



ТЕХНОЛОГИЯ

МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:**

Гл. редактор

В. А. Казаков

Зам. гл. редактора

Н. В. Посметная

В. Н. Алфеев

Н. П. Бирюкова

Р. С. Голов

В. Д. Горбач

С. Н. Григорьев

Б. В. Гусев

А. В. Дуб

В. М. Ермаков

А. С. Зубченко

А. В. Иванайский

Е. А. Калашников

В. В. Капустин

А. Л. Карунин

И. П. Ксенович

А. Е. Лигачев

А. А. Лозован

В. П. Лялякин

Е. А. Мачнев

Н. А. Паничев

В. Н. Семенов

О. С. Сироткин

Н. В. Смирнов

А. В. Телушкин

А. Н. Феофанов

К. В. Фролов

В. А. Фролов

В. К. Шелег

И. Н. Шиганов

Редакция:

С. В. Богус,

Л. Т. Мартыненко,

Т. П. Маслик

Компьютерная верстка:

Е. В. Конова

Дизайн обложки:

Е. С. Благовидов

Специальные

корреспонденты:

А. Н. Иванов, А. В. Казаков,

Ан. А. Суслов

Редактор-переводчик

Е. О. Егорова

Корректор

Т. В. Арбузова

**1 (67)
Январь
2008**

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр

"Технология машиностроения"

Журнал издается при содействии

Министерства промышленности

и энергетики РФ,

Министерства образования и науки РФ,

Российской инженерной академии,

Союза машиностроителей России,

ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»

Адрес для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 01

Контактный тел.: (495) 796 2491

E-mail: tm@folium.ru

(с пометкой для журнала

"Технология машиностроения")

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

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

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-7779

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Куценко А. И., Гурдин В. И., Жеребцов С. Н., Крупенков А. Н. — Влияние структуры никелевого сплава на механические свойства изделий 5
- Куценко А. И., Гурдин В. И., Жеребцов С. Н., Крупенков А. Н. — Влияние модифицирования РЗМ на структуру и механические свойства сплава ЖС6-К. 6

ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

- Чертов В. М. — Качественная закалка литых и кованных заготовок 8

ТЕХНОЛОГИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

- Мальцев В. Г., Моргунов А. П. — Способ повышения точности формообразования цилиндрических поверхностей, основанный на сдвиге задней бабки токарного станка в поперечном направлении 13
- Федоров Ю. Н., Артамонов В. Д., Золотухина О. Л. — Зубонарезание цилиндрических колес методом обката на модернизированных фрезерных станках. 15
- Солер Я. И., Казимиров Д. Ю., Стрелков А. Б. — Исследование несущей способности плоских деталей из стали 08Х15Н5Д2Т при многопроходном шлифовании абразивными кругами высокой пористости 19

СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

- Рогов В. А., Позняк Г. Г., Копылов В. В., Лыкова Е. С. — Анализ возможности снижения колебаний шпинделя особо точного станка до нанометрического уровня 25
- Кряжев Ю. А., Огневенко Е. С. — Исследование колебательных процессов, возникающих при работе спирального сверла, с применением анализа акустического сигнала 28
- Славин А. В., Шумячер В. М. — Механо-химические процессы взаимодействия абразивного инструмента и заготовки при шлифовании металла. 29

МЕХАНОСБОРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

- Мосягин А. С., Алексеев И. В., Михнин И. Д. — Технологический процесс изготовления сварных сотоблоков 33

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

- Сидлин З. А. — К вопросу о качестве современных отечественных электродов для ручной дуговой сварки . . 35
- Половцев В. А., Макаров Н. В., Шилло Г. В., Сабанцев А. В., Смирнова Т. Н., Штрикман М. М. — Фрикционная сварка алюминиевых лейнеров металлокомпозитных баллонов высокого давления 38

ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

- Гнюсов С. Ф., Гнюсов К. С., Дураков В. Г. — Электронно-лучевая наплавка карбидосталей. Ч. 2. Особенности формирования структуры и свойств покрытий сталь Р6М5 + WC 42

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ

- Федоренко М. А. — Формирование отклонений пространственного положения рабочих органов вращающегося оборудования 46
- Чирков Г. В. — Основы нанотехнологии обработки материалов 48

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ, ИСПЫТАНИЯ

- Свистун А. В., Юрченко А. В., Дидык А. В. — Дефектоскоп УД4-76 — ультразвуковая лаборатория в габаритах ручного дефектоскопа. 49
- Клюев В. В., Федосенко Ю. К., Мужижкий В. Ф. — Вихретоковый контроль: современное состояние и перспективы развития 53

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА

- Мирош Ю. М., Птицын В. Ф., Сухова Т. С. — Разработка методологии оценки рисков в процессе производства систем адаптации ракетносителей и космических аппаратов. 61
- Шум машин. Определение уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других заданных точках по интенсивности звука (технический метод) (ГОСТ ИСО 11205—2006) 65

ОХРАНА ТРУДА И ЭКОЛОГИЯ

- Чертов В. М., Потемкин П. В. — Высокие технологии и экология в авиации 71

ЭКОНОМИКА МАШИНОСТРОЕНИЯ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Шутченко А. П., Малахов Д. В. — Разработка модели внутрипроизводственного планирования для машиностроительного предприятия 74
- Цыганкова И. В., Моргунов В. А. — Генезис формирования концепции качества трудовой жизни 77
- Добринский Е. С., Сеин В. А. — Промышленная сборка: положительные истораживающие тенденции реальной экономики российского автомобилестроения 82

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

- Потапова Г. С. — Содержание зарубежных журналов 85

ИНФОРМАЦИЯ

- Иванов А. Н. — 8-я Международная выставка "Высокие технологии XXI века" 89
- Суслов Ан. А. — 8-я Специализированная выставка "Изделия и технологии двойного назначения. Диверсификация ОПК" 93



ТЕХНОЛОГИЯ

МАШИНОСТРОЕНИЕ

REVIEW-ANALYTICAL, SCIENTIFIC-TECHNICAL
AND PRODUCTION JOURNAL

**1 (67)
January
2008**

**EDITORIAL
BOARD:**

V. A. Kazakov
Editor-in-Chief

N. V. Posmetnaya
Deputy Editor-in-Chief

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

K. V. Frolov

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

Editorial staff:

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

Computerized making-up:

E. V. Konova

Cover design:

E. S. Blagovidov

Special correspondents:

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

Editor-translator

E. O. Egorova

Proof-reader

T. V. Arbuzova

FOUNDER:

Publishing Centre

"Tekhnologiya Mashinostroeniya"

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

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

Tel.: (495) 796 2491

E-mail: tm@folium.ru

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

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

Registration certificate ПИ № 77-7779

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

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

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

CONTENTS

STRUCTURAL MATERIALS

Koutsenko A. I., Guordin V. I., Zerebtsov S. N., Krupenkov A. N. — Nickel alloy structure effect on wear mechanical properties 5

Koutsenko A. I., Guordin V. I., Zerebtsov S. N., Krupenkov A. N. — Effect of the rare-earth metals modification on the structure and mechanical properties of the ЖС6-K alloy 6

BLANK PRODUCTION

Chertov V. M. — Qualitative hardening of cast sections and forged blanks. 8

FORMING TECHNOLOGIES

Maltsev V. G., Morgunov A. P. — Process to increase cylindrical surface shaping precision based on across-track direction shear of the lathe dead head 13

Fedorov Yu. N., Artamonov V. D., Zolotukhina O. L. — Gear-cutting of spur gears by running-in on renovated millers . 15

Soler Ya. I., Kazimirov D. Yu., Strelkov A. B. — Investigations of the steel 08X15H5Д2T plane components bearing strength at multipass grinding by abrasive wheels of high porosity 19

TOOLING PRODUCTION

Rogov V. A., Poznyak G. G., Kopylov V. V., Lykova Ye. S. — Resources analysis to decrease spindle vibration of the particularly precise machine-tool up to nanometric grade 25

Kryazhev Yu. A., Ognevenko Ye. S. — Study of the twist-drill vibrating process applying audible signal analysis . . 28

Slavin A. V., Zhumyacher V. M. — Mechanical and chemical interaction processes between abrasive tool and blanks at metal grinding 29

MACHINING-AND-ASSEMBLY PRODUCTION

Mosyaguin A. S., Alexeyev I. V., Mikhnin I. D. — Welded honeycomb blocks manufacturing process. 33

PERMANENT JOINTS PRODUCTION TECHNOLOGY

Sidlin Z. A. — On the quality problem of the modern domestic electrodes for hand arc welding. 35

Polovtsev V. A., Makarov N. V., Shillo G. V., Sabantsev A. V., Smirnova T. N., Shtrikman M. M. — Metal-composite high-pressure cylinder aluminium liners friction welding. 38

MODIFYING PROCESSES OF MACHINE PARTS SURFACES

Gnyusov S. F., Durakov V. G., Gnyusov K. S. — Vacuum electron-beam welding deposition of the carbide steels. Part 2: Characteristic properties of the steel P6M5-WC coatings structure and properties formation 42

SPECIAL TECHNOLOGIES

Fedorenko M. A. — Attitude position deflection formation of the revolving equipment movable operating elements . . . 46

Chirkov G. V. — Nanotechnology fundamentals for material processing 48

TECHNICAL DIAGNOSTICS, NONDESTRUCTIVE CHECK-AND-TESTING METHODS

Svistun A. V., Yurchenko A. V., Didyk A. V. — The defectoscope УД4-76 as an ultrasonic laboratory in the dimensions of a hand-held defectoscope. 49

Klyuyev V. V., Fedosenko Yu. K., Moozhitsky V. F. — Vortex-current checkout: current state and development prospect. 53

STANDARDIZATION, CERTIFICATION, QUALITY SYSTEMS

Mirosh Yu. M., Ptitsyn V. F., Sukhova T. S. — Risk assessment methodology working out in the production process of launch vehicle and spacecraft adaptation systems. 61

Noise of the machines. Determination of the sound radiation pressure level on work place and in other given areas according to sound intensity (technical method) (GOST ISO 11205—2006) radiation. 65

LABOUR PROTECTION AND ECOLOGY

Chertov V. M. — High-tech and ecology of aviation. 71

ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

Shutchenko A. P., Malakhov D. V. — Intraproductive planning model building for a machine-building plant 74

Tsygankova I. V., Morgounov V. A. — Genesis for quality conception formation of industrious life 77

Dobrinsky Ye. S., Sein V. A. — Industrial assembly: positive and pricking tendencies in practical economics of the automotive industry in Russia 82

FOREIGN EXPERIENCE

Potapova G. S. — Foreign journals contents. 85

INFORMATION

Ivanov A. N. — The 8th International exhibition "HighTech XXI" 89

Suslov An. A. — The 8th Specialized exhibition "Production and technologies of double purposes. Diversification of the United Industrial Corporation" 93

А. И. КУЦЕНКО, канд. техн. наук
(СибГИУ, Новокузнецк),
В. И. ГУРДИН, канд. техн. наук
(ОмГТУ),
С. Н. ЖЕРЕБЦОВ, канд. техн. наук
(Российский заочный институт текстильной
и легкой промышленности (филиал), Омск),
А. Н. КРУПЕНКОВ, инж.
(ООО «ПКФ "МираМет"», Омск)

Влияние структуры никелевого сплава на механические свойства изделий

Жаропрочный никелевый сплав ЖС6-К широко применяют при изготовлении изделий газовых турбинных двигателей [1]. Максимальная температура нагрева металла деталей из сплава ЖС6-К в процессе работы составляет 800—1000 °С. Однако в процессе эксплуатации изделий возможны непредвиденные превышения температуры металла деталей выше рабочей.

Для установления закономерности влияния эксплуатационных кратковременных перегревов на структуру и свойства металла отливок из сплава ЖС6-К выбрали контрольные плавки образцов после электрошлакового переплава [2] с наилучшим уровнем механических свойств после стандартного режима термической обработки (нагрев до 1210 °С, выдержка в течение 4 ч с дальнейшим охлаждением). После проведения термической обработки в сплаве ЖС6-К γ' -фаза распределена равномерно в виде глобулярных дисперсных частиц, и по границам зерен наблюдаются отдельные мелкие (1,4—4,2 мкм) частицы карбида Me_6C .

Нагрев до 1000 °С вызывает некоторую коагуляцию γ' -фазы без изменения конфигурации частиц и увеличение размеров частиц карбида Me_6C (4—6 мкм) на границах зерен. Эти структурные изменения в некоторой степени приводят к снижению пластических свойств сплава (см. таблицу). Повышение температуры нагрева до 1050 °С вызывает более заметные коагуляцию γ' -фазы и рост частиц карбида Me_6C по границам зерен, что приводит к снижению относительного удлинения более чем в 1,8—2,2 раза по сравнению с исходным состоянием.

Режим термической обработки: температура нагрева, время выдержки	Механические свойства при 20 °С			
	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %
Без термической обработки	890	1010	4,2	5,0
1210 °С, 4 ч	905	1015	7,8	8,4
1210 °С, 4 ч + 950 °С, 24 ч	928	1020	6,2	7,0
1210 °С, 4 ч + 1000 °С, 24 ч	915	1023	3,5	4,2
1210 °С, 4 ч + 1050 °С, 24 ч	890	986	2,7	3,5
1210 °С, 4 ч + 1130 °С, 24 ч	868	920	1,8	2,9
1210 °С, 4 ч + 1130 °С, 24 ч + 1220 °С, 4 ч	966	1080	5,5	8,0

Более заметные структурные изменения наблюдаются при нагреве в области 1100—1180 °С даже при длительности выдержки 10 мин. Наряду с ростом размеров частиц карбида Me_6C глобулярной формы (до 8—10 мкм и более) наблюдается образование игольчатой модификации этого карбида.

Упрочняющая γ' -фаза в сплаве обнаруживается двух видов: более мелкодисперсная фракция (0,08—0,32 мкм) выделилась только внутри зерен, более крупные (до 8—12 мкм) частицы появились вдоль границ зерен и в виде обособленных частиц внутри зерен.

Крупные светлые выделения, вытянутые по границам и отдельные в зернах, содержат повышенное по сравнению с матрицей количество никеля, титана и алюминия и обеднены вольфрамом, хромом, молибденом и кобальтом. Приведенные данные соответствуют составу γ' -фазы в сплаве ЖС6-К по данным работы [3]. Черные глобулярные и иглообразные частицы обогащены основными элементами карбида Me_6C — вольфрамом и молибденом — и содержат никель, хром, кобальт.

Происходящие изменения в структуре сплава оказали существенное влияние на его пластические свойства. Относительное удлинение снижается до 0,5—1,8 % вместо 4—7 % в исходном состоянии после термической обработки, прочностные свойства остаются примерно на одном уровне.

Следует отметить, что аналогичная структура сплава наблюдается и в том случае, когда в процессе стандартной термической обработки сплава ЖС6-К нагрев осуществлялся ниже температуры конца растворения γ' -фазы (ниже 1200 °С), что иногда имеет место при термической обработке отливок в заводских условиях. Проведенные исследования показали, что нагрев термообработанных образцов до 1180 °С с выдержкой в течение 4 ч вызывает образование описанной структуры и, соответственно, понижение механических свойств сплава. Это свидетельствует о том, что при недогреве при термической обработке свойства металла намного хуже, чем в литом состоянии.

При недогреве металла на одних участках выделяется мелкодисперсная γ' -фаза, на других — γ' -фаза в виде крупных обособленных частиц, что обусловлено ликвационной неоднородностью металла. На осях дендритов, обедненных титаном, и в прилегающих к ним зонах при нагреве до 1200 °С происходит полное растворение γ' -фазы, и в процессе охлаждения наблюдается выделение мелкодисперсных частиц в этих зонах. В междендритных прослойках, обогащенных титаном, γ' -фаза имеет другой состав с более высоким содержанием титана. Вследствие этого в этих зонах частицы γ' -фазы не растворяются, происходит процесс коалесценции. При этом во время охлаждения вблизи крупных частиц γ' -фазы наблюдается образование карбида Me_6C .

Такому структурному состоянию сплава также соответствует низкий уровень пластических свойств. Характерно, что пониженный уровень пластичности, выявленный при испытаниях при 18—20 °С, подтверждается и результатами испытаний образцов с постоянной скоростью деформации 0,1 %/ч при температуре 800 °С. В исходном состоянии после стандартной термической обработки металл имеет вполне удовлетворительную деформационную способность (3,0—4,5 %), в то время как де-

формационная способность металла с дефектной структурой не более 0,5—1,4 %.

