-покрытий

ВВЕДЕНИЕ

Повышение требований к качеству производства радиоэлектронной аппаратуры ставит перед технологами новые задачи по улучшению параметров технологического процесса за счет использования новых решений. В качестве примера можно привести процесс получения покрытий из сплава Ni—В, нашедшего применение в технологиях изготовления радиоэлектронной аппаратуры.

Поскольку в процессе эксплуатации изделий, содержащих компоненты с различными электрохимическими свойствами, вероятно образование новых,

отличных по свойствам соединений, то необходимо дополнительное изучение стойкости отдельных компонентов против образования новых соединений с отличными от исходных свойствами. Известные в литературе сведения [1, 2] об изменении структуры металла в процессе его эксплуатации за счет повышения температуры, изменения влажности или наличия агрессивных сред побуждает искать новые пути создания металлических соединений с повышенной стойкостью против этих воздействий.

Использование сложных по химическому составу электролитов иногда не дает должного результата, так как вследствие усложнения систем управ-

ление этими процессами вызывает изменения свойств даже при незначительном отклонении от параметров технологии, что может привести к снижению качества процесса. В последнее время широкое распространение получил процесс гальванического осаждения сплава Ni—В для нанесения функциональных покрытий на элементы радиоэлектронной аппаратуры [3]. Не умаляя достоинств этого сплава, следует отметить, что практическое использование эта технология нашла только на ведущих предприятиях радиоэлектронной промышленности. Основная причина отсутствия широкого внедрения данного процесса заключается в том, что некоторые вопросы электрохимического восстановления сплавов из рекомендованных электролитов нуждаются в дополнительных исследованиях. Но свойства покрытий, полученных из этих компонентов, отличает их уникальность (высокая стойкость против окисления при повышенных температурах, длительное сохранение способности к пайке), и поэтому необходимость дальнейших исследований процессов осаждения сплавов Ni—В весьма актуальна [4].

Методика эксперимента

Для определения некоторых зависимостей свойств покрытий от режимов электроосаждения использовали следующие методики.

Исследование процессов в электрохимических системах на установке импульсного тока. Выпускаемые отечественной промышленностью образцы

установок импульсного тока для электрохимических исследований, как правило, рассчитаны на малые выходные мощности и ограниченное число форм поляризующего тока. Поэтому при проведении комплексных исследований влияния параметров импульсного тока на процессы анодного окисления и катодного восстановления металлов возникает необходимость создания универсальных установок или преобразовательных каскадов для экспериментальных работ такого типа. Авторами разработана установка, принципиальная схема которой приведена на рис. 1.

Установка состоит из выпрямителя В, электролитической ванны ЭВ, блока питания схемы управления БП, импульсного генератора ИГ и электронного ключа, собранного на транзисторах Т₁, Т₂ и Т₃. Выходное напряжение источника регулируется в пределах 1—20 В, что обеспечивает его надежную работу при осуществлении основных электрохимических технологий.

В качестве задающего импульсного генератора использован промышленный образец Гб-27, на выходе которого могут быть получены три основные формы сигналов (П-образные, пилообразные импульсы и синусоидальные с различными углами отсечки). Изменение скважности импульсов может регулироваться в пределах от 1 до 100. Принцип работы установки заключается в следующем. Отрицательный импульс с генератора поступает на вход эмиттерного повторителя, собранного на транзисторе Т₁, далее сигнал через диод D₁ подается на усилитель (каскад на транзисторе Т₂), который управляет (является электронным ключом) источником питания ИП. При замыкании электронного ключа напряжение источника питания подается на ванну.

Время электролиза τ_{эл} определяется длительностью импульса, которая задается с помощью декадного переключающего устройства на канале генератора.

Схемой электронного ключа предусмотрена регулировка тока в момент паузы, т. е. установка может работать в режиме пульсирующего тока (режим с остаточным током). Это обеспечивается изменением базового тока транзистора Т₂ переменным сопротивлением R₃. Скважность импульсов определяется по формуле

$$Q = \frac{T}{\tau_{эл}} = \frac{\tau_{эл} + \tau_{п}}{\tau_{эл}} = \frac{1}{f_{ср} \tau_{эл}}, \quad (1)$$

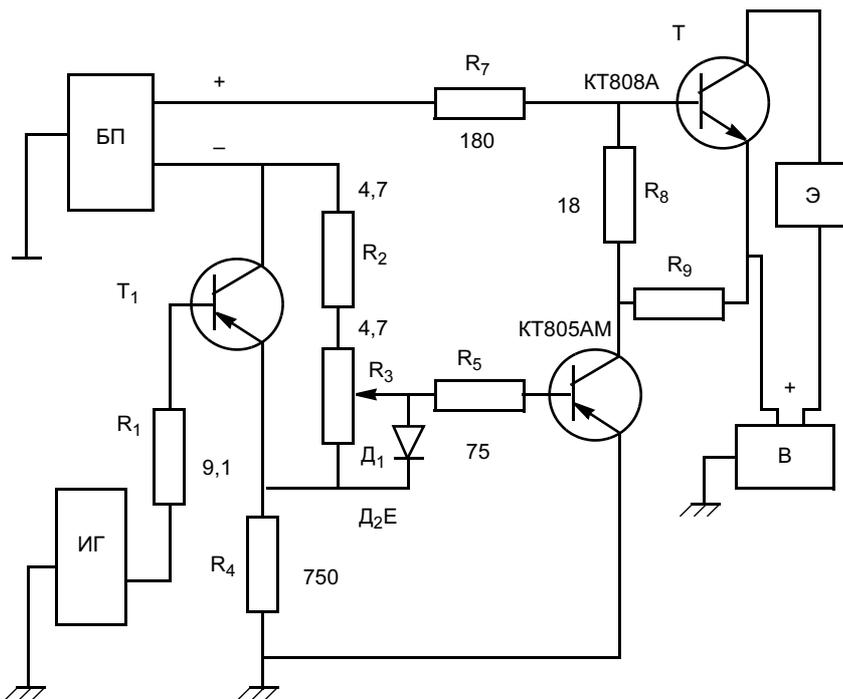


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема установки импульсного тока

где T — период следования импульсов; τ_n — продолжительность паузы; f_{cp} — средняя частота генератора.

Для проведения исследований в частотно-модулированных режимах электролиза применяли модернизированный вариант установки. В этом случае на электронный ключ сигналы от задающих генераторов подаются с помощью кипреле (одновибратора), которое, в свою очередь, запускается от несимметричного мультивибратора. Измерение соотношения между числом сканирующих и формирующих импульсов производится с помощью регулятора параметров R — C несимметричного мультивибратора.

Электронный кулонометр для определения выхода по току металла. Для определения количества электричества, протекающего через электрохимическую ячейку, применяли электронный кулонометр, схема которого приведена на рис. 2. Принцип работы прибора основан на изменении частоты измерительного генератора в зависимости от падения напряжения на управляющих элементах, в качестве которых использованы кремниевые стабилитроны Д-808.

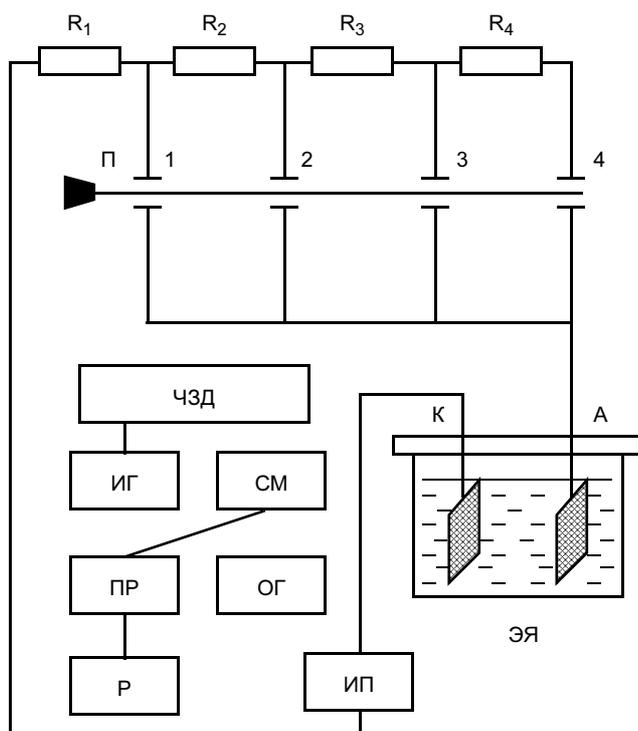


Рис. 2. Функциональная схема электронного кулонометра (R_1 — R_4 — эталонные сопротивления attenuатора (множителя тока); Π — переключатель диапазонов; A — анод; K — катод; ЭЯ — электрохимическая ячейка; ЧЗД — частотно-зависимые диоды (стабилитроны); ИГ — измерительный генератор; ОГ — опорный генератор; СМ — смеситель сигналов; ПР — преобразователь (формирователь) импульсов; Р — регистратор количества электричества; ИП — источник питания)

Известно, что собственная частота RC -генератора, собранного по схеме с контуром Вина, определяется по формуле

$$f = \frac{1}{2\pi RC}, \quad (2)$$

где R , C — элементы фазосдвигающей цепочки генератора.

Стабилитроны Д-808, включенные параллельно основным емкостям C_1 и C_2 фазосдвигающей цепочки, имеют наибольшую начальную емкость C_0 , которая может изменять свое значение до некоторой величины C_x в зависимости от величины амплитуды управляющего напряжения.

На выходные параметры (напряжение и частоту) ИГ наиболее сильное влияние оказывают температура окружающей среды и напряжение источника питания. Поэтому для стабилизации этих параметров применили схему термостатирования измерительного и опорного генераторов и датчиков ЧЗД . Питание измерительной схемы осуществляется от источника стабилизированного напряжения, величина отклонений которого составляет $\pm 1\%$. Таким образом, частота измерительного генератора будет зависеть от падения напряжения на управляющих элементах.

Как показали результаты исследований, частота импульсов (или их число) находится в прямой зависимости от привеса медного кулонометра во всем интервале рабочего участка градуировочной кривой. Для расширения пределов измерения, протекающего через ячейку тока, необходимо лишь изменить коэффициент деления, варьируя значение сопротивления R_1 — R_4 .

При использовании кулонометра для регистрации количества электричества в условиях "жестких" импульсных режимов питания электролизеров частоты опорного и измерительного генераторов должны быть увеличены. Необходимость применения электронного кулонометра обусловлена двумя причинами:

- использование традиционных весовых методов кулонометрии мало оправдано при импульсных режимах электролиза, так как на медном катоде кулонометра возможно образование порошковой мелкодисперсной меди, которая при большом времени электролиза может осыпаться с поверхности электрода, приводя к значительным погрешностям в измерениях;

- электронная кулонометрия позволяет отказаться от большого числа аналитических взвешиваний образцов электродов, на которые затрачивается значительная часть времени работы экспериментатора-исследователя.

Определение пористости проводили методом наложения фильтровальной бумаги, пропитанной

раствором состава (г/л) $10K_3[Fe(CN)_6]$, $20NaCl$. Число пор n выражали на 1 см^2 поверхности (ГОСТ 9.302—88). Оценку погрешностей измерений определяли как сумму систематической и случайной погрешностей

$$\Delta = \Delta_c + \Delta_{сл}. \quad (3)$$

Абсолютная погрешность рабочего прибора

$$\Delta_c = A_{раб} - A_{обр}, \quad (4)$$

где $A_{раб}$, $A_{обр}$ — показания рабочего и образцового приборов.

В этом случае максимальная систематическая погрешность

$$\Delta_{макс} = \frac{\delta_{к.п} A_k}{100}, \quad (5)$$

где A_k — показание прибора для определяемого параметра; $\delta_{к.п}$ — класс точности прибора.

Учитывая, что число факторов, влияющих на точность измерений, превышает 5, результирующий закон распределения случайной погрешности измерения удовлетворительно согласуется с нормальным.

За оценку математического ожидания принимаем среднеарифметическое значение

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (6)$$

С увеличением числа измерений n (при независимых результатах) точность увеличивается пропорционально \sqrt{n} . Принято число измерений, равное 5. Увеличение числа измерений свыше 10 вообще не имеет смысла, так как в этом случае измеряемая величина может изменить свое значение за время измерения.

При нормальном законе распределения максимальную погрешность $\Delta_{макс}$ принимают равной 3σ , что соответствует вероятности появления погрешности, превышающей $\Delta_{макс}$:

$$1 - \alpha = 1 - 0,9973 = 0,0027.$$

Это значение определяется интегралом вероятности

$$\Phi(Z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^Z \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt. \quad (7)$$

При заданной вероятности $\Phi(Z)$, которая табулирована [6], находится $\Delta_{макс}$. Толерантный интервал (интервал для случайной величины) определяется формулами

$$l_1 = \bar{X} - K\bar{\delta}; \quad (8)$$

$$l_2 = \bar{X} + K\bar{\delta}, \quad (9)$$

где \bar{X} и $\bar{\delta}$ вычисляются следующим образом:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}; \quad (10)$$

$$\bar{\delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}. \quad (11)$$

В этом случае толерантный множитель может быть определен из выражения

$$K = Z \left(1 + \frac{z\alpha}{\sqrt{2\pi}} + \frac{5z\alpha^2 + 10}{12n} \right), \quad (12)$$

где значения z и $z\alpha$ определяются уравнениями

$$z = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-Z}^{+Z} e^{-y^2/2} dy = 2\Phi(Z) - P_0; \quad (13)$$

$$z\alpha = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_Z^{+\infty} e^{-y^2/2} dy = 0,5 - \Phi(Z) = 1 - \alpha. \quad (14)$$

Значения $\Phi(Z)$ приведены в работе [6] (табл. П-2). Значения выбирают исходя из заданной точности и числа экспериментов, проводимых для каждого исследуемого параметра. При записи показаний с экранов осциллографа, профилометров и анализаторов спектров число повторных измерений составляло от 3 до 5 циклов.

Планирование эксперимента осуществлялось на основе анализа зависимостей основных кинетических параметров технологических процессов и их корреляции в условиях, определяемых реальными границами отклонений.

Для определения количественных характеристик физико-механических и физико-химических свойств материалов и их изменений в процессе электрохимического формообразования при планировании эксперимента осуществляется выбор числа и условий проведения опытов для полного решения задачи с требуемой точностью. Это необходимо для сокращения числа исследований до рационального минимума. Алгоритм решения этой задачи в общем виде для типовых электрохимических процессов может быть представлен в виде системы (рис. 3).

Одной из главных задач при планировании эксперимента является определение основных параметров (параметров первого порядка), определяющих качество и кинетические характеристики технологических процессов. Для их определения необходимо проведение экспериментальных исследований по аналогичным типовым процессам.

Другой, но менее значимой задачей является определение взаимосвязи и функциональных зависимостей между основными параметрами процесса

и физико-химическими свойствами объектов исследований. При планировании эксперимента необходимо определиться с границами изменения параметров, чтобы исключить проведение опытов, результаты которых не могут быть использованы для разработки новых технологий. Исходя из вышесказанного и на основе анализа литературных источников, в качестве основных параметров были выбраны плотность тока, химический состав электролита и скорость электрохимического процесса.

При определении параметров импульсного тока (частоты следования импульсов, их длительности и скважности) нижний предел частоты следования определяется из условий обеспечения стабильного состояния системы электрод—электролит, а верхний предел и длительность импульса должны обеспечивать возможность разряда потенциалопределяющего иона.

При выборе значения скважности импульсов основным условием являлось обеспечение возможности сохранения поверхности электрода в активном состоянии.

Для определения экстремальных точек на кривых зависимостей их дифференцировали непосредственно в ходе эксперимента. Как показывают опытные данные, сопоставимость результатов эксперимента с теоретическими выкладками тем выше, чем меньше отклонение от среднего значения, полученного в результате статистических исследований. В конечном итоге апробация данной системы подтвердила результаты измерений максимальных отклонений в произвольно выбранных интервалах.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Пористость покрытий является одной из важнейших характеристик, поскольку она влияет не только на физико-механические свойства, но также от этой характеристики зависят коррозионно-электрохимические свойства системы основа—покрытие. Значение этого параметра позволяет оценить такие важные технологические характеристики как переходное сопротивление, компромиссный потенциал и степень адгезии системы основа—покрытие. Авторы исследовали влияние режимов электролиза и температуры отжига на пористость покрытий Ni—В (1 % бора) (табл. 1, 2).



Рис. 3. Алгоритм решения задачи по планированию эксперимента

Таблица 1

Концентрация борсодержащей добавки, г/л	pH	t, °C	τ _{эл} , мин	i _к , А/дм ²				
				0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
0,01	4,0	40	20	—	—	11,1	—	—
—	3,5	40	20	15,2	5,8	4,8	4,5	2,9
—	—	30	20	47,5	36,1	19,8	9,1	3,9
0,05	4,0	40	10	29,5	23,3	20,4	16,0	15,6
—	—	—	20	25,0	22,4	16,4	8,3	5,7
—	—	—	30	—	—	12,3	—	—
—	—	50	20	35,1	27,1	13,9	13,2	6,2
—	4,5	40	20	9,5	3,4	3,4	2,0	1,9
0,10	4,0	40	20	29,5	26,1	18,3	—	12,9

Примечание. Основа — сплав 42НА, толщина осадков Ni—В не превышает 16 мкм.

Таблица 2

Покрытие Ni—В	Температура отжига, °С	Число пор на 1 см ²
Без отжига	—	18,3
Отжиг ($\tau_{отж} = 30$ мин)	300	4,8
	400	4,1
	500	19,4
	800	34,9
Примечание. Толщина покрытия Ni—В 8 мкм ($i_k = 2$ А/дм ² , рН = 4,0, $t_{эл} = 40$ °С).		

Анализ приведенных данных (см. табл. 1) показывает, что с увеличением содержания бора от 0,1 до 1,0 % пористость возрастает, что связано с образованием структуры с неявно выраженной степенью кристалличности и большим внутренним напряжением. Причиной этого также является включение в покрытие большого количества водорода, вызванного повышением $ВТ_{H_2}$ [7]. Уменьшение пористости осадков Ni—В по сравнению с никелевыми происходит за счет варьирования режимов электролиза, особенно i_k и рН, приводящих к уменьшению вероятности образования пузырьков H_2 и увеличению скорости их роста при изменении этих параметров.

С увеличением i_k от 0,5 до 4,0 А/дм² при равной толщине покрытия пористость уменьшается, как и внутренние напряжения в осадках, что связано со снижением $ВТ_{H_2}$ и уменьшением содержания бора. Кроме того, микроструктурные исследования показали, что при $i_k = 4$ А/дм² для осадков Ni—В характерна слоистая структура [8], что способствует быстрому перекрытию пор.

Повышение температуры электролита от 30 до 50 °С снижает число пор для $i_k = 2$ А/дм² ($d = 8$ мкм). Причиной этого факта, вероятно, является уменьшение внутренних напряжений. Для $i_k = 0,5 \div 1,0$ и $i_k = 3 \div 4$ А/дм² наблюдается увеличение n при температуре электролита 50 °С. Поэтому можно говорить, что большую роль играет не абсолютное повышение температуры, а ее соотношение с i_k , от которого зависят условия тепломассопереноса. Например, для $i_k = 3 \div 4$ А/дм², согласно микроструктурным исследованиям, слоистость осадков Ni—В уменьшается при $t_{эл} = 50$ °С, что и определяет увеличение n .

Зависимость пористости покрытия от кислотности электролита в интервале 3,5—4,5 ед. имеет максимум при рН = 4,0 для $t_{эл} = 40 \div 50$ °С и всех изучаемых i_k . Максимум пористости совпадает с максимумом внутренних напряжений и коррелируется с данными по наводороживанию и содержанием бора в осадках от рН электролита. Зависимость числа пор от режимов электролиза на медной и железоникелевой основах одинакова, т. е. зависит от природы подложки.

Из табл. 2 видно, что n при отжиге покрытия при температуре до 450 °С уменьшается, при дальнейшем росте температуры отжига наблюдается увеличение пористости.

Неадекватное поведение сплава Ni—В при изменении температуры отжига можно объяснить тем, что при повышении температуры до 300—400 °С наблюдается низкотемпературная стабилизация структуры сплава. Суть ее заключается в упорядочении дефектов структуры за счет диффузионных процессов при выравнивании концентрации дефектных структур в объеме. Дальнейшее повышение температуры до 800 °С приводит к увеличению пористости, что, по-видимому, связано с возможным образованием оксидов Ni (NiO, Ni₂O₃), в результате которого возникают дополнительные дефекты, приводящие к образованию пор. Возможным механизмом, объясняющим этот процесс является диффузия несвязанного бора к границе металл—внешняя среда. По-видимому, дальнейшее увеличение $t_{отж}$ должно привести к еще большему увеличению n , однако такой задачи не ставилось, поскольку эксплуатация этих сплавов в условиях высоких температур не рекомендуется.

Для снижения пористости гальванических покрытий считается целесообразным увеличение числа центров кристаллизации на поверхности формируемого покрытия. Можно считать, что число центров кристаллизации пропорционально плотности поляризующего тока и концентрации электролита. В общем случае эта зависимость может быть определена выражением $N_k \equiv kCi_k$ (N_k — число центров кристаллизации; k — коэффициент, учитывающий специфические свойства электролита; C — концентрация электролита; i_k — плотность катодного тока). Однако повышение i_k для рассматриваемого процесса вызовет ухудшение качества покрытия вследствие повышения концентрационной поляризации. С другой стороны, увеличение концентрации электролита нежелательно свыше оптимального значения вследствие повышения вязкости электролита и снижения его эффективной проводимости. Единственным выходом для увеличения числа центров кристаллизации является использование импульсных режимов электролиза. Импеданс электрохимической ячейки может быть представлен схемой, приведенной в работе [9].

Как показали исследования [10, 11], двойной электрический слой на границе между электродом и электролитом обладает довольно значительной емкостью (порядка 36 мкФ на 1 см² поверхности электрода), поэтому при использовании импульсного токового режима в эквивалентной схеме необходимо учитывать емкость этого слоя. Кроме того, протекание электрохимических реакций на электроде начинается лишь по достижении определенного

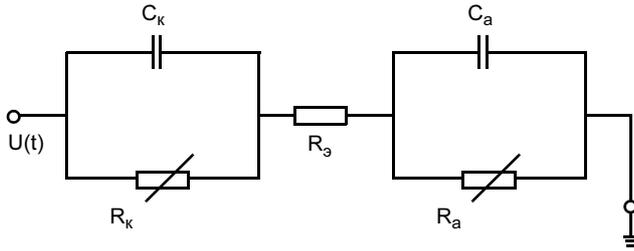


Рис. 4. Эквивалентная схема замещения электрохимической ячейки (C_k, R_k — емкость и сопротивление катода; C_a, R_a — емкость и сопротивление анода; R_3 — сопротивление электролита в расчете на единицу площади поперечного сечения ячейки)

потенциала (диодный эффект) и сопровождается нелинейной зависимостью тока от напряжения, поэтому им соответствуют нелинейные элементы схемы замещения (рис. 4).

На рис. 5 приведена вольт-амперная характеристика нелинейных элементов R_k, R_a .

Аппроксимируем зависимость плотности тока i от напряжения U формулой

$$i = 2i_0 \text{sh}[\beta(U - U_0)] \Theta(U - U_0), \quad (15)$$

где i_0, β — эмпирические параметры; $\Theta(U - U_0)$ — единичная ступенчатая функция.

Формула (16) является обобщением тафелевской зависимости при малых токах. Из законов Кирхгофа для рассматриваемой схемы (см. рис. 2) получаем систему нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\tau_k U_k + \varphi_k(U_k) + U_a + U_k = U(\tau); \quad (16)$$

$$\tau_a U_a + \varphi_a(U_a) + U_a + U_k = U(\tau), \quad (17)$$

где τ_a, τ_k — постоянные времени, равные соответственно $R_3 C_a, R_3 C_k$; $\varphi_i(U_i) = \beta_0 i \text{sh}[\beta_i(U_i - U_{0i})] \Theta(U_i - U_{0i})$, ($\beta_0 i = 2R_3 i_0 / V_0$ (V_0 — нормировочное значение напряжения)).

Напряжения U_k, U_a, U_3 нормируем на полное пере-напряжение водородного электрода, соответствующего средней плотности тока 5 А/дм². По найденным зависимостям разности потенциалов от времени находим тепловые мощности на электродах и в межэлектродном пространстве:

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

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

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

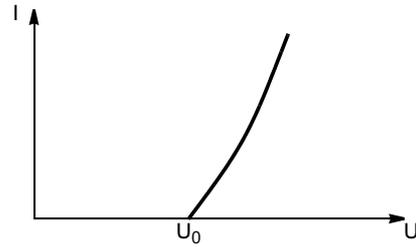


Рис. 5. Вольт-амперная характеристика нелинейных элементов схемы замещения

Зависимость (20) выражает объемные джоуле-вы потери, а (18) и (19) — диссипативные потери на электродах в ходе химических реакций.

В отношении выбора потенциалов U_{0i} необходимо отметить следующее: электрохимическое условие отсутствия накопления заряда в электролите [12] требует, чтобы токи электрохимических реакций катода и анода были равны. В системе (16)—(17) это обеспечивается соответствующим определением потенциалов U_{0i} , но так, чтобы их сумма равнялась стандартному потенциалу разложения воды — 1,63 В. Во избежание этого усложнения будем считать, что электрические параметры анода и катода одинаковы, тогда требуемое условие автоматически удовлетворится при $U_{0a} = U_{0k}$.

Дальнейшие математические выкладки показали, что высокая эффективность использования импульсных режимов может быть достигнута при определенном оптимальном значении остаточного (фоновое тока). Необходимость его использования очевидна и связана с тем, что в условиях импульсного тока при снижении величин i_k до нуля (начало паузы) происходит разряд емкости C_k до значений, определяемых длительностью паузы. Установлено, что наибольшая эффективность образования центров кристаллизации реализуется при так называемых "жестких" режимах, т. е. при условии $\tau_{имп} \ll \tau_п$. Однако в этом случае становится вероятной пассивация катода при длительной паузе (отсутствие тока). С другой стороны, в момент включения поляризующего тока (начало импульса) будет наблюдаться процесс зарядки емкости двойного слоя, в результате которого величина поляризационного тока достигает своего оптимального значения в течение некоторого промежутка времени $\tau_{зар}$. Графическое изображение токов, демонстрирующее режимы поляризации катода с фоновым пиком и без него, приведено на рис. 6.

Таким образом, при наличии фонового тока становится возможным увеличение числа центров кристаллизации при сохранении интегральной плотности тока, не превышающей его номинальное значение.

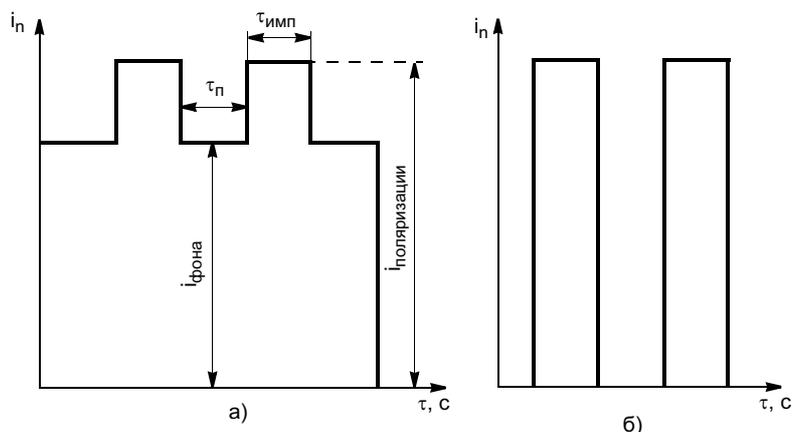


Рис. 6. Диаграмма токов при наличии (а) и в отсутствие (б) $i_{\text{фона}}$

ние [13]. В этом случае плотность тока импульса превышает номинальное значение в Q раз:

$$Q = \frac{\tau_{\text{имп}} + \tau_{\text{п}}}{\tau_{\text{имп}}}$$

Значение Q для "жестких" режимов может составлять 10—20 единиц. Однако при значительном повышении скважности и уменьшении $\tau_{\text{имп}}$ время разряда иона может быть недостаточным для осуществления электрохимических процессов. Необходимым условием разряда иона является выполнение неравенства $\tau_{\text{имп}} \gg \tau_{\text{р}}$ ($\tau_{\text{р}}$ — время релаксации, для концентрации 0,5—1,0 моль/л составляет 10^{-4} с, что соответствует частоте 10 кГц. Использование импульсных режимов позволяет значительно снизить пористость поверхностей и получать практически беспористые пленки на поверхности катода. В табл. 3 приведена зависимость числа пор от скважности импульсного тока.

Механизм образования беспористых поверхностей за счет увеличения числа центров кристаллизации приведен на рис. 7.

Видно, что число центров (вершин пирамид) при увеличении скважности возрастает. Увеличивается склонность к образованию мелкокристаллических поверхностей и, следовательно, сплошность поверхностей достигается при значительно меньшей толщине [14].

Таблица 3

Скважность импульсов Q	1	2	4	8	12	16
Число пор на 1 см^2 n	20	15	12	10	8	6

Примечание. Режим электролиза: концентрация борсодержащей добавки в электролите 0,05 г/л; рН = 4,0; $i_k = 2 \text{ А/дм}^2$; $t_{\text{эл}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; $\tau_{\text{эл}} = 10 \text{ мин}$ ($d = 4 \text{ мкм}$).

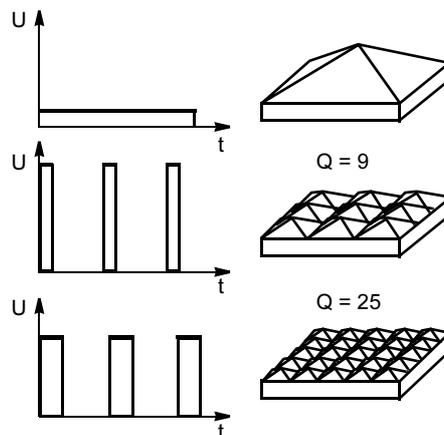


Рис. 7. Механизм формирования морфологии металлических покрытий в условиях импульсного электролиза

ВЫВОД

Число центров кристаллизации имеет адекватную связь с величиной и количеством пор в структуре покрытия. Покрытие, сформированное в условиях импульсного электролиза, значительно снижает показатель пористости (подтверждается снижением тока коррозии и смещением потенциала Си-анода в сторону отрицательных значений). Косвенным подтверждением этого факта является уменьшение шероховатости формируемого покрытия. Неоспоримым преимуществом использования импульсных режимов является более равномерное распределение плотности тока по поверхности образца (уменьшение "краевого эффекта").

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поветкин В. В., Ковенский И. М. Структура электролитических покрытий. М.: Металлургия, 1989. 136 с.
2. Гамбург Ю. Д. Электрохимическая кристаллизация металлов и сплавов. М.: Янус-К, 1997. 384 с.
3. Звягинцева А. В. Электроосаждение никелевых покрытий, легированных индием или бором. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 1993. 24 с.
4. Звягинцева А. В. Наука производству. Воронеж, 2004. С. 33.
5. Шалимов Ю. Н., Мандрыкина И. М., Литвинов Ю. В. Оптимизация электрохимического процесса обработки алюминиевой фольги в производстве конденсаторов. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2000. 343 с.
6. Рабинович С. Г. Погрешности измерений. Л.: Энергия, 1978. 262 с.
7. Маккей К. Водородные соединения металлов. М.: Мир, 1968. 244 с.
8. Звягинцева А. В., Фаличева А. И. Гальванотехника и обработка поверхности. М., 1997. Т. 5. № 2. С. 24.
9. Фрумкин А. Н. Электродные процессы. Избранные труды. М.: Наука, 1987. 336 с.
10. Антропов Л. И. Теоретическая электрохимия. М.: Высшая школа, 1969. 510 с.
11. Новые проблемы современной электрохимии / Под ред. Дж. Бокриса. М.: Изд. иностр. лит., 1962. 462 с.
12. Левин А. И. Теоретические основы электрохимии. М.: Металлург, 1972. 544 с.
13. Феттер К. Электрохимическая кинетика. М.: Химия, 1967. 856 с.
14. Шалимов Ю. Н. Влияние тепловых и электрических полей на электрохимические процессы при импульсном электролизе. Дис. ... канд. техн. наук. Иваново, 2007. 354 с.

Г. В. ЧИРКОВ, инж.

Сарапульский политехнический институт – филиал ИжГТУ

Использование основных признаков нанотехнологии в технических системах

Технологические основы возбуждения избирательного переноса на контактирующих поверхностях импрегнированного круга и обрабатываемой детали. Основу контактно-эрозионного избирательного способа шлифования составляют трибо-электро-физико-химические процессы, поэтому причину активизационной способности контактирующих поверхностей импрегнированного круга и шлифуемой детали в ускорении или замедлении реакций и процессов, которые "ответственны" за реализацию диффузионных процессов, связанных с переносом импрегнатора на обрабатываемую поверхность, удобнее рассматривать с точки зрения основных положений возбуждения избирательного переноса (ИП) в контактирующих поверхностях [1].

Эффективность процесса обработки импрегнированными кругами зависит от факторов стимулирования ИП, которые можно подразделить на пять групп [1—3]:

- трибо-электро-физико-химические;
- режимные (силы резания и их колебания, скорость скольжения, коэффициент трения, температура в зоне контакта, наличие СОТС;
- кинематические (направление скольжения, амплитуда и частота при реверсивном скольжении частиц импрегнатора в зоне контакта с обрабатываемой деталью);
- конструкторско-технологические (механические и технологические свойства обрабатываемой поверхности детали, импрегнатора, структура абразивно-алмазного круга, способ обработки импрегнированными кругами и коэффициент перекрытия, состав СОТС);
- эксплуатационные (импрегнатор, используемый в алмазно-абразивном инструменте, структура, состав, физические и химические свойства импрегнатора, обрабатываемого материала, алмазно-абразивного инструмента и наличие внешней электрической цепи для подачи напряжения в зону контакта; способ очистки и охлаждения импрегнированного круга).

Теоретические исследования трибо-электро-физико-химического фактора при обработке импрегнированным алмазно-абразивным инструментом. *Трибоэлектрический критерий.* При обработке импрегнированным кругом в месте контакта алмазно-абразивного зерна и обрабатываемой детали в процессе трения возникают электрические заряды, перераспределяющиеся на контактирующих

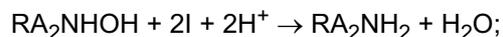
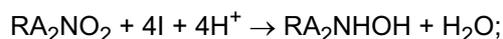
поверхностях тел. В зависимости от химического состава контактирующих материалов (алмазно-абразивное зерно—обрабатываемый материал—связка алмазно-абразивных зерен—импрегнатор) их можно расположить в трибоэлектрические ряды, в которых предыдущий материал электризуется положительно, а последующие — отрицательно (ряд Фарадея: (+), например, алмазно-абразивное зерно—обрабатываемый металл—связка (керамическая—металлическая—бакелитовая)—импрегнатор (металл—сера) (–)).

Трибофизический критерий. Возникновение и протекание ИП при обработке зависят от физических свойств взаимодействующих материалов, состава и структуры контактирующих материалов (атомной структуры кристаллической решетки и вида межатомного взаимодействия, дефектов кристаллической решетки, плотности, диэлектрической восприимчивости, электропроводности, магнитной проницаемости и т. д., связи между физическими полями и свойствами кристаллов — пьезоэлектрического эффекта).

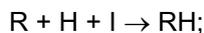
Трибохимический критерий. Трибохимический критерий определяется термодинамической функцией состояния термодинамических потенциалов при изменении числа частиц в системе. При обработке с подводом СОТС в зоне резания в химическую реакцию могут вступать только молекулы, которые в момент столкновения имеют запас внутренней энергии не ниже определенной величины E — энергии активации [4]. В соответствии с современными представлениями, разработанными акад. Ребиндером, поверхностно-активные вещества (ПАВ) характеризуются физической адсорбцией, поверхностными электрохимическими реакциями без образования самостоятельной хемосорбционной фазы, хемосорбцией с образованием самостоятельной базы.

В системе металл—вода—ПАВ—наполнительно-углеродная среда (СОЖ) возможны следующие реакции, протекающие в поверхностном слое:

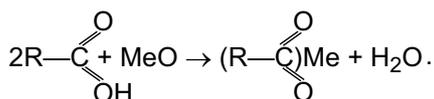
— катодный процесс восстановления органических ПАВ в кислой или щелочной среде, например, восстановление нитросоединений в аминокислой среде на металлах с высоким перенапряжением водорода по схеме



— катодное восстановление радикалов в устойчивые углеводородные соединения



— реакции анодного окисления органических соединений, а также растворение хемосорбционной пленки



Наиболее важным и существенным для процесса шлифования импрегнированным алмазно-абразивным инструментом является образование на рабочих поверхностях инструмента плотного слоя молекул ПАВ, который создает своего рода пленку, предохраняя алмазно-абразивные зерна и мостики связи от воздействия высоких температуры и давления в зоне резания. При этом микротвердость абразивных зерен, прочность связи зерен и инструмента в целом не снижаются, а силы резания снижаются и соответственно уменьшается износ круга.

Требования к процессу взаимодействия импрегнатора с шлифуемым материалом. Экспериментальные исследования и моделирование взаимодействия импрегнаторов с металлом и алмазно-абразивным инструментом позволили выработать определенные требования к физическим и химическим свойствам импрегнаторов. В зависимости от технологии нанесения импрегнатора, последний должен обладать, например при пропитке, малым поверхностным натяжением и низкой температурой плавления, а для высокой эффективности своего воздействия — низкоэнергетической интенсивностью химического взаимодействия со шлифуемым металлом (теплота химических реакций должна быть близка к поверхностной энергии шлифуемого металла). Таким требованиям удовлетворяют углеводород и кремний — органические соединения с функциональными группами активных элементов 4-й—7-й групп таблицы Менделеева. При использовании в качестве импрегнатора металлических соединений к ним предъявляются следующие требования: высокая дисперсность частиц на рабочих поверхностях инструмента, наличие разноименных энергетических поверхностных потенциалов шлифуемого материала и импрегнатора, высокие диффузионные и карбидообразующие способности.

Импрегнаторы оказывают как непосредственное (контактное), так и косвенное (через изменение объемных свойств инструмента) влияние на процесс шлифования. Непосредственное влияние проявляется в смазочном действии импрегнаторов, определяемое контактными физико-химическими процессами. Вероятный механизм контактного действия импрегнатора складывается из его разложения (распада), физической адсорбции на обрабаты-

ваемую поверхность металла и химического взаимодействия с ним продуктов распада. Суммарный эффект контактного действия проявляется в снижении трения. Косвенное влияние проявляется в уменьшении тепловой напряженности процесса (вследствие повышения теплофизических свойств алмазно-абразивного инструмента) и снижении интенсивности колебательных процессов (из-за повышения массы, жесткости и демпфирующей способности алмазно-абразивного круга как элемента упругой колебательной системы СПИД).

Таким образом, термодинамическая система алмазно-абразивное зерно—связка—импрегнатор—СОТС—обрабатываемая деталь (АЗСИСОД) должна отвечать следующим требованиям.

Трибоэлектрический критерий должен быть подобран из условия перераспределения равноименных зарядов в системе АЗСИСОД ((+) (–) обрабатываемый материал — (–) (+) импрегнированный круг).

Трибофизический критерий должен быть подобран из условия образования в зоне контакта системы АЗСИСОД разноименных энергетических поверхностных потенциалов материалов, обусловленных кристаллической структурой и наличием дефектов, физическими и химическими составами веществ. Наиболее благоприятным процесс протекания ИП в зоне контакта будет при наличии разноименных энергетических поверхностных потенциалов обрабатываемого материала — импрегнатора и связи абразивных зерен. При наличии одноименных энергетических поверхностных потенциалов детали и импрегнатора наибольший потенциал по возможности должен иметь обрабатываемый материал, при этом коэффициент теплопроводности и электрической проводимости импрегнатора должен быть выше, чем обрабатываемой детали.

Трибохимический критерий: узел трения с точки зрения термодинамики может быть открытой (ИП) или закрытой, изолированной (применение СОЖ) неравновесной системой. При открытой системе существует обмен энергией и веществом с внешней средой (при использовании СОЖ в зоне резания — только энергией). Неравновесность процессов в системе возникает при наличии между ее частями разности значений таких параметров, как температура, давление, концентрация, электрический потенциал. Закрытая термодинамическая система может существовать в металле в результате протекания диффузии, определяющей кинетику и механизм превращения в металлических системах.

Уравнение диффузии, как и уравнение теплопроводности и электропроводности, является уравнением переноса. В закрытых системах при отсутствии переноса возможно возрастание энтропии — накопление дислокаций, приводящее в конечном счете к разрушению структуры. Выход дислокаций,

диффузионно-восходящих в зоне насыщения вакансиями, может осуществляться свободно, незадержано. В такой зоне существует источник вакансий, а свободная поверхность под диффузионной зоной является стоком не только дислокаций, но и "избыточных" атомов, возникающих в диффузионной зоне и направленных во внешнюю среду, что делает систему открытой.

Перенос энергии и атомов к поверхности контакта обуславливает каталитическое взаимодействие атомов с лигандами (продуктами деструкции импрегнатора и СОЖ) и образование координационных соединений. Последние в момент сдвига играют роль смазочного материала. При повышении температуры их распад вне зоны резания на ион и лиганд приводит к возвращению иона в место контакта под действием электрического поля при электрофорезе.

Если импрегнатор — соединения серы, которые при высоких температуре и давлении разлагаются и вступают в реакцию с поверхностью металла, то на ней образуются пленки сульфида железа. Эти пленки предотвращают металлический контакт, уменьшают силы резания, понижают трение, препятствуют повышению температуры. Пленка оказывает слабое сопротивление срезу, срывается и восстанавливается вновь. Смазывающая способность сульфидов сохраняется до 800 °С. При температуре выше 800 °С пленки ведут себя как твердые смазочные материалы. Действие присадок не эффективно, если металл не вступает в реакцию с активной частью импрегнаторов и присадок СОЖ. Например, платина и серебро вступают в реакцию с серой (см. трибофизический критерий). Карбидообразующие соединения в поверхностном слое обрабатываемой детали при обычном режиме шлифования не образуются.

Критерий механических свойств обрабатываемого материала и импрегнатора: твердость шлифуемого металла должна быть выше, пластичность, вязкость и температуропроводность — ниже, а шероховатость обрабатываемых поверхностей равна либо меньше, чем у импрегнатора. Наиболее прогрессивный метод шлифования — обработка импрегнированным кругом, который получен пропиткой органическими и неорганическими импрегнаторами. Этот процесс наиболее изучен по сравнению с процессом обработки, где в качестве импрегнатора в абразивно-алмазном круге используют неорганические и металлические вещества, вводимые при изготовлении импрегнированного инструмента. На процесс возникновения пластифицирующей пленки в зоне контакта влияет коэффициент перекрытия (при обработке торцом круга и алмазно-абразивными брусками при суперфинишировании) и радиус кривизны (при обработке периферией круга). Введение в состав СОЖ дополнительных ком-

понентов позволяет интенсифицировать процесс образования пленок и возникновения ИП в приграничных слоях контактирующих тел.

Наличие дополнительного источника энергии, потенциал которого совпадает с энергетическим поверхностным потенциалом шлифуемого металла и трибоэлектрическим зарядом на обрабатываемой поверхности, а противоположный потенциал дополнительного источника энергии — с энергетическим поверхностным потенциалом импрегнатора и связки, позволит ускорить диффузионный процесс возбуждения. Для стабилизации процесса обработки необходимо импрегнированный круг очищать в процессе шлифования, поддерживать стимулирующую роль энергетических потенциалов для возбуждения ИП в зоне контакта. Анализ критериев и результатов проведенных экспериментальных исследований с использованием внезонного способа очистки и охлаждения импрегнированного круга показал, что производительность процесса обработки повысилась в 1,5—4,0 раза, стойкость импрегнированного круга увеличилась в 4 раза, параметр шероховатости уменьшился на 1—2 порядка, запыленность и загазованность при обработке снизилась в несколько раз.

Обработка материалов импрегнированными абразивно-алмазными инструментами. Обработка резанием большой группы современных материалов (твердых сплавов, керамики, ферритов, кремния и др.), а также чистовая обработка тугоплавких сплавов и других труднообрабатываемых материалов возможна практически только абразивными и алмазными инструментами.

Около 80 % энергии, затрачиваемой на шлифование, обычно переходит в теплоту. Основная часть образующейся теплоты уносится стружкой, часть остается в обрабатываемой детали, а часть уходит в абразивный инструмент или окружающую среду.

При шлифовании различают следующие основные значения температуры:

— среднюю установившуюся температуру поверхности детали, изменяющуюся в пределах 20—400 °С в зависимости от режима шлифования, размеров детали и условий охлаждения;

— мгновенную контактную температуру в зоне резания, изменяющуюся в пределах 150—1200 °С;

— мгновенную температуру резания отдельными абразивными зёрнами, изменяющуюся от 100 °С до температуры плавления шлифуемого металла.

Высокие значения мгновенной температуры в зоне резания приводят к изменению структуры поверхностного слоя детали, появлению тепловых и остаточных деформаций, прижогов и трещин, возникающих в процессе шлифования [5]. Прижоги и трещины возникают в основном при шлифовании закаленных деталей, имеющих высокую твердость и проч-

ность, или появляются на деталях, изготовленных из металлов с низкой теплопроводностью. Под влиянием выделяющейся при шлифовании теплоты в поверхностных слоях происходит разложение мартенсита, приводящее к уменьшению его объема и, следовательно, к трещинам. Скорость структурных превращений зависит от глубины поверхностного слоя, что приводит к возникновению сетки шлифовочных трещин. Прижоги уменьшают твердость и износостойкость поверхностного слоя детали, поэтому необходимо стремиться к уменьшению теплоты, образующейся при шлифовании, или рациональному перераспределению выделяющейся теплоты в зоне контакта за счет правильного подбора системы абразивно-алмазное зерно—связка—импрегнатор—СОТС—обрабатываемая деталь. Общее количество теплоты Q , выделяющейся при шлифовании, [6]

$$Q = Q_d + Q_c + Q_i + Q_k + Q_{COЖ},$$

где Q_d , Q_c , Q_i , Q_k , $Q_{COЖ}$ — количество теплоты, уходящей в деталь, со стружкой, в импрегнатор, круг и СОЖ соответственно.

При этом следует учитывать, что работоспособность абразивно-алмазного инструмента зависит от его стойкости. Износ же инструмента в зависимости от условий шлифования может проявляться в следующем [5]:

— зерна, слабо удерживаемые связкой или неправильно ориентированные на поверхности, вырываются из связки под действием силы резания. Такой "вырыв" может происходить либо по связке, либо за счет объемного разрушения зерен;

— режущие грани и вершины наиболее выступающих абразивных зерен частично обламываются, частично истираются и сглаживаются вследствие трения об обрабатываемый металл. На поверхности абразивных зерен появляются плоские площадки износа, затрудняющие их внедрение в металл;

— снимаемая стружка вместе с продуктами износа абразивных зерен и связки попадает в поры круга и постепенно их заполняет;

— обрабатываемый материал вследствие схватывания или химического взаимодействия с материалом абразивных зерен прилипает к вершинам и площадкам абразивных зерен.

В зависимости от характера и величины внешних сил, приложенных к абразивной частице, в обрабатываемом материале возникают механические деформации, которые могут быть обратимыми и необратимыми. Пластическая деформация металла в зоне резания абразивно-алмазными зернами силами резания приводит к возникновению остаточных напряжений сжатия. Наряду с этим проявляется воздействие и термического фактора: высокая температура в условиях неравномерного нагрева поверхностного слоя по глубине первоначально вызывает напряжения сжатия, которые после остывания

приводят к возникновению остаточных напряжений растяжения, достигающих обычно своего максимума не на поверхности, а на некоторой глубине (примерно 5—20 мкм). Остаточные напряжения растяжения особенно опасны, так как они сопровождаются появлением трещин в поверхностных слоях.

Выкрошивание абразивных зерен, их затупление и засаливание рабочей поверхности круга приводят к искажению первоначальной геометрической формы круга, снижению его режущей способности, возникновению вибраций и появлению характерных шумов, ухудшению качества шлифуемой поверхности и снижению точности обработки. Для устранения этих недостатков наиболее эффективным решением является обработка материалов импрегнированным абразивно-алмазным инструментом с последующим охлаждением и очисткой рабочей поверхности инструмента в процессе резания [7].

Технология изготовления импрегнированного алмазного (абразивного) инструмента заключается в насыщении алмазного порошка частицами металла на установке УВНР-450Э. Абразивную массу смешивают с напыленным алмазным порошком, абразивный инструмент прессуют в электромагнитном поле, после чего осуществляют его термическую обработку. Под действием электромагнитного поля ионизированные частицы металла (в зависимости от электромагнитных свойств материала) ориентируются в алмазном слое, выстраиваясь в цепочку от центра круга к периферии.

Образцы из стали 45 (40—45 HRC) исследовали при их обработке кругами двух типов: стандартным марки 25A25CM2K ($\Phi = 200$ мм — (СК)) и импрегнированным абразивным ($\Phi = 200$ мм — (ИК)).

Образцы размером $30 \times 30 \times 15$ мм обрабатывали на плоскошлифовальном станке 3М71 при продольной подаче $v = 10$ см/с, частоте вращения шпинделя $n = 283$ об/мин, глубине шлифования $t = 0,2$ мм, $Ra = 0,63$ мкм. Примем коэффициент теплоотдачи для стали 45 $a = 0,1$ см²/с, для импрегнированного круга $a_{ИК} = 0,06$ см²/с (при условии, что количество абразивных зерен в объеме круга составляет не более 74 % вероятности того, что цепочки из ориентированных частиц металла не будут сплошными). При обработке использовали внезонный способ охлаждения и очистки стандартного и импрегнированного кругов.

Для определения доли теплоты, уходящей в круг и деталь, рассмотрим температурное поле, возникающее при плоском шлифовании детали, не прогреваемой на всю глубину за один рабочий ход [8].

Уравнение теплопроводности для рассматриваемого случая:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + v \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right).$$

После преобразований окончательное решение данного уравнения примет вид:

$$T(x_0; z_0) = \frac{2ga}{\pi\lambda_0 v} \int_{z_0-H}^{z_0+H} \exp(-\xi) K_0(\sqrt{x_0^2 + \xi^2}) \times \\ \times \left\{ \frac{\int_0^\infty \exp(-\beta x_0) K_0(\sqrt{x_0^2 + \xi^2}) dx_0}{K_0(\sqrt{x_0^2 + \xi^2})} \right\} d\xi,$$

где x_0, z_0 — безразмерные координаты, равные соответственно $\frac{v(x+x_1)}{2a_0}, \frac{v(z+z_1)}{2a_0}$; H — безразмерная

полуширина источника, равная $\frac{vh}{2a_0}$; β — безразмерный комплекс, характеризующий интенсивность теплообмена и равный $\frac{2\alpha a_0}{\lambda_0 v}$; K_0 — функция Бесселя

второго ряда нулевого порядка; a_0 — общий коэффициент температуропроводности детали и импрегнированного абразивно-алмазного инструмента, равный $a + a_{ИК}$; λ_0 — коэффициент пропорциональности, характеризующий теплопроводность детали и импрегнированного абразивно-алмазного инструмента, равный $\lambda + \lambda_{ИК}$; g — плотность теплового потока; v — скорость вращения; s — подача детали.

После соответствующих преобразований определим количество теплоты, уходящей в деталь и импрегнированный круг:

$$\alpha = \frac{\lambda}{1,25\lambda_{ИК} \left(\sqrt{\frac{\omega}{hv_{ИК}} + 1} \right) K_p};$$

$$\alpha_{ИК} = \frac{\lambda_{ИК}}{1,25\lambda \left(\sqrt{\frac{\omega_{ИК}}{hs} + 1} \right) K_p};$$

$$\alpha \approx 0,7; \alpha_{ИК} \approx 0,3; Q_d \approx 70 \%; Q_{ИК} \approx 30 \%,$$

где λ_d и $\lambda_{ИК}$ — коэффициенты теплопроводности детали и ИК соответственно; h — средний радиус площадки контакта зерна с деталью; ω — скорость изменения температуры в детали; $\omega_{ИК}$ — скорость изменения температуры в ИК; K_p — коэффициент разности высотности зерен на рабочей поверхности круга.

Таким образом, комплексный характер исследования позволяет оценить влияние импрегнирования на параметры качества по результатам шлифования стали 45 импрегнированным и стандартным инструментами. После шлифования ИК микротвердость снижается с 8000 до 5000 МПа. В стали 45, шлифованной ИК, на глубине 30 мкм наблюдается

небольшое повышение микротвердости. При шлифовании ИК общий размер напряженной зоны снижается в 2 раза, причем в наибольшей степени уменьшаются величина и зона распространения растягивающих напряжений. Микронапряжения в слое толщиной до 20—25 мкм образцов, шлифованных СК, возрастают в 10 раз, а в шлифованных ИК уменьшаются в 6 раз. Размер блоков шлифовочных трещин в слое толщиной до 15 мкм после шлифования ИК в 2 раза меньше. Микроструктура стали — мартенсит.

Очевидно, чем больше отводится из зоны резания теплоты в импрегнированный круг, тем выше качественные и эксплуатационные характеристики поверхностного слоя обрабатываемых материалов. На основании анализа проведенных исследований разработаны технология гальванического хонингования глубоких отверстий деталей, финишные электроэрозионная обработка шариковых и роликовых дорожек подшипников шарошки буровых долот и антифрикционная безабразивная обработка гильз цилиндров автомобильных двигателей, а также конструкции шарошечных долот и скваженных насосов для нефтегазодобывающей промышленности [9].

Финишная электроэрозионная обработка шариковых и роликовых дорожек подшипников шарошки буровых долот. Анализ отказов газонефтедобывающего оборудования показывает, что его слабым звеном является долото, недолговечность которого объясняется низкой стойкостью поверхностей дорожек подшипников его шарошки и лапы, определяемой технологией изготовления последних. Разработанная технология электроэрозионного избирательного шлифования поверхностей шариковых и роликовых дорожек подшипников шарошки долота отличается от типовой заводской тем, что обработку поверхностей дорожек подшипников шарошки и лапы выполняют на одной установке — специальном четырехшпиндельном шлифовальном станке импрегнированными инструментами.

Алгоритм последовательности циклов окончательной шлифовальной обработки в приспособлении станка приведен на рис. 1. Материал шарошки — сталь 18ХНЗА, твердость обрабатываемых поверхностей 52—62 HRC (сталь чувствительна к температурным воздействиям, с чем связаны структурные изменения в поверхностном слое и появление растягивающих напряжений). Схема обработки: электрошпинделем 1 с импрегнированным шлифовальным кругом 2 обрабатывают первую поверхность (рис. 2, а). Режимы резания: $S = 0,0059$ мм/дв. ход.; линейная скорость вращения импрегнированного круга $v = 70$ м/с. Режущий инструмент — абразивный круг ПП25А40НСТК1Б, насыщенный частицами меди.

Электрошпинделем 1 с импрегнированным шлифовальным кругом обрабатывают вторую поверхность (рис. 2, б). Режимы резания: $S = 0,003$ мм/дв. ход.;

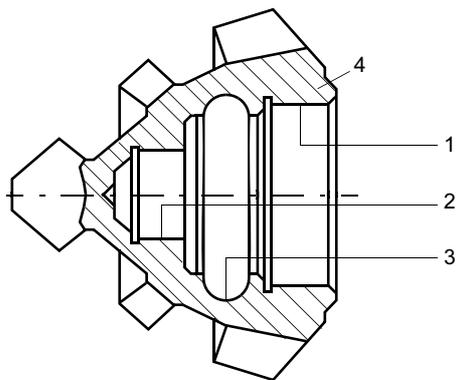


Рис. 1. Последовательность циклов окончательной шлифовальной обработки при одной установке шарошки: 1—3 — обрабатываемые поверхности; 4 — шарошка

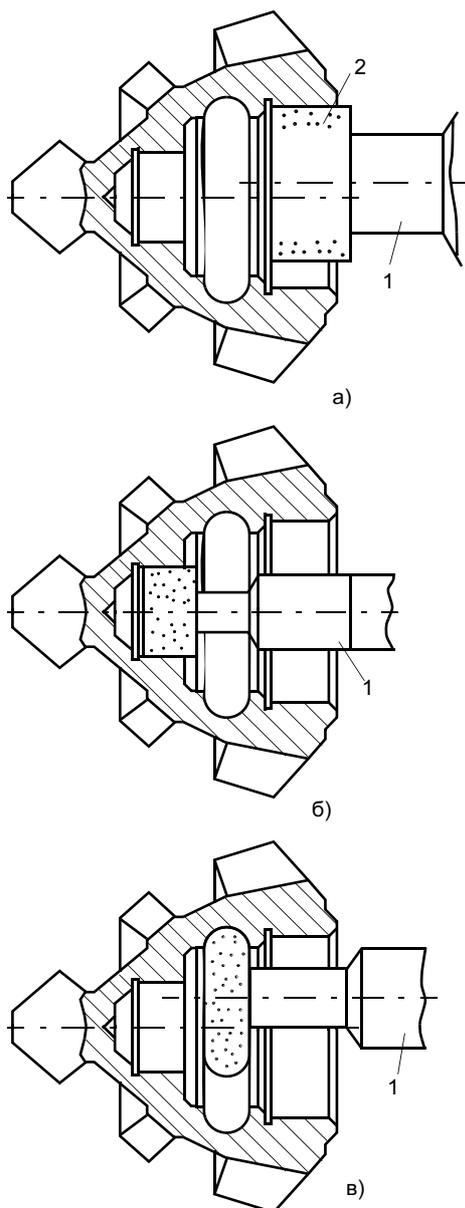


Рис. 2. Шлифовальная обработка первой (а), второй (б) и третьей (в) поверхностей

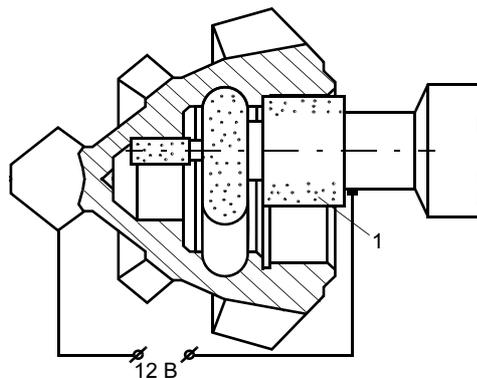


Рис. 3. Электроэрозионное избирательное шлифование импрегнированным алмазным блоком всех трех поверхностей

$n = 242$ об/мин; $v = 75$ м/с. Режущий инструмент — импрегнированный абразивный круг ПП25А40НСТК1Б, насыщенный частицами меди.

Электрошпинделем 1 проводят шлифовальную обработку третьей поверхности (рис. 2, в). Режимы резания: глубина резания $t = 0,02$ мм; $n = 242$ об/мин, $v = 175$ м/с. Режущий инструмент — абразивный круг ПП25А40НСТК1Б, насыщенный частицами меди.

С помощью электрошпинделя импрегнированным алмазным блоком 1 осуществляют электроэрозионное избирательное шлифование (ЭЭИШ) всех трех поверхностей (рис. 3). Режимы обработки: $t = 0,01$ мм; $n = 242$ об/мин; $v = 70$ м/с; напряжение в зоне резания $U = 12$ В; плотность тока $25\text{—}50$ А/м². Точность обработки по данной технологии повышается на 1—2 квалитета.

После обработки ЭЭИШ образцы шариковых и роликовых дорожек подшипников исследовали методами металлографии и рентгеноструктурного анализа. В процессе исследований установлено отсутствие заметных изменений в поверхностном слое обработанных поверхностей по сравнению с глубинными слоями. При этом увеличивается влияние теплового фактора на формирование физико-механических свойств поверхностного слоя детали вследствие введения разрядов в зону резания, являющихся дополнительным источником теплоты и катализатором диффузионных процессов в зоне контакта системы алмазное зерно—связка между зернами—импрегнатор—СОТС—обрабатываемая деталь. При этом отвод теплоты с обрабатываемой поверхности детали увеличивается за счет температурных мостиков частиц меди, полученных в процессе изготовления алмазного блока.

Измерения показали, что при шлифовании стандартными абразивными кругами микронапряжения в слое уменьшаются в 6 раз. Параметр шероховатости обработанных поверхностей шариковых и роликовых дорожек подшипников шарошки снижается в среднем на порядок и составляет 0,63 мкм. За счет обработки поверхностей дорожек подшипников шарошки и лапы долота на одной установке и приведенной последователь-

ности циклов обработки повышается точность изготовления, а следовательно долговечность долота и производительность труда.

Финишная антифрикционная безабразивная обработка гильз цилиндров автомобильных двигателей. Среди разнообразных методов финишной обработки зеркала цилиндра двигателей автомобилей ведущее место занимает финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО). Перед ФАБО поверхности предварительно обрабатывают шлифованием, развертыванием или растачиванием, в некоторых случаях (в ответственных деталях) — хонингованием. ФАБО позволяет решить ряд технических задач: получение высокой точности размеров с наличием слоя наносимого материала на обработанную поверхность отверстия (5—6 квалитет); малая шероховатость обработанной поверхности ($Ra = 1,25 \pm 0,08$ мкм); исправление погрешностей формы; сокращение времени приработки и устранение задиров в процессе приработки цилиндропоршневой группы; уменьшение износа цилиндров и поршневых колец в начальный период их работы (в течение 10—12 ч) составляет 10—15 % последующего износа при использовании всего ресурса двигателя; повышение износостойкости зеркала цилиндра примерно в 1,3 раза по сравнению с другими методами обработки.

Обработку зеркала цилиндра рассматриваемым методом осуществляют с помощью головки с гидравлическим приводом (рис. 4), которая вращается под давлением раствора, подаваемого через трубопровод в отверстия 3, расположенные под углом к радиальным каналам 7 втулок 4. Бронзовые наконечники 8 прижимаются к обрабатываемой поверхности цилиндра пружинами 9 и центробежными силами, возникающими при вращении втулок.

Процесс ФАБО заключается в следующем. Раствор с поверхностно-активными веществами (ПАВ), например 2/3 части глицерина + 1/3 часть раствора соляной кислоты, под давлением из трубопровода через канал корпуса 1, распылитель 5 и его каналы 6 поступает в кольцевые канавки 12 втулок 4, на концах которых установлены бронзовые наконечники 8, далее через радиальные каналы 7 в выходные каналы 3. Смещенные относительно друг друга радиальные каналы создают вращающий момент, обеспечивая тем самым вращение втулок в разные стороны. Струи раствора, выходящие из каналов 3 втулок, при взаимодействии дробятся на мелкие частицы, образуя равномерный факел распыла. Схема ФАБО зеркала цилиндра автомобильных двигателей приведена на рис. 5.

Режимы обработки отверстия цилиндра из стали 40 (35—40 HRC) диаметром 50 мм, длиной 200 мм; параметр шероховатости предварительно обработанной поверхности отверстия $Ra = 2,5$ мкм: давле-

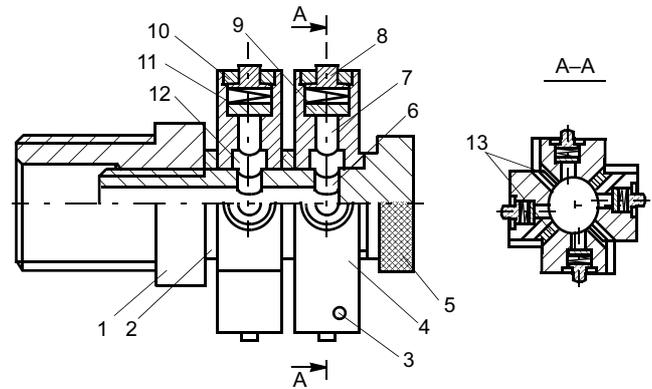


Рис. 4. Сборочный чертеж головки

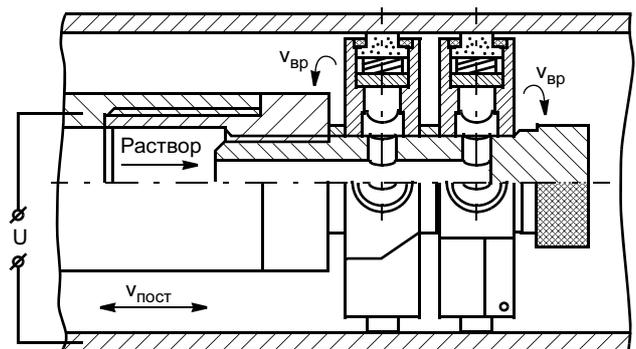


Рис. 5. Схема обработки ФАБО отверстий гильз цилиндров

ние раствора в трубопроводе 0,6—1,0 МПа; температура раствора в зоне обработки 30—50 °С; удельное давление на наконечник до 0,05 МПа; скорость вращения головки до 0,1 м/с; скорость поступательного движения головки до 0,05 м/с.

После предварительной обработки в поверхностном слое отверстия цилиндра возникают внутренние напряжения и появляются сетки шлифовочных трещин (образуется блочная структура). При ФАБО раствор под давлением поступает в зону обработки и вымывает "шлаки" из межзеренного пространства поверхностного слоя отверстия цилиндра, очищая тем самым межзеренное пространство от соединений водорода, углерода и других примесей. При этом увеличивается поверхностный энергетический потенциал обрабатываемого материала цилиндра, а в местах, откуда вымыты "шлаки", образуются энергетические неустойчивые "вакуумные ячейки" с небольшим поверхностным потенциалом по сравнению с потенциалом обрабатываемой поверхности цилиндра. Применение ПАВ в растворе позволяет интенсифицировать процесс заполнения "вакуумных ячеек" и нанесения тонкого слоя бронзы на обрабатываемую поверхность отверстия цилиндра. Поверхностный энергетический потенциал

материала наконечников и ПАВ по знаку по возможности должен быть противоположным по отношению к обрабатываемому материалу цилиндра. Величина и знак потенциала обрабатываемого материала, потенциалов материалов наконечника и ПАВ сравниваются с потенциалом водорода [10]. В результате исследований поверхностного слоя обработанного отверстия цилиндра установлено, что толщина антифрикционного слоя бронзы и меди составила 2—4 мкм, $Ra = 0,64 \pm 0,32$ мкм; твердость по Виккерсу 5000—6000 МПа.

Использование эффекта безызносности в шарошечных долотах. Анализ отказов нефтегазового оборудования показывает, что слабым звеном буровых долот является шарошка. Одна из причин поломки шарошки — смятие шариков и роликов подшипников долота, приводящее к расколу шарошки. В Сарапульском политехническом институте разработана конструкция шарошечного долота, позволяющая увеличить долговечность последних. Недостатком предыдущих устройств является низкая долговечность из-за отсутствия циркуляции металлоплакирующей смазки в зоне контакта между полусферическими поверхностями шарошки и лапы.

На рис. 6 приведено шарошечное долото, состоящее из лапы 1 с цапфой 5, поверхность которой выполнена в виде полусферы, шарошки 8, размещенной на лапе при помощи замкового подшипника каче-

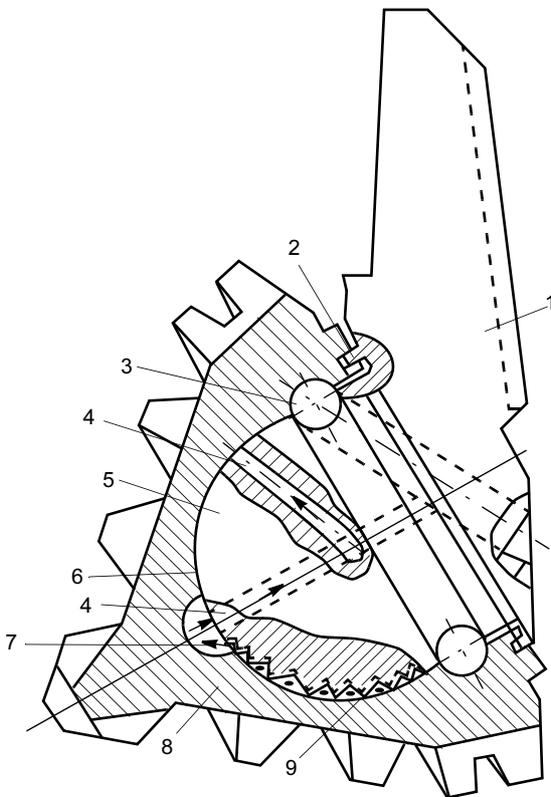


Рис. 6. Шарошечное долото

ния 3. В цапфе расположены каналы 4 для подачи смазки через рифления 9 на сферической поверхности цапфы, из резервуара 7, между сопрягаемыми поверхностями полусфер шарошки и цапфы находится слой медной пленки 6, а между лапой и шарошкой выполнено лабиринтное уплотнение 2. Вращение от буровой через корпус долота передается лапе и шарошке, которая, вращаясь вокруг оси, внедряется в грунт и производит бурение скважины. Вращение шарошки вокруг своей оси сопровождается трением между контактными поверхностями полусфер шарошки и цапфы, за счет трения разогревается нанесенный слой сплава меди. Подача смазки в зону контакта производится через каналы и рифления, за счет центробежных сил создается ее давление в зоне контакта. При разности поверхностных потенциалов между медным (+) и железным сплавами (-) частицы меди переходят на поверхность цапфы (или шарошки); достигается нескомпенсированная поверхностная структура сплава железа (потенциал частиц увеличивается еще больше при повышении температуры в зоне контакта), и компоненты, находящиеся в сплаве железа, переходят в зону контакта, оседая в рифлениях. Между контактными поверхностями образуется тонкий слой медной пленки (атомарный слой), который дополнительно выполняет роль смазки; образованный равномерный слой медной пленки на всей контактной поверхности обеспечивает высокую контактную жесткость. Высокая точность изготовления сопрягаемых поверхностей шарошки и цапфы позволяет наносить тонкий слой (0,01—0,02 мм) меди (или сплава меди). При сборке погрешность изготовления компенсируется, т. е. в случае нанесения толстого слоя меди при повороте шарошки вокруг своей оси и оси цапфы лишний слой меди оседает в рифлении цапфы и в дальнейшем поступает в углубления шариковой дорожки замкового подшипника качения, компенсируя зазоры последнего. Процесс изготовления и сборки значительно упрощается, повышаются производительность и точность изготовления, возрастает долговечность долота. Применение в конструкции упроченного лабиринтного уплотнения 2 между шарошкой и лапой (покрытие СВ-синтез) значительно снижает вероятность попадания грунта в зону контакта, повышая тем самым долговечность долота. Конструкция долота проста в изготовлении, надежна в работе и значительно превышает сроки службы аналогичных долот. В конструкции предусмотрено решение, при котором сферическая поверхность шариковой дорожки замкового подшипника качения переходит в цилиндрическую, что повышает жесткость долота.¹

¹ Патент 2019673 (РФ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чирков Г. В. Эффективность процесса обработки импрегнированными кругами при контактно-эрозионном избирательном шлифовании // СТИН. 1996. № 6. С. 36.
2. Гаркунов Д. Н. Триботехника. М.: Машиностроение, 1985. 424 с.
3. Пахалин Ю. Н. Алмазное контактно-эрозионное шлифование. Л.: Машиностроение, 1985. 177 с.
4. Клименко В. А., Степанов В. И. Повышение эксплуатационных свойств абразивного инструмента импрегнированием / Обзор. Серия XII. Подшипниковая промышленность. М.: НИИАвтопром. 1979. С. 57.
5. Попов С. А., Дибнер Л. Г., Каменович А. С. Шлифование деталей и заточка режущего инструмента. М.: Высшая школа, 1975. 311 с.
6. Чирков Г. В. Факторы, влияющие на качество обрабатываемой поверхности при контактно-эрозионном избирательном шлифовании // Тяжелое машиностроение. 1997. № 11. С. 34—37.
7. Чирков Г. В. Внезонный способ очистки импрегнированного шлифовального круга // Техника машиностроения. 1996. № 3. С. 33—34.
8. Чирков Г. В. Расчет теплового баланса при алмазном шлифовании с нанесением активных импрегнаторов // Техника машиностроения. 2000. № 3. С. 76—79.
9. Чирков Г. В. Способ и устройство гальванического хонингования глубоких отверстий деталей // Инженерная экология. 2001. № 2. С. 60—61.
10. Чирков Г. В. Финишная безабразивная обработка гильз цилиндров автомобильных двигателей // Техника машиностроения. 2001. № 4. С. 30—31.

В. А. СЕНИН, д-р техн. наук
(Севмашвуз, филиал СПбГМУ),
В. Г. ДРОНДЕЛЬ, инж.
(ФГУП "Севмаш")

Совершенствование технологии промывки гидравлических систем

Рост требований к эксплуатационной надежности и долговечности судовых систем и их оборудования способствует ужесточению требований к чистоте внутренних полостей систем (ВПС) и рабочих жидкостей. Наличие в рабочих средах даже небольшого количества посторонних примесей приводит к преждевременному износу механизмов и арматуры. В системах гидравлики, применяемых на современных судах, присутствие механических частиц загрязнений размером свыше 16 мкм опасно [1].

Для предупреждения возникновения и ликвидации технологических загрязнений предусмотрена очистка поверхностей деталей на этапах их изготовления, внутренних полостей при сборке оборудования, внутренних полостей оборудования и систем на этапе монтажа. Особого внимания заслуживает послемонтажная гидродинамическая очистка систем на завершающем этапе производственного процесса, когда полости изделий практически сформированы и очистке не поддаются. Отсюда вытекает необходимость разработки комплекса организационных мер и расчета режимов промывки на гидродинамических стендах. Как правило, при гидродинамической очистке 95 % вымываемых частиц имеют размеры более 0,1 мм. Наиболее трудно удалять абразивную и металлическую пыль и частицы с положительной плавучестью типа древесины и ткани.

Поскольку все судовые трубопроводные системы отличаются сложной разветвленной конфигурацией, значительной протяженностью и насыщенностью агрегатами и арматурой, достижение поставленной задачи становится невозможным без кардинального изменения существующих способов

промывки судовых систем. Это неизбежно ведет к увеличению трудоемкости очистки ВПС. Рекомендованная отраслевым стандартом промывка стационарным потоком рабочей жидкости либо не обеспечивает достижения необходимого уровня чистоты ВПС, либо существенно увеличивает продолжительность технологического процесса промывки.

В настоящее время используют следующие основные способы интенсификации процесса очистки ВПС: вибрационное или ультразвуковое воздействие на изделие или промываемую среду; барботаж промывочной среды; пульсацию давления и расхода промывочной среды. Увеличение расхода жидкости, являющееся наиболее простым и доступным способом интенсификации промывки, возможно производить лишь до определенных пределов, что связано с существенными техническими трудностями [1].

В плане реализации интенсивной промывки определенный интерес представляет комплексное воздействие на промывочную среду. Рассмотрим теоретические возможности комбинирования способов барботажа и пульсации давления промывочной среды. Для реализации барботажа необходимо создать смесь жидкости и газа, например, воды и воздуха. Известно, что в газовой смеси при сравнительно малом газосодержании скорость звука существенно уменьшается по сравнению с чистой водой [2]. Известно также, что переход от пузырьковой структуры к чистой жидкости в потоках больших скоростей, как правило, сопровождается мощными скачками уплотнения. Применительно к адиабатному двухфазному двухкомпонентному потоку для оценки интенсивности скачка давления, возник-

кающего в канале постоянного сечения с острой входной кромкой, получена зависимость [3]

$$\frac{p_2}{p_1} = 1 + k\beta M^2, \quad (1)$$

где p_1 , p_2 — давление смеси соответственно на входе и выходе из канала постоянного сечения, Па; k — показатель изэнтропы воздушно-водяной смеси; β — объемное газосодержание воздушно-водяной смеси; M — число Маха.