Испытания на термическую усталость выявили существенное снижение термоциклической прочности при наличии дефектной структуры. Зарождение и развитие трещин в структуре, характерной для стандартного режима термической обработки, проходит значительно медленнее, чем в дефектной структуре.

Таким образом, из приведенных результатов следует, что нагрев изделий из сплава ЖС6-К в области 1050—1180 °С приводит к существенному изменению его структуры и механических свойств.

Результаты исследования показывают, что дополнительная термическая обработка изделия с дефектной структурой при 1220 °С в течение 4 ч может полностью восстановить структуру и механические свойства металла до исходного уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каблов Е. Н. Литые лопатки газотурбинных двигателей (сплавы, технология, покрытия). М.: МИСИС, 2001. 632 с.
2. Еремин Е. Н., Жеребцов С. Н., Радченко В. Г. Повышение качества литого металла при электрошлаковом переплаве жаропрочных никелевых сплавов. М.: Известия вузов. Черная металлургия. 2003. № 8. С. 15—18.
3. Каблов Е. Н., Голубовский Е. Р. Жаропрочность никелевых сплавов. М.: Машиностроение, 1998. 464 с.

А. И. КУЦЕНКО, канд. техн. наук
(СибГИУ, Новокузнецк),

В. И. ГУРДИН, канд. техн. наук
(ОмГТУ),

С. Н. ЖЕРЕБЦОВ, канд. техн. наук
(Российский заочный институт текстильной
и легкой промышленности (филиал), Омск),

А. Н. КРУПЕНКОВ, инж.
(ООО «ПКФ "МираМет"», Омск)

Влияние модифицирования РЗМ на структуру и механические свойства сплава ЖС6-К

Модифицирование жаропрочных никельхромовых сплавов редкоземельными элементами широко применяют для повышения жаростойкости изделий, эксплуатируемых как при комнатной, так и при повышенных (рабочих) температурах. В данной работе исследовали влияние модифицирования редкоземельными элементами (иттрием и церием) на макро- и микроструктуру, а также жаропрочные свойства сплава ЖС6-К. Последний получен электрошлаковым переплавлением расходуемого электрода в плавильной емкости с дальнейшей заливкой жидкого металла в литейную форму, повторяющую форму изделия "сердечник рогообразный", работающего при боль-

ших механических нагрузках в агрессивной газовой среде при 750—1000 °С [1].

Электрошлаковый переплав осуществляли на модернизированной установке А-550У под системой флюсов следующего состава: 70 % CaF_2 , 20 % Al_2O_3 , 10 % MgO . Масса использованного флюса 8 кг, масса отливаемого изделия 48 кг, время переплава расходуемого электрода 24 мин, напряжение переплава 42 В, ток 2200—2700 А.

Исследование влияния добавок иттрия и церия на структуру и механические свойства сплава ЖС6-К производили в литом и термически обработанном состояниях [2].

Добавка 0,005—0,045 % иттрия не вызывает изменений в микроструктуре сплава ЖС6-К, при этом иттрий остается в твердом растворе. С повышением содержания иттрия в сплаве увеличиваются размеры и количество иттриевых соединений в структуре сплава ЖС6-К. При большом содержании иттрия в сплаве (0,55—1,1 %) увеличиваются количество и размер ликвационных участков γ' -фазы (белые крупные выделения), которые во всех случаях образуются в междендритных областях, обогащенных титаном.

Установлено, что выделения фазы, содержащей иттрий, преимущественно образуются непосредственно на границе ликвационных участков γ' -фазы и карбидов Me_6C . Образование в указанных местах иттриевой фазы обусловлено наличием в ней большего, чем в матрице, содержания никеля. В небольших количествах в этой фазе имеются вольфрам, молибден и кобальт. Данная фаза представляет интерметаллидное соединение никеля и иттрия типа Ni_3Y .

Изучение микроструктуры сплава ЖС6-К, модифицированного иттрием, после термической обработки (нагрев до 1210 °С, выдержка в течение 4 ч с дальнейшим охлаждением на воздухе) показало, что во время нагрева иттриевые соединения растворяются. Миграция иттрия по границам зерен и выделение вновь в виде соединения Ni_3Y происходит по границам зерен во время охлаждения сплава.

Модифицирование сплава ЖС6-К церием приводит к аналогичным изменениям в его микроструктуре. Свободные цериевые выделения по границам зерен и внутри зерен наблюдаются у сплавов, содержащих 0,04—0,55 % Се.

Модифицирование иттрием и церием в различных количествах не вызвало каких-либо существенных изменений в строении основной упрочняющей мелкодисперсной γ' -фазы, характерной для сплава ЖС6-К, в процессе старения при 800 °С в течение 300 ч. Увеличение выдержки до 900 ч и более вызывает некоторую коагуляцию γ' -фазы, причем в образцах без иттрия процесс коагуляции более интенсивный. Повышение продолжительности выдержки при старении до 2400 ч вызывает образование иглообразных выделений карбида Me_6C . У сплава, не модифицированного иттрием и церием, эти выделения более крупные и количество их больше, чем у сплава, модифицированного 0,045 % Y и 0,015 % Се.

Происходящие изменения в структуре сплава ЖС6-К, по-видимому, связаны с ограниченной растворимостью иттрия и церия в твердом растворе. При небольшом содержании иттрия и церия они остаются в твердом растворе и заполняют вакантные места в кристаллической решетке. Растворение иттрия и церия приводит к существенному изменению параметров кристаллической решетки матрицы. В связи с этим растворимость иттрия и церия в сплаве весьма незначительна. Вызывая искажения кристаллической решетки, иттрий и церий затормаживают

диффузионные процессы, что способствует некоторому замедлению структурных превращений и процесса коагуляции упрочняющих фаз. Введение иттрия и церия в сплав в количестве, превышающем их растворимость в твердом растворе, приводит к выделению свободных частиц фазы типа Me_3Y , содержащей иттрий или церий, как в зернах, так и по их границам, изменяя структуру и свойства сплава.

Результаты испытаний на растяжение при 18—20 °С сплава ЖС6-К с добавками иттрия и церия показали, что прочность и пластичность сплава ЖС6-К при модифицировании 0,045 % Y и 0,015 % Се выше по сравнению с исходным сплавом без добавок иттрия и церия [2].

Зависимость длительной прочности сплава ЖС6-К от степени модифицирования его иттрием и церием определяли путем испытания литых образцов при 975 °С и напряжении 230 МПа. Модифицирование сплава 0,015—0,055 % Y или 0,01—0,02 % Се вызывает повышение времени до разрушения изделия, жаропрочности при рабочих температурах и длительной пластичности.

Кроме того, проведены испытания на длительную прочность исходного сплава и сплава, легированного 0,045 % Y, при 975 °С на воздухе и в зоне газовой печи нагрева. Длительная прочность сплава, легированного 0,045 % Y при 975 °С, превосходит длительную прочность исходного сплава ЖС6-К без добавок иттрия, а при испытаниях в зоне газовой печи нагрева превосходит свойства последнего более чем в 2,7—3,2 раза по времени до разрушения.

Контрольные плавки, модифицированные 0,01 и 0,02 % Се, в литом состоянии испытывали на длительную прочность при 975 °С. Время до разрушения литых образцов из сплава ЖС6-К с добавкой 0,01 и 0,02 % Се при 975 °С и напряжении 230 МПа выше, чем образцов из сплава ЖС6-К без добавок церия, при этом возрастает длительная пластичность и относительное удлинение увеличивается от 1,2—1,4 до 5—7 %.

Результаты исследования позволяют сделать вывод, что изделия, полученные из электрошлакового металла, подвергнутого модифицированию РЗМ (иттрием и церием), превосходят по своим служебным характеристикам изделия, не подвергнутые модифицированию, и могут быть использованы в технологических процессах изготовления изделий с получением экономического эффекта за счет увеличения срока службы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еремин Е. Н., Жеребцов С. Н. Новая технология изготовления сплошных роговых сердечников для производства трубных отводов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2004. № 7. С. 39—40.
2. Жеребцов С. Н. Влияние добавок легирующих элементов на структуру, свойства и фазовый состав никелевого сплава // Литейщик России. 2006. № 4. С. 30—32.

В. М. ЧЕРТОВ, инж.
Филиал ДониФЦ (Москва)

Качественная закалка литых и кованных заготовок

При термической обработке заготовок из средне-легированной конструкционной стали под качественной закалкой понимается достижение глубокой, лучше сквозной, прокаливаемости (высокой твердости по сечению), закаливаемости (заданной твердости поверхности), отсутствие трещин. Применение охлаждающей жидкости, в которой достигается высокая скорость охлаждения, способствует повышению прокаливаемости и закаливаемости, но часто сопровождается чрезмерной деформацией заготовок и образованием закалочных трещин. Под чрезмерной деформацией понимается деформация, превышающая половину припуска на механическую обработку. Образование же закалочных трещин весьма нежелательное явление: иногда этот дефект является признаком окончательного брака заготовок. Причиной образования трещин являются чрезмерные растягивающие напряжения на поверхности и по сечению заготовок, температурные и структурные напряжения, возникающие в процессе охлаждения заготовок сложной формы: с различной толщиной сечений, наличием резких переходов между отдельными частями заготовок, пазов, отверстий и острых кромок.

Перед назначением режимов термической обработки, прежде всего закалки, необходимо оценить подготовку заготовок к такой ответственной операции. Литые и кованные заготовки не должны иметь резких переходов между сечениями и острых кромок, наличие отверстий малого диаметра с незакругленными краями нежелательно. На участках удаления прибыли литых заготовок, обрезки облоя штамповок, огнерезных кромок толстолистовых катаных заготовок глубокие выхваты и острые кромки, являющиеся концентраторами напряжений, должны быть зачищены и притуплены.

Дефекты, прежде всего трещины на поверхности заготовок, которые могут явиться началом закалочных трещин, должны быть удалены, разделаны и заварены. Значительный припуск на механическую обработку нежелателен (он снижает прокаливаемость), но при образовании в нем неглубоких закалочных трещин заготовка не бракуется.

Температурные напряжения возникают из-за существенной разности температуры в начале и конце охлаждения в разных частях заготовок при ускоренном охлаждении. Поэтому уменьшение скорости охлаждения заготовок при закалке, а также разницы температуры в начале и конце охлаждения позволяет в ряде случаев предотвратить образование чрезмерных температурных напряжений и трещин. Структурные напряжения возникают вследствие про-

текания фазовых превращений. Их величина зависит от того, одновременно или разновременно протекают превращения в разных частях и по сечению заготовок. Совместное влияние напряжений двух видов создает иногда весьма сложную ситуацию, обуславливающую образование глубоких трещин большой длины, и разрешить ее сразу не всегда удается.

Применение в термических цехах заготовительного производства улучшения, т. е. закалки и отпуска заготовок из среднелегированной стали с получением в итоге среднего или пониженного уровня прочности (твердости) и остаточных напряжений, — правильный технологический и экономический прием, направленный на получение в заготовках заданных механических или других свойств. В то же время существует ряд приемов закалки, уменьшающих опасность появления трещин. Эти приемы связаны с оценкой роли факторов, определяющих уровень возникающих напряжений. К данным факторам относятся: содержание углерода и легирующих элементов, вызывающих фазовые превращения; свойства охлаждающей жидкости, влияющие на скорость отвода теплоты от заготовки; температура в начале и конце охлаждения; разность температуры между разными частями и участками заготовки в процессе охлаждения, и особенно при его завершении.

Наиболее применяемыми охлаждающими жидкостями при закалке являются вода и масло — машинное или веретенное. Они имеют такие преимущества, которых нет у большинства охлаждающих сред. Вода обычно широко доступна и имеет довольно стабильные свойства в широком диапазоне температур: от 20 до 80 °С. Вместе с тем повышение ее температуры способствует переходу к образованию пара и снижению ее закаливающей способности. Однако в ряде случаев скорость охлаждения в воде, прежде всего при непосредственной закалке, в интервале образования мартенсита легированной стали (около 300 °С) является чрезмерной, способствующей несмотря на принимаемые меры, появлению трещин. Поэтому предпочтительнее обращение к более мягкому закалочному средству — маслу.

Производится множество сортов масла с различными свойствами. Охлаждающая способность масла мало изменяется с ростом температуры: холодное масло ускоренно охлаждает заготовки из-за разницы температуры, а горячее — из-за увеличения его жидкотекучести (снижения вязкости). Можно воспользоваться полезными свойствами масла разных видов, например, при закалке в светлокалящем мас-

ле получается чистая, без пригоревшего масла, поверхность заготовок и это позволяет исключить травление заготовок перед последующей обработкой. Но после закалки приходится промывать заготовки от масла в горячем содовом растворе. Это создает трудности экологического характера при утилизации стоков. В то же время температура применения масла ограничена температурой вспышки его паров, масло пожароопасно.

В России разработаны водные растворы различных веществ, обладающих промежуточной между водой и маслом скоростью охлаждения. Это растворы жидкого стекла, сульфитного щелока, различных полимеров. Отличаясь значительно меньшими вредностью и затратами на утилизацию, эти растворы имеют существенный недостаток: они не столь универсальны и менее стабильны в процессе эксплуатации, чем вода и масло. Например, закалка готовых колец толщиной 50 мм из стали 45ХН в 10 %-ном водном растворе жидкого стекла позволяет избежать трещин, обеспечить хорошую закалываемость и прокалываемость на глубину до 15—20 мм, но только в первые сутки работы. Затем раствор нужно корректировать, иначе на острых кромках при закалке образуются трещины. Практически для каждой марки стали или группы близких по составу марок стали, с учетом толщины изделий, необходимо иметь отдельный закалочный бак с таким раствором. Это нерационально, особенно в мелкосерийном или единичном производстве.

Приводится ряд охлаждающих сред в порядке снижения скорости охлаждения в мартенситном интервале (350—200 °С): раствор поваренной соли или щелочи при 18 °С; вода при 18—50 °С; вода при 74 °С; эмульсия масла в воде или мыльная вода; глицерин; минеральное масло. В этом ряду скорость охлаждения снижается с 270—300 до 25—30 °С/с [1]. Величина скорости охлаждения в этом интервале обуславливает в общем случае уровень возникающих структурных напряжений.

Не меньшее значение имеет охлаждающая способность различных сред в верхнем интервале температур: от 650 до 550 °С. При малой скорости велика опасность попадания в область образования нежелательной, с пониженной прочностью структуры — феррита или феррита с перлитом, а при большой скорости — опасность появления чрезмерных температурных напряжений. В порядке снижения охлаждающей способности по этому показателю среды можно расположить следующим образом: водный раствор поваренной соли или щелочи при 18 °С; вода при 18—28 °С; минеральное масло; глицерин; эмульсия масла в воде; вода при 74 °С; мыльная вода. В этом ряду скорость охлаждения снижается с 1200 до 30 °С/с.

Можно оценивать склонность стали к образованию закалочных трещин в зависимости от содержания

углерода. Для стали трех групп — с содержанием около 0,3, 0,5 и 0,8 % С — с учетом толщины заготовок и характера трещин (продольные или поперечные) рекомендуются различные способы закалки: в растворе щелочи, подогретой воде, эмульсии, растворе щелочи, через воду в масло, с циркулирующей среды, в масле. Кроме того, из чисто "термических" способов рекомендуются подстуживание перед резким охлаждением, прерванная закалка, ступенчатая и изотермическая закалка [2].

Правомерен и такой подход как определение зависимости образования трещин от содержания углерода и толщины изделий. В зависимости от характера и расположения трещин применяют разные режимы охлаждения в разных средах: прерванное охлаждение в воде, закалка в масло, закалка в расплавах солей. В каждом конкретном случае следует подбирать технически и экономически наиболее целесообразный способ закалки [3]. Но, как показывает практика, переход на горячую закалку мелких деталей в расплаве соли вместо закалки в масло может приводить к замене поверхностных сжимающих остаточных напряжений на растягивающие и появлению трещин после закалки или в процессе эксплуатации изделий.

При закалке отливок, поковок и заготовок из толстолистового проката толщиной от 20 до 110 мм (стали 25ХГСЛ, 30ХНМ и 30ХНЗМ) удалось исключить образование трещин за счет сокращения выдержки в воде, перемешиваемой сжатым воздухом, повышения температуры воды от 20—40 до 30—60 °С, закалки в спокойную воду. При этом учитывали марку стали, толщину и массу заготовок, наличие у них частей разной толщины. Как правило, желательным условием является обеспечение сквозной прокалываемости заготовок, которое соответствует получению вязкого излома по всему сечению после закалки и высокого отпуска.