Особенно интенсивно отношение p_2/p_1 увеличивается тогда, когда в камере смешения реализуется однородный двухфазный поток, скорость которого больше локального значения скорости звука ($M > 1$). Частота пульсаций (скачков) давления газа (жидкости) определяется величиной критерия Струхала Sh , характеризующего периодические процессы, связанные с движением жидкости или газа [4]:

$$f = vSh/d, \quad (2)$$

где v — скорость потока, м/с; d — диаметр цилиндра (характерный размер), м.

Предлагаемая технология очистки может быть реализована следующим образом. Моющую жидкость предварительно газифицируют (осуществляют сатурацию) и подают насосом в трубопровод, в котором установлено устройство (вставка), работающее на сверхзвуковом скачке давления. В качестве такого устройства предлагается цилиндрический канал с острой входной кромкой [3]. В устройстве достигается получение однородной двухфазной смеси за скачком давления, который одновременно является скачком уплотнения, приводящим к схлопыванию газовых пузырьков. Одновременно с повышением давления происходит нагрев жидкости. Кроме того, сверхзвуковой скачок давления в трубопроводе является причиной пульсаций давления в трубопроводе, которая повторяется с определенной периодичностью. Таким образом, создаваемая за скачком давления однородная двухфазная смесь моющей жидкости и газа обеспечивает флотационный эффект и активно увлекает абразивную и металлическую пыль и частицы с положительной плавучестью. Периодически повторяющаяся пульсация давления и нагрев жидкости позволяют при небольших расходах моющей жидкости получить сравнительно высокий моющий эффект.

На рисунке приведено устройство для реализации данного способа, содержащее электрический двигатель 1, емкость 2, мешалку 3, насос 8, фильтр 7, вставку 6, очищаемый трубопровод 5, фильтр 4 и клапан 9 для подачи газа в емкость. При работе устройства газ через клапан вводится в моющую жидкость, находящуюся в емкости. Далее моющая жидкость лопастями мешалки с помощью электрического двигателя перемешивается с газом. Затем насосом моющая жидкость через фильтр 7 вводится в ци-

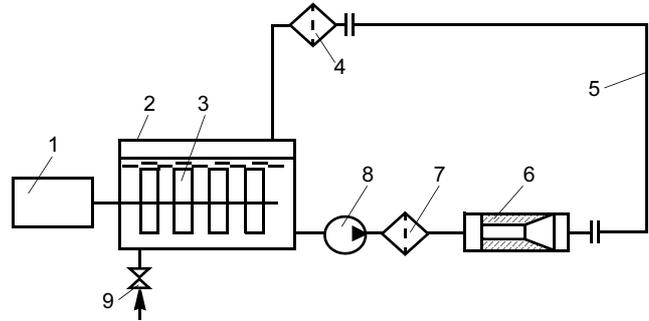


Схема стэнда для очистки моющей жидкости

Способ	Размер частиц, мкм				
	До 15	15—30	30—60	60—90	Более 90
Стандартный	720	315	118	42	21
Предложенный	185	112	58	28	15

линдрический канал с острой входной кромкой (вставка 6). В результате образования однородной двухфазной смеси и реализации трансзвукового режима течения возникает скачок давления. Этот процесс обеспечивает циркуляцию моющей жидкости по трубопроводу, нагрев моющей жидкости, флотационный эффект и периодически повторяющуюся пульсацию давления в моющей жидкости. Моющая жидкость, пройдя по трубопроводу, попадает через фильтр 4 в емкость, где происходит ее очистка от загрязнений.

В качестве технологического трубопровода в схеме (см. рисунок) использовали трубопровод диаметром 32 мм и длиной 30 м. В качестве моющей жидкости использовали воду, насыщаемую воздухом. Из трубопровода вымывали абразивную пыль. На практике поочередно используется стандартный и предложенный способ. В стандартном промывку осуществляют только движущимся потоком моющей жидкости, при этом из схемы стэнда исключена вставка, двигатель останавливается и прекращается подача воздуха через клапан. Через 40 мин промывки системы проводили гранулометрический анализ пробы моющей жидкости, результаты которого приведены в таблице.

Данные таблицы показывают, что при использовании предложенного способа интенсивность очистки существенно возрастает.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев Б. В. Очистка судовых систем от технологических загрязнений. Л.: Судостроение, 1977. 76 с.
2. Уоллис Г. Одномерные двухфазные течения. М.: Мир, 1972. 440 с.
3. Фисенко В. В. Сжимаемость теплоносителя и эффективность работы контуров циркуляции ЯЭУ. М.: Энергоатомиздат, 1987. 200 с.
4. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества. Л.: Машиностроение, 1989. 701 с.

А. А. АНТОНОВ, канд. техн. наук, О. Е. КАПУСТИН, д-р техн. наук
РГУНГ им. И. М. Губкина

Оптико-электронный интерферометр для измерения остаточных напряжений

Создание методики и аппаратуры для оперативной диагностики остаточных технологических напряжений в сварных соединениях считается сложной и актуальной проблемой в экспериментальной механике деформируемого твердого тела, решение которой, в совокупности с другими мероприятиями, позволит обеспечить существенное продление ресурса трубопроводов, снижение аварийности, совершенствование технологий изготовления и обработки материалов и конструкций в различных отраслях промышленности и на транспорте. Несмотря на то, что методы анализа остаточных технологических напряжений непрерывно разрабатываются на протяжении последних семидесяти лет, в этой области остается больше нерешенных вопросов, чем решенных.

Особенностью остаточных напряжений является то, что они самоуравновешены в конструкции и существуют в ней без воздействия внешних сил. Это в свою очередь выдвигает специфические требования к измерительным системам и методикам для определения компонент остаточных напряжений.

Первый этап — как проявить остаточные напряжения? Известны два пути: иметь достоверные зависимости физических характеристик материалов от параметров НДС и спровоцировать проявление внутренних напряжений при механическом воздействии на материал (разрезка на элементы, создание надреза, отверстия, вдавливание сферического тела и т. п.).

Первый путь используется в физических методах измерения остаточных напряжений (неразрушающие методы). Их применение для определения остаточных напряжений в сварных соединениях вызывает трудности, обусловленные структурной

неоднородностью, магнитными характеристиками материалов, состоянием поверхности и т. д.

Второй путь более универсален, так как базируется на положении, что модуль упругости материала постоянен и не зависит от его структуры. Основа — закон Гука. Из множества реализаций этого пути наиболее перспективными являются методы, использующие для регистрации проявлений остаточных напряжений лазерно-интерференционные методы [1].

Таким образом, система для измерения остаточных напряжений состоит из устройства для проявления напряжений и системы регистрации этого проявления (полей перемещений и деформаций).

Достижения в оптоэлектронике и лазерной технике стимулировали применение новых подходов при разработке аппаратуры для диагностики НДС конструкций с использованием ранних решений.

Первый прибор для измерения остаточных напряжений "ЛИМОН-1" создан в 1982 г. Аббревиатура "ЛИМОН" расшифровывается — "Лазерная интерферометрия. Метод определения остаточных напряжений" [2]. Конструктивно "ЛИМОН-1" представлял собой жесткую раму из алюминиевого сплава, на которой был установлен газовый лазер ЛГ-79-2, оптические элементы, составляющие интерферометр, электромагнитный затвор, блок управления и автоматики, кассета для фотопластинки и блок изъятия дозированного объема материала. Отдельно располагался блок питания источника когерентного излучения. Масса прибора составляла порядка 20 кг.

Прибор устанавливали на исследуемом изделии на трех твердосплавных конусных инденторах, что обеспечивало жесткую связь прибор—изделие на все время проведения замеров.

Оптическая схема прибора¹ приведена на рис. 1. Лазерный луч от источника 3 через поворотные зеркала 2 и окно вводится внутрь защитного корпуса прибора. Полупрозрачное зеркало 4 делит его на два луча: предметный (пропущенный зеркалом) и опорный (отраженный зеркалом) в соотношении 10 : 1. Далее предметный луч расширяется микрообъективом 5, отражается от зеркала 6 и проходит через линзу 7. Сформированная плоская волна под углом

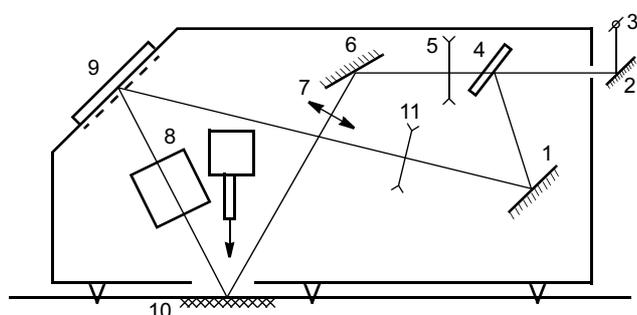


Рис. 1. Оптическая схема прибора "ЛИМОН-1"

¹ А. с. 953438 (СССР).

65° падает на исследуемый участок поверхности 10, диффузно рассеянная поверхностью, переломившись в объективе 8, попадает на регистрирующий фотоматериал, расположенный в кассете 9. Для разрешения интерференционной картины применен фотообъектив HELIOS-44 (работа в режиме лупы), сфокусированный в исследуемую точку на исследуемой поверхности. Опорный луч, отраженный зеркалом 1, расширяется микрообъективом и также падает на регистрирующий фотоматериал.

Проведение работ по измерению остаточных напряжений (ОН) выглядело следующим образом:

- прибор устанавливали над точкой, где предполагалось произвести измерения;
- включали лазер, открывалась кассета с фотопластинкой, электромагнитным затвором задавалось время экспозиции;
- проводили первую экспозицию первоначального состояния поверхности на фотопластинку;
- после закрытия кассеты с фотопластинкой производили сверление специальным механизмом (рабочее усилие сверления обеспечивали вручную);
- возврат механизма сверления в первоначальное положение, проведение второй экспозиции на ту же фотопластинку;
- закрытую кассету с фотопластинкой аккуратно вынимали из прибора и переносили в темное место, где из нее извлекали фотопластинку;
- фотопластинку после фотохимической обработки возвращали на место в приборе и освещали только опорным пучком. При этом одновременно восстанавливались оба записанных изображения поверхности, которые, интерферируя, давали изолинии поля нормальных перемещений, свидетельствующие о величине и характере напряженного состояния.

Все действия с прибором необходимо было проводить очень аккуратно, без сильных механических воздействий, ударов, которые могли сместить прибор и изучаемую поверхность друг относительно друга в процессе эксперимента. Время получения данных от одного измерения с учетом проявления фотопластинки составляло примерно 20—30 мин. После этого обрабатывали полученные результаты с помощью специальных таблиц.

Все режимы записи информации подбирали экспериментально исходя из отражающих свойств изучаемой поверхности, качества партии фотопластинок. Усилия при сверлении не должны были вызвать пластические деформации. Фактическую глубину сверления определяли после завершения работ с данной точкой поверхности.

Прибор "ЛИМОН-1" позволил провести ряд работ по измерению остаточных напряжений как на образцах в лаборатории, так и на реальных изделиях в полевых условиях. В процессе эксплуатации прибо-

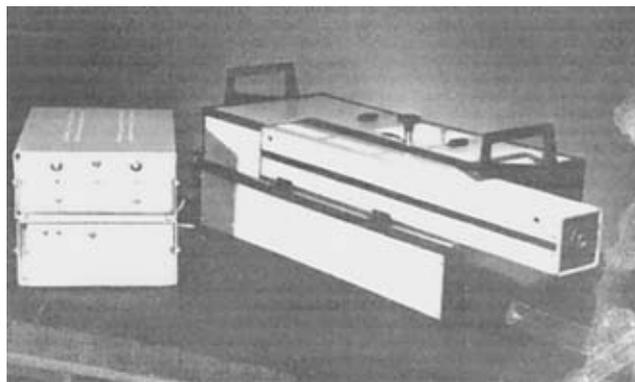


Рис. 2. Общий вид установки "ЛИМОН-2"

ра возникли предложения по его модернизации. В результате возник новый измерительный комплекс — "ЛИМОН 2" (рис. 2). Хотя внешний вид комплекса "ЛИМОН-2" был более утилитарным, работать с ним стало намного проще. Устройство, оптическая схема остались без принципиальных изменений.

Разработанные ранее измерительные системы типа "ЛИМОН" ограниченно применялись в инженерной практике из-за сравнительно больших габаритных размеров (определяемых в основном размерами лазера), чувствительности к жесткому смещению, зависимости точности результатов от качества изображения (корректировка качества интерференционной картины была невозможна), ручного способа считывания и обработки интерференционных полос, необходимости фотохимической обработки, продолжительного времени экспозиции (из-за низкой чувствительности фотоматериала). Обслуживание оптической установки требовало специальной подготовки и высокой квалификации персонала.

Создание следующего поколения оптических интерферометров связано с развитием волоконной оптики. Применение гибкого оптического волокна позволило "расцепить" жесткую связку лазер—прибор и изъять лазер из оптической схемы прибора. Транспортировка лазерного излучения от лазера к оптической схеме прибора происходила через специальное гибкое оптическое волокно. Лазер был отдален от прибора на 1—3 м. Механизм сверления, часто "наводящий" паразитные полосы на интерферограммах при своей работе, также был снят с корпуса прибора.

В результате получили компактный (высотой не более 200 мм, ширина и глубина не более 120 мм) интерферометр "ДОН" (датчик остаточных напряжений (рис. 3)), массой не более 300 г, устанавливаемый на исследуемую поверхность.

В отличие от аппаратов серии "ЛИМОН" интерферометры "ДОН-1; 2; 3" оснащались не твердосплавными наконечниками для жесткой установки прибора на изделие, а тремя ножками с магнитами, к нижней

поверхности которых приклеивали зерна корунда [3]. При исследованиях немагнитных материалов оптический блок прикрепляли к поверхности механическими способами. Оптическая схема интерферометров приведена на рис. 4, общий вид оптических блоков комплексов "ДОН" — на рис. 5. Разработанные оптические блоки комплексов при проведении исследований остаточных напряжений характеризовались устойчивостью при эксплуатации.

Слева на рис. 5 приведен оптический блок, снабженный видеокамерой и соединенный с видеомагнитофоном и телевизором. Справа в блоке видны вход оптоволоконна, транспортирующего пучок от лазера, местоположение фотопластины и постоянные магниты. Зона измерения напряжений находилась между опорами блока. В связи с этим возникла необходимость разработки специального инструмента для сверления зондирующего отверстия (рис. 6). Узел крепления сверла (цанговый) вынесен в сторону для обеспечения возможности его расположения между опорами блока. Привод осуществлялся через ременную передачу.

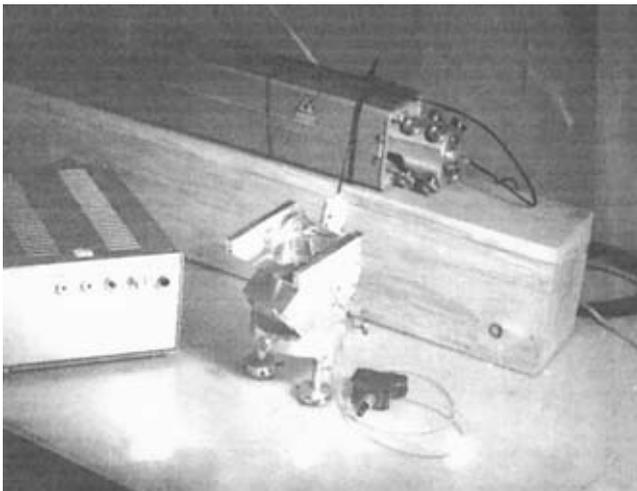


Рис. 3. Комплекс для измерения остаточных напряжений "ДОН-1"

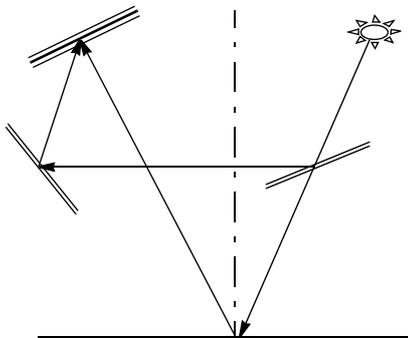


Рис. 4. Оптическая схема интерферометров "ДОН-1; 2; 3"

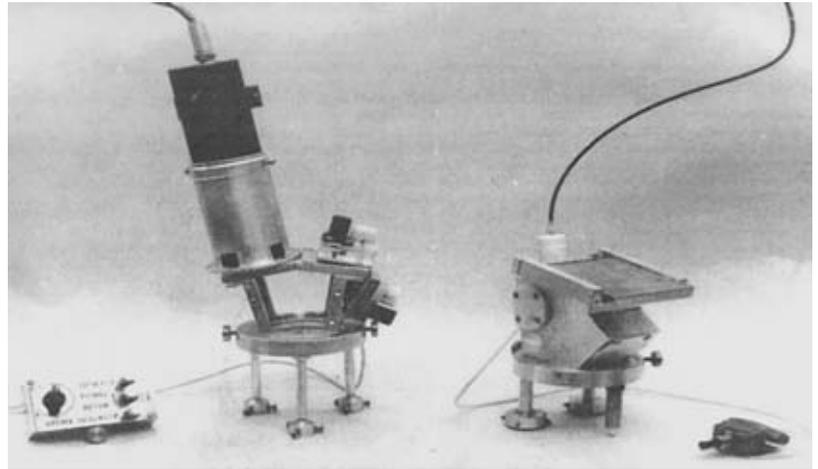


Рис. 5. Оптические блоки комплексов "ДОН-2" (слева) и "ДОН-1" (справа)

Слабым звеном комплекса было устройство сопряжения оптоволоконна с выходом пучка из лазера. Это устройство должно обеспечивать вход лазерного луча в торец волокна диаметром 5 мкм. В то время стандартных устройств для этих целей не было. Несмотря на недостатки, комплекс успешно прошел испытания в производственных условиях на Мытищинском машиностроительном заводе при диагностике напряжений после дробеструйной обработки нагруженных зон тележек вагонов метро.

Компоновка оптических блоков существенно зависит от расположения инструмента для создания зондирующего глухого отверстия. В настоящее время реализуются два варианта расположения инструмента при сверлении зондирующего отверстия на поверхности изделия.

Первый подход — получение отверстия путем перемещения режущего инструмента вдоль биссектрисы оптической оси между лазером 3 и видеокамерой 1. По такой схеме выполнены приборы серии "ЛИМОН". Принципиальное решение оптической схемы для этого случая приведено на рис. 7, а. При компоновке оптических элементов должны быть



Рис. 6. Инструмент для сверления зондирующих отверстий

выполнены обязательные условия — возможность перемещения узла крепления сверла 2 между ними и гарантия от соприкосновения его с близко расположенными оптическими элементами. На рис. 7 видно, что углы падения и отражения будут зависеть от размеров узла крепления сверла и расстояния D от поверхности освещения (изделия) до точек крепления этих элементов. В этом случае применяют стандартные сверлильные устройства.

Второй подход реализован введением сверлильного механизма между делительным зеркалом и поверхностью изделия (рис. 7, б). Элементы схемы расположили вдоль вертикали. Расстояние между делительным зеркалом и поверхностью изделия составляет 60—100 мм, что достаточно для введения специального сверлильного узла в схему (см. рис. 6). Необходимо отметить, что углы падения и отражения при таком решении приближаются к 90° , появляется возможность выполнять измерения в угловых соединениях.

Другое необходимое для выполнения условие — расположение центра тяжести оптического блока ближе к поверхности изделия, определяющее устойчивость оптического блока на поверхности. Таким образом, элементы, входящие в оптический блок должны располагаться как можно ближе к опорам блока, устанавливаемого на изделие. Для рассматриваемого случая это условие выполняется путем введения в оптическую схему интерферометра двух полупрозрачных поворотных зеркал, которые позволят расположить все оптические элементы и устройства вдоль горизонтальной оси (см. рис. 7, а). Изменение расстояния от поверхности изделия до этой оси позволит изменить положение центра тяжести. Изменение угла α зависит от размера свободного пространства между зеркалами и положением горизонтальной оси. Уменьшение угла α приводит к увеличению ширины интерференционной полосы, что нежелательно. Изменение положения центра тяжести оптического блока в рассматриваемом случае характеризуется увеличением длины базы основания интерферометра, ширина определяется размещением видеокамеры и необходимостью уста-

новки дополнительных вспомогательных элементов (батарей и плат управления) на основании.

Для компоновки схемы, приведенной на рис. 7, б, снижение центра тяжести обеспечивается путем увеличения массы опорной плиты.

Оптическая схема (см. рис. 7, а) позволяет обеспечить положение оси опорного пучка на оси лазера — видеокамеры и в дальнейшем обеспечить вход опорного пучка и отраженного волнового фронта (предметный пучок) в видеокамеру по ее оптической оси (наиболее оптимальный вход и введение излучения по нормали на активный элемент видеокамеры).

Опора основания оптического блока поверхности конструкции осуществляется в трех или четырех точках (рис. 8). Оптимальным можно считать основание с круговым расположением трех инденторов на ее поверхности. Такое расположение инденторов позволяет устанавливать оптический блок на сферической поверхности.

Усилия для обеспечения фиксации интерферометров на поверхности обеспечиваются магнитами (если изделие изготовлено из ферромагнитного материала), собственным весом, механическими прижимами или применением клеев.

Оптические блоки "ДОН" имели несколько модификаций. Блок "ДОН-1" — ввод лазерного излучения через оптическое одномодовое стекловолокно (лазер отделен от оптического блока), что повысило мобильность оптического блока, но потребовало разработки специальной насадки на дрель для создания зондирующего отверстия. В качестве детектора применяли фотопластинку.

Блок "ДОН-2" (аналогичен блоку "ДОН-1") — для считывания интерференционной картины с фотопластинки применена аналоговая видеокамера, соединенная с видеоманитофоном.

Необходимость в повышении точности определения значения измеряемых напряжений потребовала отработки съемки под углом к поверхности и разработки методики вычисления напряжений по наклонной компоненте. Съемка под углом позволила бы также расширить возможности комплекса и выполнять измерения в угловых сварных соединениях.

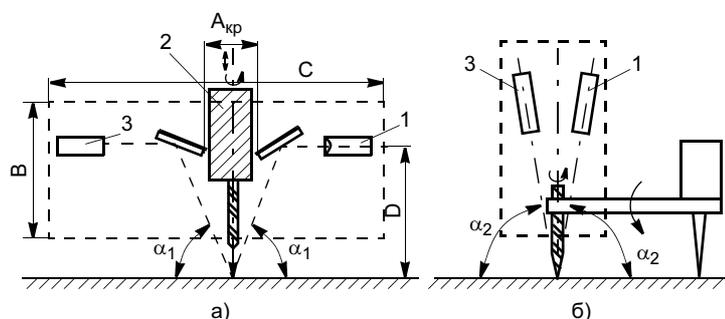


Рис. 7. Схемы расположения механизмов высверливания зондирующих отверстий комплексов "ЛИМОН" (а) и "ДОН" (б)

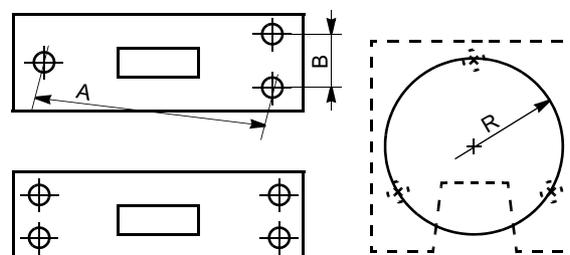


Рис. 8. Схема различной компоновки инденторов

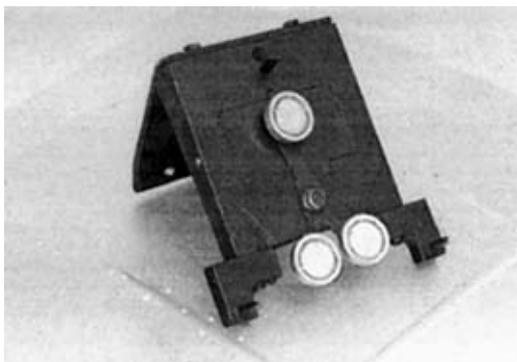


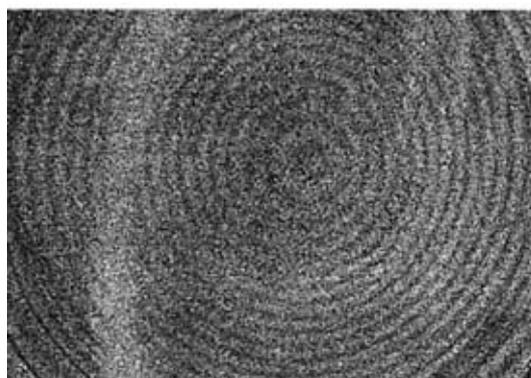
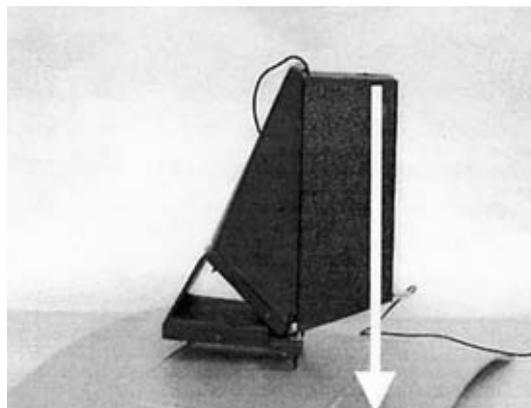
Рис. 9. Сменное основание оптического блока "ДОН-4"

Блок "ДОН-3" позволял отклонять оптическую плоскость интерферометра от вертикали на 30° . Корпус интерферометра состоял из двух частей и имел форму эллипсоида вращения со сферой на конце. Внутри корпуса были размещены полупроводниковый лазер, аналоговая видеокамера, сопряженная с компьютером, объектив и делительное зеркало. Ответная часть для крепления сферической части корпуса интерферометра располагалась на платформе со стойками инденторов.

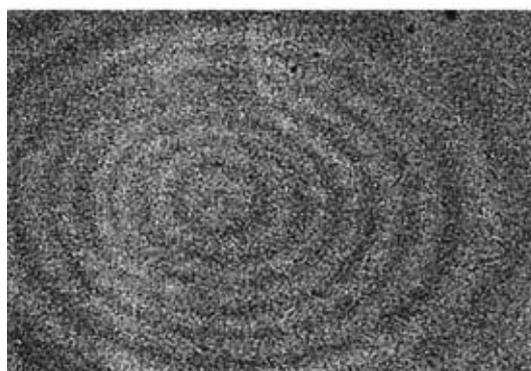
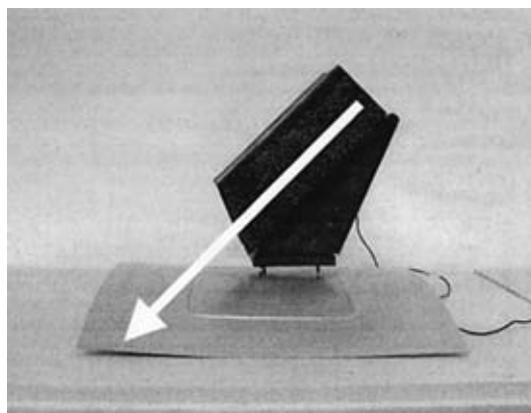
Блок "ДОН-4"* — интерферометр на новой платформе, представляющей собой алюминиевый равносторонний уголок размером 60×60 мм и толщиной 10 мм, соединенный с базовым основанием с закрепленными инденторами и грузом, обеспечивающим устойчивое положение оптического блока при измерениях, а также защиту оптических элементов интерферометра от высокочастотных колебаний. Конструкция оптического блока за счет трансформации (сменное основание — рис. 9) его элементов обеспечивала регистрацию полей перемещений нормальной либо наклонной компоненты (рис. 10).

Получение реальной голограммы с помощью видеокамеры невозможно, поэтому авторы перешли на фиксацию спекл-интерферометрической картины. В результате, хотя при этом теряется "объемность" изображения, полученные данные реально позволяют правильно интерпретировать результаты измерений. Масса интерферометра составила порядка 400 г. Он специально утяжеляется заливкой свинца в нижнюю часть интерферометра. Фиксацию на исследуемом объекте осуществляли на три твердосплавных наконечника. В случае работы с ферромагнитными материалами в нижней части прибора имеется специальное устройство, состоящее из трех редкоземельных магнитов на гибких пластинах, создающее дополнительную прижимную силу. Видеокамера подключается к компьютеру через видеовход S-VIDEO. В работе применяли красный лазерный светодиод. Кроме компьютера

* Патент 49978 (РФ).



а)



б)

Рис. 10. Регистрация полей нормальных перемещений ($\alpha = 90^\circ$) и перемещений наклонной компоненты ($\alpha = 45^\circ$)

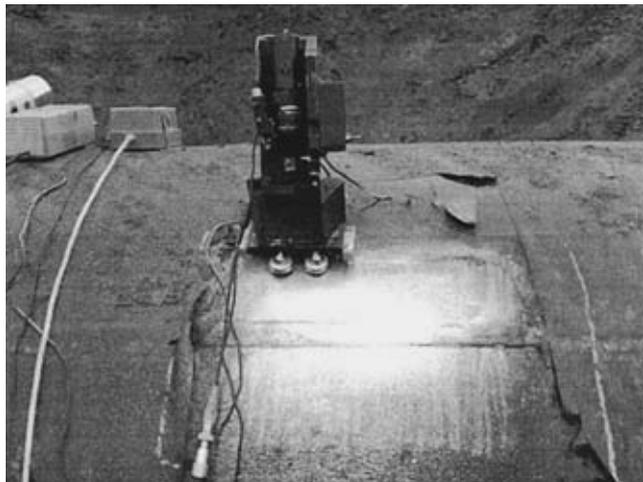


Рис. 11. Измерение напряжений на действующем газопроводе

(ноутбука) необходимы два блока питания — для лазера и видеокамеры.

Данный прибор позволял измерять остаточные напряжения не только в лабораторных, но и полевых условиях. Так как проявление фотопластин не требовалось, то работа с интерферометром существенно упростилась.

Впервые с помощью блока "ДОН-4" были измерены напряжение в газовой трубе под рабочим давлением (рис. 11).

Еще одним нововведением, позволившим значительно повысить точность измерения, стало обеспечение возможности изменения угла между оптической плоскостью интерферометра и исследуемой поверхностью с 90° (как было ранее у всех предыдущих приборов "ЛИМОН" и "ДОН") до 45° . При переходе на проведение измерений при 45° стоимость одной полосы снижается, в среднем, более чем в 2 раза.

Блок "ДОН-5ЦЗ" — значительная модернизация блока "ДОН-4". Силовая конструкция оставлена без существенных изменений, а вместо красного светодиода с длиной волны 650 нм установлен зеленый лазер с длиной волны 532 нм, что позволило снизить стоимость одной полосы и повысить точность получаемых результатов на 22 %. В этом приборе вместо аналоговой камеры впервые применена цифровая камера. В результате стало возможным значительно повысить качество получаемых интерферограмм. Разработанное под этот прибор программное обеспечение позволяет проводить исследования на различных материалах, в реальном масштабе времени, дешифровать интерферограммы двумя способами, получать и хранить в компьютере протоколы исследований с регистрацией всех режимов и параметров обработки. В результате применения цифровой видеокамеры появилась возможность увеличить расстояние между поверхностью и нижней

кромкой делительного зеркала с 60 до 100 мм и более. Это позволило снизить требования к сверлильному механизму и точности процедуры высверливания. Программное обеспечение позволяет проводить оперативную настройку и юстировку оптической части интерферометра под конкретную исследуемую поверхность. Еще одной принципиальной новинкой в интерферометре "ДОН-5ЦЗ" стал отказ от применения относительно дорогих и малодоступных полупрозрачных делительных зеркал с напылением. Вместо них применены принципиально другие легкодоступные материалы, позволяющие не только правильно подобрать соотношение опорного и предметного пучков, но и сделать волновой фронт значительно более равномерно распределенным.

Электронно-оптическая система интерферометра "ДОН-5ЦЗ" состоит из полупроводникового одномодового лазера, цифровой видеокамеры, объектива с фокусным расстоянием 25 мм и диафрагмой, делителя, формирующего опорный и предметный световые пучки. Оптические оси элементов, входящих в состав интерферометра, располагаются на одной оптической плоскости. Для обеспечения требуемого соотношения между интенсивностью предметного и опорного пучков предлагается несколько вариантов конструктивного оформления делителя. Он может быть выполнен в виде плоскопараллельной пластины, клина с оптическими покрытиями, полупрозрачного напыленного зеркала и пластины из специального состава с матовой поверхностью, позволяющей сделать интенсивность излучения по площади пучка более равномерной. Указанные элементы интерферометра жестко закрепляются на плоскости корпуса. При ослаблении креплений они имеют возможность перемещаться в оптической плоскости, что необходимо при юстировке оптической схемы. Корпус интерферометра оборудован также опорно-установивающей системой, обеспечивающей установку и крепление интерферометра на поверхности исследуемого тела. Конструкция корпуса обеспечивает его защиту от высокочастотных колебаний и возможность размещения аккумуляторов для автономного питания лазера. Жесткое крепление корпуса с исследуемой поверхностью реализуется за счет внедрения трех инденторов, установленных на корпусе, к поверхности исследуемого тела.

Отличительной особенностью данного интерферометра является минимальное число входящих в него элементов, что должно повысить надежность работы всей измерительной системы в целом.

Высверливание отверстия выполняют с помощью специальной насадки к стандартному шуруповерту, электрической отвертки (рис. 12) (применяется при угле между оптической плоскостью и плоскостью исследуемой поверхности 90°) или обыкновенным сверлильным устройством (при 45°).

В приборах применяют одномодовые одночастотные лазеры мощностью от 10—30 мВт (рис. 13). Данная мощность избыточна и необходима для компенсации потерь при отражении луча от поверхностей с различными отражающими характеристиками (алюминиевое покрытие, ржавчина, зачищенная стальная поверхность, бронза и т. д.) и при работе в условиях мощного освещения объекта (солнечный день) — засветка должна быть интенсивнее, чем от солнечного освещения (иначе сигнал от лазера пропадает и изображение размывается — интерференционная картина не формируется).

Первичная юстировка прибора состоит в следующем (рис. 14).

I этап. Подбор соотношения между опорным и предметным пучками, приходящими на матрицу видеокамеры. Необходимо добиться условия, чтобы интенсивность этих двух пучков была примерно равна. Достигается это, во-первых, подбором делительного зеркала. При этом необходимо учитывать, что интенсивность светового пучка, проходящего через пластину, должна быть больше, чем отраженного. Это связано с потерями при отражении пучка от исследуемой поверхности и тем, что оптическая длина хода луча у предметного пучка больше (следовательно, и меньше его интенсивность на единицу площади на матрице видеокамеры). На этом же этапе уточняется местоположение всех элементов оптической схемы — они должны располагаться по оси лазерного луча.

II этап. Обеспечение формирования интерференционной спекл-картины на матрице видеокамеры. Поворотом делительной пластины достигается изменение интенсивности освещения объектива опорным пучком. При этом интенсивность предметного пучка практически не изменяется. Интенсивность излучения, попадающего в объектив, можно оценить по картинке на экране монитора. Интенсивность излучения имеет Гауссово распределение по площади. Чем дальше от оптической оси, тем интенсивность меньше. Эта зависимость нелинейная.

Характер изменения интенсивности волнового фронта опорного пучка по плоскости, совпадающей с плоскостью объектива (торец объектива), можно изменить за счет увеличения или уменьшения расстояния L от лазера до делительной пластины (рис. 15).

Регулировки по этапу II осуществляют при неизменной величине диафрагмы объектива.

III этап. Подбор отражающего покрытия поверхности исследуемой зоны. Для гарантированного получения качественной спекл-интерференционной картины поверхности исследуемой детали возможно потребуются дополнительная ее обработка: удаление ржавчины, рыхлых слоев; покраска поверхности матовой черной (или серебряной) краской из баллон-



Рис. 12. Механизм сверления со специальной насадкой

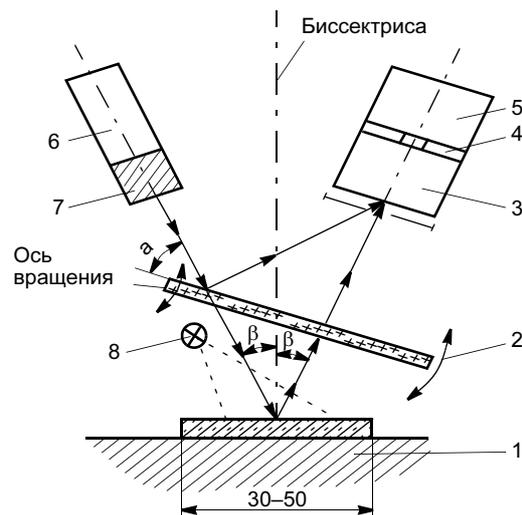


Рис. 13. Оптическая схема комплексов "ДОН-4; 5": 1 — поверхность исследуемого изделия; 2 — делитель (полупрозрачная пластина); 3 — объектив ($f = 25$ мм) видеокамеры с диафрагмой; 4 — диафрагма; 5 — видеокамера; 6 — лазер (одномодовый, одночастотный); 7 — объектив для фокусировки лазерного луча; 8 — светодиод для подсветки

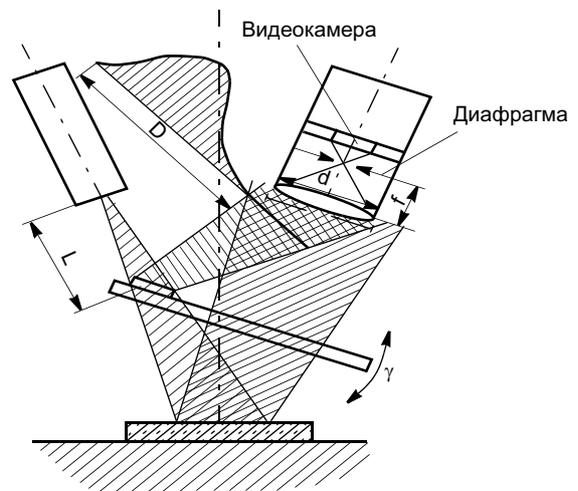


Рис. 14. Юстировка интерферометра

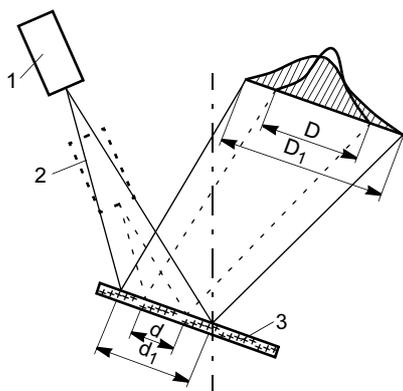


Рис. 15. Изменение интенсивности волнового фронта опорного пучка путем изменения расстояния между лазером и делительной пластиной: 1, 2 — крайние положения лазера; 3 — полупрозрачное зеркало (D, D_1 — диаметр опорного пучка на матрице видеокамеры в зависимости от положения лазера; d, d_1 — диаметр лазерного луча на полупрозрачном зеркале)

чика. Окраска придает поверхности однородные отражающие свойства. Важно, чтобы слой краски был очень тонким, пластичным, не отслаивался.

Применение дополнительного подкрашивания поверхности может потребоваться при проведении измерений при угле между оптической плоскостью и поверхностью как 90° , так и 45° (в одном цикле измерений). Если угол между оптической и исследуемой плоскостями 45° , то интенсивность предметного пучка падает. Поэтому для компенсации этого явления можно подкрасить поверхность серебрянкой.

Программное обеспечение. Для интерферометра "ДОН-5ЦЗ" разработано новое программное обеспечение, значительно расширившее возможности получения интерферограмм, их обработку, расшифровку и получение итоговых протоколов измерений.

Преимущества нового программного обеспечения:

- понятный способ юстировки опорного и предметного пучков через гистограммы и цифровое выражение "медиана";
- визуальное прицеливание по экрану монитора на исследуемую точку;
- выбор числа снимков в каждой серии, количества серий снимков и времени экспозиции;
- автоматический выбор лучшей интерферограммы при возможности ручного подбора;
- хранение интерферограмм и их распечатка;
- хороший и удобный инструмент для обработки интерферограмм для получения изображения максимального качества;
- возможность расшифровки интерферограмм двумя способами — по числу интерференционных полос и координате первой интерференционной полосы (второй способ реализован впервые);
- получение, хранение и распечатка протокола измерений с записью всех необходимых параметров измерений и комментариев.

Тестирование. Проверку работоспособности интерферометра можно проводить без высверливания отверстия в детали. Часто возникают ситуации, когда нет возможности высверлить отверстия "просто для настройки", поэтому был применен следующий метод проверки работоспособности.

Интерферометр устанавливают на жесткую пластину (или на крупногабаритное изделие). На поверхность пластины в зоне ее освещения предметным пучком с помощью пластилина фиксируется мембрана. Мембраной может служить пластмассовая крышка от объектива камеры, крышка от бутылки с молочными продуктами и др. Крышку фиксируют таким образом, чтобы она опиралась на жесткое основание, на котором установлен интерферометр, а пластилин крепит ее сбоку к жесткому основанию, т. е. чтобы между крышкой и основанием не было пластилина и зазора. Крышку обычно окрашивают черной матовой краской.

Далее проводят все операции по юстировке прибора, описанные выше.

После завершения настройки прибора на центральную часть мембраны прилагается усилие, перпендикулярное плоскости мембраны. Усилие должно быть небольшое, например угол иглой. Под действием приложенной точечной силы мембрана прогибается, после чего усилие снимается и мембрана начинает восстанавливать свое первоначальное положение. В этот момент производится съемка серией кадров с минимальной выдержкой.

После завершения процесса съемки вручную производится вычитание различных вариантов кадров среди полученных. Если юстировка и настройка произведены правильно, то необходимо в какой-либо из пар вычитаемых друг из друга кадров получить интерферограмму в виде концентрических колец. Если ни в одной из вычитаемых пар интерферограмму получить не удалось, то это говорит или о неправильной настройке прибора, или о том, что усилие давления на мембрану было слишком велико и перемещения между любыми двумя соседними кадрами оказались значительно больше длины волны лазерного излучения.

Таким образом, новый комплекс позволяет получать информацию о НДС в изделиях оперативно, точно, достоверно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Механика* твердого тела / А. А. Антонов, А. И. Бобрик, В. К. Морозов, Г. Н. Чернышев. 1980. № 2. С. 182—189.
2. *Исследование* остаточных напряжений / А. А. Антонов, В. Н. Казаров, Б. М. Мампория и др. М.: Институт проблем механики АН СССР, 1982. 66 с.
3. *Антонов А. А.* Регулирование остаточных сварочных напряжений путем наведения термоупругих напряжений // *Физика и химия обработки материалов*. 1991. № 1. С. 121—124.

Г. ПАССИ, д-р наук
Фирма Sonotrou NDT (Израиль)

Неразрушающий контроль как компонент стратегии минимизации рисков и затрат на эксплуатацию и обслуживание потенциально опасных объектов

Сегодняшние реалии заставляют собственников потенциально опасных объектов (заводов, электростанций, трубопроводов, мостов, кораблей, самолетов и т. п.) минимизировать риски, возникающие при их эксплуатации, в том числе и обусловленные скрытыми и видимыми дефектами, как присутствовавшими в новом объекте при выпуске из производства, так и приобретенными в результате старения, а также действия различного рода экстремальных эксплуатационных нагрузок. Степень поражения дефектами, их потенциальная опасность, межпровочные и межремонтные интервалы, а также необходимость срочного ремонта или окончательного прекращения эксплуатации оцениваются с использованием различных методологий, учитывающих специфику объекта, на основе данных НК. При этом все методологии базируются на единой стратегии, называемой RBIM (Risk Based Inspection and Maintenance planning) — планирования операций контроля и технического обслуживания, основанного на учете потенциальных рисков. Целью RBIM-стратегии является минимизация рисков эксплуатации объектов при разумных затратах на контроль и техническое обслуживание.

Общеизвестно, что НК обеспечивает обнаружение различных дефектов с высокой надежностью и чувствительностью. Однако не все методы дефектоскопии позволяют определить истинные размеры и конфигурацию дефектов и для этого часто требуются дополнительные действия, весьма трудоемкие и выходящие за рамки процедуры рутинного контроля. В то

же время нормы браковки, как правило, базируются на истинных размерах дефекта [1, 2]. Известен также интерес специалистов и ученых в области НК к проблеме определения истинных размеров и конфигурации дефекта, подтверждаемый множеством научных публикаций, практических документов, устройств и приспособлений, связанных с решением названной проблемы. Однако неверно полагать, что определение истинных размеров и конфигурации обнаруженных дефектов безусловно необходимо — актуальность решения этой задачи для различных объектов определяется на основе вышеупомянутой стратегии RBIM.

В статье приведены реальные примеры, иллюстрирующие актуальную потребность в определении истинных размеров и конфигурации дефектов, а также степени дефектности для различных потенциально опасных объектов или отсутствие таковой.

Согласно стратегии RBIM потенциально опасные объекты подразделяются на не подлежащие контролю во время эксплуатации и подлежащие контролю во время эксплуатации, а также при плановом/внеплановом кратковременном выводе из эксплуатации.

Типичный пример объекта, не подлежащего контролю во время эксплуатации, — магистральный трубопровод, проложенный по морскому дну. При строительстве трубопровода используются толстостенные трубы в бетонной изоляции (толщина изоляции порядка 10 см), с обоих концов которых имеются участки свободного от изоляции металла. На барже-трубоукладчике производится

сварка готовых труб с последующими полной изоляцией стыков и спуском под воду. Время, отпускаемое на автоматическую сварку, последующий контроль с заключением о годности и изоляцию одного стыка, составляет считанные минуты, поэтому здесь применимо исключительно автоматическое сканирование.

Очевидно, что для минимизации риска эксплуатации подводного магистрального трубопровода следует обеспечить максимально надежный контроль стыковых сварных швов, исключающий пропуск дефектов. Это осуществляется за счет комбинации TOFD и многозонного прозвучивания сварного шва с использованием дискретных преобразователей и/или преобразователей с фазированными решетками, смонтированными на платформе моторизованного сканера и расположенными с обеих сторон сварного шва (рис. 1).

Рис. 2 представляет типичный пример экрана системы автоматического УЗК ISONIC PA AUT 128/8 фирмы Sonotrou NDT на этапе подготовки к сканированию, когда формируется схема многозонного прозвучивания с использованием преобразователя на фазированных решетках. Эта схема учиты-



Рис. 1. Установка моторизованного сканера на стыковой сварной шов в условиях трубоукладочной баржи

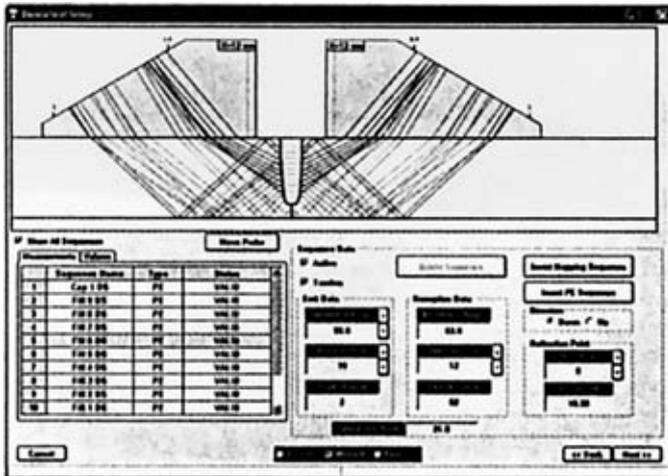


Рис. 2. Выбор схемы многозонного прозвучивания в системе автоматического УЗК ISONIC PA AUT 128/8 фирмы Sonotron NDT с использованием преобразователей на фазированных решетках и дискретных преобразователей

вает геометрию разделки кромок под автоматическую сварку, что позволяет прогнозировать позонное распределение типов и ориентации возможных дефектов и задавать оптимальную тандемную или совмещенную схему фокусированного излучения-приема сигналов для той или иной зоны.

Настройка усиления приемного тракта осуществляется позонно с использованием стандартных образцов с отражателями в каждой зоне согласно [2], причем в тех случаях, когда используются плоскодонные отражатели, их ориентация соответствует геометрии разделки (рис. 3). Размеры отра-

жателей таковы, что предопределяется выявление дефектов с абсолютными параметрами, соответствующими нормам браковки.

Очевидно, что многозонная схема прозвучивания требует точного размещения преобразователей относительно контролируемого объема, поэтому каждая труба при заводском изготовлении оборудуется приваренным кольцом на свободном от изоляции участке основного металла вблизи будущего стыкового шва. Место приварки кольца и его параллельность плоскости края трубы соответствуют технической документации с минимальными допуска-

ми, и моторизованный сканер использует это кольцо в качестве опорного элемента при сканировании. Таким образом, уже на этапе изготовления труб предусматриваются меры, обеспечивающие надежность контроля на трубоукладочной барже.

На рис. 4 представлен пример экрана системы на этапе сканирования. При контроле в каждом положении сканера, выбираемом с заданной дискретностью (обычно — 1 мм), последовательно осуществляется позонное фокусированное прозвучивание в соответствии с заданными для каждой зоны схемой и усилением приемного тракта, сопровождаемое записью соответствующих данных А-развертки, измерением сигналов и формированием графического представления результатов контроля, которое в соответствии с принятой в отрасли методологией представляется в виде "бесконечной" ленты многоканального самописца, где каждой зоне соответствует отдельная дорожка. В случае появления дефектной индикации шов немедленно ремонтируется, а затем проверяется вновь.

Таким образом, при изготовлении и монтаже потенциально опасных объектов, не подлежащих контролю во время эксплуатации, целесообразно осуществлять высокоточный и высокоза-

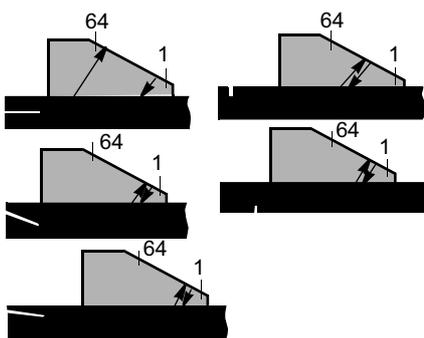


Рис. 3. Примеры отражателей, используемых для настройки усиления приемного тракта при мультizonном прозвучивании

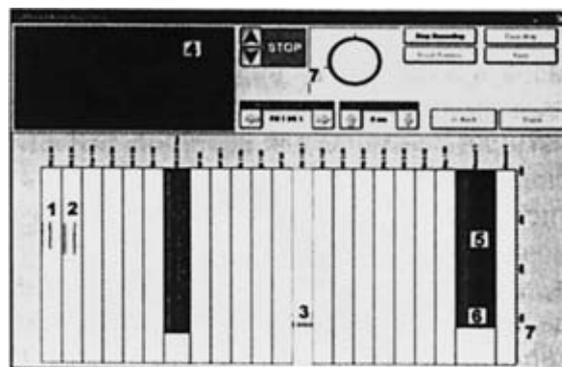


Рис. 4. Пример экрана системы автоматического УЗК ISONIC PA AUT 128/8 фирмы Sonotron NDT: 1, 2, 3 — отметки дефекта соответственно в зонах Fill 6 DS, Fill 5 DS и Fill 1 US 1e, выявляемого при текущем положении сканера; 4 — А-развертка, соответствующая зоне Fill 1 US 1, наблюдаемая при текущем положении сканера; 5, 6 — отметки дефектов на синхронно формируемом TOFD изображении, в частности подтверждающие что отметки 1 и 2 относятся к выявлению одного дефекта; 7 — текущее положение сканера

тратный, зачастую избыточный контроль и ремонтировать каждый дефект без дополнительного анализа его типа, измерения истинных размеров и оценки потенциальной опасности.

Типичный пример объекта, подлежащего контролю при плановом/внеплановом кратковременном выводе из эксплуатации, — лайнер гражданской авиации. Штатные нагрузки и внештатные перегрузки, возникающие при преодолении турбулентности, многочисленных взлетах и посадках, перепадах давлений, температур, химического состава атмосферы, влажности, других погодных условий неизбежно ведут к коррозии и эрозии металлических и неметаллических элементов, образованию трещин, расслоений и т. п. На рис. 5—7 показаны некоторые реальные дефекты, обнаруженные в современных лайнерах с использованием НК на различных стадиях их эксплуатации. Следует отметить, что приведенные примеры отображают лишь мизерную долю всего многообразия дефектов, возникающих в самолетах. Очевидно, что стратегия, основанная на исправлении каждого дефекта, в случае ее применения просто прервет нормальное функционирование авиакомпаний. В связи с этим в авиации исключительно развита методология определения остаточного ресурса эксплуатации лайнеров, определяемого в полетных часах, оставшихся до следующей проверки и/или ремонта с учетом количества взлетов и посадок и других факторов.

Остаточный ресурс эксплуатации авиалайнера определяется на основании так называемых объективных параметров дефектности. Трещины в несущих конструкциях и обшивке лайнера (компактные дефекты) в зависимости от их расположения подразделяются на безусловно критические (недопустимые) и допустимые при условии, что их длина, соче-



Рис. 5. Расслоение с внешней стороны иллюминатора



Рис. 6. Коррозия внутренних соединений



Рис. 7. Трещины и изломы, возникающие в несущих конструкциях при жестких посадках



Рис. 8. Коррозионная трещина в конструкции авиалайнера

тание и количество не превышают критических значений.

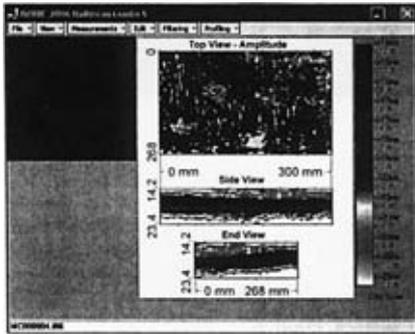
В случае выявления безусловного критических трещин определение их истинных размеров излишне. В случае обнаружения трещин, которые могут быть квалифицированы как допустимые, обязательной процедурой является измерение их истинных размеров. Как правило, истинный размер трещины определяется с использованием того же метода, которым она была обнаружена (см. например, рис. 8). Метод контроля для того или иного узла и рекомендации по определению размера трещины регламентированы руководством по НК, сопровождающим каждый лайнер, и официальными дополнениями, выпускаемыми фирмой-производителем по мере возникновения новых проблем.

В случае распределенных дефектов — коррозии/эрозии поверхности, расслоений, заполнения сотовых структур водой, ударных повреждений и т. п. контуры дефекта и его размеры, зарегистрированные в крайних положениях преобразователя, при которых еще воспринимаются соответствующи-

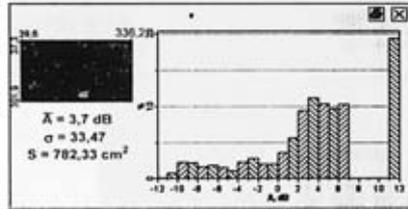
е сигналы, маркируются непосредственно на поверхности узла (рис. 5), и результаты измерений передаются специалистам по определению остаточного ресурса самолета вместе с фотографиями дефектных участков.

В последние годы для обнаружения и анализа распределенных дефектов широко применяется картографирование при сплошном сканировании, и дефектная карта передается специалистам по определению остаточного ресурса самолета в цифровом виде [3]. Это позволяет при необходимости восстановить и измерить сигналы для всей поверхности сканирования, а также произвести статистический анализ дефектности контролируемого участка (рис. 9) [4]. В результате определяется реальная степень дефектности как объективный параметр, характеризующий исследуемый элемент конструкции лайнера и применяемый для определения остаточного ресурса.

К объектам, контролируемым как во время эксплуатации, так и при плановом/внеплановом кратковременном выводе из эксплуатации, относятся наземные и под-



а)



б)

Рис. 9. Результаты ручного сканирования композитной панели внешней поверхности самолета в целях выявления дефектов, обусловленных столкновениями с различного рода объектами (птицы, камни и т. п.) — ударные повреждения, выявленные прибором ISONIC 2006 фирмы Sonotron NDT в виде B-, C- и D-разверток: а — восстановление A-развертки для выбранной точки изображения; б — получение гистограммы распределения амплитуд для донного эхо-сигнала в области поверхности сканирования для статистического анализа с целью определения реальной степени дефектности

земные магистральные и локальные трубопроводы, реакторы и т. п. Для таких объектов типичны приобретенные компактные дефекты в виде коррозионных и усталостных трещин и распределенные дефекты, такие как деградация толщины стенки основного металла в результате коррозии и/или эрозии.

При оценке трещин важным является определение их реального размера и ориентации. Здесь наиболее приемлемы методы, основанные на приеме и анализе дифрагированных сигналов от краев трещины, причем эффективным средством является запоминание всех A-разверток, полученных в процессе сканирования, в совокуп-

ности с соответствующими координатами преобразователя на поверхности объекта. В приборах, отвечающих этим требованиям, можно восстанавливать и многократно "проигрывать" последовательность эхо-сигналов (повторное виртуальное сканирование) и объективно распознавать и измерять дефекты на основе анализа динамики эхо-сигналов [4, 5]. На рис. 10 представлена B-развертка поперечного сечения реального сварного шва, где была обнаружена несплошность, и проиллюстрирована последовательность действий, обеспечившая идентификацию трещины и определение ее истинного размера. Фрагменты

экрана прибора в процессе виртуального сканирования поперек шва представляют:

— максимум слабого дифрагированного сигнала 1 от вершины трещины (рис. 10, а);

— очень слабый эхо-сигнал 2 от стороны трещины, примыкающей к основному металлу, и начинающий нарастать при отдалении преобразователя от шва эхо-импульс 3 от корня трещины на донной поверхности (рис. 10, б);

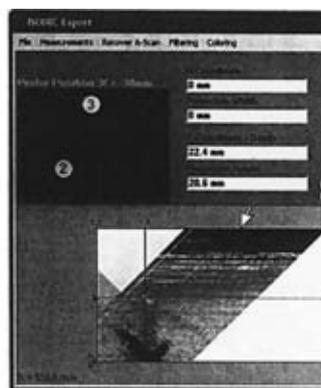
— доминирующий максимальный эхо-сигнал 4 от корня трещины, маскирующий эхо-импульс от стороны трещины, примыкающей к основному металлу (рис. 10, в);

— убывающий при дальнейшем отдалении от шва эхо-сигнал 5 от корня трещины и вновь появившийся очень слабый эхо-импульс 6 от стороны трещины, примыкающей к основному металлу (рис. 10, г).

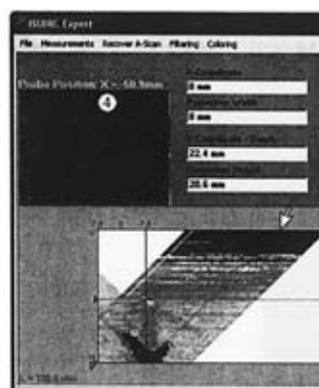
Измерения в поперечном сечении шва показывают, что глубина залегания вершины трещины 22,4 мм, а ее высота 20,6 мм (рис. 11, а). Данные металлографического анализа после изъятия объекта из эксплуатации показали совпадение с полученными результатами с точностью 0,4 мм. Значение погрешности несколько уступает технологии TOFD, однако в рассматриваемом примере рутинный контроль выполнялся наклонным преобразователем един-



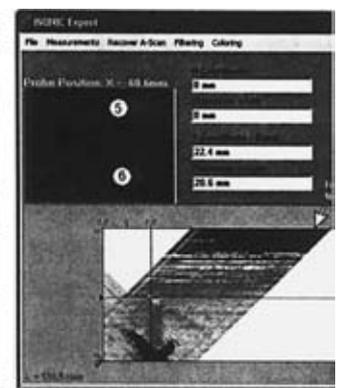
а)



б)



в)



г)

Рис. 10. Восстановление последовательности эхо-сигналов при перемещении преобразователя в плоскости поперечного сечения сварного шва с трещиной (курсор показывает положение точки ввода преобразователя, в соответствии с которым восстанавливается A-развертка; при этом также воспроизводится ход центрального луча в объекте контроля; значение $L = 138,5$ мм указывает расположение анализируемого поперечного сечения вдоль оси шва). Данные любезно предоставлены фирмой NDIC (Япония), выявившей и проанализировавшей дефект с использованием дефектоскопа ISONIC 2001 фирмы Sonotron NDT

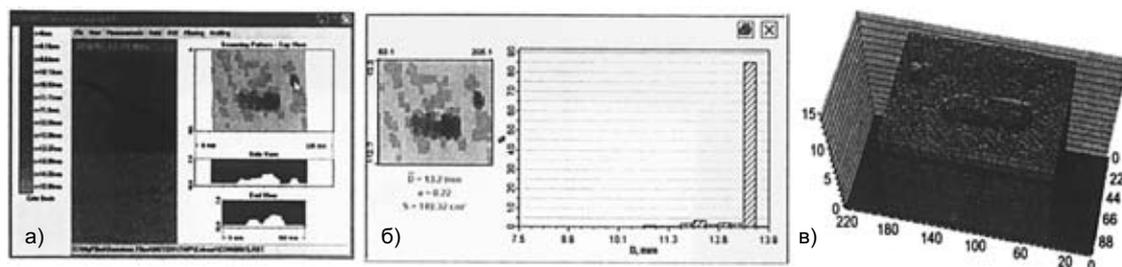


Рис. 11. Коррозионное повреждение внутренней поверхности резервуара, его обнаружение и анализ. Данные, полученные с использованием прибора ISONIC 2001 фирмы Sonotron NDT, любезно предоставлены фирмой Velosi (Малайзия)

ственно возможным эхо-методом ввиду ограниченного одностороннего доступа к сварному шву — в таких случаях технология TOFD не применима. Важно, что для идентификации трещины и определения ее абсолютного размера применялся типовой наклонный преобразователь, который использовался для рутинного контроля, и что *B*-развертка поперечного сечения получена также во время рутинного сканирования, а потому идентификация трещины и определение ее истинной длины проведены в результате повторного виртуального сканирования и не требовалось дополнительно озвучивать сечение дефекта.

Для обнаружения и оценки деградации толщины стенки основного металла в результате коррозии и/или эрозии используется картография. На рис. 11 приведены *B*-, *C*- и *D*-развертки внутренней поверхности стенки (а), статистический анализ дефектного участка (б), а также трехмерное изображение (в).

С учетом того, что определение остаточного ресурса объектов является многопараметровой задачей, и при ее решении широко используются вычислительные методы и соответствующее программное обеспечение важно, чтобы результаты НК могли бы быть импортированы и использованы названным программным обеспечением. С этой целью приборы фирмы Sonotron NDT поставляются заинтересованным потребителям в комплекте с программными пакетами, обеспечивающими пред-

ставление результатов контроля в общепринятых форматах — MS Excel®, ASCII, Mathlab®.

ВЫВОДЫ

1. Определение истинных размеров и конфигурации обнаруженных дефектов сопряжено с дополнительными действиями, выходящими за рамки процедур рутинного НК.

2. Определение истинных размеров и конфигурации дефектов регламентируется потребностью потребителя в результатах НК. При массовом производстве однотипных объектов, как правило, выгоднее просто браковать или ремонтировать все объекты, где выявлены дефекты, не занимаясь их дополнительным анализом.

3. При контроле эксплуатируемых объектов определение истинных размеров и конфигурации дефектов является необходимым условием для расчета остаточного ресурса или принятия решения о ремонте или изъятии из применения.

4. Для компактных дефектов, таких как усталостные и коррозионные трещины, важными параметрами являются их абсолютные размеры и ориентация. В случае распределенных дефектов (коррозионные и другие повреждения) средства НК должны представлять статистическую характеристику степени дефектности объекта.

5. Для обеспечения объективности измерения абсолютных размеров дефекта следует сохранять всю информацию, воспринимаемую средствами НК, в необработанном виде. Это позволяет при

необходимости многократно осуществлять повторное виртуальное сканирование объекта, анализ и измерение сигналов и параметров дефекта в более комфортных условиях по сравнению с условиями выполнения контроля. При этом возможно привлечение независимых экспертов в спорных ситуациях.

6. Современные технологии определения остаточного ресурса эксплуатируемых объектов базируются на использовании многопараметрового анализа с использованием соответствующего программного обеспечения. Поэтому важно, чтобы информация о дефектах, накопленная средствами НК, экспортировалась в формате, совместимом с требуемым программным обеспечением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Use of Alternative Ultrasonic Examination Acceptance Criteria in ASME B31.3. — ASME B31 Case 181. Approval date: January 23, 2007.
2. Use of Ultrasonic Examination in Lieu of Radiography. — ASME Case 2235-4. Approval date October 11, 2005.
3. British Airways NDT Chooses ISONIC // Insight. 2000. Vol. 42. N 3. P. 137.
4. ISONIC 2006 — Portable Digital Ultrasonic Flaw Detector and Recorder with B-Scan, C-Scan, D-Scan, P-Scan, and TOFD Inspection and Imaging Capabilities // Operating Manual. Revision 1.10. — Rehovot: Sonotron NDT, 2007. 472 p. (http://www.sonotronndt.com/pdf/om2006_1_00.pdf).
5. ISONIC 2005 — Portable Digital Ultrasonic Flaw Detector and Recorder // Operating Manual. Revision 2.20. Rehovot: Sonotron NDT, 2007. 357 p. (http://www.sonotronndt.com/pdf/om2005_1_00.pdf).

"В мире неразрушающего контроля", 2007, №3

А. Н. ФЕОФАНОВ, д-р техн. наук
МГТУ "Станкин"

Понятие риска на этапе проектирования гибкой автоматической линии и возможности реализации данной продукции¹

Риск R_1 на этапе проектирования связан со следующими обстоятельствами. Во-первых, технические требования, предъявляемые к ГАЛ в части точностных характеристик выпускаемых деталей, могут оказаться завышенными. Это приведет к увеличению затрат на разработку ГАЛ в связи с необходимостью достижения данных характеристик. В то же время этот уровень точностных характеристик может быть востребован только в отдаленной перспективе и время достижения планируемой прибыли может оказаться большим, чем при правильном задании требований. Во-вторых, требования могут оказаться заниженными. В этом случае выпускаемая продукция будет иметь низкие точностные характеристики, не удовлетворяющие перспективным требованиям рынка, и не будет востребована, что неизбежно приведет к убыткам, размер которых будет включать затраты на разработку ГАЛ и выпуск некачественной продукции. Для выхода из создавшегося положения придется вернуться на начальный этап проектирования уже новых ГАЛ.

Очевидно, что второе обстоятельство по своим последствиям является более неблагоприятным, поэтому при определении понятия риска на этапе проектирования можно ограничиться только им.

Риск на этапе проектирования ГАЛ — вероятность занижения требований к точностным характеристикам выпускаемых деталей. Технически он может быть оценен как вероятность отклонения прогнозируемых требований от своих неизвестных номинальных значений на величину, пропорциональную среднеквадратической ошибке (СКО) модели (рис. 1).

На рис. 1 $f(X)$ — плотность вероятности распределения задаваемых требований X к точностным характеристикам параметров блока цилиндров, равная

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_M} e^{-\frac{(X-X^*)^2}{2\sigma_M^2}} \quad (X^* \text{ — неизвестное номинальное}$$

значение требований к точностным характеристикам параметров блока цилиндров, σ_M — СКО модели, используемой для прогнозирования требуемых значений точностных характеристик параметров блока цилиндров), $X_{\text{тр}}$ — прогнозируемые требования к точностным характеристикам параметров блока цилиндров на 2010 г. на основе модели с точностью $K\sigma_M$ (т. е. $X_{\text{тр}} \pm K\sigma_M$, где K — коэффициент пропорциональности, равный квантили нормального распределения требований X , например, для уровня доверительной вероятности, равного 0,95, $K = 2,58$).

Под доверительной вероятностью в данном случае понимается вероятность того, что прогнозируемые на 2010 г. требования к точностным характеристикам параметров блока цилиндров $X_{\text{тр}}$ не отклоняются от своих номинальных значений X^* на величину, большую $K\sigma_M$.

(Для справки: квантиль K вероятностного распределения $f(X)$ определяется из уравнения

$$\int_{X^* - K\sigma_M}^{X^* + K\sigma_M} f(X)dX = P_{\text{дов}} \quad (P_{\text{дов}} \text{ — заданная доверительная}$$

вероятность, X — возможные реализации требований к точностным характеристикам параметров блока цилиндров).

Учитывая изложенное, математическое выражение риска R_1 задания требований $X_{\text{тр}}$ к точностным

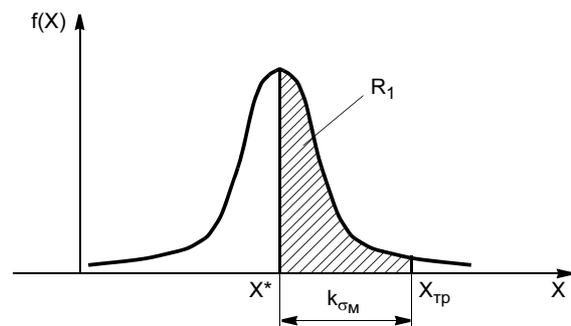


Рис. 1. График вероятности распределения задаваемых требований

¹ По материалам монографии А. Н. Феофанова "Гибкие автоматические линии в машиностроении". М.: Янус-К, 2002. 192 с.

характеристикам параметров блока цилиндров может быть записано следующим образом:

$$R_1 = P\{X_{\text{тр}} - X^* \geq K\sigma_M\}, \quad (1)$$

где R_1 — оценка вероятности уклонения прогнозируемых на 2010 г. требований к точностным характеристикам параметров блока цилиндров $X_{\text{тр}}$ вправо (в сторону занижения) от своего неизвестного номинального X^* , равная $P\{X_{\text{тр}} - X^* \geq K\sigma_M\} =$

$$= \int_{X_{\text{тр}}}^{X_{\text{тр}} + K\sigma_M} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_M} e^{-\frac{(X_{\text{тр}} - X)^2}{2\sigma_M^2}} dX.$$

Таким образом, в общем случае значение риска R_1 соответствует площади под кривой плотности распределения $f(X)$ задаваемых требований X к точностным характеристикам параметров блока цилиндров в интервале $[X^*; X_{\text{тр}}]$.

Оценка величины риска R_1 при задании требований к точностным характеристикам конкретных параметров блока цилиндров на основе результатов статистического прогнозирования должна быть организована, как представлено на рис. 2.

В условиях прогнозирования ожидаемого уровня требований $X_{\text{тр}}$ на заданную дату (2010 г.) по имеющимся статистическим данным отклонение заданных требований от своих неизвестных номинальных значений $X_{\text{тр}} - X^*$ может быть аппроксимировано величиной среднеквадратической ошибки прогноза $\sigma_{\text{пр}}$ (см. рис. 2), равной корню квадратному i -го диагонального элемента ковариационной матрицы прогноза K_X :

$$\sigma_{\text{пр}} = \sqrt{K_{X_{ii}}}. \quad (2)$$

Матрица K_X определяется следующим образом:

$$K_X = \tilde{A} K_{\theta} \tilde{A}^T, \quad (3)$$

где \tilde{A} — расширенная на одну строку, соответствующую i -й дате (2010 г.), на которую осуществля-

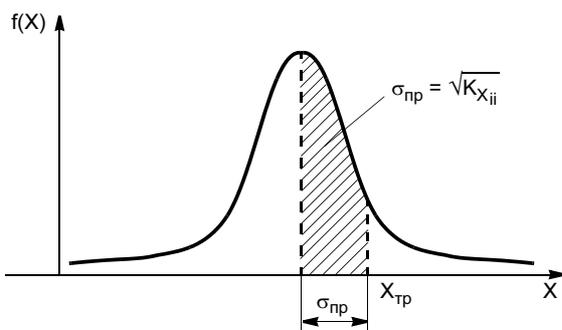


Рис. 2. Результаты статистического прогнозирования

ется прогнозирование требований, матрица влияния A ; символ y матрицы A^T обозначает операцию транспонирования (изменение порядка следования строчной и столбцовой размерности).

Матрица влияния $A = \left[\frac{\partial y}{\partial \theta T} \right]$ имеет конкретный вид для каждой из используемых моделей для прогнозирования изменения требований к точностным характеристикам параметров блока цилиндров.

Так, для линейной модели

$$A = \begin{bmatrix} t_1 & 1 \\ t_2 & 1 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ t_m & 1 \end{bmatrix}; \quad (4)$$

для экспоненциальной модели

$$A = \begin{bmatrix} t_1 \exp(at_1 + b) & \exp(at_1 + b) \\ t_2 \exp(at_2 + b) & \exp(at_2 + b) \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ t_m \exp(at_m + b) & \exp(at_m + b) \end{bmatrix}; \quad (5)$$

для экспоненциальной модели с квадратичным показателем

$$A = \begin{bmatrix} t_1^2 \exp(at_1^2 + bt_1 + c) & t_1 \exp(at_1^2 + bt_1 + c) & \exp(at_1^2 + bt_1 + c) \\ t_2^2 \exp(at_2^2 + bt_2 + c) & t_2 \exp(at_2^2 + bt_2 + c) & \exp(at_2^2 + bt_2 + c) \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ t_m^2 \exp(at_m^2 + bt_m + c) & t_m \exp(at_m^2 + bt_m + c) & \exp(at_m^2 + bt_m + c) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где t_i — даты сбора статистических данных, по которым осуществлялся синтез моделей изменения требований к точностным характеристикам z параметров блока цилиндров по годам: 1970, 1980, 1990, 2000 ($i = \overline{1, m}$).

K_{θ} — ковариационная матрица оценок параметров модели, используемой для описания характера изменения требований по годам, равная $\sigma_M^2 (A^T A)^{-1}$. В случае использования линейной и экспоненциальных моделей структура матрицы K_{θ} следующая:

$$K_{\theta} = \begin{bmatrix} \sigma_a^2 & r_{ab} \\ r_{ab} & \sigma_b^2 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где σ_a^2, σ_b^2 — дисперсии оценок параметров a и b модели соответственно, r_{ab} — ковариационный момент связи оценок параметров a и b .

В случае использования экспоненциальной модели с квадратичным показателем структура матрицы K_θ имеет вид

$$K_\theta = \begin{bmatrix} \sigma_a^2 & r_{ab} & r_{ac} \\ r_{ab} & \sigma_b^2 & r_{bc} \\ r_{ac} & r_{bc} & \sigma_c^2 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где $\sigma_a^2, \sigma_b^2, \sigma_c^2$ — дисперсии оценок параметров a, b и c модели соответственно, r_{ab}, r_{ac}, r_{bc} — ковариационный момент связи оценок параметров a, b и c соответственно.

Пример 1. Изменение требований к шероховатости верхней привалочной плоскости блока цилиндров описывается моделью

$$X_{\text{ТР}} = \exp(-0,0105t + 21,8792). \quad (9)$$

Модель (9) получена по результатам обработки статистических данных, приведенных в табл. 1, методом наименьших квадратов.

Среднеквадратическая ошибка модели σ_M составила 0,239 мкм. Оценки параметров модели: $a = -0,005, b = 21,8792$.