Для предотвращения образования трещин вследствие чрезмерных температурных напряжений охлаждение при закалке целесообразно прекращать по достижении на поверхности заготовки температуры порядка 100 °С. Если заготовка имеет разные по толщине части, это условие относится к наиболее тонкой части заготовки. Но в крупных заготовках велик запас теплоты. Поэтому крупные заготовки переменного сечения предварительно подстуживают на воздухе или с печью с таким расчетом, чтобы не попасть в процессе подстуживания в область образования феррита или других промежуточных продуктов распада аустенита. Для заготовок переменного сечения¹ следует вести охлаждение в воде или через воду в масло до достижения в наименьшем сечении температуры порядка 100—200 °С.

¹ А. с. 1214002 (СССР).

Остановимся более подробно на термических способах снижения скорости охлаждения и уменьшения опасности образования закалочных трещин. Подстуживание можно проводить либо вместе с печью, либо кратковременным охлаждением заготовок на воздухе путем открывания заслонок печи или выдачей на воздух подины с заготовками. Конец подстуживания определяется либо по цвету каления поверхности заготовок, либо измерением температуры поверхности. Определение температуры поверхности по цвету каления весьма приблизительно, так как этому мешает образующаяся окалина. "Запрещенные" по температуре и времени режимы подстуживания можно ориентировочно установить по термокинетической диаграмме данной марки стали [4].

В качестве примера приведем отработку режима подстуживания горячештампованных заготовок из сталей 38ХС и 45ХН. Из-за экономного легирования такие стали не прокаливаются при охлаждении в масле больше чем на 5—10 мм: уже в поверхностных слоях в интервале 600—700 °С образуется феррит, обладающий низкой прочностью. Заготовки из стали 38ХС толщиной до 140 мм подвергали аустенитизации перед закалкой при 900—920 °С, закалке в воду и отпуску при 620—640 °С. Режим для стали 45ХН: аустенитизация при 830—850 °С, закалка в воду, отпуск при 560—580 °С. После закалки по таким режимам на заготовках систематически появлялись закалочные трещины в плоскости разъема штампов. Повышение температуры воды до 70—80 °С и подстуживание перед закалкой в течение 4—5 мин на воздухе не устраняли образования трещин. Оработка на образцах режима подстуживания с печью показала, что подстуживание с печью до 800 °С для стали 38ХС и до 750 °С для стали 45ХН (выдержка при этой температуре не более 1 ч) обеспечивает при закалке в воду отсутствие трещин, минимальное количество феррита в структуре и после закалки с отпуском — высокий уровень ударной вязкости во всем интервале температуры испытания от 20 до –196 °С. Эти результаты подтверждены при серийной обработке большого количества заготовок.

Следующим фактором, определяющим качество закалки заготовок из легированной конструкционной стали, является температура нагрева перед закалкой — температура аустенитизации. В справочнике [4] приведены диаграммы превращения аустенита ряда марок стали после нагрева до температуры порядка $A_{c3} + 50$ °С и после перегрева на 200—250 °С, а данные о превращении после аустенитизации при промежуточной (оптимальной) температуре отсутствуют.

Нагрев с учетом только содержания углерода, ориентируясь на диаграмму "железо—углерод", для легированной стали неприемлем: легирующие эле-

менты замедляют растворение карбидов в аустените и равномерное распределение в нем самих элементов. Это сказывается на характере структуры, образующейся при закалке. Поэтому приходится нагревать заготовки из легированной стали до более высокой температуры, чем заготовки из углеродистой стали. Данное положение верно как для литых, так и кованных и катаных заготовок. Указание на целесообразность назначения температуры аустенитизации на 150—250 °С выше точки A_{c3} [1] — верное, но слишком общее, и для конструкционной стали требует уточнения, поскольку первая часть этого интервала относится к конструкционной, а вторая — к инструментальной стали.

Обязательным условием обеспечения волокнистого (вязкого) излома считается термическая обработка с получением мелкого зерна не крупнее 8 балла по ГОСТ 5639—82, соответствующего размеру 14—28 мкм в поперечнике, в совокупности с закалкой на мартенсит. Ряд справочников и справочных пособий рекомендуют проводить аустенитизацию перед закалкой как углеродистой, так и легированной стали по правилу $T_a = A_{c3} + (30—50)$ °С. При этом исходят из требования получения мелкого зерна аустенита и, соответственно, малоразмерных продуктов превращения. Это связано с традиционным эффектом повышения уровня ударной вязкости, в том числе при пониженной температуре, мелкозернистой стали и служебных свойств таких изделий [5, 6].

Для среднелегированной конструкционной стали такой подход ведет к недостаточному растворению карбидов в процессе аустенитизации, недостаточному легированию аустенита перед закалкой и преждевременному его распаду при охлаждении. Прямое следствие этого — пониженная прокаливаемость и снижение прочности изделий. Выход заключается — и он подтвержден длительной практикой — в повышении температуры аустенитизации на 100—180 °С относительно точки A_{c3} . Не следует сохранять ту выдержку², которая назначалась при низкой температуре нагрева, иначе недопустимый рост зерна аннулирует преимущества оптимальной аустенитизации [7].

В то же время опыт, накопленный в течение многих десятков лет, указывает на целесообразность и даже необходимость повышения температуры аустенитизации. Это относится к заготовкам из углеродистой и конструкционной стали после горячей деформации,ковки или штамповки: для повышения прокаливаемости их нужно перегреть значительно выше точки A_{c3} . Таким путем достигается исправление крупнозернистости — неизменного следствия перегрева [8, 9].

Главным критерием для выбора температуры нагрева под закалку следует считать не верхнюю

² А. с. 1185876 (СССР).

критическую точку A_{c3} , соответствующую началу образования аустенита или его рекристаллизации, а степень повышения прокаливаемости, прямо зависящую от снижения температуры начала превращения при закалке. Достичь сквозной "мартенситной" прокаливаемости в изделиях значительного сечения невозможно даже при закалке в воду (и не всегда это необходимо), важно понизить температуру начала промежуточного превращения аустенита в нижний бейнит. Управление кинетикой превращения легированной стали вполне возможно при правильном выборе температуры и выдержки при аустенитизации.

При низкой температуре аустенитизации сохраняется мелкое зерно аустенита, но растворение карбидов легирующих элементов и их переход в аустенит происходят в незначительной степени. Это не способствует повышению устойчивости аустенита в процессе закалки, и образование нежелательных продуктов распада типа верхнего бейнита и даже троостита — частое явление. Повышение температуры нагрева до температуры порядка A_{c3} (100—180) °С при некотором сокращении выдержки способствует росту устойчивости аустенита за счет перехода в него легирующих элементов. При этом несколько укрупняется зерно аустенита — до балла 5—6 (30—80 мкм), но это не снижает уровня прочности (предела текучести) стали, следующего из уравнения Холла—Петча: $\sigma_T = \sigma_0 + Kd^{-1/2}$ (d — величина зерна). Следовательно, с ростом зерна предел текучести σ_T должен снижаться. Это уравнение неприменимо для легированной стали: кроме роста зерна, важную и противоположную роль играет снижение температуры превращения с одновременным ростом прочности и пластичности в готовых изделиях [10]. И само уравнение, как убедительно показано в работе [11], не подтверждается в подавляющем большинстве ситуаций.

Так, после аустенитизации при 840—860 °С и закалки в масло крупногабаритных поковок толщиной до 160 мм из стали 50ХНЗМ в центре наибольшего сечения образовывалась структура, состоящая из мартенсита и примерно 50 % бейнита разной морфологии. Отпуск при 600—620 °С приводил к получению низких механических свойств: $\sigma_{0,2} = 880$ МПа при $\psi = 22$ %. Гораздо более высокие результаты получены после нагрева до 920—930 °С, закалки через воду в масло и интенсивного (кратковременного) отпуска при 630—650 °С: $\sigma_{0,2} = 1010$ МПа при $\psi = 43$ %. При этом в структуре не образуется верхний бейнит, доля нижнего бейнита не превышает 30—40 %, действительное зерно аустенита не крупнее балла 6, а ударная вязкость при нормальной температуре возросла от 65 до 85 Дж/см² [12].

Под размером зерна аустенита подразумевается величина действительного зерна аустенита легированной конструкционной стали при последнем нагре-

ве перед закалкой. Величина этого зерна выявляется металлографически либо после охрупчивающего отпуска при 500—550 °С и травления в горячем насыщенный растворе пикриновой кислоты [13], либо травлением в расплаве буры [14].

Создание "полезных" сжимающих напряжений на поверхности заготовок предотвращает образование трещин и повышает служебные свойства изделий. Задача технолога — подбор таких приемов закалки, чтобы на поверхности заготовок остаточные напряжения были только сжимающими.

Растворение основной массы карбидов, преимущественно мелких, являющихся барьерами для роста зерна, создает сначала концентрационную, а затем и структурную — по величине зерен — неоднородность [15]. В процессе закалки структурная неоднородность увеличивается из-за разновременности протекания превращения в микрообъемах изделий. Для цементуемой стали этот процесс нежелателен. Но при объемной закалке заготовок конструкционной стали типа 30ХНМА 30Х2Н2МА, 35Х2НМФЛ, 50ХНЗМА концентрационно-структурная неоднородность оказывается преимуществом. Такая неоднородная структура соответствует понижению температуры превращения и повышению прокаливаемости. Необходимо регулировать размер зерна за счет сокращения выдержки при значительном повышении температуры аустенитизации, не допуская его роста выше балла 5 (более 80 мкм). В противном случае температура превращения снова повышается как при обычном перегреве [4, 16] и возрастает опасность образования трещин.

Термин "выдержка" при аустенитизации нуждается в уточнении. В справочниках обычно указывается рекомендуемая выдержка, например 1—2 мин на 1 мм сечения, после достижения заданной температуры атмосферой печи. Она включает и время сквозного прогрева, и время фактической выдержки. Такой метод пригоден для изделий сравнительно небольшого сечения, не более 10—40 мм, в которых разница между температурой поверхности и сердцевины невелика, а сквозной прогрев наступает практически одновременно с достижением температуры в печи.

Для крупногабаритных заготовок прогрев сердцевины отстает от поверхности и температуры печи. Надо принимать во внимание и отставание прогрева по сечению заготовок, имеющих форму толстостенного цилиндра, полого шара или усеченного конуса. Поверхность, обращенная к источнику излучения, нагревается быстрее, чем поверхность, нагреваемая за счет конвекции. Поэтому в ряде случаев целесообразно точно знать отставание сквозного прогрева по времени. Так, для заготовок толщиной 80—200 мм это отставание при нагреве под закалку может достигать 30—60 мин. Но важно знать именно фактическую выдержку при температуре аустени-

тизации, определяющую степень растворения карбидов, и величину зерна. Для заготовок сложной формы, при прогреве которых имеет место отставание нижней ("тыльной") поверхности из-за пониженной теплопередачи конвекцией, нужно ориентироваться именно на прогрев этой, а не сердцевинной части.

Методика определения прогрева центральной (срединной) части в наибольшем сечении сводится к засверловке заготовки на половину толщины, помещению горячего спая в глухое отверстие (для лучшего контакта туда помещают несколько кусочков свинца) и термопары в стальной трубчатый чехол с фланцем. Фланец приваривают к заготовке снаружи, а трубу выводят из печи и изгибают с таким расчетом, чтобы при закалке в нее не попала вода или масло. Холодный конец термопары присоединяют к записывающему прибору.

На примере подбора оптимального режима аустенитизации и закалки крупных литых заготовок сложной формы из стали типа 35Х2Н2МФА с наибольшей толщиной 200 мм выявляются его особенности и преимущества:

— при нагреве до $T_a = A_{c3} + 50$ °С общая выдержка при этой температуре, принятая согласно работе [5], равна 400 мин или 6,5 ч; закалка в воду в течение 25 мин; начало превращения при 340 °С; зерно соответствует баллу 8, трещины — в переходах сечений;

— при нагреве до $T_a = A_{c3} + 150$ °С общая выдержка состоит из времени полного прогрева, равного 90 мин, фактической выдержки 90 мин, всего 180 мин или 3 ч; подстуживание с печью (выдача подины на воздух 15 мин, выравнивание в закрытой печи при 800 °С — 50 мин), закалка в воду 20 мин; начало превращения при 300 °С; зерно соответствует баллу 5—6; трещины отсутствуют.

Критерием окончания охлаждения является момент достижения температуры порядка 100 °С на поверхности самой тонкой части заготовки; тогда опасность образования закалочных трещин минимальна¹. При этом в середине наибольшего сечения заготовки превращение должно практически пройти до конца, когда прекращается регистрация изменений структуры или других характеристик (количества новой фазы, длины образца, электросопротивления и др.).

После высокого отпуска часто производят ускоренное охлаждение крупных заготовок в воде. Это делается для предотвращения отпускной хрупкости и сопровождается некоторым ростом уровня температурных напряжений и короблением. Но не следует дожидаться достижения температуры охлаждающей жидкости, достаточно прервать охлаждение при достижении на поверхности заготовок температуры 100—200 °С: хрупкость не проявится, а температурные напряжения уменьшатся.

ВЫВОДЫ

1. Предотвращение трещин при закалке литых и кованных заготовок из легированной конструкционной стали может быть достигнуто путем подстуживания перед охлаждением, выбора охлаждающей жидкости и выдержки в ней, а также рационального конструирования заготовок и их подготовки перед закалкой.

2. Прокаливаемость заготовок обеспечивается рядом с выбором соответствующей охлаждающей жидкости назначением оптимального режима аустенитизации: существенного повышения ее температуры и назначения соответствующей фактической выдержки.

3. Фактическая выдержка при аустенитизации определяет оптимальный рост зерна при повышенной температуре аустенитизации. Некоторое укрупнение зерна следует учитывать, назначая для предотвращения появления трещин более "мягкий" способ закалки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сильман Г. И. Материаловедение. Брянск: БГИТА, 2005. С. 67—69.
2. Немчинский А. Л. Закалочные трещины. Л.: Судпромгиз, 1958. 38 с.
3. Вишняков Я. Д., Пискарев В. Д. Управление остаточными напряжениями в металлах и сплавах. М.: Металлургия, 1989. 254 с.
4. Попов А. А., Попова Л. Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита: Справочник термиста. 3-е изд. М.: Металлургия, 1991. С. 101—367.
5. Райцес В. Б. Термическая обработка. М.: Машиностроение, 1980. С. 34.
6. Металловедение и термическая обработка: Справочник / Под ред. М. Л. Бернштейна, А. Г. Рахштадта. М.: Металлургия, 1983. С. 85—91.
7. Браун М. П. Термическая обработка кремнемарганцевой стали. Киев: Наукова думка, 1981. 265 с.
8. Бабошин А. Л. О точке "b" Чернова // ЖРМО. 1911. № 2. Т. 1. С. 89—100.
9. Садовский В. Д. Структурная наследственность в стали. М.: Металлургия, 1973. 208 с.
10. Чертов В. М. Кинетика превращения и сопротивление разрушению крупногабаритных изделий // Современные проблемы прочности. Ст. Русса—Вел. Новгород: НГУ, 1999. С. 153—156.
11. Козлов Э. В., Жданов А. Н., Конева Н. А. Соотношение Холла—Петча в упорядоченных сплавах и интерметаллидах // ЖФМ. 2007. Т. 1. № 1. С. 21—24.
12. Голованенко Ю. С., Зикеев В. Н. Влияние структур на сопротивление разрушению крупногабаритных деталей из стали 50ХНЗМ // Известия вузов. Черная металлургия. 1981. № 5. С. 123—128.
13. Коваленко В. С. Металлографические реактивы: Справочник. 3-е изд. М.: Металлургия, 1981. С. 11.
14. Комарова Т. В., Гаврова М. Н., Горшунов М. Г. Влияние предварительной деформации и температуры аустенитизации на действительное зерно аустенита // Металловедение и термическая обработка. Н. Новгород: НГТУ, 2005. Т. 44. С. 179—184.
15. Кидин И. Н. Физические основы электротермической обработки металлов. М.: Металлургия, 1989. 376 с.
16. Фетисов Г. П., Чертов В. М. Кинетика превращения и технология улучшения толстолистовой стали // Динамические и технологические проблемы механики конструкций. М.: МАИ, 2004. Т. 1. С. 152—154.

В. Г. МАЛЬЦЕВ, канд. техн. наук, А. П. МОРГУНОВ, д-р техн. наук
Омский государственный технический университет

Способ повышения точности формообразования цилиндрических поверхностей, основанный на сдвиге задней бабки токарного станка в поперечном направлении

При формообразовании резанием наружных цилиндрических поверхностей валов упругие деформации технологических систем (ТС) под действием сил резания порождают трудности в обеспечении высоких точностных требований к их размерам и форме [1—8]. Одним из эффективных средств, нейтрализующих негативное действие упругих деформаций ТС на точность формообразования, является прием, основанный на использовании функциональной взаимосвязи между текущим радиальным размером, получаемым в ходе обработки, и соответствующим размером статической настройки, равным тому расстоянию, на котором окажется вершина резца по отношению к оси заготовки в случае, если мысленно лишить заготовку способности противодействовать проникновению в ее тело резца, что обусловит исчезновение как силы резания, так и соответствующих упругих деформаций.

Теория и практика формообразования резанием наружных поверхностей вращения позволяют утверждать, что для каждого текущего поперечного сечения формообразования для вполне определенной совокупности всех прочих условий обработки существует такой размер статической настройки $A_{c,p}$, который в процессе обработки обеспечит получение рабочего (заданного, желаемого) настроечного размера A_p . Из этого следует, что в каждом конкретном случае может быть установлен такой закон изменения размера $A_{c,p}$ по длине обработки, который обеспечит получение геометрически точной цилиндрической поверхности с радиальным размером A_p . Данный закон изменения $A_{c,p}$ назовем идеальным (номинальным). Однако современный уровень развития технологической науки и техники пока не позволяет в условиях производства оперативно устанавливать и реализовывать идеальный закон изменения $A_{c,p}$, отвечающий каждой конкретной обрабатываемой поверхности. Тем не менее существуют подходы, которые позволяют устанавливать и реализовывать приближенные по отношению к идеальному законы изменения размера статической настройки, обеспечивающие получение реальных цилиндрических поверхностей с высокими точностными характеристиками. Размер статической настройки, приближенно обеспечивающий получение в данном сечении фор-

мообразования радиального размера A_p , обозначим через $A_{c,p}$. В дальнейшем закон изменения $A_{c,p}$ по длине обработки будем считать заданным и входить в подробности его установления здесь не будем. Вместе с тем отметим, что анализ материалов, связанных с рассматриваемым вопросом, позволяет заключить, что графики функций $A_{c,p}$ представляют собой преимущественно плавные кривые.

Реализация при размерной настройке ТС таких законов изменения $A_{c,p}$ в условиях современных производств, оснащенных токарными станками с ЧПУ, не вызывает затруднений. Однако на предприятиях, не обладающих токарными станками с ЧПУ (ремонтных заводах, мастерских и т. п.), приближенная, но для большинства практических целей точная, реализация закона изменения $A_{c,p}$ возможна и на базе обычных станков за счет поперечного смещения задней бабки. Идея применения данного приема нашла воплощение в работах [5, 8]. При этом сложность, неполнота и некоторая искусственность механизма обоснования требуемого смещения задней бабки делают необходимым дальнейшее теоретическое рассмотрение данного вопроса, которое будет способствовать более полному раскрытию возможностей рассматриваемого способа по снижению погрешностей формообразования. В данной работе предлагается следующее обоснование рассматриваемого способа повышения точности формообразования цилиндрических поверхностей.

Допустим, что в процессе обтачивания заготовки (см. рисунок), установленной в центрах (на схеме передний и задний центровые отверстия условно представлены точками O и D), необходимо обеспечить получение цилиндрической поверхности с радиальным размером A_p . При этом будем считать, что на основе работ [1, 4, 5, 8, 9] установлен соответствующий приближенный закон изменения размера статической настройки $A_{c,p}$ по длине обработки. Путем поперечного смещения задней бабки с применением перевертывания заготовки (т. е. осуществляя обработку заготовки за два установа) требуется обеспечить реализацию приближенного закона изменения размера статической настройки при обработке заготовки на обычном токарном станке (т. е. на станке без ЧПУ).

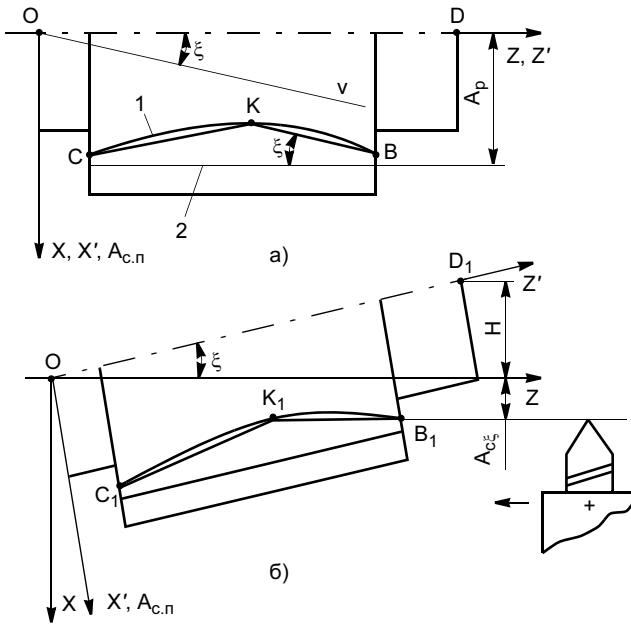


Схема приближенной реализации закона изменения размера статической настройки по длине обработки путем поперечного смещения задней бабки: а, б — положение заготовки до и после поперечного смещения задней бабки

Решение задачи будем осуществлять с использованием систем координат OZX и $OZ'X'$. Систему координат OZX свяжем со шпинделем передней бабки станка, совместив ось OZ с осью шпинделя, начало координат O — с передним центровым отверстием, а ось OX расположим в горизонтальной плоскости.

С обрабатываемой заготовкой свяжем систему координат $OZ'X'$, ось OZ' которой совместим с осью заготовки, ось OX' расположим в горизонтальной плоскости, а начало координат совместим с передним центровым отверстием. Из этого следует, что при нулевом поперечном смещении задней бабки системы координат OZX и $OZ'X'$ совпадают. Если для величин z, x, z', x' и линейных величин изображения заготовки принять одинаковыми масштабы, то закон изменения $A_{c.n}$ по длине обработки может быть представлен графически в виде кривой 1, выражающей функциональную взаимосвязь между величинами $A_{c.n}$ и z' , т. е. $A_{c.n} = f(z')$. Связь кривой 1 и образующей 2, соответствующей геометрически точной цилиндрической поверхности с радиальным размером A_p , можно выразить так: чтобы получить реальную поверхность вращения, у которой максимальное расстояние от точек ее образующей до образующей 2 не превышает определенного допустимого предела, необходимо при статической размерной наладке ТС характерной точке режущей части инструмента (обычно вершине резца) заложить статическую траекторию, отвечающую кривой 1 (по этой траектории должна двигаться характерная точка резца при отсутствии рабочих нагрузок — сил реза-

ния). Однако конструктивные особенности обычных токарных станков (если не использовать специальные средства и повернутые верхние салазки суппорта) позволяют двигаться вершине резца, закрепленного в резцедержателе станка, при автоматической подаче суппорта только по прямой линии, параллельной оси шпинделя передней бабки станка.

Для преодоления этой трудности кривую 1 аппроксимируем ломаной линией $СКВ$ (буквой K обозначена точка кривой 1, которой соответствует наименьшее значение $A_{c.n}$), и приближенный закон изменения $A_{c.лин}$, отвечающий ломаной линии $СКВ$, реализуем за два установка.

При первом установке реализуется закон изменения $A_{c.лин}$, отвечающий отрезку KB , который наклонен к оси шпинделя под углом ξ , определяемым формулой

$$\xi = \arctg \frac{x'_B - x'_K}{z'_B - z'_K}$$

Если в координатной плоскости $OZ'X'$, жестко связанной с заготовкой, через начало координат провести прямую линию Ov , параллельную отрезку KB и, следовательно, наклоненную к осям OZ, OZ' и оси шпинделя под углом ξ (см. рисунок, поз. а), то становится совершенно очевидным, что для того чтобы отрезок KB стал параллельным оси шпинделя (оси OZ), необходимо координатную плоскость $OZ'X'$ повернуть против хода часовой стрелки под углом ξ . При этом ось заготовки станет наклоненной к оси шпинделя под углом ξ (см. рисунок, поз. б), а точки C, K, B и D займут соответственно положения C_1, K_1, B_1 и D_1 .

Координаты точек K_1, B_1, D_1 в системе координат OZX определяются по формулам, вытекающим из соотношений, устанавливающих связь между координатами точки в исходной и повернутой системах координат [8]:

для точки K_1

$$z_{K_1} = z'_K \cos \xi + x'_K \sin \xi, \quad x_{K_1} = x'_K \cos \xi - z'_K \sin \xi;$$

для точки B_1

$$z_{B_1} = z'_B \cos \xi + x'_B \sin \xi, \quad x_{B_1} = x'_B \cos \xi - z'_B \sin \xi;$$

для точки D_1

$$z_{D_1} = z'_D \cos \xi, \quad x_{D_1} = -z'_D \sin \xi,$$

где

$$\cos \xi = (z'_B - z'_K) / [(z'_B - z'_K)^2 + (x'_B - x'_K)^2]^{0.5},$$

$$\sin \xi = (x'_B - x'_K) / [(z'_B - z'_K)^2 + (x'_B - x'_K)^2]^{0.5}.$$

Ордината x_{D_1} определяет собой размер H поперечного смещения задней бабки, а ординаты x_{B_1} и x_{K_1} — размер $A_{c\xi}$ настройки, необходимые

для реализации закона изменения $A_{с.лин}$, отвечающего отрезку KB аппроксимирующей ломаной $СКВ$:

$$H = |-z'_D \sin \xi|;$$

$$A_{с.ξ} = x_{B_1} = x_{K_1}.$$

После обработки участка поверхности заготовки, при которой был реализован закон изменения $A_{с.лин}$, отвечающий отрезку KB , заготовку следует перевернуть и аналогично предыдущему настроить ТС на обработку оставшегося участка поверхности, при котором закон изменения $A_{с.лин}$ должен отвечать отрезку $СК$.

Изложенный механизм обоснования способа повышения точности формообразования цилиндрических поверхностей, в основе которого лежит сдвиг задней бабки в поперечном направлении, является более наглядным и естественным и согласуется с данным способом обработки.

Рассмотренный вариант аппроксимации не является единственным, возможны и другие. В основном вариант аппроксимации определяется формой кривой $A_{с.п}$, ее расположением относительно опор и точностными требованиями, предъявляемыми к формообразованию; его создание требует творческого подхода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Основы технологии машиностроения*: Учебник для вузов / В. М. Кован, В. С. Корсаков, А. Г. Косилова и др.; под ред. В. С. Корсакова. Изд. 3-е, доп. и перераб. М.: Машиностроение, 1977. 416 с.
2. *Корсаков В. С. Точность механической обработки*. М.: Машиностроение, 1961. 380 с.
3. *Технология машиностроения*: В 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / В. М. Бурцев, А. С. Васильев, А. М. Дальский и др.; под ред. А. М. Дальского. Изд. 2-е, стереотип. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. 564 с.
4. *Технология машиностроения*: В 2 т. Т. 2. Производство машин: Учебник для вузов / В. М. Бурцев, А. С. Васильев, О. М. Деев и др.; под ред. Г. Н. Мельникова. Изд. 2-е, стереотип. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. 640 с.
5. *Подпоркин В. Г. Обработка нежестких деталей*. М.—Л.: Машгиз, 1959. 208 с.
6. *Машиностроение*. Энциклопедия. Т. III-3. Технология изготовления деталей машин / А. М. Дальский, А. Г. Суслев, Ю. Ф. Назаров и др.; под общ. ред. А. Г. Суслова. М.: Машиностроение, 2002. 840 с.
7. *Тараненко В. А., Митрофанов В. Г., Косов М. Г. Технологические способы и средства повышения точности обработки нежестких деталей*. М.: ВНИИТЭМР, 1987. 64 с.
8. *Васильевых Л. А. Интенсификация процессов обработки нежестких деталей*. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 1990. 280 с.
9. *Мальцев В. Г. Настройка технологических систем на размер при формообразовании поверхностей вращения резанием // Технология машиностроения*. 2004. № 6. С. 14—18.

Ю. Н. ФЕДОРОВ, д-р техн. наук, В. Д. АРТАМОНОВ, канд. техн. наук,
О. Л. ЗОЛУХИНА, канд. техн. наук
Тульский государственный университет

Зубонарезание цилиндрических колес методом обката на модернизированных фрезерных станках

В современном машиностроении из всех видов передач наиболее распространенными являются зубчатые передачи. Зубчатые колеса применяют в станкостроении, автостроении, моторостроении, сельхозмашиностроении и других отраслях машиностроения. В различных машинах и приборах наиболее часто используются цилиндрические зубчатые колеса наружного зацепления.

Надежность и качество работы машин в большой степени зависят от качества изготовления зубчатых передач. Возможность использования зубчатых передач в широком диапазоне нагрузок и скоростей при небольших габаритных размерах определяет их способность обеспечить большую надежность в работе с высоким КПД при больших сроках эксплуатации. Отсюда вытекают непрерывно возрастающие требования к точности изготовления зубчатых колес, которые в свою очередь определяют

необходимость постоянного совершенствования технологии их изготовления.

Известно, что основной технологической операцией при изготовлении зубчатых колес является обработка их зубьев, на которую затрачивается 50—60 % времени общей трудоемкости механической обработки зубчатого колеса.

При изготовлении зубчатых колес различают два метода зубонарезания: копирования и огибания (при наличии centroиды качения целесообразно называть методом обката).

При использовании метода копирования зубчатые колеса можно нарезать дисковыми модульными фрезами на горизонтально-фрезерных станках. Фреза, установленная на оправке в шпинделе станка, совершает вращательное движение, а стол с делительной головкой, в которой закреплена заготовка, перемещается вдоль оси нарезаемого колеса, обеспечивая продольную подачу при фрезеровании

впадины зубчатого венца. После деления заготовки на зуб цикл повторяется. Возможность реализации метода копирования на серийных горизонтально-фрезерных станках является положительной особенностью данного метода. Но наряду с этим имеется ряд недостатков:

- необходимость иметь большой набор сложного режущего инструмента, который является специальным, так как предназначен для обработки определенного колеса;

- сложность точной установки фрезы относительно нарезаемого зубчатого колеса;

- большие затраты времени на возврат заготовки в исходное положение после нарезания каждой впадины зубчатого венца и на повороты заготовки для деления на зуб.

При зубонарезании по методу обката необходимо использование сложных станков с развитыми кинематическими цепями для осуществления комплекса взаимосвязанных движений. Но применяемый в этом случае инструмент обладает универсальностью в широком диапазоне нарезаемых зубчатых венцов одного модуля, что является несомненным преимуществом данного метода формообразования зубчатых поверхностей.

Поскольку применяемые при методе обката инструменты, к которым в первую очередь относятся зуборезные долбяки и червячные фрезы, обладают определенной универсальностью и не вызывают затруднений при их изготовлении и профилировании режущих кромок, то наиболее актуальным становится вопрос о возможности замены сложного дорогостоящего оборудования на более простое, доступное для любого предприятия. При этом имеется в виду использование модернизированного для зубонарезания серийного универсального оборудования, например широко распространенных горизонтально-фрезерных станков. Именно в этом направлении ведутся работы на кафедре "Технология машиностроения" Тульского государственного университета.

Накопленный опыт разработки процессов зубонарезания по методу обката, а также промышленная апробация некоторых из них позволяют сделать вывод о целесообразности использования модернизированных горизонтально-фрезерных станков в определенных производственных условиях действующего машиностроительного завода. Примером может служить опыт эксплуатации таких станков при нарезании цилиндрических зубчатых колес мототехники на Тульском машиностроительном заводе в доперестроечный период функционирования промышленного производства.

В настоящее время в условиях рыночной экономики, когда основным показателем перспективности процессов механической обработки заготовок различных деталей, и особенно таких сложных, как

зубчатые колеса, является экономическая эффективность, становится весьма актуальным вопрос целесообразности применения для зубонарезания модернизированных горизонтально-фрезерных станков.

В связи с этим следует рассмотреть наиболее типовой процесс зубонарезания цилиндрических колес дисковыми режущими головками по методу z -кратного обката. Сущность процесса состоит в том, что обрабатываемая заготовка совершает согласованные — вращательное и поступательное — движения обката вдоль оси вращающейся режущей головки. Эти движения осуществляются как в одном, так и противоположном направлениях с соответствующим делением заготовки на один зуб, пока не будут нарезаны все зубья колеса.