Матрица A , вычисленная по формуле (3), имеет вид

$$A = \begin{bmatrix} 6,573 \cdot 10^{-3} & 3,336 \\ 5,948 \cdot 10^{-3} & 3,004 \\ 5,382 \cdot 10^{-3} & 2,705 \\ 4,871 \cdot 10^{-3} & 2,435 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

соответственно, расширенная матрица \tilde{A} для нее

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 6,573 \cdot 10^{-3} & 3,336 \\ 5,948 \cdot 10^{-3} & 3,004 \\ 5,382 \cdot 10^{-3} & 2,705 \\ 4,871 \cdot 10^{-3} & 2,435 \\ 4,407 \cdot 10^{-3} & 2,193 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Ковариационная матрица оценок параметров моделей, вычисленная по формуле (5),

$$K_\theta = \begin{bmatrix} 1,418 \cdot 10^{-5} & -0,028 \\ -0,028 & 55,721 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Таблица 1

Параметр	Годы			
	1970	1980	1990	2000
t , год	1970	1980	1990	2000
z , мкм	3,2	3,2	2,5	2,5

Матрица K_X , элементом которой является $\sigma_{\text{пр}}$ (см. (2)), равна

$$K_X = \begin{bmatrix} 0,043 & 0,021 & 3,358 \cdot 10^{-3} & -0,011 & -0,0023 \\ 0,021 & 0,016 & 0,012 & 8,098 \cdot 10^{-3} & 5,042 \cdot 10^{-3} \\ 3,358 \cdot 10^{-3} & 0,012 & 0,018 & 0,024 & 0,028 \\ -0,011 & 8,098 \cdot 10^{-3} & 0,024 & 0,036 & 0,046 \\ -0,023 & 5,042 \cdot 10^{-3} & 0,028 & 0,046 & 0,006 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

С учетом вычисленных значений $\sigma_{\text{пр}}$ и σ_M для определения риска R_1 целесообразно использовать метод построения доверительного интервала для математического ожидания (подразумевается X^*) случайной величины (в данном случае $X_{\text{ТР}}$), распределенной по нормальному закону.

В соответствии с данным методом рассматривается случайная величина

$$t = \frac{\sqrt{m}(X_{\text{ТР}} - X^*)}{\sigma_M} = \frac{\sqrt{m}\sigma_{\text{пр}}}{\sigma_M} \quad (14)$$

с $(m - 1)$ степенями свободы (m — число точек, используемых для определения модели изменения требований к точностным характеристикам параметров блока цилиндров). Тогда имеет место равенство

$$\int_0^{t_\alpha} S(t, m) dt = \alpha, \quad (15)$$

где $S(t, m)$ — плотность вероятности распределения Стьюдента, 2α — уровень доверительной вероятности (множитель "2" присутствует потому, что распределение Стьюдента учитывает симметричные отклонения случайной величины $X_{\text{ТР}}$ относительно математического ожидания X^* как влево, так и вправо, нас же интересует только отклонение вправо), t_α — квантиль распределения Стьюдента, соответствующая доверительной вероятности 2α .

Уровень риска R_1 связан с уровнем доверительной вероятности равенством

$$R_1 = \alpha. \quad (16)$$

В условиях примера 1 значение квантили распределения Стьюдента t равно 2,088, соответствующая ей доверительная вероятность $2\alpha = 0,8$, уровень риска $R_1 = 40\%$ (или 0,4).

Уровни риска задаваемых требований, СКО прогноза и квантили распределения Стьюдента, вычисленные по представленным статистическим данным, приведены в табл. 2, значение k полагалось равным 1. Снижение представленных уровней риска возможно путем "ужесточения" требований $X_{\text{ТР}} - k\sigma_M$.

Очевидно, значение риска R_1 зависит от даты, на которую осуществляется прогнозирование требований. Основная причина заключается в том, что более

долгосрочному прогнозу соответствует, как правило, большее или равное значение $SKO_{\sigma_{пр}}$. В связи с этим значение квантили t распределения Стьюдента будет меньшим для ближайшей даты, как известно, меньшему значению квантили соответствует меньшее значение уровня доверительной вероятности 2α и, следовательно, меньшее значение риска R_1 .

В качестве примера в табл. 3 приведены те же по содержанию оценки, что и в табл. 2, для прогнозируемых требований к точностным характеристикам параметров блока цилиндров на 2005 г.

Данные на 2000 г. приведены в табл. 4. В табл. 5 приведены априорные оценки абсолютного превышения риска задания требований к точностным харак-

Таблица 2

Параметр блока цилиндров, размерность	Прогнозируемые требования к точностным характеристикам параметров блока цилиндров на 2010 г. $X_{тр}$	Среднеквадратическая ошибка прогноза требований на 2010 г. $\sigma_{пр}$	Среднеквадратическая ошибка изделия, по которой осуществляется прогноз, σ_m	Вычисленное значение квантили распределения Стьюдента t	Уровень риска на этапе проектирования $R_1, \%$
Отклонение верхней привалочной плоскости, мм (отклонение от плоскости, мм, на длине 100 мм)	0,046	$4,223 \cdot 10^{-3}$	$3,779 \cdot 10^{-3}$	2,181	40
Параметр шероховатости верхней привалочной плоскости, мкм	2,193	0,231	0,24	2,088	40
Параллельность обработанной плоскости по отношению к базовой, мм, на длине 300 (100) мм	0,052	$7,915 \cdot 10^{-3}$	$7,471 \cdot 10^{-3}$	2,044	40
Межосевое расстояние от базового отверстия до отверстия под гильзы цилиндров (под цилиндры), мм	0,060	0,031	0,042	1,292	33
Нецилиндричность растачиваемых отверстий под поршни, мм	0,013	$3,484 \cdot 10^{-3}$	$5,075 \cdot 10^{-3}$	1,181	31
Допуск соосности средних отверстий под вкладыши коренных подшипников относительно крайних отверстий, мм	0,012	$2,436 \cdot 10^{-3}$	$1,86 \cdot 10^{-3}$	1,258	32
Неперпендикулярность осей растачиваемых отверстий под поршни базовой поверхности (оси коленвала), мм	0,019	0,012	$5,0 \cdot 10^{-3}$	2,994	45

Таблица 3

Параметр блока цилиндров, размерность	Прогнозируемые требования к точностным характеристикам параметров блока цилиндров на 2005 г. $X_{тр}$	Среднеквадратическая ошибка прогноза требования на 2005 г. $\sigma_{пр}$	Среднеквадратическая ошибка изделия, по которой осуществляется прогноз, σ_m	Вычисленное значение квантили распределения Стьюдента t	Уровень риска на этапе проектирования $R_1, \%$
Отклонение верхней привалочной плоскости, мм (отклонение от плоскости, мм, на длине 100 мм)	0,047	$2,653 \cdot 10^{-3}$	$3,779 \cdot 10^{-3}$	1,887	38
Параметр шероховатости верхней привалочной плоскости, мкм	2,311	0,219	0,24	1,843	38
Параллельность обработанной плоскости по отношению к базовой, мм, на длине 300 (100) мм	0,054	$6,978 \cdot 10^{-3}$	$7,474 \cdot 10^{-3}$	1,802	37
Межосевое расстояние от базового отверстия до отверстия под гильзы цилиндров (под цилиндры), мм	0,073	0,031	0,042	1,282	31
Нецилиндричность растачиваемых отверстий под поршни, мм	0,015	$3,474 \cdot 10^{-3}$	$5,075 \cdot 10^{-3}$	1,174	30
Допуск соосности средних отверстий под вкладыши коренных подшипников относительно крайних отверстий, мм	0,015	$2,12 \cdot 10^{-3}$	$1,86 \cdot 10^{-3}$	1,095	29
Неперпендикулярность осей растачиваемых отверстий под поршни базовой поверхности (оси коленвала), мм	0,019	$7,477 \cdot 10^{-3}$	$1,86 \cdot 10^{-3}$	1,93	40

Таблица 4

Параметр блока цилиндров, размерность	Прогнозируемые требования к точностным характеристикам параметров блока цилиндров на 2005 г. $X_{Тр}$	Среднеквадратическая ошибка прогноза требований на 2005 г. $\sigma_{пр}$	Среднеквадратическая ошибка изделия, по которой осуществляется прогноз, σ_M	Вычисленное значение квантили распределения Стьюдента t	Уровень риска на этапе проектирования, R_1 %
Отклонение верхней привалочной плоскости, мм (отклонение от плоскости, мм, на длине 100 мм)	0,05	$2,084 \cdot 10^{-3}$	$3,779 \cdot 10^{-3}$	1,345	34
Параметр шероховатости верхней привалочной плоскости, мкм	2,5	0,19	0,24	1,363	35
Параллельность обработанной плоскости по отношению к базовой, мм, на длине 300 (100) мм	0,06	$6,004 \cdot 10^{-3}$	$7,471 \cdot 10^{-3}$	1,318	33
Межосевое расстояние от базового отверстия до отверстия под гильзы цилиндров (под цилиндры), мм	0,10	0,03	0,042	1,057	29
Нецилиндричность растачиваемых отверстий под поршни, мм	0,02	$3,463 \cdot 10^{-3}$	$5,075 \cdot 10^{-3}$	0,995	29
Допуск соосности средних отверстий под вкладыши коренных подшипников относительно крайних отверстий, мм	0,02	$1,703 \cdot 10^{-3}$	$1,86 \cdot 10^{-3}$	0,748	28
Неперпендикулярность осей растачиваемых отверстий под поршни базовой поверхности (оси коленвала), мм	0,02	$4,471 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	1,04	30

Таблица 5

Параметр блока цилиндров, размерность	$\Delta R(2010/2000)$, %	$\Delta R(2010/2005)$, %	$\frac{\sigma}{\bar{R}}(2010/2000) = \frac{\sigma}{R_{1_{2010}}/R_{1_{2000}}}$	$\frac{\sigma}{\bar{R}}(2010/2005) = \frac{\sigma}{R_{1_{2010}}/R_{1_{2005}}}$
Отклонение верхней привалочной плоскости, мм (отклонение от плоскости, мм, на длине 100 мм)	6	2	1,18	1,05
Параметр шероховатости верхней привалочной плоскости, мкм	5	2	1,14	1,05
Параллельность обработанной плоскости по отношению к базовой, мм, на длине 300 (100) мм	7	3	1,21	1,08
Межосевое расстояние от базового отверстия до отверстия под гильзы цилиндров (под цилиндры), мм	4	2	1,14	1,06
Нецилиндричность растачиваемых отверстий под поршни, мм	2	1	1,07	1,03
Допуск соосности средних отверстий под вкладыши коренных подшипников относительно крайних отверстий, мм	4	3	1,14	1,10
Неперпендикулярность осей растачиваемых отверстий под поршни базовой поверхности (оси коленвала), мм	15	5	1,50	1,13

теристикам параметров блока цилиндров по отношению к 2000—2005 гг., рассчитанные по формуле

$$\Delta R(2010/2000) = R_{1_{2010}} - R_{1_{2000}},$$

$$\Delta R(2010/2005) = R_{1_{2010}} - R_{2005},$$

а также относительного его изменения для заданных дат \bar{R} .

Приведенные в табл. 5 априорные оценки абсолютного и относительного превышения уровня рис-

ка задания требований к точностным характеристикам параметров блока цилиндров в 2010 г. по отношению к 2005 и 2000 гг. показывают замедление темпов увеличения риска прогнозирования требований по мере сокращения интервала прогнозирования. Это позволяет предположить, что с появлением новых статистических данных, описывающих динамику задания требований в 2002 г. и последующих годах, риск прогнозирования требований к задаваемым точностным характеристикам параметров блока цилиндров на 2010 г. будет сокращен.

Информационно-коммуникационные технологии в образовании

Интегрированная автоматизированная система управления учреждением высшего профессионального образования

Общие требования (ГОСТ Р 52655—2006)

Стандарт разработан Государственным образовательным учреждением высшего профессионального образования Московский государственный технологический университет "Станкин" (Отраслевой специализированный ресурсный центр регистрации, стандартизации и сертификации информационных ресурсов системы образования). Внесен Техническим комитетом по стандартизации ТК 461 "Информационно-коммуникационные технологии в образовании". Утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2006 г. № 421-ст. Введен впервые.

Дата введения **2008—07—01**.

1. Область применения

Настоящий стандарт устанавливает общие требования к интегрированной автоматизированной системе управления учреждением высшего профессионального образования (далее — интегрированная автоматизированная система управления).

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р ИСО 9000—2001 "Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь";

ГОСТ Р ИСО 9001—2001 "Системы менеджмента качества. Требования";

ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126—93 "Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению";

ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 9294—93 "Информационная технология. Руководство по управлению документированием программного обеспечения";

ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119—2000 "Информационная технология. Пакеты программ. Требования к качеству и тестирование";

ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 12182—2002 "Информационная технология. Классификация программных средств";

ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207—99 "Информационная технология. Процессы жизненного цикла программных средств";

ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288—2005 "Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем";

ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1—2002 "Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 1. Введение и общая модель";

ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-2—2002 "Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 2. Функциональные требования безопасности";

ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3—2002 "Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 3. Требования доверия к безопасности";

ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 16326—2002 "Программная инженерия. Руководство по применению ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207 при управлении проектом";

ГОСТ Р 52653—2006 "Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Термины и определения".

Примечание. При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю "Национальные стандарты", который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р ИСО 9000, ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288, ГОСТ Р 52653, а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1. Поставщик: организация или физическое лицо, которое заключает соглашение с заказчиком на поставку системы, продукции или услуги.

Примечание. Соглашение оформляют в виде договора, контракта или в ином виде.

3.2. Процесс: множество взаимосвязанных действий, преобразующих исходные данные в выходной результат в виде продукции.

Примечание. Процесс может быть основным и вспомогательным (дополнительным) и декомпозирован на подпроцессы, операции.

3.3. Продукция: результат процесса.

Примечание. Примерами продукции могут быть информационная система, программное обеспечение, информационная услуга и т. д.

3.4. Организация: группа работников с распределением ответственности, полномочий и взаимоотношений, а также необходимых средств.

Примечание. Примером организации может быть образовательное учреждение высшего профессионального образования (университет, академия, институт).

3.5. Высшее руководство: лицо или группа работников, осуществляющих управление деятельностью организации.

Примечание. В образовательном учреждении высшего профессионального образования к высшему руководству относятся ректор и проректоры.

3.6. Интегрированная автоматизированная система управления: информационная система, предназначенная для информационного обеспечения скоординированной деятельности по руководству и управлению организацией или корпоративной структурой в соответствии с направлениями ее деятельности, организационной структурой, взаимосвязанными процессами и ресурсами.

Примечания:

1. Уровень интеграции информационной системы характеризует степень упорядоченности и совместного использования данных и информационных объектов, хранящихся в распределенных базах данных.

2. Уровень автоматизации информационной системы характеризуется степенью формализации процессов организации и оценки их результативности и эффективности.

4. Назначение интегрированной автоматизированной системы управления

4.1. Основным назначением интегрированной автоматизированной системы управления учреждением высшего профессионального образования является информационное обеспечение скоординированной деятельности по руководству и управлению организацией в соответствии с целями и направлениями ее деятельности, определенными законодательной базой Российской Федерации, учредительными документами, аккредитацией, лицензией, договорами и контрактами.

4.2. Интегрированная автоматизированная система управления учреждением высшего профессионального образования должна обеспечивать выполнение следующих основных функций:

— информационно-аналитическая поддержка принятия стратегических решений высшим руководством организации;

— системное управление организацией по направлениям административно-управленческой, образовательной и научно-исследовательской деятельности;

— управленческий учет и бюджетное планирование;

— управление организационной структурой в соответствии с назначением структурных подразделений (филиалы, институты, факультеты, кафедры, управления, отделы, центры, лаборатории и др.) и правилами их взаимодействия;

— управление основными и вспомогательными процессами в соответствии с их функциональными назначениями, нормативными требованиями и ресурсным обеспечением;

— планирование и управление финансовыми, кадровыми, информационными и материально-техническими ресурсами;

— учет всех категорий лиц, обучающихся в учреждении (абитуриенты, студенты, стажеры, аспиранты, докторанты и др.);

— менеджмент результативности, эффективности и качества основных и вспомогательных процессов, продукции и услуг по направлениям деятельности.

Примечания:

1. Менеджмент качества в организации может осуществляться путем создания системы менеджмента качества по ГОСТ Р ИСО 9001 и включения ее в интегрированную автоматизированную систему управления.

2. Качество образовательной деятельности может быть обеспечено с помощью типовой модели ENQA (Европейская сеть агентств качества высшего образования) или других моделей;

— управление имуществом организации (земля, здания и др.);

— управление электронными документами в системе и при информационном взаимодействии с другими системами с соблюдением требований конфиденциальности информации и обеспечением, при необходимости, защиты информации.

4.3. Интегрированная автоматизированная система управления может обеспечивать выполнение дополнительных функций, указанных в п. 4.2, учитывая особенности конкретного учреждения высшего профессионального образования.

4.4. Основные функции интегрированной автоматизированной системы управления могут быть реализованы в момент ввода в действие всей системы или поэтапно путем последовательной разработки подсистем и модулей, входящих в нее.

4.5. Учреждение высшего профессионального образования может самостоятельно создавать интегрированную автоматизированную систему управления или приобрести готовую систему или ее часть у поставщика.

4.6. Функции оператора интегрированной автоматизированной системы управления может вы-

полнять одно из структурных подразделений учреждения высшего профессионального образования или внешняя организация, уполномоченная на это.

5. Жизненный цикл интегрированной автоматизированной системы управления

5.1. В целях обеспечения качества, эффективности и согласованности деятельности заказчик и поставщик должны взаимодействовать в течение всего жизненного цикла интегрированной автоматизированной системы управления в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288.

5.2. Создание интегрированной автоматизированной системы управления должно осуществляться в соответствии с согласованной моделью ее жизненного цикла, содержащей структуру и требования к процессам и этапам жизненного цикла системы по ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288.

5.3. Описание процессов жизненного цикла интегрированной автоматизированной системы управления — по ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288.

5.4. Процессы и группы процессов жизненного цикла интегрированной автоматизированной системы управления должны быть определены на разных уровнях иерархии системной структуры и реализованы на различных этапах ее жизненного цикла в рамках управления проектом создания системы.

5.5. Программные средства являются неотъемлемой частью интегрированной автоматизированной системы управления, и их жизненный цикл должен соответствовать требованиям ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288 и ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207.

Примечания:

1. Наряду с программными средствами в состав интегрированной автоматизированной системы управления могут входить технические средства, программно-технические комплексы и др.

2. В отдельных случаях создание интегрированной автоматизированной системы управления может быть ограничено закупкой и адаптацией программного продукта.

5.6. Создание интегрированной автоматизированной системы управления и входящих в ее состав программных средств должно документироваться в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288, ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207, ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 16326, ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119, ИСО/МЭК ТО 9294, ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 12182.

5.7. Структура интегрированной автоматизированной системы управления может содержать программные подсистемы и модули, предназначенные

для реализации определенных настоящим стандартом функций (подфункций) или процессов по направлениям деятельности учреждения высшего профессионального образования. В соответствии с заданной структурой программного обеспечения должна быть разработана документация на программный продукт.

5.8. В процессе функционирования интегрированной автоматизированной системы управления должно быть обеспечено выполнение требований в области конфиденциальности информации, установленных в законодательной базе Российской Федерации, ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1, ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-2, ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3.

6. Подтверждение соответствия и гарантии качества

6.1. В соответствии с Федеральным законом "О техническом регулировании" подтверждение соответствия интегрированной автоматизированной системы управления и входящих в нее элементов установленным требованиям может носить обязательный или добровольный характер.

6.1.1. Для интегрированной автоматизированной системы управления обязательное подтверждение соответствия проводят только в случаях, указанных в техническом регламенте и исключительно на соответствие требованиям технического регламента (например, в области электромагнитной совместимости, безопасности информационных технологий).

6.1.2. Добровольное подтверждение соответствия интегрированной автоматизированной системы управления и входящих в нее элементов проводят по инициативе заявителя (заказчика, поставщика) на условиях договора между заявителем и органом

по сертификации для установления соответствия продукции (процессов, услуг) национальным стандартам, стандартам организаций, системам добровольной сертификации, условиям договоров.

6.2. При добровольном подтверждении соответствия программных средств интегрированной автоматизированной системы управления рассматривают следующие характеристики качества программного обеспечения по ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126:

- функциональные возможности;
- надежность;
- практичность;
- эффективность;
- сопровождаемость;
- мобильность.

6.3. Поставляемое с интегрированной автоматизированной системой управления программное обеспечение должно содержать описание продукта и документацию пользователя по ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119, характеризующуюся следующими свойствами:

- полнотой;
- правильностью;
- понятностью;
- простотой обозрения.

6.4. Тестирование и оценку качества программного обеспечения интегрированной автоматизированной системы управления осуществляют по ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119.

6.5. Дополнительной гарантией качества интегрированной автоматизированной системы управления и входящих в нее компонентов могут быть результаты сертификации поставщика на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9001.

Ссылка на данный материал не допускается

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.

Проблемы энергосбережения и экологии автомобильной техники¹



Современное состояние и перспективы развития автомобильной отрасли в свете мониторинга реализации концепции развития автопрома России накануне предстоящего вступления в ВТО были представлены на 5-м Международном автомобильном научном форуме ("МАНФ—2007") в Москве.

"МАНФ—2007" прошел под девизом "Проблемы энергосбережения и экологии автомобильной техники". Организаторы форума поставили актуальную задачу — объединить усилия представителей отечественной и зарубежной автомобильной промышленности и смежных отраслей, государственных и общественных структур, научных организаций и высших учебных заведений, от которых зависит успешное решение данной проблемы.

Структурно форум состоял из пленарного заседания и секционных научных мероприятий (конференций, рабочих совещаний, семинаров, круглых столов), а также выставочной экспозиции.

Научная программа форума проходила в течение 2 дней с участием ученых, инженеров, преподавателей ведущих учебных центров, представителей предприятий и научных организаций автомобильной и смежных отраслей промышленности.

Основное содержание программы включало проведение двух научных конференций: "Совершенствование конструкций АТС и энергоустановок для использования альтернативных видов топлива" и "Исследования экологичности и безопасности автомобильной техники. Проблемы утилизации автотранспортных средств".

Всего были представлены свыше 35 докладов и сообщений. Пленарное заседание открыли генеральный директор ГНЦ РФ ФГУП "НАМИ" д-р экон. наук А. А. Ипатов. Он выступил с докладом "Задачи отраслевой науки в развитии российской автомобильной промышленности". В докладе убедительно показано, что мировая практика, базирующаяся на информации и знаниях, стала непосредственной производительной силой США, Японии, ЕС. Автомобилестроение относится к высокотехнологичным производствам, где приоритет уделяется в первую очередь информации и знаниям.

Была представлена структура разработанного проекта Федеральной целевой программы "Созда-

ние автотранспортных средств нового поколения, работающих на альтернативных видах топлива, в том числе газовом, а также с применением комбинированных энергетических установок" на 2008—2012 гг.

Программа включает разработку восьми подпрограмм:

— технологии создания энергетических установок автотранспортных средств, работающих на альтернативных видах топлива;

— технологии создания перспективных комбинированных энергоустановок АТС на базе двигателей внутреннего сгорания, электрохимических генераторов и тяговых источников тока (в том числе двойного назначения);

— технология создания автотранспортных средств, работающих на альтернативных видах топлива, а также с применением комбинированных энергоустановок;

— технология создания систем обеспечения комплексной безопасности АТС с комбинированными энергоустановками, работающими на альтернативных видах топлива;

— технологии создания новых конструкционных автомобильных материалов;

— технология создания компонентов АТС с энергоустановками нового поколения;

— технология утилизации и рециклирования автотранспортных средств и их составных частей;

— развитие технологий проведения испытаний, модернизация научно-исследовательской и экспериментально-технологической базы, создание единого исследовательского центра.

В докладе А. А. Ипатова подробно проиллюстрированы конкретные направления каждой из подпрограмм. По мнению докладчика, отраслевая наука может и способна решать проблемные вопросы в сжатые сроки и на высоком техническом уровне (на выставке были представлены отдельные перспективные экспонаты НАМИ). В рамках пленарного заседания были заслушаны три концептуальных выступления руководителей сектора автомобильной промышленности генеральной дирекции по предпринимательству и промышленности Комиссии Европейского сообщества, посвященные взаимному признанию результатов сертификации в ЕС, разъяснению положений законодательных инициатив ЕС: CARS-21 (создание конкурентоспособных автомобилей XXI века) и REACH (регистрация,

¹ По итогам 5-го Международного автомобильного научного форума ("МАНФ—2007").

оценка, разрешение и ограничение химических веществ) применительно к специфике автомобильной промышленности. Состоялись российско-европейский семинар и рабочее совещание подгруппы по автомобильной промышленности в рамках диалога по промышленной политике и предпринимательству, направленные на реализацию "Дорожной карты" по Общему экономическому пространству России и ЕС при поддержке европейской программы TAIEХ.

Проблемам разработки многоцелевых легковых и грузовых автомобилей с гибридной силовой установкой (ГСУ) были посвящены выступления ученых и специалистов НАМИ и МГТУ "МАМИ". В частности, ученые МГТУ "МАМИ" представили результаты исследований экспериментального многоцелевого автомобиля с ГСУ с перспективными схемами привода от разных источников энергии. Приведены преимущества и недостатки каждой из восьми разработанных схем. В экспериментальной ГСУ помимо серийного ДВС система тягового электрооборудования выполнена на основе компонентов НПП "Квант", включающих асинхронный электродвигатель, блоки преобразования энергии и управления, блоки силовой коммутации и управления режимами электромашин, аккумуляторные батареи, а также пульты управления и распределительные панели.

Подтверждено, что ГСУ обеспечивает работу ДВС в постоянном режиме минимального удельного расхода топлива и уменьшение вредных выбросов при всех скоростных и нагрузочных режимах АТС, а также возможность реализации движения автомобиля только на электротяге с выключенным ДВС.

Заметный интерес вызвал коллективный доклад специалистов ФГУП "НАМИ" "Создание модификаций дизельных двигателей, предназначенных для работы на биотопливе". Актуальность этого направления подтверждена тем, что активное использование альтернативных возобновляемых источников энергии из сельскохозяйственного сырья (моторного биотоплива — биоэтанола и биодизельного топлива — БДТ) в США, Японии, Бразилии, Канаде и странах ЕС является одним из приоритетов национальной политики. В этих странах приняты и реализуются различные программы поддержки и стимулирования данных производств путем предоставления налоговых льгот и дотаций.

Исследования НАМИ позволяют расширить применение биотоплива для АТС в России. С этой целью институтом предлагается:

— полный перечень работ по адаптации автотранспорта и сельхозтехники для работы на биодизельном топливе и его смесях с дизельным;

— разработка рекомендаций по эксплуатации дизелей, работающих на биодизельном топливе, по повышению их надежности, сокращению ресурса,

уменьшению расхода топлива и обеспечению экологических норм;

— исследование состава и свойств биодизельного топлива и разработка рекомендаций для его использования в различных климатических зонах и в различное время года.

Другие доклады и сообщения ученых, специалистов и практиков НАМИ, МГТУ "МАМИ", МГИУ, ГТУ "МАДИ", МГУПИ, ФГУП "НИЦИАМТ" и др. были посвящены различным проблемам и направлениям энергосбережения, совершенствования конструкций автомобильных ДВС и АТС, экологичности и безопасности, нормативно-правовой политике, а также некоторым аспектам утилизации АТС.

Организаторы форума подготовили компактную, но содержательную выставку технических достижений автостроения, где были представлены реализованные результаты научных исследований по тематике форума. Среди экспонатов отметим прежде всего разработку типажа и создание мобильных малогабаритных транспортных средств (ММТС) для сельского хозяйства (разработчик — ГНЦ РФ ФГУП "НАМИ"). ММТС — это 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. На базе ММТС создается широкая гамма машин для решения различных задач на селе, в сфере здравоохранения, образования и жилищного строительства.

ММТС различных классов построены из унифицированных модулей, в том числе с применением агрегатов и компонентов отечественных автомобилестроительных и тракторостроительных заводов, выполняющих самостоятельную функцию или существующих как отдельная сборочная единица. Для дорог общего пользования и эффективного преодоления бездорожья ММТС имеет достаточную энерговооруженность, усилитель рулевого управления, систему отбора мощности, подвеску колес и трансмиссию с широким диапазоном передаточных отношений.

Инновационность ММТС подтверждена 17 патентами на промышленные образцы, полезные модели и изобретения, наградами на российских и зарубежных выставках и форумах.

На выставке был также представлен городской автомобиль на базе ВАЗ-2114 с двигателем, работающим на этаноле и водородном топливе ("НАМИ-Водород 2") (см. рис. 1). Техническая характеристика: максимальная скорость 175 км/ч, разгон до 60 км/ч за 13 с, требования по токсичности — Евро-5, сум-

марная мощность энергоустановки 65,5 кВт.

Среди перспективных экспонатов — макетный образец автобуса (школьного) в качестве специального транспортного средства, изготовленного на базе шасси автомобиля ГАЗ-33104 "Валдай" (разработчик и изготовитель — ГНЦ ФГУП "НАМИ" (рис. 2)). Число мест для сидения — детей 11, сопровождающих — 2 человека. Снаряженная масса 5185 кг, полная масса 6000 кг. Максимальная скорость 60 км/ч. Кузов автобуса представляет каркасно-панельную конструкцию из стальных труб прямоугольного профиля, на которой крепятся панели из ударопрочного пластика. С целью повышения прочности и жесткости всей конструкции под каждым окном монтируется силовой модуль из пересекающихся труб, закрепленных вертикально, горизонтально и под углом друг к другу. Силовой агрегат автобуса — турбодизель ММЗ Д-245.7Е2 (Евро-2) номинальной мощностью 117 л. с., коробка передач — механическая, пятиступенчатая. Автобус позволяет перевозить также детей с ограниченной подвижностью на инвалидных колясках.

МГТУ "НАМИ" представил экспериментальный многоцелевой грузопассажирский автомобиль с гибридной силовой установкой (ГСУ). В качестве базового образца был выбран серийно выпускающийся полноприводный автомобиль УАЗ-3153 полной массой 2600 кг, снаряженная масса 2140 кг. В ГСУ входит ДВС УМЗ-4218.10 мощностью 73 кВт (99,2 л. с.) и электродвигатель (обратимая асинхронная электромашинка с короткозамкнутым ротором максимальной мощностью 35 кВт и крутящим моментом 280 Н·м, напряжением 120 В). В качестве электрических накопителей использованы 10 аккумуляторных кислотных свинцовых батарей "Оптим Д1000" общей массой 190 кг. Автомобиль является учебным действующим образцом научно-образовательного центра "Автомобили с гибридными силовыми установками", организованного в 2006 г. в МГТУ "НАМИ".

На выставке был представлен электровелосипед "НАМИ". Электровелосипед оснащен восьмискоростной трансмиссией во втулке заднего колеса, источник энергии — аккумуляторная батарея (10 А,



Рис. 1. ВАЗ-2114 ("НАМИ-Водород 2")



Рис. 2. Экспериментальный 13-местный школьный автобус на шасси автомобиля "Валдай"

36 В, заряд за 7 ч). Велосипед также оснащен электронным контроллером с силовым и управляющим приводом. Полная масса электровелосипеда 25 кг.

Форум показал, что основная задача российского автопрома — энергосбережение и экология автомобильной техники цивилизованных стран с учетом конкретных условий и специфики отрасли.

В октябре 2008 г. состоится очередной форум "МАНФ—2008", приуроченный к 90-летию основания НАМИ.

Е. С. ДОБРинский, канд. техн. наук,
(Академия проблем качества РФ),
В. А. Сеин, инж.
(ОАО "АСМ-холдинг")

Ю. В. БУДКИН, д-р техн. наук
"МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского

Механизм и стратегия развития инновационных производственных процессов

Цель инновационной программы как механизма реализации инвестиционно-инновационной политики состоит в установлении и поддержании в действующем состоянии процедур, обеспечивающих эффективное достижение целевых показателей. Содержание программы учитывает изменяющиеся потребности и ожидания заинтересованных сторон.

Концепция Федеральной программы "Национальная технологическая база" на 2007—2011 гг. направлена на создание баланса инновационного развития и удовлетворения потребностей отечественной наукоемкой промышленности в новых базовых технологиях, обеспечивающих новые функциональные качества и конкурентоспособность производимой продукции с учетом обеспечения технологических аспектов национальной безопасности страны; независимости при реализации энергетической стра-

тегии, стратегий развития промышленности и других основополагающих документов.

Программа должна стать катализатором коммерциализации результатов научно-технических процессов и повышения уровня капитализации предприятий и организаций разработчиков новой технологии за счет введения результатов научно-технических процессов в хозяйственный оборот.

Мероприятия программы ориентированы на обеспечение реализации, в том числе с созданием новых центров управления крупными комплексными проектами, требования к которым вытекают из анализа задач социально-экономического развития страны, обеспечения национальной безопасности и потребностей бизнеса.

Формирование структуры программы требует, с одной стороны, определения границ и структуры объекта программного планирования и управления, с другой — выделения тех организационно-обособленных структур предприятия и организации производственных процессов, которые необходимы для создания объекта достижения целей программы¹.

Как объект программного планирования отраслевая программа развития сварочного производства имеет многоуровневую структуру (см. рисунок).

В работе предложен механизм реализации отраслевой инновационной программы развития в сварочном производстве по принципам оперативного управления и хозяйственного ведения. Принцип оперативного управления отраслевой инновационной программы применяется в случае:

- если преобладающая или значительная часть производимой инновационной продукции, выполняемых работ, оказываемых услуг предназначена для федеральных



Структурные объекты. Исполнители подпрограмм			
1. Фундаментальные исследования	2. Разработка промышленных технологий	3. Регулирование инновационных процессов	4. Поддержка технических решений
Государственные научно-исследовательские учреждения	Государственные, частные организации — разработчики технологий	Федеральные ведомства, региональные департаменты	Государственно-частное партнерство

Принципы и формы структуризации отраслевой инновационной программы развития сварочного производства

¹ Мильнер Б. З., Евенко Л. И., Раппорт В. С. Системный подход к организации управления. М.: Экономика, 1983. 224 с.

государственных нужд, нужд субъекта РФ или муниципального образования;

- необходимости осуществления производственных процессов по разработке инновационных технологий, выполнению работ, оказанию услуг, реализуемых по установленным государством ценам в целях решения социальных задач;
- необходимости разработки и производства отдельных видов инновационной продукции, обеспечивающей безопасность РФ;
- необходимости осуществления отдельных дотируемых видов инновационных процессов и ведения убыточных научно-исследовательских производств;
- необходимости осуществления инновационных процессов, предусмотренной федеральными законами исключительно для государственных предприятий.

Структурными объектами комплексной инновационной программы при использовании механизма оперативного управления являются государственный заказчик и государственный разработчик программы, организация — разработчик новой технологии, инвестор.

Оперативное управление инновационными процессами заключается в субсидиарной ответственности по обязательствам, принятым государственным заказчиком и государственным разработчиком.

Принцип хозяйственного ведения отраслевой инновационной программы применяется в случае, близком к случаю применения принципа оперативного управления.

Хозяйственное ведение инновационными процессами заключается в распоряжении имуществом без согласия собственника дирекции программы. При этом дирекция программ выполняет комплексную инновационную программу в интересах собственника — государственного заказчика.

Распределение основных функций структурных объектов комплексной инновационной программы при использовании механизмов оперативного управления и хозяйственного ведения приведено соответственно в табл. 1 и 2.

Из табл. 1, 2 следует, что по способу воздействия на результат управления предпочтительной инновационной программой в модели управления эффективностью инновационных процессов в сварочном производстве является программа, основанная на хозяйственном ведении. При механизме хозяйственного ведения социально-экономический результат от реализации инновационной программы более существенный.

В работе рассмотрены возможные стратегии инновационного развития организации сварочного производства. С этой целью выделены три этапа (стадии) жизненного цикла инновации:

Таблица 1

Уровень управления	Принцип формирования политики управления	Инновационная программа	Определение функций управления	Способ воздействия на результат управления
Государственный заказчик — координатор программы	Исследование проблемы институциональных условий инновационного развития	Ведомственная отраслевая подпрограмма	Создание определенных институциональных условий. Совершенствование нормативно-правовой базы	Предоставление нормативно-правовой базы, регулирующей использование хозяйственного механизма
Государственные разработчики программы	Разработка схемы развития отрасли. Совершенствование механизмов государственного содействия в коммерциализации результатов научных разработок для социально-экономического развития, обеспечения национальной безопасности, удовлетворения потребности бизнеса	Ведомственная отраслевая подпрограмма	Разработка механизма смешанного финансирования с гибко настраиваемой величиной доли участия	Предоставление грантов (ресурсное обеспечение). Предоставление бюджетного кредита (ресурсное обеспечение). Предоставление лизинга (ресурсное обеспечение). Компенсация части кредитной ставки
Организация сварочного производства — разработчик новой технологии	Анализ исходной проблемы и рассмотрение альтернатив. Обоснование необходимых ресурсов	Инновационные проекты	Разработка программ создания инновационных продуктов и усовершенствованных технологических процессов. Определение ресурсов программ	Выбор стратегии и доли участия в инновационной программе
Бизнес-сообщество — инвестор	Разработка схемы распределения ресурсов	Коммерческие проекты	Разработка механизма возврата инвестиций. Разработка механизма распределения инвестиций в зависимости от технологического фона. Разработка смешанного финансирования	Проведение дискретного конкурса для выделения определенного ресурса

Таблица 2

Уровень управления	Принцип формирования политики управления	Инновационная программа	Определение функций управления	Способ воздействия на результат управления
Дирекция программы — ГУП	Содействие в проведении государственной политики. Развитие инновационной инфраструктуры. Разработка финансовых механизмов поддержки и развития инновационных процессов	Разработка механизма рыночных отношений в научно-технической сфере. Привлечение финансовых ресурсов, контроль за целевым, эффективным использованием. Содействие созданию рабочих мест Поддержка в освоении и внедрении новых технологий. Привлечение отечественных и иностранных инвесторов к реализации государственных научно-технических программ	Разработка механизма достижения социально-экономического эффекта на территории реализации программы. Поддержка технического уровня развития отрасли	Налоговые поступления от реализации проектов. Увеличение числа малых предприятий. Создание рабочих мест. Долевое финансирование. Вовлечение в хозяйственный оборот интеллектуальной собственности. Конкурентоспособность. Проведение непрерывных конкурсов для выделения меньшего ресурса
Организация сварочного производства — разработчик новой технологии	Анализ исходной проблемы и рассмотрение альтернатив. Обоснование необходимых ресурсов	Инновационные проекты	Разработка программ создания инновационных продуктов и усовершенствованных технологических процессов. Определение ресурсов программ	Выбор стратегии и участия в инновационной программе
Бизнес-сообщество — инвесторы	Разработка схемы распределения ресурсов	Коммерческие проекты	Разработка инвестиционной составляющей финансирования. Разработка механизма распределения дохода в зависимости от размера инвестиций и дохода инвестора. Разработка механизма распределения затрат инвесторов от предполагаемых доходов	Принятие решения о выборе механизма финансирования на основе экспертной информации. Принятие решения о перераспределении рисков между инвесторами

Таблица 3

Стратегия	Этап 1	Этап 2	Этап 3	Номер стратегии
Начало	1	1	1	1
	1	1	0	2
	1	0	1	3
	1	0	0	4
	0	1	1	5
	0	1	0	6
	0	0	1	7
	0	0	0	8
Примечание. "1" соответствует реализации этапа, "0" — не реализации.				