Так как в процессе зубонарезания отсутствует продольная подача инструмента, дно вырезаемой впадины имеет вогнутость, определяемую по формуле

$$f = \frac{b^2}{4D_0},$$

где b — ширина зубчатого венца; D_0 — наружный диаметр режущей головки.

Боковые поверхности нарезаемых зубьев, соответственно, будут вогнутыми с поправкой на угол α профиля режцов головок:

$$f_6 = \frac{b^2}{4D_0} \sin \alpha.$$

Для обеспечения симметричной вогнутости нарезаемых зубьев колеса при установке заготовки относительно режущей головки необходимо обеспечивать совпадение середины зубчатого венца с ее осевой плоскостью¹. Однако основная специфическая особенность процесса обработки цилиндрических колес заключается в том, что зубонарезание осуществляется путем последовательного независимого вырезания впадин в заготовке, чередующегося с движением деления после каждого цикла формообразования зубчатых поверхностей. Это приводит к дополнительным затратам времени на обработку зубчатого колеса, что несколько снижает производительность процесса. Но, несмотря на эти потери, уровень производительности зубообработки по методу z -кратного обката оценивается достаточно высоко: в пределах 2 с на зуб благодаря возможности эффективного использования режущих свойств такого инструментального материала, как твердые сплавы. Даже при реализации процесса зубонарезания на модернизированном горизонтально-фре-

¹Рациональное использование зубонарезных режущих головок при изготовлении цилиндрических колес / А. С. Ямников, Ю. Н. Федоров, В. Д. Артамонов, К. В. Филиппов // Технология машиностроения. 2002. № 1. С. 15—17.

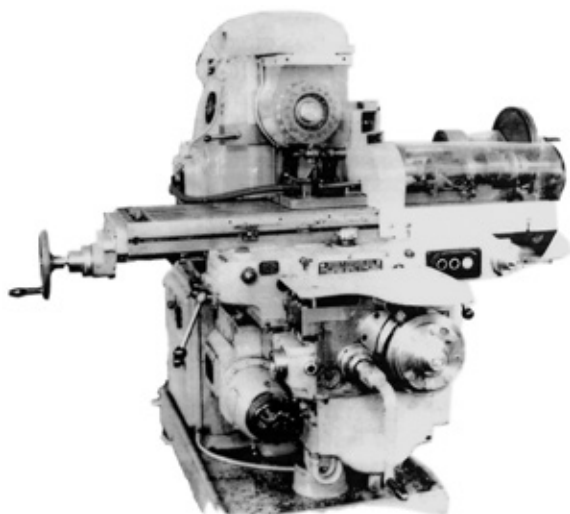


Рис. 1. Модернизированный горизонтально-фрезерный станок 6M82Г

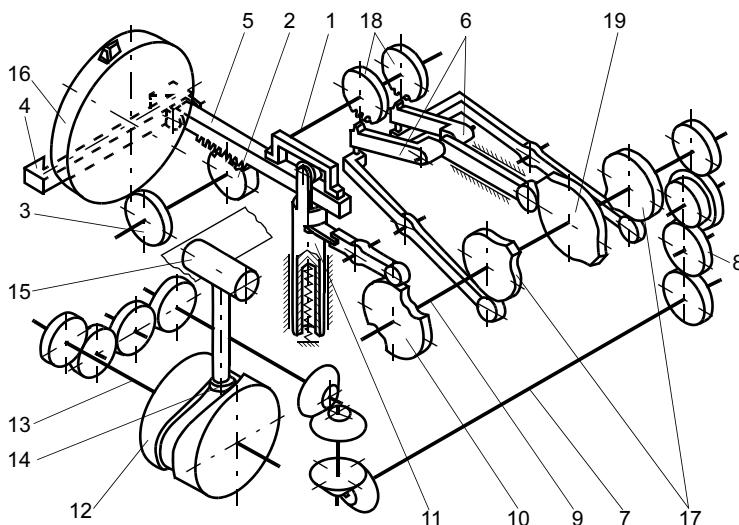


Рис. 2. Кинематическая схема обкатно-делительного приспособления

зерном станке 6M821 (рис. 1) была достигнута скорость резания $v = 540$ м/мин при обработке цилиндрических колес мототехники ($m = 2,5$ мм, $z = 23$, сталь 12ХНЗА).

Сущность модернизации заключается в следующем:

- на столе станка устанавливают специальное автоматическое делительное приспособление, позволяющее осуществлять движение обката через каждый цикл деления на зуб;

- с ходового винта продольной подачи снимают гайку, благодаря чему винт выполняет функции простого промежуточного вала для передачи вращательного движения распределительному (кулачковому) валу автоматического делительного приспособления через гитару сменных зубчатых колес;

- с ходового винта поперечной подачи также снимают гайку, а на консольной части этого, теперь уже простого промежуточного вала, крепят цилиндрический замкнутый копир, обеспечивающий возвратно-поступательное движение стола станка с установленным на нем автоматическим делительным приспособлением в поперечном направлении (движение обката).

Последовательность процесса зубонарезания дисковой твердосплавной резцовой головкой на модернизированном горизонтально-фрезерном станке можно проследить по пространственной кинематической схеме специального автоматического приспособления, приведенной на рис. 2.

Приспособление устанавливают на столе станка так, чтобы ось шпинделя приспособления была параллельна пазам стола. В свободно вращающемся в подшипниках качения шпинделе 1 приспособления закреплена оправка с эталонным зубчатым венцом 2, число зубьев которого равно числу

зубьев обрабатываемого зубчатого колеса. На посадочную консольную часть оправки устанавливают обрабатываемую заготовку 3. Зажим заготовки от пневмокамеры через тягу с быстросменной шайбой осуществляется в одном из крайних положений шпинделя приспособления. Соединенная через кронштейн 4 со станиной станка эталонная рейка 5 под действием пружины удерживается в крайнем верхнем положении (разомкнута). Делительные рейки 6 находятся в крайнем нижнем положении (разомкнуты).

При включении станка винт продольной подачи 7, выполняющий функции простого промежуточного вала при снятой гайке, передает через гитару сменных колес 8 вращательное движение распределительному валу 9, расположенному параллельно оси шпинделя приспособления. При этом кулачок 10 через рычаг с пружиной и плунжер 11 опускает вниз эталонную рейку и вводит ее в плотное беззазорное зацепление (замыкает) с эталонным зубчатым венцом оправки. Одновременно цилиндрический копир подачи 12, закрепленный на консоли винта поперечной подачи 13, также выполняющего функции простого промежуточного вала (при снятой гайке), совершает согласованное с распределительным валом вращательное движение. Ролик 14, укрепленный на тяге 15, соединенной со столом станка, начинает контактировать с рабочим участком паза копира подачи, и стол станка плавно перемещается в поперечном направлении. Оправка с заготовкой будет перекачиваться по эталонной рейке, благодаря чему обеспечивается согласованность движений обката.

Резцовая головка 16, посаженная на специальную, прикрепленную к шпинделю станка оправку, вырежет одну впадину в заготовке. Как только ролик тяги 15 выйдет на цилиндрический (холостой) участок копира подачи, стол станка остановится в про-

тивоположном крайнем положении. В это время кулачок 10 освободит эталонную рейку, и пружина переместит ее в крайнее верхнее положение.

Кулачок подъема 17 через рычаг введет соответствующую делительную рейку в зацепление со спаренным делительным колесом 18, а кулачок деления 19 переместит делительную рейку на шаг — произойдет деление на один зуб.

Во время следующего рабочего цикла стол перемещается в противоположном направлении — движения обката реверсируются, и резцовая головка вырежет вторую впадину. Далее следует остановка, во время которой уже другой кулачок 17 через свой рычаг обеспечивает зацепление соответствующей реечно-зубчатой пары, а кулачок 19 произведет деление на один зуб. Таким образом, за один оборот распределительного вала и, соответственно, копира подачи резцовая головка вырезает две впадины в заготовке. В дальнейшем процесс протекает в той же последовательности до тех пор, пока не будут нарезаны все зубья обрабатываемой заготовки, и счетный механизм, кулачок которого закреплен на распределительном валу (на схеме не показан), не выключит станок.

Наличие двух кулачков подъема, обеспечивающих зацепление соответствующих реечно-зубчатых пар для деления на зуб, объясняется тем, что длина обката (ход стола) в большинстве случаев не кратна шагу нарезаемого колеса.

Производительность процесса зубонарезания определяется временем обработки одного зуба (одной впадины), что соответствует времени, затрачиваемому на перемещение стола станка в одном направлении. Число ходов стола за один оборот копира подачи равно числу рабочих участков паза копира. Следовательно, основное время обработки одного зуба

$$t_z = \frac{1}{kn_k}$$

и время нарезания всех зубьев колеса

$$t_0 = \frac{z}{kn_k},$$

где k — число рабочих ветвей копира подачи; n_k — число оборотов копира подачи в 1 мин; z — число зубьев нарезаемого колеса.

Число оборотов копира определяется величиной подачи обката, которая, в свою очередь, назначается исходя из числа резцов, приходящихся на профилирование одной впадины, и равных

$$n_z = nz_p t_{пр},$$

где n — число оборотов резцовой головки в 1 мин; z_p — число резцов в головке; $t_{пр}$ — время профилирования одной впадины.

Время профилирования

$$t_{пр} = \frac{l_{пр}}{S_{пр}},$$

где $l_{пр}$ — часть длины обката, на которой производится профилирование впадины колеса; $S_{пр}$ — подача обката, при которой профилируется впадина колеса.

Длина обката

$$l \approx 3m\sqrt{z},$$

где m, z — модуль и число зубьев нарезаемого колеса.

Длину профилирования допустимо принимать равной $0,85l$.

Величину $S_{пр}$ устанавливают исходя из допустимой нагрузки на режущие кромки резцов головки.

На основании приведенных зависимостей выявлены наиболее благоприятные условия осуществления процесса зубонарезания по методу z -кратного обката дисковыми резцовыми головками диаметром $D_0 = 215$ мм с 18 взаимозаменяемыми резцами, оснащенными пластинками из твердого сплава Т15К6, на модернизированном горизонтально-фрезерном станке 6М82Г, при которых производительность процесса составила $t_z = 1,87$ с/зуб при $n_k = 16$ об/мин.

Относительно точности процесса зубонарезания следует обратить внимание на то, что механизм обката зубообрабатывающего полуавтомата на базе модернизированного горизонтально-фрезерного станка представляет эталонную реечно-зубчатую пару, изготовление которой не вызывает затруднений в условиях инструментального цеха машиностроительного завода. Так как в кинематическую цепь обката входят только два звена (короткая эталонная рейка и эталонный зубчатый венец оправки), то, следовательно, точность нарезаемых колес будет в основном зависеть от точности изготовления этой пары. Но поскольку процесс зубонарезания осуществляется при реверсировании движений обката, то при этом нарушается точность расположения вырезаемых впадин по длине начальной окружности колеса ("заделенность" шага колеса). Это явление объясняется главным образом наличием зазоров, а также деформаций в звеньях механизма обката.

Для устранения этого недостатка в конструкции автоматического делительного приспособления предусмотрен механизм компенсации зазоров за счет сдвига эталонной рейки в продольном направлении. В механизме ось эталонной рейки выполнена эксцентричной, ее поворот на определенный угол (устанавливается практически) осуществляется с помощью небольшого электромагнита, закрепленного на кронштейне 4 (см. рис. 2). Электромагнитом управляет кулачок, установленный на рас-

пределительном валу, через микропереключатель. Во время деления, когда эталонная рейка разомкнута, электромагнит поворачивает через рычаг ось, а рейка, посаженная на эксцентричную шейку оси, перемещается в продольном направлении, создавая встречную компенсацию. Поворот в противоположном направлении (при выключенном электромагните) производится пружиной.

Опыт эксплуатации модернизированного горизонтально-фрезерного станка подтвердил стабильность получения цилиндрических зубчатых колес в пределах 7—8-й степеней точности по ГОСТ 1643—81.

Я. И. СОЛЕР, канд. техн. наук, Д. Ю. КАЗИМИРОВ, канд. техн. наук, А. Б. СТРЕЛКОВ, инж.
ГОУ ВПО "Иркутский государственный технический университет"

Исследование несущей способности плоских деталей из стали 08Х15Н5Д2Т при многопроходном шлифовании абразивными кругами высокой пористости

Параметр t_p включен в ГОСТ 25142—82 для оценки опорной площади микрорельефа сопрягаемых поверхностей деталей машин. Для повышения их несущей способности рекомендуется увеличение этого параметра в сечениях $p = 30 \div 50 \%$ [1]. В самолетостроении широко применяют для ответственных нагруженных деталей, подверженных при эксплуатации атмосферным воздействиям, высокопрочную коррозионно-стойкую сталь 08Х15Н5Д2Т (ВНС-2), обладающую высокими физико-механическими свойствами ($\sigma_{изг} = 1350$ МПа, $\delta = 12 \%$, $E = 220\,000$ МПа). Многие детали из этой стали на окончательных операциях механической обработки подвергают шлифованию. Повышение несущей способности таких деталей частично обеспечивается за счет увеличения параметра t_p .

В данной работе для приближения результатов исследования к реальным условиям обработки учтены многопроходность процесса и жесткость шлифуемых деталей. Для количественной оценки параметра t_p в зависимости от технологических факторов получены модели I дисперсионного анализа (ДА) с постоянными факторами [2], позволяющие совместно с программными продуктами создать информационную базу данных для автоматизации управления процессом шлифования на станках с ЧПУ. Известно, что коррозионно-стойкие стали характеризуются низкой обрабатываемостью резанием при использовании стандартных абразивных кругов. Для повышения шлифуемости деталей использовали экспериментальные абразивные инструменты [3].

Исследование процесса шлифования проводили на плоскошлифовальном станке ЗГ71. Использовали круги ПП 200 × 25 × 76 25А25П СМ2 10К5/КФ40 высокой пористости с окружной скоростью вращения $v_k = 28$ м/с. Высота деталей $H = 30$ мм, размеры шлифуемой поверхности $L \times B = 40 \times 25,4$ мм. В качестве СОЖ применяли 5 %-ную эмульсию "Аквол-6"

при расходе методом полива на круг 7—10 л/мин. Для статистического анализа процесса шлифования использовали компьютерную программу Stat-Ease Design-Expert 6.0.10, включающую следующие разделы: смешанный план $2^4 \cdot 3^1$, реализующий реплику 3/4, многофакторный ДА для установления на 5 %-ном уровне значимых эффектов [4], метод наименьших квадратов (НК-оценок) и максимума правдоподобия (МП-оценок), обеспечивающие пригонку прогнозируемых параметров к средним [2]. Переменные условия экспериментов приведены в табл. 1.

В работе [5] установлено, что влияние податливости шлифуемых деталей на микрогеометрию поверхности характеризуется нелинейной зависимостью. Поэтому в данном исследовании использовали смешанный план типа $2^4 \cdot 3^1$, в котором жесткость детали поддерживали на трех уровнях (см. табл. 1), а для остальных технологических факторов ограничились двумя предельными значениями. Физическое моделирование переменной податливости детали

Таблица 1

Фактор	Интервал варьирования	Уровень фактора		
		верхний (+1,00)	основной (0,00)	нижний (-1,00)
A — продольная подача $s_{пр}$, м/мин	4	12	8	4
B — поперечная подача $s_{п}$, мм/дв. ход	2	8	6	4
C — глубина резания t , мм	0,003	0,010	0,007	0,004
D — припуск z , мм	0,1	0,3	0,2	0,1
E_q — жесткость детали j_q , Н/мм	5173,5*	11 222,0	7837,0	875,0

* Интервалы варьирования выдержаны неточно, что вызвано ступенчатым регулированием жесткости приспособления.

Примечание. $q = 1$ — поперечная жесткость, $q = 2$ — ее продольный аналог.

осуществляли на специальной установке [6], регулирование которой проводили в горизонтальной плоскости по длине рамы. На ней крепили образцы из стали 08Х15Н5Д2Т постоянной массы и размеров, жесткость которых изменяли настройкой рамы. Поворотом установки на 90° обеспечивали переменную жесткость заготовки $j_q(E_q)$, $q = 1, 2$ в двух взаимно ортогональных направлениях, совпадающих с векторами $s_{п1}$ и $s_{п2}$ (j_1 — поперечная жесткость детали, j_2 — ее продольный аналог). При двух положениях приспособления измеряли относительные опорные длины профиля поверхности $t_p(q)$, $q = 1, 2$ при уровнях p , равных 10, 20, 30, 40 и 50 %.