Таблица 4

Стратегия инновационного развития организации сварочного производства			
Непрерывная			Разрывная (3)
Базовая (1, 4)	Промежуточная (2, 6)	Производственная (1, 5, 7)	

1. Базовые технологические направления в исследованиях.

2. Разработка и производство продукта под контролем усовершенствованной технологии.

3. Опытно-промышленное освоение технологии, создание новых производств с капитальными вложениями инвесторов.

Соответственно получаем восемь стратегий, приведенных в табл. 3.

Организация может реализовать или не реализовать каждый из трех этапов. Отметим следующие общие свойства. Если организация реализует некоторый этап, то, согласно предложенным принципам и формам структуризации отраслевой инновационной программы развития сварочного производства, организация должна либо самостоятельно реализовывать предыдущий этап (за исключением случая, когда рассматриваемый этап является первым — наличие базовых технологических направлений), либо использовать чужие результаты предыдущего этапа, приобретая их у других организаций; в социально-экономической системе должны существо-

Таблица 5

Номер стратегии	Характеристика инновационной программы
111	Непрерывная производственная стратегия, в рамках которой организация самостоятельно выполняет инновационную программу. Примерами служат крупные корпорации со своими исследовательскими лабораториями и КБ
110	Непрерывная промежуточная стратегия, состоящая в исполнении инновационной программы по разработке инновационного продукта. Типовые примеры — высокотехнологичные фирмы (как правило, небольшого размера), реализующие результаты своих разработок промышленным организациям и крупным корпорациям. Один из самых распространенных случаев на западе и практически полностью отсутствующий в современной России, именно такие фирмы (проекты) финансируются инновационными венчурными фондами
101	Разрывная и редко встречающаяся на практике
100	Чистая стратегия, заключающаяся в выполнении инновационных программ для прикладных исследований
011	Непрерывная производственная стратегия, в рамках которой производственная организация самостоятельно выполняет инновационную программу по разработке и внедрению усовершенствованной технологии. Типовой пример — высокотехнологичная фирма
010	Чистая стратегия, заключающаяся в выполнении инновационной программы только по разработке инновационного продукта. Типовой пример — КБ. В некоторых странах существуют целые отрасли, где группируются организации, покупающие "разработки-незавершенки", не готовые к внедрению. Эти организации доводят разработки до состояния патента и продают. Другие организации внедряют патенты через организационные договоры. При этом выгода заключается в доведении исследования до конечной продукции с высокой добавленной стоимостью
001	Чистая производственная стратегия. Пример — промышленная фирма, не занимающаяся разработкой усовершенствованной технологии
000	Вырожденная стратегия

вать потребители результатов реализации этого этапа — либо сама организация (за исключением случая, когда рассматриваемый этап является последним — опытно-промышленное освоение технологии — и потребитель может быть только внешним), либо другие организации.

Конечно, организация не ограничивается одной инновацией, однако стратегия инновационного развития организации отражает, какого рода инновации для нее наиболее типичны (какова инвестиционно-инновационная политика организации).

Отметим, что редкими бывают "разрывные" стратегии, т. е. те, в которых имеются пропуски в реализуемых организацией этапах. Достаточно массовой является "непрерывная" стратегия, заканчивающаяся производством. Назовем такую стратегию "производственной стратегией". Различные производственные стратегии отличаются числом последовательно реализуемых этапов.

Другая крайность — базовые технологические направления в исследованиях — непрерывные стратегии, начинающиеся с накопленных за предыдущие, длительные периоды существования организации технических решений и отличающиеся числом последовательно реализуемых этапов.

Также среди непрерывных можно выделить промежуточные стратегии (не заканчивающиеся производством). В промежуточных стратегиях этапы реализуются последовательно.

В данной работе предложена следующая система классификаций. Стратегии инновационного развития фирмы подразделяются на стратегии непрерывные и разрывные. Непрерывные стратегии в свою очередь подразделяются на стратегии базовые, производственные и промежуточные.

Классификация стратегий инновационного развития организаций сварочного производства приведена в табл. 4.

Непрерывные стратегии можно упорядочить, во-первых, по "степени фундаментальности" — в порядке убывания: базовые, промежуточные, производственные; во-вторых — по длине реализуемого этапа: стратегии 1, 2, 4; стратегии 6, 7; стратегии 1, 5 (см. табл. 3).

На приведенном рисунке на горизонтальной шкале показано влияние субъектов инновационной среды на инновационные процессы организации. Завершив описание системы классификаций, рассмотрим последовательно все восемь стратегий инновационного развития организации сварочного производства и выделим типичные стратегии реализации инновационных программ (табл. 5).

Исходя из перечисленных типовых стратегий инновационного развития организации, можно ставить и решать задачи стратегического выбора уровня подпрограммы и формы ее участия в отраслевой инновационной программе развития сварочного производства.

А. В. МЕДАРЬ, д-р техн. наук
НПО "Техномаш"

Принципы технологического синтеза

Технологический синтез как составная часть (этап) технологического проектирования включает непосредственную разработку технологии и реализующих ее средств технологического оснащения (СТО). Известно, что эволюция технологии и оборудования определяется развитием и совершенствованием конструкций изделий, на производство которых они направлены, а также внутренними закономерностями и особенностями развития самой технологии. Одной из характерных общетехнических закономерностей эволюции технологии является наличие повторяющихся циклов различной длительности, характеризующихся периодическим переходом от одного поколения технологии и оборудования к другому, более совершенному.

Категория цикличности как важнейший аспект развития материи подлежит обязательному учету при модернизации существующего производства и технической подготовке производства новых изделий. Суть вопроса заключается в том, что при эволюционном пути развития жизненный цикл каждого поколения технологий и их реализующих средств СТО, как правило, в рамках одного и того же технического принципа последовательно проходит четыре фазы развития (рис. 1) [1, 2].

Первая фаза характеризуется относительно высокими первоначальными затратами, связанными с полномасштабной разработкой новых образцов техники и освоения их производства. На второй фазе жизненного цикла потенциальные возможности, заложенные в основу этого поколения техники, обеспечивают весьма быстро нарастающий экономический эффект. На третьей фазе темпы роста эффективности замедляются, а затраты, необходимые для

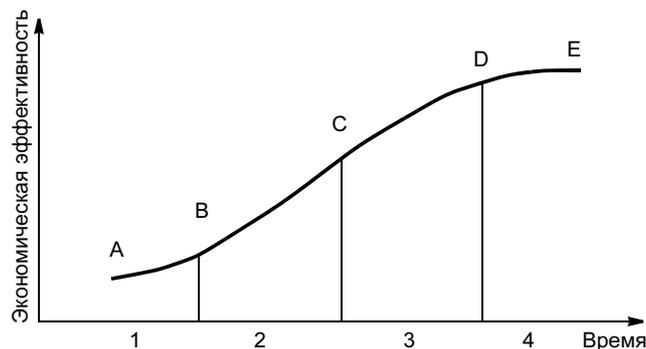


Рис. 1. Логистическая кривая, описывающая жизненный цикл поколения техники: 1 — разработка и освоение в производстве нового поколения техники; 2 — массовое распространение (тиражирование) нового поколения техники; 3 — исчерпание технико-экономического потенциала поколения техники; 4 — технический принцип поколения техники устарел

поддержания функциональных возможностей техники, наоборот возрастают. Четвертая фаза отражает исчерпание потенциальных возможностей технического принципа, положенного в основу поколения техники, при этом дополнительные затраты на совершенствование применяемой техники или ее отдельных компонентов к увеличению эффекта не приводят.

Таким образом, для данного временного этапа эволюционный путь развития техники исчерпал свои возможности и для дальнейшего повышения экономической эффективности необходимы революционные преобразования, означающие переход к новому поколению, в основу которого заложены более прогрессивные технические принципы. Схема роста эффективности при последовательной смене поколений техники приведена на рис. 2. Огибающая волнообразная кривая отражает непрерывный рост эффективности во времени.

Заключительный этап эволюционного развития приводит к необходимости революционных перемен — переходу к новому техническому принципу и формированию на его основе нового поколения технологий и оборудования. Характерной особенностью является наличие критических областей в местах перехода от эволюционного к революционному пути развития, отражающих смену поколений техники. В данных критических областях имеет место существенное снижение эффективности производства (и даже появление потерь — отрицательного эффекта). Это объясняется тем, что заменяемая техника на заключительной фазе перестает быть источником роста эффективности, поскольку исчерпаны ее потенциальные возможности, а новая

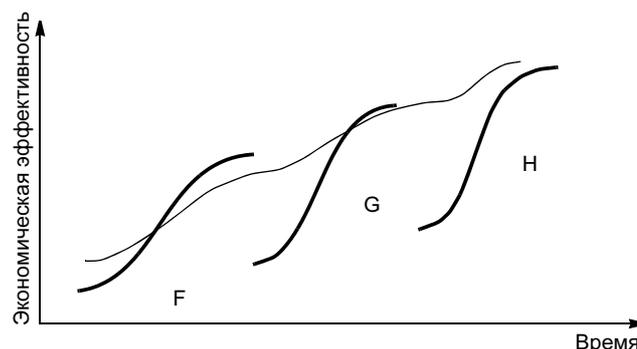


Рис. 2. Рост эффективности при последовательной смене поколений техники (F — поколение базовой техники; G — новое поколение техники; H — перспективное поколение техники)

техника на первой фазе своего развития еще не может служить источником роста эффективности, поскольку она еще не совершенна и требует значительных затрат.

Революционный переход от одного поколения техники к другому, взятый сам по себе, экономического эффекта не порождает, а создает лишь предпосылки научно-технического плана для его роста в будущем. Реальный же рост экономического эффекта имеет место только на эволюционном этапе по мере совершенствования нового технического принципа, причем повышение эффективности производства на эволюционном пути технического прогресса ограничено пределами определенного цикла жизни поколения техники и технологии.

От правильной оценки временных этапов развития технологии и СТО, своевременных (задельных) поисковых исследований и полномасштабных разработок новых и перспективных технологий во многом зависят технико-экономические показатели производства. Так, например, при совмещении в одном временном интервале четвертой фазы эволюционного развития базового поколения и первой фазы нового неизбежна двойная нагрузка на экономическое положение предприятия (отрасли) и существенное ухудшение показателей эффективности производства. В этой связи особую актуальность приобретают рациональная методология проведения технической подготовки производства для модернизации существующих и изготовления новых изделий, а также общие принципы и методы технологического синтеза в сборочном производстве.

Анализ хода выполнения и результатов исследований, направленных на создание перспективных технологических процессов и оборудования в сборочном производстве изделий специального машиностроения, позволил выявить ряд закономерностей и сформулировать основные принципы технологического синтеза [2—4]. Остановимся более подробно на некоторых из них.

Принцип "определенности". Его суть заключается в том, что на определенных этапах процесса развития технологии происходит выбор конкретной (определенной) базовой конструкции СТО, которая на значительный (по времени) последующий период становится основой для дальнейших совершенствований. Более того, выбранная конструкция активно влияет на последующее развитие технологии — происходит ее совершенствование, под нее создается структура сопряжений со смежными производствами и условиями эксплуатации, происходит специализация предприятий и организаций, переплетаются человеческие интересы. Это в значительной мере снижает активность поиска альтернативных решений и возможностей для их реализации. Таким образом, однажды сделав выбор базовой технологии и принципиальных конструктивных схем

реализующего ее оборудования, обусловленный вполне определенной социально-экономической и технологической обстановкой, в дальнейшем необходимо совершенствовать и модернизировать базовый инвариант, доводя его технический уровень до состояния, близкого к исчерпанию материально-технических возможностей.

Последнее обстоятельство обуславливает необходимость наличия заранее заложенного в базовую конструкцию (технологию) "резерва роста", создающего возможность последующего "доведения" объекта по мере накопления производственного опыта и его научного обобщения в процессе производства и эксплуатации. Это отражает второй принцип технологического синтеза — принцип "резервирования". Его суть заключается в том, что при синтезе базового технического объекта необходимо закладывать технические решения, предусматривающие возможность роста основных показателей уровня.

Как показывают проведенные исследования [5, 6], большинство модернизаций и совершенствований оборудования и технологии в любой конкретной области сводится к постепенному использованию потенциала, заложенного в базовом инварианте, который определяет в своей области главное направление технического прогресса.

Следует отметить, что действие принципа "резервирования" распространяется помимо технической и на производственную, научную, социальную сферы деятельности. Полное использование имеющихся ресурсов в части загрузки производственных мощностей парка оборудования предприятия и интенсификации плановой деятельности научных коллективов ограничивает возможность существенного прогресса в их деятельности (реконструкция предприятия откладывается из-за невозможности уменьшить выпуск плановой продукции, синтез и проработка новых концепций и технических решений переносится из-за чрезмерного объема плановых текущих работ и т. п.). Напряженный план необходим как исключительное средство в чрезвычайной ситуации, но не в качестве перманентной политики.

Третьим основным принципом технологического синтеза является принцип "совмещения". Впервые сформулированный в работе [7] применительно к сборочному производству он отражает факт слияния в одном устройстве двух и более различных технологий. Сам процесс эволюции техники, которому свойственны саморегулирование и самоограничение, редко продолжается неснижающимися темпами и имеет, как правило, пределы и различного рода препятствия. Основными из них являются фиксированность формы технологии и сложность ее структуры. В этом случае слияние (совмещение) двух (или более) технологий упрощает общую схему устройства, их реализующего (по сравнению с группой устройств, реализующих эти технологии по от-

дельности), и отодвигает пределы, ограничивающие его эволюцию. Также часто причиной совмещения технологий является общность цели. Обоснованное теоретически совмещение технологий не всегда реализуется материально, но если это происходит, то последствия для технологического объекта, который в любом другом случае имел бы эволюционный характер развития, оказываются радикальными.

Четвертый принцип технологического синтеза — принцип "ограниченности" — заключается в отсутствии в большинстве случаев возможности непосредственно распространять технологические достижения, полученные в одной области техники, на другую. Производственный опыт во многом специфичен и для конкретной технологии (оборудования), и для реализующего эту технологию предприятия. В связи с этим технологическое нововведение в рамках одной технологической системы (предприятия, отрасли и др.) неполностью подходит другой и, как правило, требует доработки, иногда значительных материально-технических затрат на доводку и модернизацию. Поэтому необходимо учитывать, что временные характеристики процессов передачи технологии (заимствования технических решений в оборудовании и оснастке) обычно на порядок выше, чем предполагают.

Сформулированные основные принципы технологического синтеза необходимо учитывать при фор-

мировании технологической политики в целом и в процессе технологического проектирования, поскольку суть технического прогресса заключается как в необратимости его последствий, так и неповторимости первоначального выбора, либо в значительных материально-технических издержках при возврате к первому эволюционному этапу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алагуров В. В.* Методический подход к формированию комплекса средств технологического оснащения в цикле создания изделия // Стандарты и качество. 1989. № 5.
2. *Медарь А. В.* Обеспечение качества изделий в сборочном производстве. М.: ГОНТИ-2, 1988. 58 с.
3. *Медарь А. В.* Основные принципы технологического синтеза // Технология производства. Сер. XIII. 1988. Вып. 3. С. 23—27.
4. *Медарь А. В.* Технологическое проектирование в единичном и мелкосерийном сборочном производстве // Технология производства. Сер. XIII. 1983. Вып. 2. С. 4—7.
5. *Задерей В. Н., Медарь А. В.* Развитие технологии сборочного производства изделий машиностроения // Производственно-технический опыт. 1983. № 6. С. 95—113.
6. *Медарь А. В., Задерей В. Н.* Основные направления развития технологии сборочного производства современных изделий машиностроения // Технология производства. Сер. XIII. 1983. Вып. 3. С. 118—126.
7. *Касаев К. С., Полтавец Г. А.* Новые наукоемкие технологии в технике: Энциклопедия. Т. 11. Совместимость свойств — закон природы / Под общ. ред. К. С. Касаева. М.: ЗАО НИИ "Энцитех", 1998. 295 с.

А. Н. НОСАЧЕВ, аспирант

Государственный университет — Высшая школа экономики (ГУ-ВШЭ) (Москва)

Аутсорсинг в тяжелом машиностроении: мировой опыт и возможности для российских компаний

ВВЕДЕНИЕ

В последние несколько лет российское машиностроение смогло заметно нарастить объемы производства. Основным "драйвером" стал спрос российских компаний-потребителей продукции машиностроения, выраженный преимущественно в ремонте и замене полностью изношенного оборудования. В условиях высоких цен на ресурсы значительные инвестиционные программы реализовывали большинство добывающих, металлургических, транспортных компаний — основных потребителей продукции машиностроения в России.

Высокий износ оборудования и технологическое отставание машиностроительных предприятий с трудом позволяют реализовать полученные контракты, а в ряде случаев покупатели предпочли переключиться на иностранную технику (особенно при покупке нового оборудования). Ключевыми проблемами российского машиностроения в области ликвида-

ции технологического отставания и модернизации производства являются:

- устаревшие образцы техники;
- устаревшие комплектующие в составе конечного продукта;
- устаревшее и изношенное оборудование, вынуждающее использовать неэффективные методы производства.

Для решения данной проблемы машиностроительные заводы разработали и реализуют масштабные инвестиционные программы. Однако они могут оказаться неэффективными в силу ряда причин, основной из которых является неэффективная модель производства, основанная на "натуральном хозяйстве". Большинство машиностроительных заводов было создано более 20 лет назад и используют полный цикл производства, начиная с заготовок и кончая готовым продуктом с автоматизированной системой управления.

Имеющихся в распоряжении предприятий средств недостаточно для решения всех проблем, а инвестиции с сохранением имеющейся модели производства могут оказаться бессмысленными тратами ресурсов компаний.

Для определения направлений инвестиций имеет смысл определиться с приоритетными направлениями и отказаться от идеи полного цикла производства. Эффективным инструментом для этого может стать использование опыта и моделей выстраивания производственного цикла ведущими международными корпорациями. Однако прямое копирование бизнес-моделей иностранных компаний невозможно в силу серьезных различий в организации производства и путей развития отраслей в течение последних десятилетий.

Методика проведения исследований

Для определения возможности применения производственного аутсорсинга российскими предприятиями проведен анализ моделей бизнеса отечественных и наиболее эффективных в отрасли компаний, занимающихся производством железнодорожной техники и дизельных двигателей, и их зарубежных конкурентов по выпуску конечной продукции. Проанализированы ключевые факторы успеха на рынках и выявлены те из них, на которые напрямую может влиять аутсорсинг.

Результаты исследований

Анализ глубины производства

Особенностью российских предприятий тяжелого машиностроения является наличие полной производственной цепочки на каждом предприятии, т. е. заводы получают металлические заготовки, а на выходе — конечная продукция — локомотив. Различные переделы имеют разные экономические уровни, поэтому целый ряд производств оказался неэффек-

тивным в условиях снижения объемов производства. В наибольшей степени эффект экономии присутствует в первичных переделах, прежде всего при литье.

Ведущие мировые производители с середины 20 века строили заводы без первичных переделов, а в настоящее время специализируются только на сборке и конструкторских работах. Они получают добавленную стоимость за счет разработки конструкции машин, сборки, продажи запчастей и сервисных услуг. Собственное производство, как правило, 10—50 деталей. Производство комплектующих часто сосредоточено в нескольких специализированных компаниях, которые могут обеспечить массовость производства, что позволяет снизить себестоимость и сконцентрироваться на развитии продукта. Общая глубина производства на западных предприятиях тяжелого машиностроения составляет 20—40 %, в то время как на российских заводах — 70—95 %. Российские предприятия являются вертикально интегрированными производственными комплексами. Все основные элементы изготавливаются на предприятиях из исходного сырья, а объем закупок готовых деталей минимален.

Ключевые факторы успеха в машиностроении

В долгосрочном периоде успех компаний в тяжелом машиностроении определяется двумя группами факторов (рис. 1).

Первая группа наиболее точно характеризуется понятием "качество продукции" и состоит из четырех ключевых показателей: эффективности R & D (под R & D (Research and Development) понимаются исследования и разработки, данный термин близок по значению к термину НИОКР), качества комплектующих, технологии изготовления продукции, сервисного обслуживания. Для второй группы — "эффективность производства" — ключевыми показателями являются загрузка мощностей и эффективность производственной цепочки.

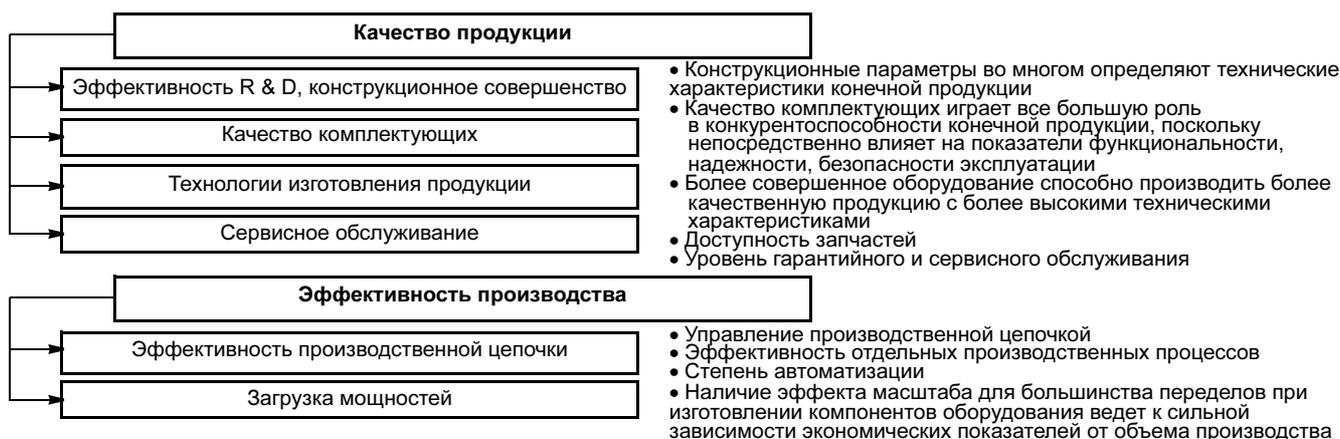


Рис. 1. Ключевые факторы успеха в тяжелом машиностроении и влияние аутсорсинга на них

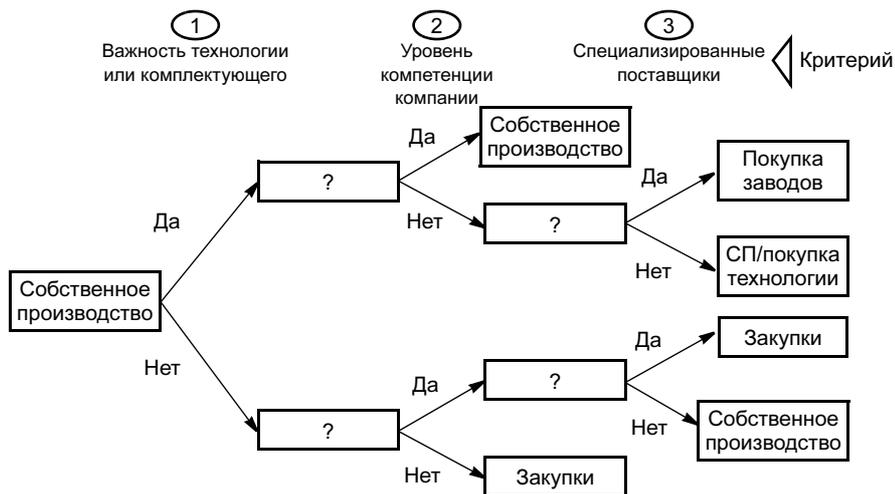


Рис. 2. Схема принятия решений

Предлагаемая схема принятия решений при определении целесообразности перехода на аутсорсинг приведена на рис. 2.

Остановимся подробнее на ключевых факторах и определим, на какие из них может оказать существенное влияние аутсорсинг. Конструкционное совершенство во многом определяет технические характеристики конечной продукции в отрасли и применение аутсорсинга способствует переходу компании на более высокий уровень выпускаемой им продукции за счет использования более совершенных компонентов внешних поставщиков. В случае наличия необходимых компетенций у компании более целесообразным может оказаться развитие собственного производства. Но даже в случае их отсутствия аутсорсинг может оказаться не единственной возможностью для компании — совместное производство (СП) или приобретение технологии может оказаться наиболее предпочтительно.

Применение аутсорсинга в российских промышленных компаниях способно значительно повысить их конкурентоспособность за счет выпуска более совершенной, качественной и дешевой продукции, а также снизить инвестиции в модернизацию и расширение мощностей. В ряде случаев аутсорсинг также позволяет снизить сроки вывода новой продукции на рынок за счет использования готовых компонентов.

Результатом для российских компаний может стать снижение инвестиций в неперспективные направления и постепенный переход к более эффективным отраслевым бизнес-моделям. Однако существуют и более простые способы определения целесообразности применения аутсорсинга в той или иной области деятельности компании. Одним из них является бенчмаркинг. Структуру компании инвесторы часто сравнивают с эталонными для данной отрасли. Наличие в составе компании подразделе-

ний, не присущих наиболее эффективным или типичным компаниям отрасли, в лучшем случае не оцениваются. В худшем же случае инвесторы могут оценить такую компанию с дисконтом, считая это признаком неэффективной структуры.

Даже если подразделения компании работают эффективно и являются прибыльными, их стоимость может быть попросту не учтена из-за специфики применяемых в данной отрасли мультипликаторов. В качестве примеров можно привести рост стоимости ГМК "Норильский никель"

после выделения "Полюс Золота". Капитализация "Полюс Золота" в первом полугодии 2007 г. составила около 7,5 млрд долл. при капитализации ГМК "Норильский никель" 37 млрд долл. Ранее золотодобывающие активы практически не находили отражения в цене акций ГМК "Норильский никель". После выделения из структуры ГМК "Норильский никель" непрофильных энергетических активов будет создана крупнейшая частная энергокомпания в стране, что также должно положительно повлиять на капитализацию компании с учетом выделяемых активов. В настоящий момент рыночная стоимость входящих в ГМК энергетических активов по оценке аналитиков превышает 2,7 млрд долл.

Сложности в определении ключевых компетенций

Одним из наиболее сложных вопросов при определении целесообразности использования аутсорсинга является определение ключевых компетенций компании. Выявление ключевых компетенций компании, описание средств их развития и использования являются частью стратегии компании и частично могут быть выявлены на этапах SWOT-анализа и анализа ключевых драйверов на рынке. Ключевые компетенции зависят от тех целевых ниш, в которых компания хочет присутствовать, и выбранной стратегии работы на них. Однако окончательный выбор ключевых компетенций лежит в области ответственности высшего менеджмента и предполагает в некоторой степени творческий подход.

Роль инфраструктуры

Применение аутсорсинга требует наличия условий и внутренней инфраструктуры в компании, что наиболее часто проявляет себя в производственном аутсорсинге. Под внутренней инфраструктур-

турой понимают комплекс средств, процедур и ресурсов внутри фирмы для выполнения той или иной функции.

В качестве примера можно привести опыт сотрудничества одной из российских верфей с верфью из Португалии. Российское предприятие получило заказ на исполнение части работ по изготовлению корпуса судна. Для технической адаптации и контроля работ португальская компания бесплатно установила программный комплекс, позволяющий из Португалии контролировать процесс работ и вносить коррективы в документацию при необходимости. Кроме того, заказчик предоставил подробную документацию с рекомендациями по проведению работ на каждой стадии изготовления. Таким образом, заказчик смог облегчить работу контрагента и обеспечить контроль работ. Обратная ситуация — передача части работ российским предприятием зарубежной верфи — на данный момент фактически невозможна в силу отсутствия специальной инфраструктуры.

Работа с большим числом поставщиков по большому перечню работ и компонентов требует от компании гибкости, специальных процедур и эффективных инструментов для оценки предложений, эффективности работ поставщиков. Так, на упомянутом предприятии поиск поставщиков и оценка предложений по поставке материалов имели следующие недостатки:

- низкий уровень автоматизации работ;
- длительные сроки согласования условий;
- отсутствие стандартизированной базы поставщиков и методики, позволяющей оценить комплекс условий поставщиков.

Результатом отсутствия необходимой внутренней инфраструктуры для работы с внешними поставщиками в рассматриваемом случае является принятие неоптимальных решений.

Таким образом, наличие внутри компании необходимой внутренней инфраструктуры является необходимым условием для успешного применения аутсорсинга. Аутсорсинг может оказать положительное влияние на эффективность и финансовые показатели одних компаний (приспособленных к работе с внешними поставщиками) и не оказать влияния на финансовые показатели других (не приспособленных).

ВЫВОД

Российские компании продолжают применять исторически сложившиеся бизнес-модели, не эффективные в современных условиях. Анализ ключевых факторов успеха на рынке показал высокий потенциал по улучшению показателей компаний за счет применения аутсорсинга при наличии соответствующей внутренней инфраструктуры.

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.

Содержание зарубежных журналов¹

Metalworking Production (N 6 (август), Vol. 150, 2006, Великобритания)

Электронно-лучевая обработка поверхности, с. 40, 41, ил. 3.

Описана технология Surfi-Sculpt электронно-лучевой обработки поверхности, разработанная фирмой TWI (Великобритания), для образования рельефа на поверхности благодаря плавлению и испарению вещества. Быстрое перемещение луча по поверхности способствует образованию выступов и впадин в определенном порядке, зависящем от режима обработки. Разработанная технология образования рельефа на поверхности материала применима для металлов, полимеров, керамики и стекла. Отмечены варианты применения технологии Surfi-Sculpt для повышения сцепления покрытия и подложки, соединения композитов с металлами, т. е. в процессах, в которых поверхность играет активную роль.

Шлифовальное устройство для снятия заусенцев, с. 60, ил. 1.

Рассматривается процесс снятия заусенцев с обеспечением высокого качества изделий. Абразивный круг используется с системой водяного охлаждения фирмы Grindingmaster. Обращается внимание на технологию снятия заусенцев и чистовой отделки деталей с одного прохода, замену этим устройством 12 операторов ручной пескоструйной очистки деталей, работавших ранее в загрязненных условиях.

(N 9 (ноябрь), Vol. 150, 2006, Великобритания)

Использование технологии наложения слоев расплавленного металла, с. 27, 29, ил. 2.

Исследовательский центр перспективных технологий при Шеффилдском университете Великобритании и корпорация Boeing получили грант в 4,5 млн евро на разработку проектов SMD и RAPOLAC (быстрое изготовление крупногабаритных аэрокосмических компонентов) в рамках работ Европейской комиссии. По проекту расширяется применимость технологии формообразующего наложения слоев расплавленного металла. Предусмотрено создание коммерческой модели изготовления компонентов для многих отраслей промышленности. В состав исследова-

вателей и разработчиков технологии RAPOLAC входят специалисты одного из старейших университетов Европы Catholic University of Leuven (Бельгия) и ряда компаний Франции и Аргентины.

Scherer T. Технология изготовления аэрокосмических изделий, с. 27, 29, ил. 2.

Работы по проекту быстрого изготовления крупногабаритных аэрокосмических компонентов (RAPOLAC) начаты в 2007 г. Разработки позволят осуществить стратегическую переориентацию технологий в различных отраслях за счет внедрения формообразующего наложения слоев расплавленного металла для окончательного изготовления компонентов. В европейском проекте RAPOLAC участвуют как университеты и крупные корпорации, так и средние и малые предприятия. К числу последних относится компания SME Footprint Tools (Великобритания). Активные разработки ведут также британские фирмы Roles-Royce и SME Footprint Tools. После усовершенствования новая технология позволит получать высокоточные компоненты в условиях крупносерийного производства. Кроме того, исследователи, которые участвуют в проекте RAPOLAC, работают в направлении замены ручного управления при наложении слоев расплавленного металла, автоматическим. Описан процесс моделирования наполнения слоев расплавленным металлом, в котором прогнозируются тепловые деформации и компенсации в процессе наложения с учетом изменений геометрии изделия при изменении температуры.

Очистка оптических деталей, обработанных алмазными инструментами, с. 87, ил. 1.

Одна из ведущих британских фирм по производству оптики установила на своем заводе систему Microsolve M250/2M фирмы Guyson для очистки растворителем оптических и прецизионных компонентов, изготовленных с помощью инструментов, оснащенных природными алмазами. Такими компонентами являются зеркала, многогранники, линзы, пластины, асферические детали и др. Система предназначена для удаления различных пятен с поверхности этих изделий, остатков масел после обработки и других дефектов. В системе используется программируемый логический контроллер, регулирующий процесс очистки. Процесс осуществляется в две стадии. Для очистки используется растворитель и ультразвуковая обработка, для чего применен ультразвуковой генератор, работающий с частотой 38—70 кГц. Система работает с применением высокой степени автоматизации.

¹ Раздел подготовлен инж. Г. С. Потаповой (по вопросам получения материалов обращаться по тел./факсу: (495) 611 2137, e-mail: stankoinform@mail.ru).

American Machinist
(N 9, Vol. 150, 2006, США)

Сверла для глубокого сверления, с. 20, ил. 1.

Фирма Titex Precision Cutting Tools предлагает сверла для глубокого сверления, работающие по технологии XD и обеспечивающие сверление отверстий глубиной до 30 диаметров при скорости резания, в 6 раз превышающей скорость резания при другой технологии сверления. Направляющий элемент сверла с углом при вершине 150°, каналом для СОЖ и покрытием TFT обеспечивает "мягкое" врезание инструмента в обрабатываемый материал.

(N 8, Vol. 151, 2007, США)

Benes J. Охлаждение при обработке резанием, с. 36, 38—41, ил. 5.

Все большее количество производств переходит к обработке резанием с минимальным количеством СОЖ (MQL) или обработке без охлаждения (сухая обработка). Обработка по методу MQL осуществляется с охлаждением масляным туманом, который подается непосредственно в зону резания по системе трубок из коррозионно-стойкой стали с наконечниками. Давление масляного тумана в каждой трубке регулируется винтовым жиклером, который изменяет выходной диаметр наконечника. Такой подвод СОЖ эффективнее подвода по внутренним каналам инструмента, например сверла, когда капли масла могут сливаться между собой. При охлаждении масляным туманом расход СОЖ составляет от 30 до 500 мл/ч, что на несколько порядков меньше расхода при охлаждении поливом, который составляет до 10 л/мин.

Cutting Tool Engineering
(N 8, Vol. 58, 2006, США)

Оснастка для растачивания, с. 128, 129, ил. 1.

Фирма Rigibore предлагает регулируемую оснастку Smartbore для растачивания отверстий, обеспечивающую регулирование режущих кромок с микрометрической точностью у инструмента, установленного в шпинделе металлорежущего станка. Оснастка представляет собой картридж для растачивания отверстий диаметром от 28 мм или встраиваемую в расточной инструмент ползушку для растачивания отверстий диаметром от 16 мм.

(N 9, Vol. 58, 2006, США)

Kennedy B. Автоматизация среднесерийного производства, с. 50, 52—57, ил. 6.

Острая конкуренция на автотракторном рынке требует использования самых эффективных технологий при низких ценах на продукцию и высоком качестве процессов. В условиях массового и мелкосерийного производства относительно несложно оценить необходимость и средства автоматизации технологических процессов; труднее принимать решения в условиях среднесерийного производства. Рассмотрены результаты автоматизации производства на фирме Blue Ridge Castings Inc. (США), изготавлиющей сложные детали, например литые крышки из алюминия А-380 для фильтров автомобильной трансмиссии, которые другие компании затрудняются или не хотят делать в условиях среднесерийного производства. До автоматизации оператор обрабатывал крышку на серийном токарном станке с УЧПУ типа CNC, затем промывал, сушил ее, испытывал и наклеивал этикетку. Использование манипуляционного робота освободило оператора, который теперь только профилактически обслуживает оборудование и контролирует качество продукции. Описана последовательность технологических процессов на гибкой ячейке с использованием специальных станков. Например, алюминиевый плунжер автомобиля роботом Fanuc устанавливается на измерительную станцию для проверки правильности фиксации. Затем робот переносит заготовку на станок фирмы New Vista Corp для сверления и цекования, затем на транспортер, откуда она загружается на вертикально-токарный станок Puma Inverturn 3000 CNC фирмы Daewoo. При работе в три смены один специальный станок заменяет два серийных.

Способ закрепления деталей, с. 86, ил. 1.

Фирма Mitee-Bite Products предлагает способ закрепления тонких или труднозакрепляемых обрабатываемых деталей с помощью активизируемого при нагреве материала на основе воска Mitee-Grip и бумажного поддона. Материал Mitee-Grip помещают между поддоном и деталью и нагревают до температуры 82—93 °С. Расплав удерживает детали на поддоне с усилием 2,8 МПа. При повторном нагреве детали освобождаются.

(N 12, Vol. 58, 2006, США)

Gillespie K. Способы обработки резанием, с. 54—56, 58—59, ил. 6.

Даны практические рекомендации по выбору технологии обработки, режимов и стратегий обработки при точении, сверлении и фрезеровании, позволяющие исключить или минимизировать образование заусенцев.