При определении оценок моделей использовали понятия дисперсионного и регрессионного анализов, принятые в математической статистике: наблюдение — отклик Y_{iqr} ($i = \overline{1, 36}$ — строки матрицы плана эксперимента, $r = \overline{1, 3}$ — параллельные наблюдения в i -м эксперименте); общая средняя оценка по всем результатам экспериментов — общая выборочная средняя $y_{.q}$. (аддитивная постоянная полинома a_0) при фиксированном q ; средняя i -го эксперимента — выборочная средняя в эксперименте y_{iq} . при фиксированных i и q . Среднюю $y_{.q}$ использовали в том случае, если полученная модель на 5 %-ном уровне оказалась незначимой и неадекватной. Для конкретизации исследуемых параметров использовали дополнительные индексы: $\hat{t}_{p(q)}$, $q = \overline{1, 2}$, — средние, прогнозируемые моделью; $\bar{t}_{p(q)}$ — средние по результатам наблюдений.

Автоматизированный поиск моделей. Да рассмотрен подробно в работах [6—9]. В рамках данного исследования ограничимся кратким изложением его алгоритма. Как требует программа, первоначальную регрессионную процедуру провели методом НК-оценок. Полученную функцию в общем виде представили через \hat{y}_{q} . При нормальности и гомоскедастичности ошибок метод МП-оценок в силу инвариантности позволяет перейти к новому представлению функции через $\hat{y}_{\lambda(q)}$ [2, 10], где индекс λ указывает на степенное ($\lambda \neq 0$) или логарифмическое ($\lambda = 0$) преобразование исходной функции. Выявление целесообразности ее трансформирования проводили по критерию Бокса—Кокса. Если в ходе проверки выясняется, что модель НК-оценок следует оставить в исходном состоянии, то $\hat{y}_{\lambda(q)} = \hat{y}_{(q)}$ и $\lambda = 1$.

Отобранные модели были дополнительно проанализированы по предложенной методике [8, 9] на целесообразность проведения этой процедуры. Суть данной проверки заключается в том, что трансформирование признается целесообразным при его

эффективности Θ не менее 5 %. Нижний предел установлен для предположения, что все статистические оценки в работе получены на 5 %-ном уровне значимости. Конкретные результаты выполненного анализа моделей НК-оценок следующие:

— по критерию Бокса—Кокса установлено, что только две модели ($\hat{t}_{40(1)}$, $\hat{t}_{50(1)}$) из 10 проанализированных не требуют трансформирования;

— оставшиеся модели преобразованы по рекомендациям критерия Бокса—Кокса и дополнительно проанализированы по методике работ [8, 9]. Установлено, что только для трех моделей $\hat{t}_{10(1)}$, $\hat{t}_{20(2)}$, $\hat{t}_{30(2)}$, $\Theta > 5$ %, и их следует оставить для трансформирования.

Эффективность этой процедуры рассмотрим на примере параметра $\hat{t}_{30(2)}$, для которого исходная модель имеет вид

$$\hat{t}_{30(2)} = 14,13 + 3,335AC - 4,29AE, \% \quad (1)$$

После логарифмического преобразования модели (1) и ее пригонки к средним наблюдений по методу МП-оценок получили

$$\hat{t}_{30(2)} = \exp(1,911 - 0,244A + 0,44E^2 + 0,227AC - 0,308AE + 0,257BD), \% \quad (2)$$

На рис. 1 приведены три зависимости для моделей (1), (2) и по результатам средних наблюдений $\bar{t}_{30(2)}$. Приведенные результаты свидетельствуют о том, что модели МП-оценок позволяют более точно прогнозировать значения $\hat{t}_{30(2)}$ по сравнению с моделью (1), особенно в закрытом интервале $E \in [-0,50; +1,00]$. Анализ остаточных сумм квадра-

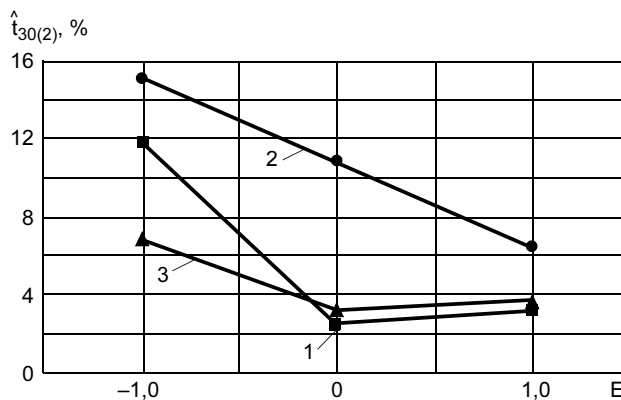


Рис. 1. Зависимость параметра $\hat{t}_{30(2)}$ от жесткости детали при различных методах пригонки модели ($A = B = +1,00$; $C = D = -1,00$): 1 — $\bar{t}_{30(2)}$ по средним наблюдений; 2 — $\hat{t}_{30(2)}$ для моделей НК-оценок; 3 — $\hat{t}_{30(2)}$ для модели МП-оценок

Таблица 2

Параметр	Регрессия $\hat{y}_{(q^*)}$, $q = \overline{1,2}$, %
$\hat{t}_{10(1^*)}$	$(0,845 - 0,076D + 0,055AB - 0,056AE^2 - 0,054CE^2 - 0,043ABC + 0,058ACE)^{-2}$
$\hat{t}_{20(1^*)}$	$5,817 + 1,483D - 1,492E^2 - 0,611BD - 0,866BE - 1,328DE^2 - 1,055ACE$
$\hat{t}_{30(1^*)}$	$15,472 - 1,38B - 1,344C + 3,27D - 4,217E^2 - 1,333BD - 2,549BE - 2,9DE^2 - 2,797ACE + 1,878BDE$
$\hat{t}_{40(1^*)}$	$33,383 - 5,728A - 7,939B - 3,647C + 7,149D - 7,743E^2 - 3,992BE + 5,765AE^2 + 5,468BE^2 - 5,715DE^2 - 5,004ACE + 4,026BDE$
$\hat{t}_{50(1^*)}$	$54,089 - 8,628A - 11,1B - 4,171C + 8,568D - 7,806E^2 - 4,93BE + 2,956DE + 7,747AE^2 + 7,708BE^2 - 7,233DE^2 - 4,916ACE + 5,592BDE$
$\hat{t}_{10(2^*)}$	$1,652 + 0,299AC + 0,361BE^2$
$\hat{t}_{20(2^*)}$	$\exp(1,017 + 0,463E^2 + 0,198AC - 0,243AE + 0,162BD + 0,21ADE)$
$\hat{t}_{30(2^*)}$	$\exp(1,911 - 0,244A + 0,44E^2 + 0,227AC - 0,308AE + 0,257BD)$
$\hat{t}_{40(2^*)}$	$28,049 - 6,799A + 5,91AC - 6,11AE + 5,454BD$
$\hat{t}_{50(2^*)}$	$37,197 - 10,125A + 10,367E^2 + 5,823AC - 7,856AE + 5,617BD$

тов ДА показал, что эффективность преобразования модели (1) составила 13,78 % [2, 4, 8, 9].

Рекомендуемые модели для формирования информационной базы данных, применяемой для автоматизации процесса шлифования, приведены в табл. 2. Результаты ДА позволяют по их внешнему виду предположить следующее:

- в моделях $\hat{t}_{p(q^*)}$, $p = 10, 20$, $q = \overline{1,2}$, присутствует меньшее число значимых эффектов, чем при $p = 30 \div 50$, и особенно в сечениях на уровнях $p \geq 40$ %. Это связано с тем, что в сечениях микро рельефа поверхности, расположенных ближе к наибольшей неровности R_{max} , наблюдается более неравномерный разброс высот неровностей. Последнее увеличивает дисперсию ошибки и снижает наблюдаемые F — критерии эффектов, вследствие чего они не могут превысить критическую статистику и становятся незначимыми [4];

- число значимых эффектов, аппроксимирующих микронеровности поверхности по ширине детали, оказалось больше, чем по ее длине. Это касается в первую очередь главных эффектов (A, B, C, D и E), поскольку при основном уровне любого фактора все эффекты взаимодействий с его участием становятся в модели равными нулю и не участвуют в описании изучаемого процесса в данной точке факторного пространства. В целом следует считать установленным тот факт, что варьирование жесткости детали по ее длине оказалось более коррелированным с микро рельефом поверхности по ее ширине;

- последнее предположение касается аддитивной постоянной a_0 полинома, которая оценивает

общую среднюю всех наблюдений. При ее увеличении возрастает несущая способность поверхности [2, 11].

Сравним микронеровности $\hat{t}_{p(q^*)}$, расположенные в двух взаимно ортогональных сечениях. Для этого выберем исходные модели при $p \geq 30$ %, например, $\hat{t}_{50(1^*)}$ и $\hat{t}_{50(2^*)}$. В этих моделях аддитивные постоянные равны соответственно 54,089 и 37,197 %. Это свидетельствует о том, что в большинстве случаев шлифования поперечные относительные опорные длины микропрофиля должны прогнозироваться превышающими свои продольные аналоги. Высказанные выше предположения о формировании относительных опорных длин профиля подтверждают рис. 2 и 3.

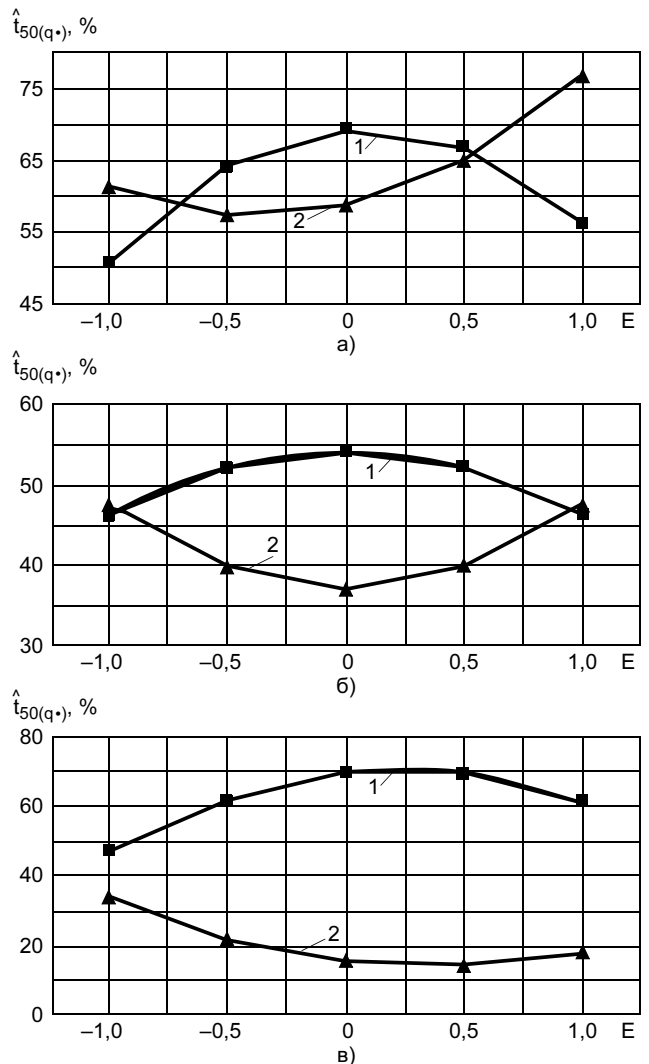


Рис. 2. Зависимость параметра $\hat{t}_{50(q^*)}$, $q = \overline{1,2}$ от продольной жесткости детали при различных режимах шлифования: а — $A = B = C = D = -1,00$; б — $A = B = C = D = -1,00$; в — $A = D = +1,00$; $B = C = -1,00$; 1 — $\hat{t}_{50(1^*)}$; 2 — $\hat{t}_{50(2^*)}$

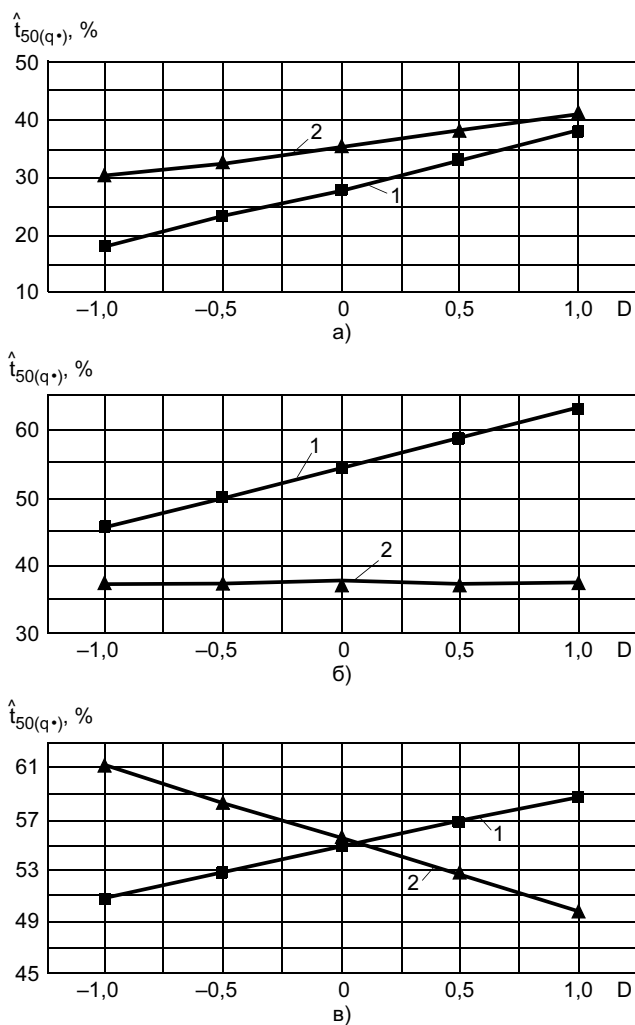


Рис. 3. Зависимость параметра $\hat{t}_{50(1^*)}$, $q = \overline{1, 2}$ от операционного припуска при черновом (а), получистовом (б) и чистовом (в) этапах шлифования: а — $A = B = C = E = +1,00$; б — $A = B = C = E = 0$; в — $A = B = C = E = -1,00$; 1, 2, — см. рис. 2

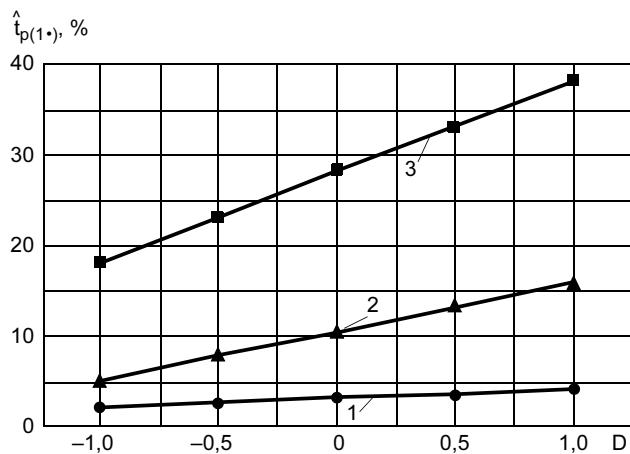


Рис. 4. Зависимость параметра $\hat{t}_{p(1^*)}$ от операционного припуска при предварительном шлифовании: 1—3р равно 30, 40 и 50 % соответственно

На рис. 2 приведена зависимость средних параметров $\hat{t}_{50(1^*)}$ и $\hat{t}_{50(2^*)}$ от продольной жесткости детали при различных режимах шлифования. Видно (рис. 2, а), что повышение жесткости изделия на чистовом этапе обработки абразивным кругом ($A = B = C = D = -1,00$) сопровождается увеличением параметров, но зависимости $\hat{t}_{50(q^*)} = \varphi(j)$, $q = \overline{1, 2}$, имеют различный характер экстремумов, расположенных в точках перегиба кривых при жесткости $E = -0,50 \div 0$. При этом кривая $\hat{t}_{50(1^*)}$ характеризуется выпуклостью, а $\hat{t}_{50(2^*)}$ — вогнутостью. В центре плана эксперимента ($A = B = C = D = 0$) вид зависимостей сохранился, но значения опорных длин профиля уменьшились. По краям интервала $E \in [-1,00; +1,00]$ имеем практически равные значения $\hat{t}_{50(q^*)} = 46,2833 \div 47,5639$ %, $q = \overline{1, 2}$. На режиме шлифования $A = D = +1,00$; $B = C = -1,00$ (рис. 2, в) опорные длины профиля в поперечном направлении превысили свои продольные аналоги в 1,7—4,4 раза. Наибольшее различие между ними отмечено при шлифовании более жестких деталей: $E \in [0; +1,00]$.

На рис. 3 приведены зависимости $\hat{t}_{50(q^*)} = \varphi(D)$, $q = \overline{1, 2}$ на различных стадиях шлифования. На предварительном этапе шлифования повышение операционного припуска ведет к увеличению опорных длин профиля в обоих сечениях детали (рис. 3, а): параметр $\hat{t}_{50(1^*)}$ изменяется от 18,1125 до 37,8764 %, а $\hat{t}_{50(2^*)}$ — от 29,7898 до 41,0231 %. Согласно приведенным результатам, с ростом припуска наиболее интенсивно возрастает несущая способность микрорельефа поверхности по ширине детали [11]. При получистовой обработке абразивным кругом ($A = B = C = E = 0$) варьирование $D \in [-1,00; +1,00]$ ведет к увеличению $\hat{t}_{50(1^*)}$ по ширине детали от 45,5208 до 62,6569 % (рис. 3, б). При этом прогнозируемый параметр $\hat{t}_{50(2^*)}$ сохраняется меньшим, чем по ширине детали и оценивается значением 37,1972 %. При окончательном шлифовании интенсивность возрастания несущей способности поверхности в поперечном направлении несколько снижается, а по длине детали даже падает (рис. 3, в). Значение параметра $\hat{t}_{50(2^*)}$ уменьшается от 61,2731 до 50,0398 % на концах интервала $D \in [-1,00; +1,00]$ относительно середины. Роль припуска в формировании относительных опорных длин профиля подтверждают результаты, приведенные на рис. 4 для предвари-

тельного этапа шлифования при трех уровнях измерения параметра p (30, 40 и 50 %).

В целом повышение технологических параметров (s_{np} , $s_{пр}$, t , z) при многопроходном шлифовании ведет к повышению упругого натяга в системе круг—деталь. При этом первые три фактора в отличие от операционного припуска одновременно повышают производительность процесса. По этой причине многопроходное шлифование с завышенными припусками на технологический переход должно быть экономически обосновано.

Программа Stat-Ease Design-Expert 6.0.10 позволяет представлять поверхности откликов $\hat{y}_{(q^*)}$, $q = \overline{1, 2}$ при одновременном варьировании двух факторов, в частности для параметров $\hat{t}_{50(q^*)}$, $q = \overline{1, 2}$ при переменных значениях s_{np} и j (рис. 5). Наибольшая несущая способность микрорельефа по ширине детали $\hat{t}_{50(1^*)}$, равная 57,22 %, имеет место в точке факторного пространства $(-1,00; +1,00; +1,00; +1,00; +0,25)$ (рис. 5, а). Минимум значения $\hat{t}_{50(1^*)} = 32,4$ % прогнозируется при следующих технологических параметрах: $A = E = -1,00$, $B = C = D = +1,00$. Прогнозируется, что варьирование жесткости детали в закрытом интервале $E \in [-1,00; +1,00]$ при наибольшей продольной подаче практически не отражается на несущей способности поверхности детали и оценивается значением $\hat{t}_{50(1^*)} = 38,61$ %. Одновремен-

но обеспечивается повышение производительности съема припуска в 3 раза. Таким образом, маложесткие детали целесообразно шлифовать при повышенных продольных подачах.

В аналогичных условиях шлифования характер формирования микрорельефа для опорного параметра $\hat{t}_{50(2^*)}$ (рис. 5, б) в направлении длины заготовки отличается от рассмотренного выше. В данном случае на поверхности отклика $\hat{t}_{50(2^*)} = \varphi(s_{np}, j)$ обнаружены четыре экстремальные точки: глобальные — максимум $(-1,00; +1,00; +1,00; +1,00; +1,00)$ и минимум $(+1,00; +1,00; +1,00; +1,00; +0,50)$, которые прогнозируются значениями 65,34 и 37,03 % соответственно, а также локальные — минимум и максимум в точках $(-1,00; +1,00; +1,00; +1,00; 0)$ и $(+1,00; +1,00; +1,00; +1,00; -1,00)$ соответственно. Как видно на рис. 5, б, высокожесткие детали для повышения параметра $\hat{t}_{50(2^*)}$ целесообразно шлифовать при небольших продольных подачах, а маложесткие, напротив, при больших s_{np} .

Приведенные на рис. 2—5 результаты исследования свидетельствуют о том, что стремление увеличить несущую способность поверхности в двух взаимно ортогональных сечениях, параллельных векторам $s_{пр}$ и $s_{п}$, сложно выявить без использования ПК в программных продуктах. В частности, программа Stat-Ease Design-Expert 6.0.10 позволяет проводить многокритериальную оптимизацию про-

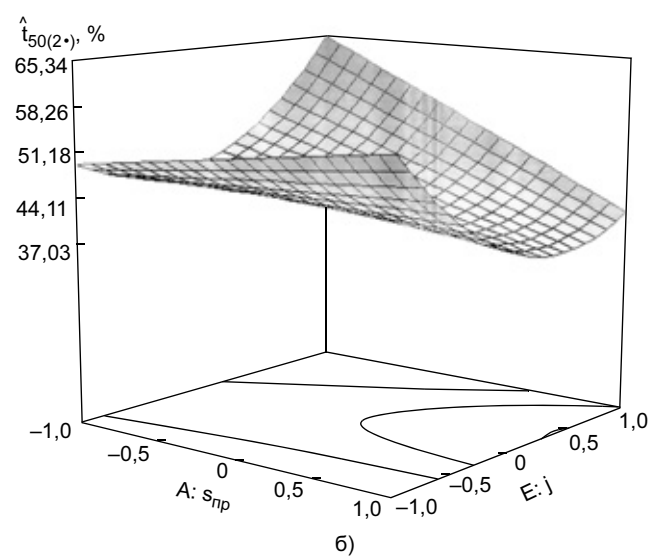
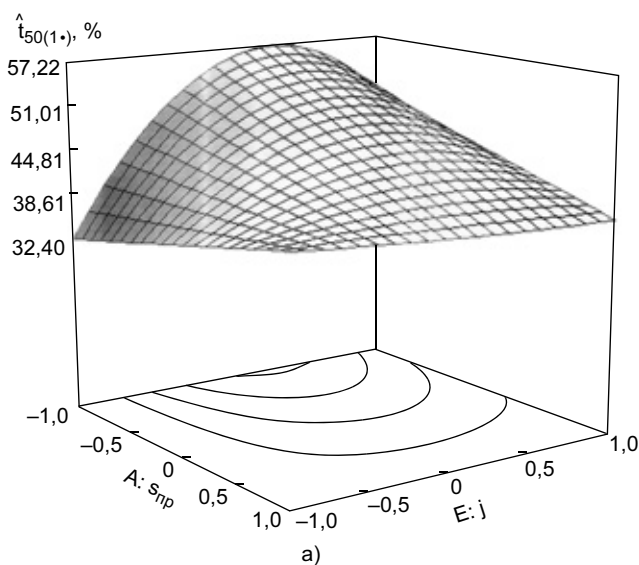


Рис. 5. Зависимость средних параметров $\hat{t}_{50(1^*)}$ (а) и $\hat{t}_{50(2^*)}$ (б) от продольной подачи и припуска на черновом этапе шлифования ($B = C = D = +1,00$)

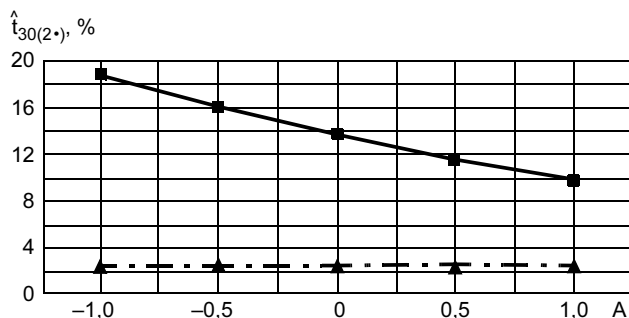


Рис. 6. Зависимость среднего параметра $\hat{t}_{30(2^*)}$ от плана эксперимента и продольной подачи ($B = C = D = E = +1,00$)

цесса с использованием симплекс-планирования эксперимента и полученных моделей I ДА [12].

На рис. 6 приведены зависимости $\hat{t}_{30(2^*)} = \varphi(S_{пр})$, прогнозируемые для чернового этапа шлифования моделями I ДА при реализации дробного факторного плана (ДФП) типа 2^{5-1} (1) [7] и смешанного плана $2^4 \cdot 3^1$ (2), реализованного в данном исследовании. Как известно из теории эксперимента, в первом плане все факторы поддерживаются на двух предельных уровнях (-1,00; +1,00), а в смешанном плане дополнительно жесткость детали варьировали на трех уровнях (см. табл. 1). Реализация смешанного плана позволила прогнозировать снижение опорной площади поверхности с увеличением продольной подачи практически в 2 раза. В то же время применение ДФП не выявило влияния фактора A на параметр $\hat{t}_{30(2^*)}$ и его значение составило 2,51—2,64 %, что в 3,7—7,5 раза ниже, чем при использовании плана $2^4 \cdot 3^1$. Ранее этот план показал удовлетворительное совпадение с экспериментальными средними (см. рис. 2). Аналогичная картина и на чистовой стадии шлифования с переменной продольной подачей и припуском. Таким образом, модели I ДА, полученные при реализации смешанного плана, прогнозируют более высокие значения параметров $\hat{t}_{p(q^*)}$, $q = \overline{1, 2}$, $p = 30 \div 40$ % и более адекватно отражают условия шлифования.

ВЫВОДЫ

1. Полученные модели I ДА наряду с традиционными параметрами режима резания учитывают многопроходность процесса абразивной обработки и податливость шлифуемых деталей.

2. Использование смешанного плана типа $2^4 \cdot 3^1$, в котором жесткость изделия поддерживалась на

трех уровнях (+1,00; 0; -1,00), позволило повысить точность прогнозирования относительных опорных длин профиля по сравнению с планом 2^{5-1} . Их недостатком является увеличение числа экспериментов с 16 до 36.

3. Получены количественные оценки параметров t_p по ширине и длине детали в зависимости от технологических параметров. Установлено, что наличие в моделях взаимодействий факторов первого—второго порядков приводит к неоднозначному изменению средних откликов при различных условиях шлифования. В этом большое достоинство предлагаемых моделей по сравнению с степенными зависимостями, широко применяемыми в машиностроении до настоящего времени.

4. Модели I ДА создают информационную базу данных, которую следует использовать для автоматизированного управления стратегией шлифования на станках с ЧПУ для повышения эффективности процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжов Э. В. Влияние шероховатости поверхности на величину опорной площади // Высокопроизводительное резание в машиностроении. М.: Наука, 1966. С. 273—281.
2. Кендалл М., Стюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1976. 736 с.
3. Дуличенко И. В. Управление технологическими характеристиками процесса шлифования высокопористым абразивным инструментом: Дис. ... канд. техн. наук. Волгоград: ВолгГТУ, 2006. 15 с.
4. Шеффе Г. Дисперсионный анализ. М.: Наука, 1980. 512 с.
5. Солер Я. И., Казимиров Д. Ю. Регулирование микрогеометрии поверхности при плоском чистовом шлифовании быстрорежущего инструмента // Вестник ИРО АН ВШ. 2006. № 2 (7). С. 129—139.
6. Солер Я. И., Гайсин С. Н., Казимиров Д. Ю. Статистические модели микрогеометрии поверхности при плоском шлифовании абразивными высокопористыми кругами деталей переменной жесткости из стали 12X18H10T // Металлообработка. 2005. № 3 (27). С. 12—16.
7. Солер Я. И., Казимиров Д. Ю. Прогнозирование опорной площади микрорельефа деталей переменной жесткости при плоском шлифовании // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2006. № 3. С. 69—75.
8. Солер Я. И., Казимиров Д. Ю., Прокопьева А. В. Автоматизация поиска моделей микрорельефа при шлифовании плоских поверхностей быстрорежущего инструмента // Вестник ИРО АН ВШ. 2006. № 2 (9). С. 133—142.
9. Солер Я. И., Гайсин С. Н., Казимиров Д. Ю. Прогнозирование микрорельефа шлифованных деталей переменной жесткости из стали 13X15H4AM3 при многопроходном съеме припуска // Вестник ИргГТУ. 2006. № 1 (25). С. 64—70.
10. Закс Ш. Теория статистических выводов. М.: Мир, 1975. 776 с.
11. Суслов А. Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. М.: Машиностроение, 1987. 208 с.
12. Солер Я. И., Казимиров Д. Ю. Оптимизация процесса шлифования плоских деталей с учетом их назначения // Технология машиностроения. 2006. № 12. С. 16—20.

СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

В. А. РОГОВ, д-р техн. наук, Г. Г. ПОЗНЯК, д-р техн. наук,
В. В. КОПЫЛОВ, канд. техн. наук, Е. С. ЛЫКОВА, аспирант
Российский университет дружбы народов

Анализ возможности снижения колебаний шпинделя особо точного станка до нанометрического уровня

При обработке заготовок на особо точных токарных станках (ОТТС) отклонение от геометрической точности заданной поверхности, ее волнистость и шероховатость в значительной степени определяются величиной дисбаланса, который возникает при установке каждой новой обрабатываемой детали. Дисбаланс является результатом таких объективных причин, как несовпадение осей заготовки и шпинделя, неравномерность распределения масс в локальных областях заготовки, радиальное биение заготовки, разная плотность материала. Поскольку на современных станках частота вращения шпинделя составляет несколько тысяч оборотов в минуту, то каждая вновь установленная заготовка обязательно должна быть подвергнута балансировке, как правило, вместе с патроном. Необходимость тщательной балансировки приводит к тому, что время, затраченное на балансировку, многократно превышает машинное время. Так, например, время балансировки заготовок среднего размера, обрабатываемых на токарном станке, составляет порядка 30 мин на деталь.

В данной работе рассматриваются методы компьютеризированной балансировки, позволяющие значительно сократить ее продолжительность путем применения новых подходов к традиционным методам пробных пусков, а также метод активного воздействия на колебания, вызываемые дисбалансом.

Жесткие роторы, к которым может быть отнесен и шпиндель ОТТС, теоретически допускают полную балансировку при принудительном совмещении оси вращения с главной центральной осью вращения, например, путем перемещения корректирующих масс (в том числе и автоматически), удаления корректирующей массы, а также с помощью других автобалансирующих устройств [1]. Однако существующие устройства имеют ограничения по точности, связанные, в частности, с трением и дискретностью воздействий в механических и гидравлических приводах, что не позволяет снизить амплитуду колебаний до 0,01—0,10 мкм.

Существующие методы балансировки в собственных опорах ротора требуют применения сложной дорогостоящей аппаратуры и связаны с необходи-

мостью многоточечных измерений векторов колебаний, в том числе фазовых углов. Однако стандартные фазоизмерительные приборы имеют погрешность измерения порядка $\pm 5^\circ$, так что расчетные значения массы балансировочного груза и угла его установки часто являются только ориентировочными и требуют скрупулезной подгонки с многократными пробными пусками. Длительность дополнительной балансировки может составлять 1—2 ч и даже более, что многократно превышает время обработки деталей на особо точных станках (5—7 мин).

Предлагаемый метод компьютеризированной балансировки основан на известных методах балансировки (путем нескольких пусков), но включает новые алгоритмы реализации установок пробной балансировочной массы, расчетов величины и места установки балансировочного груза, а также новую конструкцию этого груза, что обеспечивает значительное сокращение времени всей процедуры (до 7 мин) и возможность снижения остаточной амплитуды колебаний до сотых долей микрометра.

Рабочие частоты вращения шпинделя ОТТС в 3—7 раз меньше минимальной собственной частоты колебаний и в 3—6 раз больше частоты пропускания виброизолирующих аэроэластических опор станины, поэтому можно пренебречь фазовым углом между перемещениями от статического и моментного дисбалансов и при моделировании полагать его равным нулю. Таким образом, дисбаланс шпинделя будем рассматривать как квазистатический. Полученные экспериментальные данные также свидетельствуют о сравнительно малой связи радиальных и угловых колебаний, что позволяет проводить балансировку шпинделя ОТТС по методу амплитуд, измеряя колебания станины одним датчиком абсолютных колебаний, установленным так, чтобы его ось лежала в плоскости, перпендикулярной оси вращения, и пересекала ее.