Технологическая оснастка фирмы Lyndex-Nikken Inc., с. 83, ил. 4.

Описана производственная программа инструментальной фирмы Lyndex-Nikken Inc., включающая оправки, зажимные патроны, поворотные столы, приводной инструмент, устройства для предварительной настройки инструментов с точным размерным контролем. Отмечены поворотные столы с патентованной системой твердосплавных червяков, поддерживающих крутящий момент до 5000 Н · м.

(N 1, Vol. 59, 2007, США)

LaRoux K. G. Технология удаления заусенцев с обрабатываемых деталей, с. 10, 12, ил. 2.

Изложены проблемы, связанные с образованием заусенцев при обработке отверстий, плоских и других поверхностей. Рассмотрены факторы, обуславливающие возникновение заусенцев и определяющие их формы и размеры. Приведены сведения об инструментах, пригодных для эффективного удаления заусенцев, примеры удаления заусенцев, в частности при обработке деталей из алюминия, с указанием технологических параметров процессов обработки.

Токарная обработка углеродистых сталей, с. 56—60, ил. 1, табл. 2.

Даны сравнительные режимы резания низко-, средне-, высокоуглеродистых, автоматных и марганцевых сталей в зависимости от твердости по Бринеллю. Приведены марки твердых сплавов и режимы их обработки в целях достижения максимальной производительности.

Высокоэффективная обработка резанием, с. 68—70, ил. 1.

Изложен опыт фирмы Millwork Precision Machining (США), изготавливающей детали из стали для авиакосмической и военной промышленности. В частности, указывается на достижение высокой эффективности обработки компонентов из коррозионно-стойкой стали 174PH. Приведены параметры режимов резания, стойкости используемых фрез, достигаемая экономичность процессов обработки, размеры обрабатываемых деталей, применяемые фрезерное оборудование и инструменты и их технологические возможности.

DIMA (Die Maschine)
(N 2, Vol. 61, 2007, Германия)

Federev J. Моделирование 3D-процессов шлифования, с. 34—35.

Проанализированы проблемы шлифования деталей сложной геометрии с использованием пяти осей при обеспечении высоких точности и производительности при меньших затратах. Решение этих проблем найдено путем применения трехмерного моделирования детали и процессов шлифования с использованием специального программного обеспечения Numrotoplus. Согласно приведенным примерам, эти меры позволяют также полностью устранить коллизии (столкновения) в процессе шлифования.

Schenk W.-D. Эффект сотрудничества, с. 64, 65, ил. 3.

Фирма Eckold занимается изготовлением формующего инструмента из высокопрочных сталей, при этом значительная часть работ приходится на фрезерование. Для снижения машинного времени на обрабатываемом центре Deckel Maho 125 P Hi-dyn выполнены совместные эксперименты с фирмой Ingersoll Werkzeuge, в ходе которых опробовали копировальные фрезы Form-Master-Speed и разработанную под них технологию обработки одной из деталей. В результате машинное время удалось снизить на 35 % при одновременном повышении стойкости фрез и снижении нагрузки на шпиндель на 20 %.

(N 3, Vol. 60, 2007, Германия)

Mohr T. Токарная обработка деталей, с. 54, 55, ил. 2.

Проанализированы проблемы сокращения подготовительно-заключительного времени применительно главным образом к мелкосерийному производству, факторы, влияющие на это время и пути решения этой проблемы для повышения производительности изготовления деталей путем оптимизации технологического процесса, позволяющей снизить затраты из расчета на одну обрабатываемую деталь. Сообщается о новых, высокоэффективных приборах и устройствах для изменения установки и зажима деталей, подлежащих обработке.

EDM European
(Winter (зима), 2006/07)

Смазочно-охлаждающая жидкость для эффективной очистки деталей и станка, с. 21, ил. 2.

Сообщается о новой серии СОЖ типа NeoSol, созданной в лаборатории фирмы Hangsterfer. Она экономична и биостатична, что обусловлено высокой концентрацией воды, с которой смешивается эта СОЖ. Такая СОЖ должна применяться в разбав-

ленном состоянии порядка 30 : 1 или более, причем это соотношение зависит от условий обработки. СОЖ марки NeoSol в виде многофункциональной эмульсии характеризуется также возможностью длительного пребывания в отстойнике. Возможны различные варианты этого продукта. Так, СОЖ типа NeoSol 100 CF (полусинтетическая растворимая в воде с низким содержанием масла) пригодна для применения при обработке чугунов и других черных сплавов, обеспечивая высокую стойкость против коррозии.

Высокопроизводительное полирование фасонных поверхностей, с. 23, ил. 1.

Применительно к требованиям высокопроизводительной абразивной обработки фирмой Boride Engineered Abrasives созданы полировальные инструменты, например диски, отвечающие требованиям высокой технологии. Такие инструменты могут применяться для обработки различных металлических поверхностей. Высокая эффективность этих инструментов достигается надлежащим сочетанием выбранной зернистости абразива и связки.

Werklatt und Betrieb (N 1/2, Vol. 140, 2007, Германия)

Новая технология "Адаптивное фрезерование", с. 12, ил. 2.

Английская дочерняя компания Toolroom Technology Ltd фирмы Starrag-Heckert (Швейцария) специализируется на изготовлении новых и ремонте находящихся в эксплуатации деталей газовых турбин, включая лопатки сложной геометрии и малых размеров. При их ремонте значительная часть работ выполняется вручную. Для снижения трудоемкости разработана оригинальная технология фрезерования, основной частью которой является предварительное механическое "оконтуривание" детали и последующая оцифровка полученных данных с передачей этих данных в УЧПУ. Ее применение позволило сократить рабочее время до 50 % и более.

Станок для сверхточного фрезерования твердых металлов, с. 24, 25, ил. 3.

Фирма Hemtech Machine Tools B. V вместе с Франгоферовским институтом IPT разработала универсальный современный станок Japo Focus-425 и технологию для обработки стали с твердостью выше 64 HRC, обеспечивая отклонения формы и положения менее 5 мкм и параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,2$ мкм. В конструкции станка ис-

пользованы современные материалы с высокой прочностью и близким к нулю температурным коэффициентом линейного расширения, гидростатические опоры и направляющие.

Krosta C. et al. Четырехшпиндельный обрабатывающий центр, с. 26—27, ил. 4.

Центр выпускается фирмой Alfin Kessler Sondermaschinen GmbH (Германия) и предназначен для экономичной обработки легких сплавов. Основные особенности станка: модульная конструкция и непосредственный привод всех осей, включая вращение. Благодаря этому в компактном станке удалось сочетать два противоположных требования — производительность и точность. Линейные скорости позиционирования составляют 90 м/мин, ускорение — 10 м/с^2 . Центр комплектуется магазином на 120 инструментов (опция более 300) и системой управления фирм Fanuc или Siemens.

Автоматизация парка станочного оборудования, с. 58, 59, ил. 5.

Этой проблемой на протяжении 15 лет занимается фирма Hirschmann GmbH. Некоторые заказчики требуют от нее соединения в единую технологическую цепочку оборудования от разных изготовителей, включая, например, трехкоординатную измерительную машину, и не рассматривают возможности создания гибких модулей за счет автоматизации определенных групп оборудования. Именно для таких случаев фирма предлагает два варианта: простейший обслуживающий робот Erobot и шестикоординатный робот с расширенным перечнем функций. Приведены примеры их практического использования.

Trametal. Special "OUTILS" (март, 2007, Франция)

Тема номера: высокоскоростная обработка

Нарезание канавок на деталях типа тел вращения, с. 22, 24, 26, 28, 30, 32, 33, ил. 14.

Приведен анализ технологических процессов и различных видов инструментов для нарезания канавок и желобков на деталях типа тел вращения, которые, как правило, имеют большую длину. Приведены схемы установки деталей и обработки, типы резцов и их геометрия, этапы обработки, даны рекомендации по оптимизации технологического процесса.

Technische Rundschau
(N 7, Vol. 99, 2007, Швейцария)

Läpple R. Обработка сложных деталей, с. 42, 43, ил. 3.

Описана деятельность фирмы Sitec, специализирующейся в обработке сложных деталей из чугуна, различных (в том числе высоколегированных) сталей, цветных металлов и пластмасс, а также производится прототипирование. Описаны меры, принимаемые на производстве для снижения стоимости обработки. Приведены примеры высокопроизводительных процессов точения, сверления и фрезерования деталей. Показаны возможности минимизации сил резания при обработке.

Schenk W. Технология фрезерования особо крупных деталей, с. 44, 46, ил. 5.

Фирма Muller Weingarten AG специализируется на производстве оборудования для листовой и объемной штамповки по заказам автомобильной промышленности. Для однодискового фрикционно-го пресса было необходимо изготовить толкатель. Заготовка из стали 26NiCrMoV145 имела размеры 2000 × 1780 × 2800 мм и массу около 100 т. В ее середине находилось отверстие диаметром 160 мм, которое нужно было превратить в ступенчатое отверстие диаметром 1340 и 810 мм с суммарной длиной 2300 мм. Для выполнения этой работы использовали фрезерно-сверлильный станок. Wofan Rapid 6P, укомплектованный специальными фрезами Piinch-in-CHU, изготовленными фирмой Ingersoli Werkzeuge. Первую операцию выполняли фрезой диаметром 100 мм с семью режущими пластинами, вторую — фрезой диаметром 160 мм с 10 пластинами, третью — фрезой диаметром 250 мм с 16 пластинами.

Внимание! Информация

15-18 апреля 2008 г., Санкт-Петербург
Государственный региональный образовательный центр
Санкт-Петербург, ул. Аэродромная, 4

При поддержке Северо-Западного федерального округа
Российской Федерации и Комитета экономического развития,
промышленной политики и торговли Санкт-Петербурга

**10-я юбилейная Международная научно-практическая конференция
«ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА, ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН, МЕХАНИЗМОВ, ОБОРУДОВАНИЯ,
ИНСТРУМЕНТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ»**

Темы конференции:

- технологии диагностики и дефектации, мойки и очистки, восстановления заданной геометрии, упрочнения и восстановления свойств поверхности, механической обработки нанесенных покрытий, окраски и консервации
- масла, смазки, клеи и герметики
- процессы трения и изнашивания, защита от коррозии, конструкционные и эксплуатационные методы повышения долговечности

В рамках конференции пройдут:

- Школа-семинар «ВСЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА, ШТАМПОВ, ПРЕСС-ФОРМ И ДРУГОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ», во время которого будет производиться упрочнение привезенного инструмента и деталей технологической оснастки.
- Школа-семинар «НАПЛАВКА И НАПЫЛЕНИЕ – ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ», на котором будет продемонстрировано современное оборудование, рассказано о технико-экономических показателях различных способов наплавки и напыления, об отечественных и зарубежных фирмах, изготавливающих оборудование и материалы для наплавки и напыления.

К началу конференции будет издан сборник материалов. Познакомиться с темами докладов предыдущих конференций Вы можете на сайте www.plasmacentre.ru в разделе «Конференции»

Организаторы:

- Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
- НПФ «Плазмацентр»

 **Плазмацентр**

Заявки на участие принимаются по тел.: (812) 4452496, (901) 3043191
факс: (812) 4452496, (812) 5287484
e-mail: info@plasmacentre.ru

www.plasmacentre.ru/conf



Презентация программы развития ОАО "Русич" — КЗКТ им. Д. М. Карбышева

6 ноября 2007 г. в доме Правительства столицы Курганской области прошла презентация стратегии развития ОАО "Русич" — Курганского завода колесных тягачей (КЗКТ) им. Д. М. Карбышева. ОАО "Русич" — единственное в России предприятие, изготавливающее транспортную технику колесного класса, предназначенную для транспортирования крупногабаритных тяжеловесных грузов и техники. Завод производит колесные тягачи большой грузоподъемности с широким диапазоном применения в различных климатических условиях.

Предприятие образовано 1 апреля 1950 г. в результате разделения завода "Уралсельмаш", производившего в годы войны минометное оружие, а впоследствии — машины сельскохозяйственного назначения. С 1961 г. основной продукцией завода стали многоосные колесные тягачи, а с 1966 г. начался выпуск боевой машины БТР-60ПБ. Выпускаемые заводом тягачи были предназначены для транспортировки тяжелой гусеничной техники, систем ракетного вооружения, вывода на взлетно-посадочную полосу тяжелой летательной техники массой до 200 т.

Долгое время 90 % продукции завод изготовлял по заказу Министерства обороны. За 1961—1990 гг. предприятием выпущено около 20 тыс. изделий МАЗ-537 и их модификаций. В 1981 г. за большие производственные успехи, разработку и освоение новой автомобильной техники завод был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

ОАО "Русич" — КЗКТ всегда занимало заметное место в экономике Курганской области. В свое время завод давал работу 11 тыс. курганцев. Был ощутимый вклад завода в социальную инфраструктуру г. Кургана и Курганской области. К концу 80-х гг. завод становится крупным предприятием полного машиностроительного цикла, имеющего в своем составе металлургическое, сварочное и механосборочное производства.

Учитывая высокую эффективность применения техники в оборонной доктрине, тягачи поставляли для нужд армий многих развивающихся стран. Наиболее крупные поставки шли в Индию, Иран, Египет, Эфиопию, Ирак, Замбию, Афганистан, Вьетнам.

В конце 80-х гг. в результате конверсии на заводе было полностью прекращено производство бронетранспортеров, заказ на автомобильную технику для Министерства обороны резко сократился. На протяжении последующих лет мощности предпри-

ятия были загружены на 5—7 %. Завод акционировался. Чехарда собственников не приводила к возрождению предприятия. Не было стратегического заказчика продукции, не было плана вывода завода из создавшегося положения.

Производство было остановлено, численность работающих сократилась с 11 тыс. в 1991 г. до 1,3 тыс. в 2005 г. Предприятие имело значительные долги по заработной плате перед персоналом и в бюджеты всех уровней.

В апреле 2005 г. по ходатайству Федеральной налоговой службы было возбуждено дело о банкротстве ОАО "Русич" — КЗКТ. В августе 2005 г. решением Арбитражного суда Курганской области на предприятии была введена процедура конкурсного производства. В то время кредиторская задолженность предприятия превысила 450 млн руб. В октябре 2005 г. завод "Русич" — КЗКТ был признан банкротом.

Конкурсным управляющим А. Варыгиным была реализована антикризисная программа, при выполнении которой были привлечены инвестиции, выплачены долги по зарплате персоналу, погашены долги в бюджеты все уровней. 10 октября 2007 г. решением Арбитражного суда Курганской области конкурсное производство было прекращено в связи с погашением всех долгов, включенных в реестр требований кредиторов. Именно этому событию была посвящена презентация в Доме Правительства Курганской области, на которую были приглашены представители областной и городской администраций, промышленных предприятий, СМИ и др.

Презентацию открыл губернатор Курганской области О. А. Богомолов. Он отметил, что промышленность области постепенно возрождается и ОАО "Русич" — КЗКТ — последнее промышленное предприятие области, выведенное из состояния банкротства.

Председатель Наблюдательного совета ОАО "Русич" — КЗКТ А. Э. Биков рассказал о проблемах, которые были решены при выводе предприятия из банкротства.

С докладом "Реструктуризация и стратегия развития ОАО "Русич" — КЗКТ на период до 2012 г." выступил генеральный директор К. В. Куликов, избранный 5 ноября 2007 г. собранием акционеров.

Перспективный план развития ОАО "Русич" — КЗКТ предполагает создание четырех отдельных предприятий, которые будут стопроцентными дочерними зависимыми обществами ОАО "Русич" — КЗКТ.

Создание группы предприятий КЗКТ позволит расширить номенклатуру, сформировать бизнес-структуры, ориентированные на самостоятельные рынки сбыта своей продукции. На всех предприятиях планируется построение систем международного менеджмента качества ISO-9000. Прогнозируемая суммарная выручка при реализации проекта — 3 млрд руб. Плановая численность персонала 2000 человек.

Главная цель проекта реструктуризации ОАО "Русич" — КЗКТ — построение конкурентоспособ-

ного бизнеса с хорошим рыночным потенциалом для развития, а также вклад в развитие экономики Курганской области и обеспечение дополнительных доходов бюджета региона и акционеров компании.

По завершении презентации состоялась пресс-конференция, на которой О. А. Богомоллов и К. В. Куликов ответили на вопросы представителей средств массовой информации.

Е. А. КАЛАШНИКОВ, канд. техн. наук

4-я Международная выставка "КИП Экспо—2007"



С 17 по 19 октября 2007 г. на территории ЦВК "Экспоцентр" (Москва) проходила 4-я Международная выставка контрольного, анализирующего и измерительного оборудования.

Организаторы выставки — ООО "Фор-Экспо" (Россия) при поддержке компании NOVEX и содействии ЦВК "Экспоцентр".

В выставке участвовали более 60 ведущих компаний из России и других стран. Они продемонстрировали новые разработки в области контрольно-измерительного приборостроения. Ниже приведено краткое описание некоторых экспонатов, демонстрировавшихся на выставке и предложений предприятий-разработчиков, вызвавших интерес у специалистов.

Компания ЗАО "Прибор РУ" (Москва), специализирующаяся на поставках современных приборов промышленного применения, показала на выставке и предложила на российский рынок гамму приборов, разработанных в России и за рубежом.

Цифровой измеритель твердости по Шору TH-210 (рис. 1) — портативный прибор со встроенным датчиком, оснащенный ярким

и четким жидкокристаллическим дисплеем. Питание измерителя от батареек, время непрерывной работы 300 ч. Вывод данных осуществляется через порт RS 232. Диапазон измерений 0—100 HD с погрешностью не более 1 HD.

Стационарный твердомер TH500 по Роквеллу для определения твердости цветных и черных

металлов, таких как твердые сплавы, углеродистая и легированная стали, чугун. Прибор удобен в обслуживании и укомплектован индентором с шариком диаметром 1,6 мм, коническим алмазным индентором с углом 120° и V-образной наковальней диаметром 60 мм.

Твердомер MHV200S по микро-Виккерсу (рис. 2) — новейший



Рис. 1. Цифровой измеритель твердости по Шору TH-210



Рис. 2. Твердомер MHV200S по микро-Виккерсу

цифровой твердомер со встроенной камерой и жидкокристаллическим монитором. Он обладает высокой точностью (0,06 мкм) и удобен в эксплуатации. Встроенный микропроцессор позволяет в автоматическом режиме проводить испытания, отображать значения твердости (5—3000 HV) и выводить данные измерений на печать. Максимальная высота обрабатываемого образца 75 мм. Питающее напряжение прибора 220 В, габаритные размеры 441 × 270 × 480 мм, масса 31 кг.

Цифровой измеритель TR-100 — компактный прибор для измерения шероховатости по двум параметрам R_a и R_z с пьезоэлектрическим датчиком с широким диапазоном измерения. Он подходит для измерения шероховатости поверхности большинства материалов. Питание прибора от металлгидридной батарейки с возможностью подзарядки во время работы. Масса прибора 200 г.

Ультразвуковой толщиномер TT-320 для измерения по стали с температурой ее поверхности –10—300 °С, обладающий возможностью отображения текущего и минимального значений толщины (выбирается по заданной программе). Оснащен встроенной памятью на 500 измерений. Имеется возможность отображения результатов измерений в миллиметрах или дюймах. Прибор также имеет блок индикации степени разрядки источника питания. Яркость подсветки жидкокристаллического дисплея регулируется. Диапазон измеряемых толщин по стали 5—80 (высокая температура) и 1,2—225 мм (нормальная температура). Диапазон измерения скорости ультразвука 1000—9999 м/с; по стальным трубам — толщиной от 3 мм и диаметром 20 мм.

Цифровой толщиномер покрытий TT-210 со встроенным датчиком для измерения толщины покрытий как на магнитном, так

и немагнитном основании с памятью на 500 измерений. Прибор измеряет толщину покрытий до 1250 мкм и укомплектован жидкокристаллическим дисплеем с подсветкой. Имеется возможность вывода результатов измерений на ПК или на принтер через порт RS 232.

Цифровой измеритель вибрации TV-300 для измерения колебаний различных узлов и механизмов в диапазоне от 10 Гц до 10 кГц. Диапазон измерения ускорения 0,1—392 м/с²; скорости — 0,01—80 см/с; смещения — 0,001—18,1 мм. Результаты измерений отображаются на большом жидкокристаллическом дисплее и могут передаваться на ПК через порт RS 232. Габаритные размеры прибора 171 × 78,5 × 28 мм, масса 230 г. Точность измерения ±5 %.

Клещевой измеритель серии 322 для определения тока нагрузки, напряжения, а также обрывов цепей, разомкнутых выключателей, перегоревших предохранителей и разомкнутых контактов. Данные клещи-измерители хорошо подходят для измерения тока до 400 А в тесных кабелепроводах.

Тестер Fluke 9040 для измерения чередования фаз, где используются трехфазные источники — питание двигателей, приводов и электрических систем. Такой тестер — это индикатор вращающегося поля. Он обеспечивает четкую индикацию на ЖК-дисплее трех фаз, а также направления чередования фаз для определения правильности подключения. Прибор обеспечивает индикацию вращающегося поля и частоту вращения ротора двигателя с бесконтактным обнаружением; может применяться для определения направления вращения синхронных и асинхронных трехфазных двигателей.

Мегометр Fluke 1150B, представляющий цифровой тестер изоляции, который можно использо-

вать для тестирования изоляции распределительных устройств, двигателей, генераторов и силовых кабелей с напряжением до 5000 В. С его помощью можно осуществлять разнообразные виды тестирования: от простых точечных измерений до тестирования на устойчивость изоляции по времени и тестирования на обрыв. Наличие функции сохранения результатов измерений и компьютерного интерфейса делают прибор идеальным для профилактического обслуживания.

Анализатор Fluke 438 (рис. 3) для диагностирования качества и устранения неисправностей в сети энергоснабжения, а также сбоев общего характера в работе оборудования. Прибор оснащен устройством меню для выбора режимов определения качества энергоснабжения. В одном приборе сочетаются возможности анализатора качества энергоснабжения, осцил-



Рис. 3. Анализатор Fluke 438

лограмма на 20 МГц, мультиметра и регистратора данных.

Пирометр Testo 830-T3 — быстродействующий универсальный инфракрасный термометр с короткофокусной оптикой и двухточечным лазерным целеуказателем. Он может быть соединен с внешним кабельным зондом для контактных измерений. Маленькая измерительная точка диаметром 2 мм на расстоянии 25 мм хорошо подходит для измерения температуры на небольшой поверхности. Диапазон измерений $-25—400\text{ }^{\circ}\text{C}$, погрешность $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Образцовый термометр Testo 650 — высокоточный прибор с модулем измерения относительной влажности и давления. Прибор рассчитывает все физические параметры влажности по диаграмме Мольера и оснащен большим графическим дисплеем. Запись показаний в память и распечатка производится нажатием одной кнопки. Показания прибора можно передавать на ПК.

Шумомер Testo 815 для измерения уровня шума двигателей, станков, машин и других механизмов. Диапазон измерений прибора $32—130\text{ дБ}$, погрешность $\pm 1\text{ дБ}$.

ФГУП "ВНИИОФИ" (Москва) демонстрировало на выставке свои разработки.

Пирометр ДИЭЛТЕСТ-ТНЗП (бесконтактный микропроцессорный измеритель температуры) — компактный переносной пирометр с микропроцессорным управлением пистолетного типа, снабженный лазерным указателем. Результат измерения отображается на цифровом дисплее. Пирометр не чувствителен к сильным электромагнитным полям, имеет высокую точность измерения (погрешность не более 1%), прост в эксплуатации, имеет низкое энергопотребление (может работать непрерывно до 40 ч без подзарядки аккумулятора). Он имеет два режима работы — одиночный и се-

рийный. При серийном измерении минимальное и максимальное значения температуры запоминаются. Пирометр оснащен пульсирующим лазерным целеуказателем. Диапазон измерений температур $-30—600$ или $200—1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Измерение температуры можно производить на расстоянии $0,7—10\text{ м}$. Габаритные размеры $210 \times 170 \times 78\text{ мм}$, масса не более 1 кг.

Фотозлектрический блескомер БФ5-60/60 для измерения блеска лакокрасочных, эмалированных покрытий с целью оценки зрительного восприятия степени блеска при углах освещения (наблюдения) 20 и 60° направленного светового потока. Диапазон измерения блеска $0—100$ единиц блеска. Основная абсолютная погрешность измерения ± 2 единицы блеска. Питание блескомера — от встроенного аккумулятора. Габаритные размеры $120 \times 31 \times 82\text{ мм}$, масса $0,35\text{ кг}$.

Фирма "Авис Энергомаш Инжиниринг" (Москва) показала на выставке и предложила потребителям свои разработки.

Измерительный преобразователь РТЕ-1000 для измерения параметров трех- и четырехпроводных электрических сетей переменного трехфазного тока частотой 50 Гц, преобразования результатов измерения в унифицированные выходные сигналы постоянного тока, формирования дискретных (релейных) выходных сигналов и передачи по интерфейсам RS-485 и GSM кодированных результатов измерения. Преобразователь рекомендован к применению в системах автоматического регулирования, управления и диспетчеризации объектов различных отраслей промышленности.

Преобразователь РТЕ-1840 для измерения активной и реактивной мощности трехфазных трехпроводных цепей перемен-

ного тока частотой 50 Гц, преобразования результатов измерения в унифицированные выходные сигналы постоянного тока и передачи по интерфейсу RS-485 кодированных результатов измерения. Он рекомендован к применению в системах автоматического регулирования, управления и диспетчеризации объектов электроэнергетики и других отраслей промышленности. Преобразователь не имеет гальванической связи между входными и выходными цепями. Предел допустимой основной приведенной погрешности измерения $0,25$. Диапазон рабочих температур $-40—50^{\circ}\text{C}$. Габаритные размеры преобразователя $120 \times 80 \times 120\text{ мм}$, масса не более $0,5\text{ кг}$.

ФГУП "НИИ вакуумной техники им. С. А. Векшинского" предложило свою новую разработку *вакуумметр ВТТ-18-2* для измерения, индикации и регулирования давления в вакуумных установках в комплекте с манометрическими преобразователями типа ПМТ-2. Вакуумметр обеспечивает регулирование давления, управляя клапаном-накателем, имеющим дискретное или аналоговое управление. Допустимый ток дискретных выходов управления клапаном-накателем $0,5\text{ А}$ при напряжении постоянного тока не более 30 В . Мощность, потребляемая вакуумметром, 45 Вт . Габаритные размеры $112 \times 112 \times 200\text{ мм}$, масса $1,5\text{ кг}$.

ООО "Мониторинг" представило на выставке анализаторы различного назначения, улучшающие условия труда.

Малогобаритный газоанализатор "Монолит" (рис. 4) — многофункциональный прибор для определения содержания загрязняющих веществ в промышленных выбросах. Газоанализатор позволяет определять содержание всех основных компонентов в выбросах O_2 , CO , CO_2 , NO , NO_2 ,



Рис. 4. Малогабаритный газоанализатор "Монолит"

NO_x и SO_2 . Кроме того, газоанализатор измеряет температуру, избыточное давление, разрежение и скорость газового потока в точке отбора пробы, а также вычисляет технологические параметры контролируемой установки. Принцип действия газоанализатора основан на применении комплекта электрохимических ячеек для измерения содержания газовых компонентов, термоэлектрического преобразователя для измерения температуры, двухплечевого мембранного датчика для измерения давления и трубки Пито для измерения скорости газового потока. Конструктивно газоанализатор выполнен в прочном пластиковом корпусе, на лицевую панель которого выведены дисплей, клавиатура и все коммутационные разъемы и штуцера. Измерительная информация отображается на жидкокристаллическом дисплее, оснащенный подсветкой. Электропитание газоанализатора осуществляется от внутреннего аккумулятора (время работы не менее 10 ч) или сети переменного тока. Габаритные размеры газоанализатора $200 \times 76 \times 140$ мм, масса 2 кг (с принадлежностями 5 кг).

Стационарный анализатор пыли ДАСТ (рис. 5) для циклических или однократных измерений концентрации пыли в воздухе рабочей зоны и атмосферном воздухе. Время паузы между измерениями 2—24 ч с дискретностью не менее 1 ч в зависимости от времени отбора пробы. В режиме многократных измерений анализатор обеспечивает выполнение не менее 1000 измерений без смены фильтрующей ленты. Память прибора запоминает 999 результатов измерений и хранит информацию при выключении электропитания. Передача результатов измерений на ПК осуществляется в аналоговой форме или по интерфейсу типа RS 232 или RS 485. Диапазон измерения концентрации пыли анализатором $0,01\text{—}30$ мг/м³ при допустимой погрешности ± 20 %, время отбора пробы 3, 30 и 50 мин.

Питающее напряжение прибора 220 В, потребляемая мощность аналитического блока 50 Вт, блока пробоподготовки — 52 Вт. Габаритные размеры анализатора $482 \times 134 \times 317$ мм, масса 9 кг. Анализатор рассчитан для работы при температуре окружающей среды $10\text{—}35$ °С и влажности до 80 %. Параметры анализируемого воздуха: температура $-35\text{—}35$ °С, относительная влажность 15—98 % при температуре 25 °С.

Фирма "АЯКС" (Москва) предложила на выставке различные аппараты отечественного производства.

Аппарат АИД-70В для испытания изоляции силовых кабелей и твердых диэлектриков выпрямленным и синусоидальным напряжением. Параметры аппарата при напряжении постоянного тока в продолжительном режиме при



Рис. 5. Стационарный анализатор пыли ДАСТ

номинальном значении напряжения в сети: наибольшее рабочее напряжение 50 кВ; наибольший рабочий ток 20 мА. Потребляемая мощность аппарата не более 3 кВт, габаритные размеры 850 × 800 × 500 мм, масса 80 кг.

Аппарат АИМ-100ВЦ для определения пробивного напряжения трансформаторного масла и других жидких диэлектриков, работающих в качестве изолятора в высоковольтных установках. Он оснащен четырехразрядным цифровым измерительным прибором для измерения напряжения на выходе, которое производится через встроенный делитель. Аппарат также оснащен устройством с таймером для перемешивания масла после пробоя. Запись результатов осуществляется на карту памяти. Питающее напряжение аппарата 220 В, наибольшее пробивное напряжение 100 кВ, потребляемая мощность 510 Вт, габаритные размеры 380 × 350 × 340 мм, масса 38 кг.

ООО "Научно-производственное предприятие "Сенсор" (Заречный Пензенской обл.) продемонстрировало на выставке световые, светозвуковые, звуковые взрывозащищенные сигнализаторы различного назначения.

Светозвуковой сигнализатор ВС-3-220В (рис. 6) для подачи звукового и светового сигналов с целью привлечения внимания к аварийным ситуациям. Он может применяться в условиях воздействия атмосферных осадков и солнечного излучения. Работает сигнализатор следующим образом. При подаче питающего напряжения прерывисто загораются светодиоды и звучит модулированный "тревожный" звуковой сигнал. Корпус сигнализатора выполнен из алюминиевого сплава, имеет гальваническое антикоррозионное и защитное лакокрасочное покрытие. На лицевой панели корпуса расположены звуковой

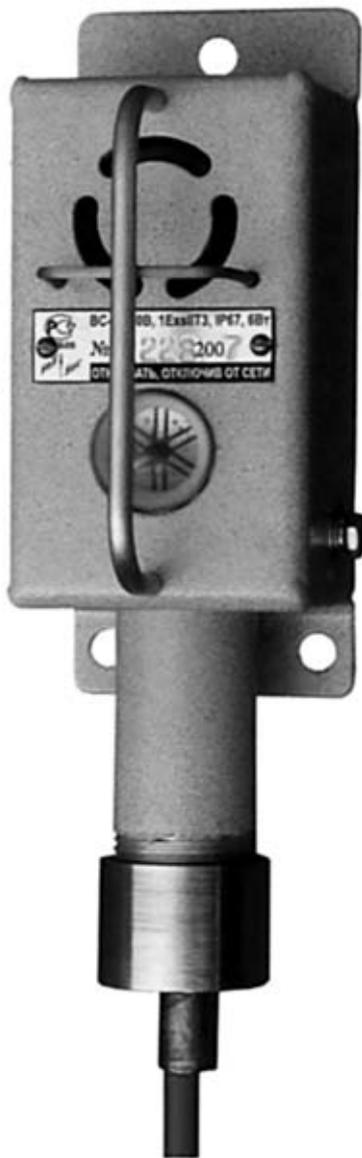


Рис. 6. Светозвуковой сигнализатор ВС-3-220В

пьезоизлучатель и яркие светодиоды. Он укомплектован кабелем длиной не менее 1,5 м. Питающее напряжение сигнализатора 220 В, мощность 6 Вт, уровень звука 105 дБ, его частота до 4 кГц. Угол обзора не менее 120°. Работает сигнализатор при температуре окружающей среды –50—60°С, степень защиты IP67, масса 0,6 кг.

Световой сигнализатор ВС-4-С220В для подачи светового сигнала с целью индикации режи-

мов работы оборудования и привлечения внимания людей к аварийным ситуациям. При подаче питающего напряжения загораются светодиоды с четырьмя режимами свечения: режим постоянного свечения и три режима мигания с различной частотой. Режим свечения устанавливается поднесением постоянного магнита к корпусу сигнализатора. Корпус сигнализатора также имеет защитное покрытие. Питающий кабель круглого сечения с диаметром по изоляции 5—10 мм, длиной не менее 1,5 м, возможно крепление бронированного кабеля. Питающее напряжение сигнализатора 220 В, угол обзора 120°. Работает сигнализатор при температуре окружающей среды –50—60°С. Степень защиты IP67.

ЗАО "Геолинк Консалтинг" предложило потребителям компоненты для систем автоматизации. Приведем краткое описание некоторых экспонатов.

Радиомодем Невод-5 для передачи и приема цифровой информации при работе в составе распределенных сетей телеметрии, мониторинга, АСУТП. Он позволяет быстро и с минимальными затратами разворачивать сети сбора данных. Основные преимущества радиомодема — скорость передачи по эфиру до 19200 бит/с, дальность связи до 10 км.

Радиомодем Невод-GSM для передачи и приема цифровой информации при работе в составе распределенных сетей телеметрии, мониторинга, АСУТП. Он также позволяет быстро разворачивать сети сбора данных. Преимущества те же, что и у радиомодема Невод-5.

Многозонный датчик температуры АДТ — прибор для долговременного многоточечного температурного мониторинга. Он предназначен для автоматического измерения распределения темпера-

туры вдоль протяженных объектов и накопления архива.

Фирма GOM GmbH (Германия), специализирующаяся на технологиях трехмерной оцифровки и измерений, анализа деформаций и контроля качества, среди прочих экспонатов продемонстрировала систему ARGUS для измерения деформаций листа металла в процессе штамповки детали, оснащенную ПК. В процессе штамповки на листовую металл наносится равномерный точечный растр, используя электрохимический процесс травления. Система рекомендована для определения участков критической деформации, решения проблем формования сложных деталей, оптимизации процесса штамповки и проверки штампов.

ООО "Тэсто Рус" предложила потребителям измерительные технологии и КИП, разработанные за рубежом.

Прибор Testo 327-2 — анализатор дымовых газов, включающий все основные функции, такие как расчет КПД, измерение концентрации O_2 , CO_2 , CO , температуры и тяги. Мощная четырех-

строчная подсветка дисплея гарантирует отличное изображение даже при недостаточном освещении. Анализатор оснащен меню на русском языке, памятью для сохранения данных 20 измерений. Он может измерять дифференциальное давление при настройке давления газа, с помощью ИК-интерфейса обеспечивается передача данных на ПК, в том числе карманный. Диапазон измерения температур анализатором $-40—600$ °С, тяги ± 40 ГПа, давления ± 200 ГПа. Габаритные размеры анализатора $216 \times 68 \times 47$ мм, масса 0,5 кг.

Измеритель температуры Testo 810 — двухканальный измерительный прибор с функцией ИК-измерения лазерным целеуказателем и встроенным термометром. Например, температуру поверхности радиатора можно легко сравнить с температурой воздуха в помещении (рис. 7). Дисплей прибора оснащен подсветкой. Диапазон измерений $-30—300$ °С, погрешность при измерении 2 °С. Габаритные размеры измерителя $110 \times 46 \times 25$ мм, масса 0,09 кг.



Рис. 7. Измеритель температуры Testo 810

Выставка прошла с большим успехом, ее посетило много специалистов, работающих в области КИП и автоматики. Были заключены взаимовыгодные деловые соглашения.

А. Н. ИВАНОВ, инж.

Международный конгресс "Биодизель—2007": состояние, прогнозы и тенденции

17—18 октября 2007 г. в Москве состоялся 2-й Международный конгресс "Биодизель—2007", организованный Российской Национальной биотопливной ассоциацией (НБА) при поддержке Госдумы РФ, Минпромэнерго РФ, Минэкономразвития и торговли РФ, Минсельхоза РФ и ряда общественных организаций.

На конгрессе были освещены вопросы, определяющие современное состояние и перспективы развития энергосберегающих технологий в рамках реализации одобренных Правительством РФ энергетических и транспортных энергобезопасных стратегий.

В работе конгресса приняли участие свыше 300 отечественных и зарубежных специалистов. За два рабочих дня были заслушаны более 30 докладов и сообщений по различным направлениям деятельности. В рамках конгресса состоялись пленарное заседание и четыре сессии. Специальный круглый стол был посвящен теме "Производство, использование на внутреннем рынке и экспорт биотоплива — перспектива для России". Среди докладчиков — представители Минсельхоза РФ и Госдумы РФ, президенты НБА и Российской биоэнергетической ассоциации (РБА), руководители и топ-менеджеры общественных ассоциаций и союзов России и Ук-

раины, проектных и исследовательских институтов, вузов, консалтинговых фирм.

Среди иностранных участников — представители зарубежных и совместных предприятий США (General Electric), Германии (PPM), Великобритании (Shell), Италии (Desinet Ballestra и "Мерлони Прожетти"), Франции (Axens group technology), Австрии ("Зульцер Хеутех"), Турции (Sistemas Technology Ltd).

На пленарном заседании с концептуальным докладом "Мировой рынок биодизеля: мыслить за пределами нефтяной трубы" выступил президент НБА А. Р. Аблаев. Докладчик отметил активное использование возобновляемых источников энергии из сельскохозяйственного сырья в США, Японии, Бразилии, Китае, Индии, Канаде, странах ЕС. Во многих странах (даже экспортирующих нефть и газ) созданы специальные органы исполнительной власти, управляющие и координирующие реализацию программ в области производства альтернативной энергии.

Биодизельным топливом являются моноэфиры растительных масел или животных жиров (метиловые эфиры жирных кислот — биодизель и глицерин), получаемые в результате химической реакции трансэтерификации масла или жира с алкоголем в присутствии катализатора.

В Европе и США метиловые эфиры рапсового и соевого масла уже применяются в качестве альтернативных дизельных топлив и добавок к традиционным топливам. Основным отличием биодизеля от обычного дизтоплива является его экологическая

чистота, так как при его использовании снижается эмиссия практически всех вредных веществ по сравнению с нефтяными дизельными топливами.

Кроме того, биодизельные топлива характеризуются высоким цетановым числом (54—58 ед.), высокой температурой вспышки (выше 1000 °С), что повышает их пожаробезопасность, а также обладают лучшей смазывающей способностью.

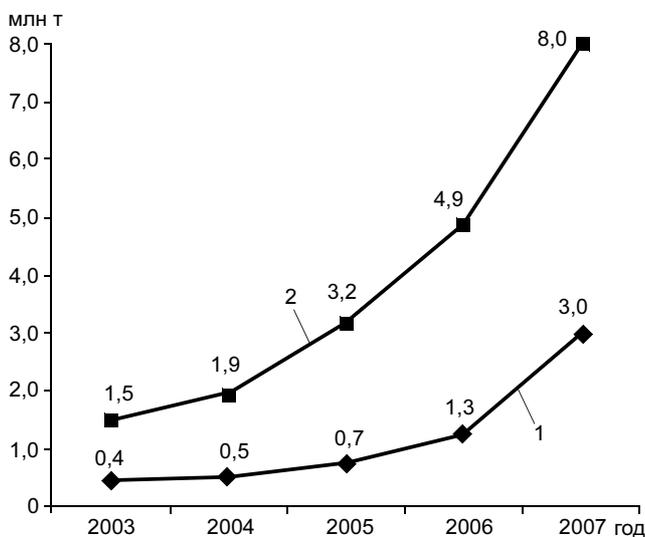
Анализируя ситуацию с производством биотоплива и прогнозом освоения биодизеля и топливного этанола в России и странах СНГ докладчик отметил положительные тенденции развития рынка биоэтанола и биодизеля как для экспорта, так и внутреннего потребления биотоплива (см. рисунок), обусловленные рядом факторов:

- стремительным ростом доли современных машин, высокооктанового (более 92) бензина или улучшенного дизтоплива;
- законодательными требованиями стандартов топлива Евро-4 и выше;
- существенным ухудшением качества жизни в Москве и других крупных городах из-за резкого увеличения неблагоприятных экологических факторов (ухудшения здоровья горожан, оттока высшего и среднего классов населения в пригороды, увеличения потребления топлива на ежедневные поездки);
- формированием общественного мнения о биотопливе как о разумной и экологически чистой альтернативе традиционным видам топлива;
- возросшей мобильностью населения, увеличением среднегодового потребления топлива;
- ростом цен на газ и топливо, приближением их уровня к европейскому;
- появлением в перспективе "мировой полиции" по контролю над выбросами парниковых газов, началом выраженных государственных действий по контролю над выбросами.

Законодательным и нормативно-правовым аспектам формирования сектора биотопливной энергетики на конгрессе были посвящены доклады представителей Госдумы РФ и ВНИИНефтепереработки.

В частности, по мнению председателя подкомитета по возобновляемым источникам энергии Госдумы РФ В. Б. Иванова, необходимо осуществить комплекс следующих программных и законодательных мероприятий:

- разработку проекта федеральной целевой программы развития биоэнергетики в России;
- формирование и реализацию предложений по законодательному обеспечению и механизму дотирования потребителей и производителей биотоплива для обеспечения конкурентоспособности



Производство биотоплива в России (по данным НБА): 1 — биоэтанол; 2 — биодизель

этого вида ресурсов с традиционными энергоносителями;

— лицензирование, стандартизацию и сертификацию продукции, производств и оборудования в сфере биоэнергетики с учетом требований мировых стандартов и ряд других актов, технических регламентов и национальных стандартов.

В выступлении специалистов ВНИИ НП "Нормативно-техническая документация на производство биодизельных топлив" освещались действия по регламентации применения в России биотоплива.

В 2005 г. принят ГОСТ Р 52368 "Топливо дизельное Евро", соответствующий европейскому стандарту и действующий на территории России с 2006 г., который разрешает добавку до 5 % метиловых эфиров жирных кислот (биодизеля) в топливо. Исследования показали, что присутствие в соответствующих топливах 2—5 % биодизеля и биоэтанола нормализует смазочные свойства топлива без введения в них специальных добавок. Развитию рынка биодизеля в России также будет способствовать специальный технический регламент "О требованиях к бензинам, дизельному топливу и отдельным горючесмазочным материалам", который находится на завершающей стадии рассмотрения в Правительстве. Регламент устанавливает показатели качества, снижение содержания серы в дизельном топливе и сроки перехода на выпуск дизельного топлива Евро-3—Евро-5 (см. таблицу). Наряду с оборотом дизельного топлива Евро-3 и Евро-4 регламент допускает производство топлива с содержанием серы до 0,2% для использования в сельскохозяйственной технике. В то же время меньше серы — хуже смазка и, соответственно, необходимы специальные добавки. А смесь дизельного топлива с 5 % биодизеля (топливо Б5) обеспечивает необходимые смазочные свойства.

Вместе с тем необходимо констатировать, что российские производители техники в своей технической документации не допускают применения даже в ограниченных пределах альтернативных ви-

дов топлива без проведения комплекса стендовых и дорожных испытаний.

Доклад представителя Харьковского политехнического института был посвящен практическим вопросам эксплуатации двигателей на биодизеле. На Украине действует закон, стимулирующий производство моторных бензинов с добавками биоэтанола (реформулированные бензины). При этом акциз на такие топлива снижен с 60 до 30 евро за тонну, а крупные города (с населением более 500 тыс. человек) обязаны продавать биотопливо на заправках. Совершенствованием дизельных двигателей под биотопливо активно занимается и мировое автомобилестроение и машиностроение. Так, фирмы "Пежо", "Ситроен" и "Рено" гарантируют работу своих дизельных моторов при использовании биотоплива Б30 (смесь 30 % биодизеля и 70 % дизельного топлива), а фирма "Фольксваген" представляет гарантии на топливо Б100 — 100 %-ный биодизель. В Париже в черте города все автобусы и маршрутки ездят исключительно на экологически чистом горючем. Водители машин на биотопливе бесплатно въезжают в центр Стокгольма (Швеция) и не платят за парковку, для них снижены ежегодные налоги на автомобиль.

В Германии 100 %-ный биодизель продают около 2000 заправок. Через 15 лет намерена полностью отказаться от нефти в пользу биоэнергетики Швеция, где уже сейчас каждая заправка, продающая более 4 млн л бензина в год, обязана иметь колонку топлива Б85 (85 % биоэтанола и 15 % бензина).

2-й международный конгресс продемонстрировал значительный потенциал биотопливной энергетики. При государственной поддержке и наличии соответствующей нормативно-правовой базы возможно снижение энергозависимости национальной экономики от конъюнктуры роста цен на невозобновляемые источники энергии (нефть и газ), улучшение экологической обстановки и получение дополнительного источника "углеродных кредитов" в рамках Киотского протокола.

НБА с привлечением заинтересованных предприятий и организаций приступила к подготовке в России и странах СНГ 3-го Международного конгресса "Топливный биоэтанол—2008", который пройдет 23—24 апреля 2008 г. в Москве.

Е. С. ДОБРИНСКИЙ, канд. техн. наук
(Академия проблем качества РФ)
В. А. СЕИН, инж.
(ОАО "АСМ-холдинг")

Класс отечественной автомобильной техники	Цетановое число, не менее	Содержание серы, не более	Срок перехода на выпуск топлива, год
Евро-3	51	0,030	2008
Евро-4	51	0,005	2010
Евро-5	55	0,001	2014

1-я Международная школа-семинар "Определение напряженно-деформированного состояния и оценка остаточного ресурса технических устройств и сооружений"

Уже на международном семинаре "Контроль напряженно-деформированного состояния промышленного оборудования и металлоконструкций при определении остаточного ресурса", прошедшем в декабре 2005 г. в Москве, было подчеркнuto, что в настоящее время ведущие диагностические центры мира занимаются проблемами измерения напряжений и деформаций металлических конструкций, при этом особое значение приобретает эффективность контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) металлических конструкций при оценке их ресурса, так как старение оборудования значительно опережает темпы технического перевооружения.

Интерес к данной теме все более возрастает. В августе 2007 г. состоялась международная конференция в Колорадо (США). Основными вопросами, обсуждаемыми на конференции, являлись общие проблемы определения напряженно-деформированного состояния, а также эффективность различных методов неразрушающего контроля (НК) напряженно-деформированного состояния. Подчеркивалось, что игнорирование измерения напряжений в процессе строительства и эксплуатации металлоконструкций является причинами многих разрушений. Прогнозируемая долговечность (остаточный ресурс) — функция вероятностная и с увеличением объема проводимого неразрушающего контроля вероятность повышается. Проблема определения напряженно-деформированного состояния становится все более актуальной в связи с увеличением нагрузок и утяжелением условий работы оборудования.

В Сочи (Лазаревское) 1—6 октября 2007 г. на базе ООО "НУЦ "Качество" проведена 1-я школа-семинар "Определение напряженно-деформированного состояния и оценка остаточного ресурса технических устройств и сооружений", организаторами которой явились Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД), Научно-промышленный союз "Управление рисками, промышленная безопасность, контроль и мониторинг" (РИСКОМ) и ООО "НУЦ "Качество" при поддержке Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору и Центрального органа Единой системы оценки соответствия на объектах Ростехнадзора (НТЦ "Промышленная безопасность") совместно с Белорусской ассоциацией НКиТД, Институтом прикладной физики НАН, ООО "НПФ Диагностика".

Открыла работу школы-семинара член президиума РОНКТД, генеральный директор ООО "НУЦ "Качество" Н. П. Бирюкова, отразив в своем выступлении актуальность, цели, задачи и программу семинара. С приветственным словом к участникам школы-семинара обратились начальник Черноморского отдела по техническому надзору Северо-Кавказского межрегионального управления по технологическому и экологическому надзору Ростехнадзора К. М. Иванов, начальник лаборатории ОАО "НТЦ "Промышленная безопасность" В. П. Шевченко, заведующий лабораторией, главный конструктор Института прикладной физики НАН Белоруссии В. Л. Венгринович. С приветствием от имени президента РОНКТД чл.-кор. РАН, д-ра техн. наук В. В. Ключева выступил ученый секретарь ЗАО "НИИИИ МНПО "Спектр" В. Т. Бобров. Председатель правления НПС "РИСКОМ", генеральный директор ООО "НТЦ Нефтегаздиагностика" В. В. Лещенко зачитал приветственное письмо президента НПС "РИСКОМ" чл.-кор. РАН, д-ра техн. наук Н. А. Махутова.

В процессе работы школы-семинара были заслушаны 20 докладов.

С обзорным докладом о состоянии проблемы контроля остаточных напряжений в конструкциях по материалам 1-й международной конференции в Колорадо выступил д-р техн. наук В. Л. Венгринович. Докладчик дал характеристику типов напряжений, привел перечень технологических операций обработки металлов, в процессе проведения которых возникают напряжения (термическая обработка, закалка, неоднородные деформации, прокатка, шлифование, сварка и др.). По материалам лекций известных американских ученых Р. Б. Томпсона и К. О. Руда докладчик дал обзор и характеристику методов НК напряжений: акустических, на основе эффекта Баркгаузена, нейтронной дифракции, позитронной аннигиляции, термической эмиссии, оптических и др.

Генеральный директор ООО "Энергодиагностика" А. А. Дубов в своем выступлении изложил содержание ГОСТ Р 52330—2005 "Контроль напряженно-деформированного состояния объектов промышленности и транспорта. Общие требования" и "Оценка напряженно-деформированного состояния оборудования и конструкции с использованием метода магнитной памяти". Данная тема вызвала острую дискуссию.

С докладами, посвященными расчетным методам определения НДС с примерами конкретных объектов, выступили А. С. Куркин, МГТУ им. Н. Э. Баумана (сварные швы), Е. Л. Муравин, ООО "НТЦ "Диатекс", (подземные магистральные трубопроводы), Г. П. Батов, ООО "НУЦ "Качество" (влияние на скорость роста усталостных трещин), Ю. В. Житняков, ООО "Интеркор Рус" (трубопроводы при проектировании и эксплуатации). Обзор современных методов и стандартов по неразрушающему контролю напряжения представил В. Л. Венгринович, уделив внимание вопросу снижения неопределенности НДС.

Оценке надежности линейной части трубопроводов, оптимизации НДС металла трубопроводов пара и горячей воды, остаточного ресурса трубопроводов, контактирующих с наводороживающими средствами, и др. были посвящены доклады В. Д. Лебеда (НПП "Политест"), Н. В. Рязановой (ЗАО "НТЦ "Диагностика. Экспертиза. Безопасность") и В. М. Кушнаренко ("Технопарк ОГУ").

Большой интерес вызвали сообщения авторов докладов "Анализ причин повреждаемости устьевых подогревателей на газопромысловых скважинах" (М. А. Шуваев, ООО НТЦ "Диатекс"), "Учет взаимосвязи деградации механических свойств и напряженно-деформированного состояния при оценке остаточного ресурса технических устройств и сооружений" (В. М. Горицкий, ЦНИИПСК им. Мельникова), "Прибор для измерения напряжений лазерно-интерференционным методом" (В. П. Головин, ОАО НППС "ЭКОС"), "Новейшие технологии внутритрубной диагностики и контроля морских трубопроводов" (В. В. Лещенко), "Достоверности оценки прогнозирования и условий безопасной эксплуатации оборудования" (С. Г. Кулаков, ООО "ГРЕЙ").

С интересными докладами, посвященными оценке влияния электрохимических свойств грунтов на распространение коррозии в магистральных трубопроводах и объемности НДС на скорость роста усталостных трещин, выступили представители новейшей генерации ученых и специалистов (А. С. Бачерников, ТюмГНГУ).

Под оригинальным названием доклада В. И. Иванова (НОУ УЦ "Самара") "Системный мультитестинг", как оказалось, скрывается многопараметровый контроль ответственных объектов, что совпадает с мнением многих исследователей о том, что возникающие вопросы по контролю и оценке напряженно-деформированного состояния и определению его влияния на прогнозирование остаточного ресурса можно решить с помощью комплекса методов и приборов.

Значительное внимание было уделено вопросу подготовки специалистов в области контроля напряженно-деформированного состояния. В версии 2005 г. в международный стандарт ISO-9712 "Не разрушающий контроль. Классификация и сертификация персонала неразрушающего контроля" введен метод контроля напряженно-деформированного состояния.

Система СДСПНК РОНКТД также расширила область методов неразрушающего контроля на метод "Определение напряженно-деформированного состояния".

ООО "НУЦ "Качество" совместно с рядом ведущих специалистов в этой области разработали "Программу подготовки и сертификации специалистов по методу НДС", а затем и всю необходимую документацию для ее реализации. О содержании и методических особенностях программы подготовки и сертификации специалистов по методу "Определение напряженно-деформированного состояния" рассказал С. Г. Копытов (ООО "НУЦ "Качество"). Программа включает определение понятий необходимого объема теоретических вопросов, программного обеспечения, методических расчетов и методов неразрушающего контроля, практических знаний по курсу, обзор нормативно-методических документов.

Уже ведется курс подготовки и сертификации специалистов по НДС в ООО "НУЦ "Качество" с выдачей сертификата СДСПНК РОНКТД. Программа одобрена участниками школы-семинара.

Своеобразным подведением итогов дискуссий в ходе выступлений докладчиков стало проведение круглого стола "Проблемы и задачи определения НДС и расчета ресурса".

Заключительное заседание участников школы-семинара было посвящено подведению итогов и принятию решения, в котором отражены вопросы целесообразности ежегодного проведения школы-семинара и определены задачи перспективного развития методов оценки напряженно-деформированного состояния, а также необходимость и актуальность процесса подготовки и сертификации персонала по определению напряженно-деформированного состояния. Особо отмечены высокий уровень докладов, их интересно подобранная тематика и организация работы школы-семинара.

Г. П. БАТОВ, инж.,
Н. П. БИРЮКОВА, канд. техн. наук,
А. А. ЕРМОЛАЕВ, инж.
ООО "НУЦ "Качество"

Объединение разработки новой технологии и изготовления современного оборудования

В декабре 2007 г. прошел семинар-презентация нового оборудования для термической обработки и соответствующей современной технологии, организованный ЗАО "Научно-производственная компания "Накал" (Солнечногорск, Московская обл.). В работе семинара участвовали 30 специалистов из 16 городов России (от Железногорска (Курская обл.) до Тюмени), представляющие 22 предприятия: технологи, руководители производства, работники лабораторий. На семинаре выступили инж. Т. А. Шабурова (НПК "Накал") с докладом "Современные теплоизоляционные материалы — основа экономичности и долговечности промышленных печей" и инж. В. Я. Сыропятов (НПК "Накал") — "Низкотемпературная и высокотемпературная химико-термическая обработка. Состояние и тенденции развития. Оборудование, методы и средства управления процессами". Демонстрировались натурные образцы оборудования и качественные снимки микроструктуры, образующейся после различных процессов термической и химико-термической обработки. О состоянии производства за 15 лет становления НПК и перспективах его развития рассказал заместитель генерального директора Н. Н. Итяксов. Опыт реализации управляемых процессов термической и химико-термической обработки, особенности становления НПК "Накал" — лидера электротермии России — освещали все выступавшие специалисты предприятия. Участники семинара получили сводный перечень оборудования для термической обработки, производимого НПК "Накал", компакт-диски с описанием выпускаемых изделий, а также перечень теплоизоляционных изделий из керамоволокна, выпускаемых предприятием "Изомат" и применяемых в термических печах. Благодаря этим изделиям снижены масса печей и их габаритные размеры без снижения теплоизоляционных и энергетических характеристик.

В качестве примера рассмотрим опыт применения автоматизации процессов и работы термического участка, изготовления закалочных печей раз-

личных типов, печей и комплексов с защитной атмосферой (формирующейся в той же печи), печей для химико-термической обработки.

В печах для азотирования применяют процесс каталитического газового азотирования, позволяющий ускоренно получать пластичные азотированные слои увеличенной толщины. Каталитическая газовая цементация имеет ряд преимуществ перед традиционной за счет повышения температуры процесса, ускоренного получения слоев заданной толщины и с бездефектной структурой, причем в качестве карбюризаторов применяют пропан с добавлением воздуха или керосин с добавлением воды. Печи для отжига и искусственного старения алюминиевых сплавов отличаются весьма малым перепадом температуры по объему.

Из других выпускаемых изделий можно отметить печи для плавки металла, сушилки, печи для обжига керамики и лабораторные печи, закалочные ванны, а также нестандартное и дополнительное оборудование. Все выпускаемое оборудование НПК "Накал" сдает "под ключ". За время деятельности предприятия изготовлены и отправлены более 650 различных печей и агрегатов в основном в Россию и страны СНГ, а также страны дальнего зарубежья. Планируется проектирование проходных печей по заявке потребителей и проработка возможности изготовления соляных ванн для нагрева и изотермической закалки.

Проведение семинара с участием возможных потребителей стало традиционным. Очередной семинар "Современные направления в термической обработке, новейшие технологии и оборудование" состоится в апреле 2008 г. Подробнее узнать о выпускаемых изделиях в НПК "Накал" можно на сайте www.nakal.ru.

В. М. ЗИНЧЕНКО, д-р техн. наук,
В. М. ЧЕРТОВ, инж.

К 100-летию В. В. Бойцова

В январе 2008 г. исполнилось 100 лет со дня рождения Василия Васильевича Бойцова — выдающегося ученого и организатора, одного из создателей государственной системы стандартизации в СССР, президента Всемирной организации по стандартизации (ИСО) и Академии проблем качества.

В. В. Бойцов родился 1 января 1908 г. в дер. Алабино Нарофоминского р-на Московской обл. в крестьянской семье. Трудовую деятельность начал в 1923 г. штамповщиком промысловой артели. В 1928—1930 гг. В. В. Бойцов — учащийся Московского индустриального техникума промкооперации. После окончания учебы был назначен заведующим техникумом промкооперации в Орехово-Зуевском р-не Московской обл. В 1933 г. поступил в Московский ордена Трудового Красного Знамени механико-машиностроительный институт им. Н. Э. Баумана (ныне МГТУ им. Н. Э. Баумана) на механико-технологический факультет, который с отличием окончил в 1937 г., получив диплом инженера-технолога по специальности "Сварочное производство". После окончания института с 1937 по 1946 гг. В. В. Бойцов работал в авиационной промышленности.

В начале 1947 г. В. В. Бойцов назначен заместителем министра авиационной промышленности, а в конце 1947 г. — начальником Научно-исследовательского института технологии и организации производства (НИАТ) Государственного Комитета Совета Министров СССР по авиационной технике, где работал до 1963 г. В 1948—1949 гг. В. В. Бойцов был командирован в Китай советником по оборонной промышленности при Правительстве КНР.

С 1952 г. В. В. Бойцов совмещал основную работу с преподаванием в МАИ, где в качестве профессора кафедры "Производство самолетов" вел активную научную деятельность. В 1960 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени д-ра техн. наук. В течение многих лет В. В. Бойцов являлся членом Ученого совета МАИ. В 1956—1963 гг. был главным редактором журнала "Авиационная промышленность" Госкомитета Совета Министров по авиационной технике.

В 1963—1984 гг. В. В. Бойцов возглавлял Госстандарт СССР. Под его руководством были решены важнейшие научные задачи организации гибких производств, обеспечивающих реализацию современных технологических требований. Следует отметить его вклад в такие научные направления, как технологичность конструкций изделий машиностроения, типизация технологических процессов на основе

научно обоснованной классификации объектов производства, механизация и автоматизация производства и др.

В. В. Бойцов — автор многочисленных публикаций, среди них "Проблемы автоматизации и механизации мелкосерийного производства", "Комплексная нормализация элементов производственного процесса", "Нормализованные основы освоения производства новых машин", "Инженерные методы обеспечения качества в машиностроении" и др.

В 1966—1984 гг. В. В. Бойцов — член Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике, в 1967—1988 гг. — член Комитета по Ленинским и Государственным премиям в области науки и техники при Совете Министров СССР.

В 1977 г. В. В. Бойцов был избран президентом Всемирной организации по стандартизации (ИСО), которую возглавлял до 1979 г. включительно, в 1979 г. избран членом "Клуба золотых запонок", выдающихся руководителей ИСО.

В. В. Бойцов был одним из инициаторов и участников разработки известной системы стандартов ИСО серии 9000, которая широко используется в мировой практике для регулирования хозяйственных отношений и совершенствования работы предприятий.

В 1985—1988 гг. он работал заведующим кафедрой "Экономика и организация производства" МВТУ им. Н. Э. Баумана, а в 1988—1997 гг. — профессором этой же кафедры.

В. В. Бойцов являлся одним из основателей (1993 г.) и первым почетным президентом Межрегиональной общественной организации "Академия проблем качества".

За заслуги перед страной В. В. Бойцов награжден тремя орденами Ленина, орденами Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени, Красной Звезды, Отечественной войны II степени, "Знак почета" и медалями.

К 100-летию юбилею выдающегося инженера, ученого, организатора промышленности и государственного деятеля подготовлены развернутые мероприятия, позволяющие максимально использовать наследие В. В. Бойцова в области производства, стандартизации и метрологии.

Е. С. ДОБРинский, канд. техн. наук

Календарь выставок на II квартал 2008 г.

Москва*			
Покрyтия и обработка поверхности <i>5-я международная специализированная выставка-конференция</i>	08.04—10.04	Центр международной торговли	123610, Москва, Краснопресненская наб., 12, тел.: (495) 258 8117, факс: (495) 253 9187
Мера** <i>Международная специализированная выставка измерительной техники и автоматики</i>	15.04—17.04	ООО "Примэкспо" ЗАО "Экспоцентр"	Тел.: (812) 380 6017 123610, Москва, Краснопресненская наб., 14, тел.: (495) 255 3723, факс: (495) 205 6935
Электроэнергетика России <i>6-я международная выставка-конференция</i>	15.04—17.04	ЗАО "Евроэкспо" ЗАО "Экспоцентр"	Тел.: (495) 925 6561, факс: (495) 248 0734 —
Высокие технологии XXI века <i>Международный форум и выставка</i>	22.04—25.04	ЗАО "Экспоцентр" ОАО "Экос"	« Тел.: (495) 331 2333, факс: (495) 332 3595
Сертификация и технические регламенты** <i>2-я международная выставка</i>	22.04—25.04	ЗАО "Экспоцентр" ООО "БК "Мир Экспо"	« Тел./факс: 8 499 618 0565
Машиностроение <i>7-я международная специализированная выставка станкоинструментальной продукции</i>	26.05—30.05	MVK, КВЦ "Сокольники"	107113, Москва, Сокольнический вал, 1, тел./факс: (495) 995 0595 Место проведения: МВЦ «Крокус Экспо»
Металлообработка <i>10-я международная выставка</i>	26.05—31.05	ЗАО "Экспоцентр"	—
Металлургия – Литмаш. Трубы. Россия. Алюминий/Цветмет	27.05—30.05	«	—
Санкт-Петербург**			
Петербургский международный форум-выставка ТЭК	08.04—10.04	ВК "Ленэкспо"	199106, С.-Петербург, Васильевский о-в, Большой пр-т, 103, тел.: (812) 321 2819
Энергетика и электротехника <i>Международная специализированная выставка</i>	13.05—16.05	ВО ЗАО "РЕСТЭК"	Тел.: (812) 320 6363
Сварка <i>13-я международная специализированная выставка</i>	21.05—24.05	ВК "Ленэкспо"	«
БИОТОПЭКСПО <i>3-я международная специализированная выставка и конференция по проблемам биотоплива и биоэнергетики</i>	27.05—30.05	ВО ЗАО "Сивел" СКК "Петербургский"	191400, С.-Петербург, ул. Капитана Воронина, 13, тел.: (812) 324 6416, факс: (812) 596 3814 196105, С.-Петербург, пр-т Гагарина, 8, тел.: (812) 388 1211
Санкт-Петербургский международный экономический форум	06.06—08.06	ВК "Ленэкспо"	—
Регионы России **			
Станки. Приборы. Инструмент <i>Международная выставка технологий, оборудования, материалов и средств защиты для машиностроения и металлообрабатывающей промышленности, литейного и сварочного производства</i>	01.04—04.04	ВЦ "Пермская ярмарка"	614077, Пермь, б-р Гагарина, 65, тел.: (3422) 625 858
Уральская промышленно-экономическая неделя. Выставочный проект: Metallургия. Метмаш. Машиностроение. Металлообработка. Сварка. Инструмент	08.04—11.04	ВЦ "ЮжУралЭкспо"	454007, Челябинск, ул. Артиллерийская, 132, тел.: (351) 775 1470
Промышленность. Наука. Инновации. Инвестиции <i>Межрегиональная специализированная выставка</i>	09.04—10.04	"Вятский базар и К"	610006, Киров, ул.Гайдара, 3, оф. 417, тел.: (8332) 583 060
Энергетика. Электротехника <i>Специализированная выставка энергосберегающего оборудования и технологий</i>	09.04—11.04	Экспо-Тверь	170034, Тверь, пр-т Чайковского, 28/2, тел.: (4822) 349 676
Спецовка <i>Специализированная выставка профессиональной специальной одежды, спецобуви и средств защиты</i>	10.04—12.04	ВЦ "Прогресс"	355029, Ставрополь, ул. Ленина, 399, тел.: (8652) 353 770
4-я Евроазиатская выставка: металлообработка, метмаш, инструменты, подшипники, приводы, автоматизация, измерительная техника	15.04—17.04	ВО "Уральские выставки—2000"	620027, Екатеринбург, ул.Свердлова, 114А, тел.: (343) 355 5195
Энергетика. Энергоэффективность <i>10-я специализированная выставка с международным участием</i>	22.04—24.04	ВЦ "Софит-экспо"	410004, Саратов, ул. Чернышевского, 60/62, тел.: (8452) 205 470
Технологии благоустройства. Переработка отходов <i>2-я специализированная выставка</i>	22.04—25.04	ЗАО "Объединение "Уральские выставки"	620014, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 13, тел./факс: (343) 355 0049
Сибинфоком <i>Международная выставка-форум</i>	22.04—25.04	ИМВК "Сибэкспоцентр"	664050, Иркутск, ул.Байкальская, 253А, тел.: (3952) 352 239
Ресурсосбережение и экология <i>Межрегиональная специализированная выставка</i>	23.04—25.04	Пензенская областная ТПП	440200, Пенза, ул.Кирова, 57, тел.: (8412) 560 140
Международный экологический форум	15.05—17.05	ВК "ЭкспоВолга"	443110, Самара, ул.Мичурина, 23А, тел.: (846) 270 3405
Мир безопасности <i>Выставка технических средств безопасности, специальных средств связи, ТБ и охрана труда</i>	20.05—22.05	ВВЦ "Регион"	400007, Волгоград, а/я 3400, тел.: (8442) 242 602

Регионы России **			
Приборостроение <i>Межрегиональная специализированная выставка</i>	27.05—30.05	ВЦ "Россия"	620072, Екатеринбург, ул.Высоцкого, 14, тел.: (343) 347 4505
Металлургия. Машиностроение. металлообработка. Сварка <i>Межрегиональная выставка</i>	03.06—05.06	ВЦ "Восточные ворота"	454080, Челябинск, ул.Энтузиастов, 2, тел./факс: (3512) 63 7512 Место проведения: Магнитогорск
Новое в энергосбережении <i>Специализированная выставка энергосберегающих технологий, оборудования и услуг</i>	03.06—05.06	Агентство "Максимум-Информ"	170000, Тверь, ул. Базановой, 20, тел.: (4822) 765 907
Металлообработка: инструменты, станки, оборудование <i>Международная специализированная выставка</i>	11.06—13.06	"РТЕ-Урал"	620000, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 12Е, тел.: (343) 310 3250
Машиностроение. Станки. Инструменты <i>Международная выставка</i>	24.06—27.06	"Нижегородская ярмарка"	603086, Нижний Новгород, ул.Совнаркомовская, 13, тел.: (8312) 775 590
Сварка <i>Международная выставка</i>	24.06—27.06	«	«
Белоруссия**			
Электротех Электротехнические машины и аппараты, электрооборудование различного назначения	01.04—04.04	НВЦ "Белэкспо"	220035, Минск, пр-т Победителей, 14, тел.: (10-375-17) 250 2586
Управление отходами Промышленные и бытовые отходы, индустрия сбора и переработки и утилизации <i>Международная выставка</i>	08.04—11.04	НВЦ "Белэкспо" ВП "Экспофорум"	220035, Минск, пр-т Победителей, 14, тел.: (10-375-17) 234 0221 220021, Минск, ул.Челюскинцев, 15, тел./факс: (10-375-17) 299 8299
Белорусский промышленный форум: Энерго- и ресурсосбережение. Белпромэкспо. Сварка <i>Международные выставки</i>	13.05—16.05	«	«
Человек и безопасность <i>Международная выставка систем обеспечения безопасности и средств охраны труда и окружающей среды</i>	11.06—13.06	«	«
Казахстан**			
WELDING KZ <i>2-я международная выставка «Сварка»</i>	15.05—16.05	EXPOKZ	050059, Алматы, ул.Хаджимукана, 22а, тел.: (10-7-3272) 581 011
Промышленный форум: Машиностроение и металлообработка. Энергетика. Инструмент. Промышленная автоматизация <i>Международная выставка в рамках Промышленного форума в Алматы</i>	21.05—23.05	МВК "АТАКЕНТ-экспо"	050057, Алматы, ул. Тимирязева, 42, тел.: (10-7-3272) 582 535
Литва**			
Балттехника Инновационные технологии в промышленности, энергетике, электротехнике. КИП. Охрана окружающей среды	20.05—23.05	LITEXPO	Вильнюс, тел.: (10-370-52) 45 1800
Украина**			
ПРИМУС: Машиностроение <i>Международная специализированная выставка промышленного оборудования, технологий и комплектованных в рамках Киевского международного индустриального форума (KIIF)</i>	02.04—05.04	"ПРИМУС Украина"	04210, Киев, а/я 133, тел.: +10 380 44/537 6999
ПРИМУС: Металлообработка <i>Международная специализированная выставка оборудования, технологий и инструмента обработки металлов в рамках KIIF</i>	02.04—05.04	«	«
ПРИМУС: Металтулз <i>Международная специализированная выставка инструмента в рамках KIIF</i>	02.04—05.04	«	«
Экологические технологии и инновации. Предохранные разработки, технологии и услуги. Современные технологии в области сбора, переработки и утилизации отходов, очистки воды, воздуха, грунта	03.04—05.04	Национальный комплекс "Экспоцентр Украины"	03680, Киев, тел.: +10 380 44/596 9101
Промышленные выставки с павильоном «Сварка, родственные технологии – 2008»***	07.04—09.04	ИЭС им. Е.О.Патона	03600, Киев, ул.Боженко, 11, тел./факс: (38044) 529 2623
RECYCLING <i>Международная специализированная выставка по вопросам утилизации и переработки отходов</i>	09.04—11.04	ТПП Украины	Киев, ул. Б.Житомирская, 33, тел.: +10 380 44/272 2805
Машиностроение <i>Специализированная выставка</i>	14.05—17.05	ВЦ "ЭкспоДонбасс"	Донецк, ул. Челюскинцев, 189 а, тел.: +10 380 62/381 2103
Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных технологиях*** <i>4-я международная конференция</i>	27.05—30.05	ИЭС им. Е.О.Патона	—
Энергетика. Электротехника. Автоматика <i>Специализированная выставка с международным участием</i>	03.06—06.06	ВЦ "ЭкспоДонбасс"	«
Австралия**			
NMV-National Manufacturing Week <i>Национальная промышленная неделя</i>	27.05—30.05	Reed Exhibitions Australia	Сидней, тел.: +61 02/9993 8342
Венгрия**			
INDUSTRIA <i>Международная индустриальная выставка</i>	27.05—30.05	HUNEXPO	Будапешт, тел.: +361/263 6000

Германия**			
Hannover Messe <i>Промышленная ярмарка-выставка</i>	21.04—25.04	Deutsche Messe AG Hannover	Ганновер, тел.: +49 511/81 9995
Control <i>Международная выставка технологий и систем контроля качества</i>	22.04—25.04	P.E.Schall GmbH Messe Unternehmen	Тел.: 10-49-7025/92 060
IFAT <i>Международная выставка по водоснабжению, очистке</i>	05.05—09.05	Messe Munchen GmbH	Мюнхен, тел.: + 49 089/9492 0720
Automatica <i>Международная выставка инновационных решений</i>	10.06—13.06	«	«
Голландия***			
Международная конференция по термическому напылению JTSC — 2008	02.06—04.06	ИЭС им. Е.О.Патона	Тел.: 380 44/ 529 2623
Испания**			
ECOFIRA <i>Международная экологическая выставка</i>	28.05—30.06	FERIA VALENCIA	Валенсия, тел.: +34 963/861 100
Малайзия**			
Metaltech Malaysia <i>Международная выставка металлургии и машиностроения</i>	07.05—11.05	Trade-link Exhibition Services SDN BHD	Куала-Лумпур, тел.: +6003/5635 6086, факс: +603/5635 6199
Словакия**			
International Engineering Trade Fair <i>Международная машиностроительная ярмарка</i>	17.04—19.04	Agrokomplex-Vystavnictvo	Нитра, тел.: +42137/657 2111, факс: +42103/733 5859
Финляндия**			
FINNTEC <i>Международная выставка технической продукции и производственного оборудования</i>	15.04—18.04	The Finnish Fair Corporation	Хельсинки, Тел.: 10-358/915 091
Хорватия**			
ANTIKOROZIJA <i>Международная выставка защиты и обработки поверхностей</i>	23.04—27.04	Zdgrebacki Velesajam Zagreb Fair	Загреб, тел.: +38501/650 3111, факс: +38501/652 0643
WELDING <i>Международная выставка сварочного оборудования и технологий</i>	23.04—27.04	«	«
BIAM <i>Международная ярмарка машиностроительного оборудования и инструментов</i>	23.04—27.04	«	«
Чехия**			
Fond-Ex <i>Международная промышленная ярмарка</i>	13.05—15.05	Trade Fairs Brno	Брно, тел.: +42005/4115 1111
Швейцария*			
36-й Международный салон изобретений, новой техники и технологий	02.04—06.04	Российский дом междуна- родного научно-техниче- ского сотрудничества	Тел.: (495) 629 9363, факс: (495) 629 0961 Место проведения: Женева
Южная Корея**			
AIMEX <i>Выставка технологий автоматизации и контроля на производстве</i>	03.05—08.05	Coex	Сеул, тел.: 10-822/6000 1100

* По данным выставочных центров Москвы.

** По данным справочника «Выставки и ярмарки – 2008. Россия, ближнее и дальнее зарубежье». М.: ИВА «ИнформЭКСПО», 2008. Тел./факс: (495) 925 7524, 221 7049.

*** По данным ИЭС им. Е.О.Патона. Тел./факс: (380-44) 529 2623.

Возможны изменения.

Издательский центр “Технология машиностроения”

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 28.12.2007. Подписано в печать 18.02.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл.-печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 13,22. Заказ 03/08.

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”