Математическая модель способа основана на анализе векторной диаграммы перемещений шпинделя (рис. 1), получаемой в результате трех пусков шпинделя с некоторой пробной массой m_n , устанавливаемой последовательно в трех положениях: произвольном углом при первом пуске (это поло-

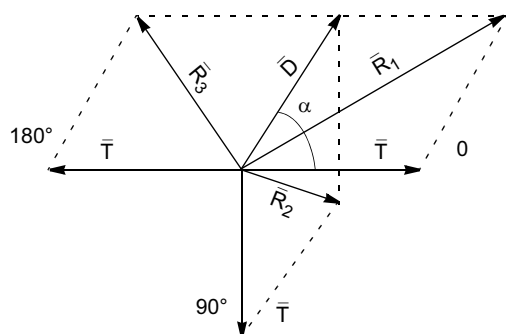


Рис. 1. Векторная диаграмма для расчета дисбаланса шпинделя по методу трех пусков

жение принимаем за нулевое), а также в положениях 90 и 180° при втором и третьем пусках соответственно. Предположим, что радиус-вектор \bar{D} устраняемого дисбаланса расположен в угловом положении α .

Построим на векторе устраняемого дисбаланса \bar{D} три параллелограмма, имеющих две равные стороны D и T . Диагонали параллелограммов — векторы измеренных амплитуд колебаний при трех пусках R_1 , R_2 и R_3 при разных углах установки пробной массы. Углы между сторонами параллелограммов равны α , $90^\circ + \alpha$, $180^\circ - \alpha$. По известным формулам соотношений сторон и углов косоугольных треугольников можно составить систему из трех трансцендентных уравнений с тремя неизвестными D , T и α :

$$\begin{aligned} R_1^2 &= T^2 + D^2 + 2TD\cos\alpha; \\ R_2^2 &= T^2 + D^2 - 2TD\sin\alpha; \\ R_3^2 &= T^2 + D^2 - 2TD\cos\alpha, \end{aligned} \quad (1)$$

где R_1 — R_3 — измеренные амплитуды колебаний в угловом положении 0, 90 и 180° соответственно; T , D — амплитуды колебаний соответственно станины и шпинделя от действия начального дисбаланса; α — угол расположения начального дисбаланса.

Решая полученную систему численным методом на компьютере, получаем значения амплитуд D и T , а затем рассчитываем корректирующую массу

$$m_k = m_n D/T, \quad (2)$$

где m_k , m_n — корректирующая и пробная массы соответственно.

Для удовлетворения требований, накладываемых особенностями экспериментальных исследований и эксплуатации особо точных станков по чувствительности и частотному диапазону, разработаны и испытаны датчики малых перемещений на основе фотоэффекта¹, которые в диапазоне частот колебаний 20—1000 Гц имеют линейную характеристику при чувствительности 29 мВ/мкм. Цеховые испы-

тания предложенного способа балансировки на особо точном токарном станке МК6514 МСПО "Красный пролетарий" проводили следующим образом. В произвольное место балансировочной канавки устанавливали тестируемый груз массой 4,17 г, который при вращении шпинделя с частотой 3000 об/мин вызывал колебания с амплитудой 4,31 мкм. Задача состояла в проверке предложенной методики: необходимо было определить массу тестируемого груза и угол его установки, затем установить рассчитанный корректирующий груз в расчетное место и оценить остаточный дисбаланс. С этой целью производили три пуска при установке пробного груза массой 3,07 г последовательно в положения 0, 90 и 180°. Значения измеренных амплитуд колебаний R_1 , R_2 и R_3 подставляли в систему уравнений (1) и на компьютере рассчитывали массу корректирующего груза и угол его установки.

Расчетная масса корректирующего груза, необходимого для устранения дисбаланса, отличалась от установленного тестируемого груза на 0,07 г, а ошибка в определении угла установки этого груза составила около 1° (1,07—0,85°), что, по-видимому, отражает неточность установки пробной массы по углу. При пуске с установленным корректирующим грузом остаточный дисбаланс составил 0,0475 мкм (при среднеквадратичном отклонении по четырем экспериментам 0,00433 мкм). Все необходимые процедуры для пусков и расчетов были выполнены за 7 мин. Стандартная методика с необходимыми расчетами и построением векторных диаграмм для подобной работы потребовала более 60 мин.

Как правило, рассчитанные масса корректирующего груза и угол его установки получаются дробными. Округление значений приводит к появлению значительного остаточного дисбаланса, поэтому обычно устанавливают два корректирующих груза, пытаясь найти такое их расположение, при котором векторная сумма их центробежных сил компенсирует действие центробежной силы дисбаланса, что значительно увеличивает продолжительность балансировочной процедуры. Поэтому важнейшей составляющей предложенной методики является разработанный алгоритм компьютерного поиска таких целочисленных значений масс двух корректирующих грузов и углов их установки, радиусы-векторы которых, геометрически суммируясь, давали бы с точностью до трех знаков после запятой значение величины компенсирующего вектора. Для практической реализации необходимо применять специальную конструкцию балансировочного груза и особую форму балансировочной канавки².

¹А. с. 1700384 (СССР).

²А. с. 1620869 (СССР).

Выполненный анализ на компьютерной модели показал, что с учетом реальных отклонений масс и угловых положений не удастся компенсировать колебания, вызванные дисбалансом, до уровня меньше $\pm 0,02$ мкм. Дальнейшее уменьшение амплитуды остаточных колебаний может быть реализовано путем силового бесконтактного воздействия на шпиндель. Математическое моделирование [2] и исследования на экспериментальном стенде автоматического гашения колебаний на токарном станке показали принципиальную возможность внешним воздействием уменьшить нестабильность, определяемую внутрисистемным возбуждением.

На рис. 2 приведена структурная схема разработанной математической модели метода. Она включает высокочувствительный датчик относительных перемещений 2 (световолоконный или вихретоковый), два электромагнитных бесконтактных вибратора 11, установленных диаметрально симметрично относительно оси вращения шпинделя 1. Сигнал датчика поступает на фазовращатель 5 (для поднастройки фазовых сдвигов) и в устройство визуального контроля 4. Так как бесконтактные электромагнитные вибраторы работают только на притяжение, необходимо обеспечить их синхронное переключение. Для этого сигнал после фазовращателя с помощью диодов 6 и 7 расщепляется на два потока. Положительный сигнал направляется в блок извлечения квадратного корня 9, а отрицательный вначале инвертируется элементом схемы 8, а затем также направляется в другой блок 9. Затем оба сигнала поступают в двухканальный усилитель мощности 10 и из него — на вибраторы 11.

На рис. 3 приведен пример реализации компьютерного эксперимента на математической модели, построенной на базе особо точного токарного станка. Масса шпинделя 50 кг, частота вращения шпинделя 3000 об/мин, жесткость аэростатических опор

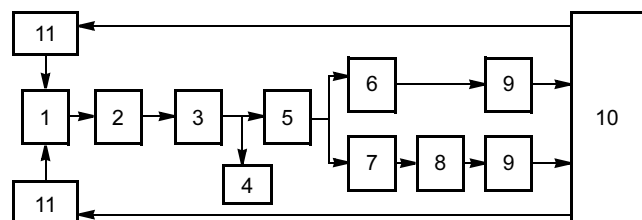


Рис. 2. Блок-схема системы автоматического компьютеризированного гашения колебаний, вызванных дисбалансом

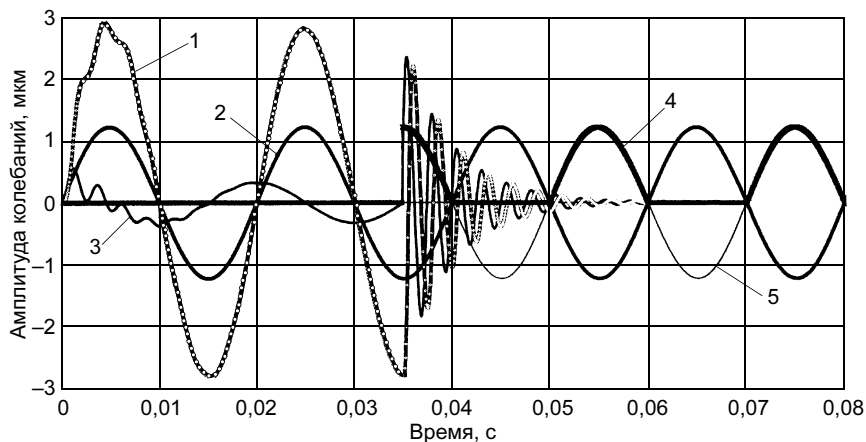


Рис. 3. Пример компьютерного эксперимента по гашению колебаний шпинделя (слева — установившиеся колебания; справа — переходный процесс гашения колебаний): 1 — вибросмещение; 2 — сила дисбаланса (амплитудное значение 123 Н); 3 — виброскорость; 4, 5 — сила электромагнитных вибраторов (1 и 2 соответственно)

$4,44 \cdot 10^7$ Н/м, коэффициент демпфирования в опорах $1,24 \cdot 10^4$ Нс/м. После пуска шпинделя примерно через 0,02 с переходный процесс заканчивается, и планшайба совершает установившиеся колебания с амплитудой вибросмещений 2,8 мкм. В наладочном режиме производится регулировка фазовых сдвигов и коэффициента усиления обратной связи (режим наладки на осциллограмме не показан). Силы притяжения вибраторов сдвинуты по фазе друг относительно друга на 180° и постоянно находятся в противофазе с колебаниями планшайбы шпинделя. После включения вибраторов (на осциллограмме в момент времени 0,035 с) в течение примерно двух оборотов шпинделя колебания снизились до уровня 2 нм. На протяжении всей последующей работы вибраторы постоянно поддерживают достигнутое минимальное значение амплитуды колебаний шпинделя.

Таким образом, на математической модели показана принципиальная возможность стабилизации положения оси быстроходного ротора с помощью системы обратной связи по отклонению оси от теоретического положения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбунов Б. И., Сутормин В. И., Товщик А. П. Новые управляемые и автоматические балансирующие устройства шлифовальных станков // Современные методы и средства балансировки машин и приборов. М.: Машиностроение, 1985. С. 166—174.
2. Позняк Г. Г., Бирюков Н. О., Маннан А. М. О моделировании системы активного автоматического гашения колебаний при резании // Исследование и расчет машин и сооружений. М.: УДН, 1975. С. 127—130.

Ю. А. КРЯЖЕВ, канд. техн. наук, Е. С. ОГНЕВЕНКО, студент
 Алтайский ГТУ им. И. И. Ползунова

Исследование колебательных процессов, возникающих при работе спирального сверла, с применением анализа акустического сигнала

Для повышения точности сверления необходимо совершенствование методов контроля основных параметров этого процесса, особенно в условиях автоматизации производства. Одним из факторов, определяющих точность при обработке отверстия спиральным сверлом, является наличие колебаний и, в частности, их частота и амплитуда. Как было установлено в работе [1], снижение износостойкости спирального сверла связано с колебанием его режущей кромки, что свидетельствует о необходимости изучения и разработки способов прогнозирования колебательных процессов.

Если взглянуть на записанный акустический сигнал (АС), то без помощи каких-либо дополнительных средств виден момент включения в работу сверла (рис. 1). При сверлении сквозного отверстия начало обработки и момент окончания весьма нестабильны — это видно при спектральном анализе. Также явно виден период работы ленточек (ленточки оставляют ярко выраженные всплески в области частот, где отсутствует шум от оборудования и другие колебания, не связанные с процессом сверления). Исследование различных записей сигнала при сверлении показало, что форма сигнала существенно не меняется с изменением режимов резания. Сигналы, соответствующие работе режущих кромок и ленточек, легко различимы, лежат в определенном диапазоне частот

и имеют характерный для них вид. Исходя из сказанного, была определена цель экспериментов — выявление продольных колебаний спирального сверла из спектрограммы виброакустического сигнала.

Были проведены эксперименты по сверлению специальных образцов (рис. 2) из чугуна СЧ20 сверлом диаметром 10 мм с длиной рабочей части 200 мм на различных режимах. Чугунная заготовка имела отверстие диаметром $D = 6$ мм, в которое запрессовывали стержень из того же материала, обернутый медной фольгой толщиной 0,1 мм. Форма кромки получается в результате контакта фольги с режущим лезвием сверла и позволяет судить о характере колебаний инструмента. После сверления фольгу извлекали и проводили необходимые измерения. АС снимали пьезокерамическим датчиком (пьезокерамика ЦТС-19), запись осуществляли с помощью цифро-аналогового преобразователя L-Card С780 с диапазоном воспринимаемых частот 1 Гц—100 кГц. Результаты обрабатывали с помощью программных продуктов Adobe Audition и Stienberg WaweLab. С помощью измерительного микроскопа определяли число зубцов N на длине πD , характеризующее частоту колебаний режущей кромки сверла. Амплитуду определяли по высоте рисок с точностью до 1 мкм.

Частоту колебаний устанавливали по зависимости $f = nN/60$, где n — частота вращения сверла, об/мин; N — число зубцов на длине πD .

В качестве примера рассмотрим процесс сверления при $n = 195$ об/мин, $S = 0,47$ мм/об. После извлечения фольги и проведения измерений определили среднюю частоту продольных колебаний — 292 Гц. Следующий этап — спектральный анализ записанного АС. С помощью программного продукта Adobe Audition увеличили изображение интересующего диапазона (рис. 3, а) и провели дополнительный анализ с применением специальных инструментов. На рис. 3, б амплитуда колебаний ограничена значением —40 дБ для исключения шума оборудования (эти колебания лежат в том же частотном диапазоне, но имеют меньшую ам-

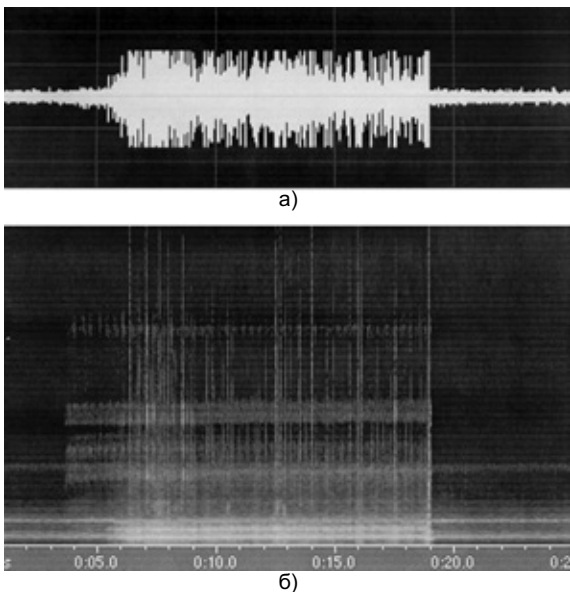


Рис. 1. Осциллограмма (а) и спектрограмма (б) процесса сверления

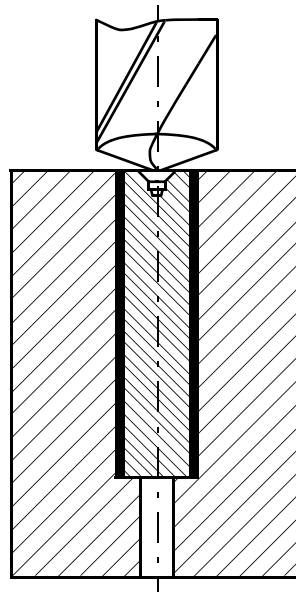


Рис. 2. Схема образца для сверления

плитуду). Анализируя полученный результат, установили, что в момент врезания сверла в заготовку колебания имеют хаотический характер, затем устанавливаются в диапазоне частот 280—300 Гц, что соответствует данным по фольге. На рис. 3 видно, что выделенные колебания характерны только для периода работы инструмента, т. е. вызваны процессом сверления и не являются какими-либо посторонними эффектами. Аналогичная картина наблюдается при спектральном анализе записей экспериментов на других режимах. Так, с увеличением скорости резания от 0,102 до 0,277 м/с при подаче 0,47 мм/об средняя частота колебаний увеличивается до 857 Гц, однако сигнал в поле spectroграммы остается легко различимым.

Проведенные эксперименты выявляют возможность использования АС для анализа процесса сверления. Предложенный способ изучения колебательных процессов позволяет качественно оценить процесс обработки на различных режимах резания, определить продольные колебания спирального сверла без использования специальных образцов и измерительного оборудования. АС может служить источником информации для оптимального управления процессом сверления, а также оценки износа режущего инструмента в реальном времени.

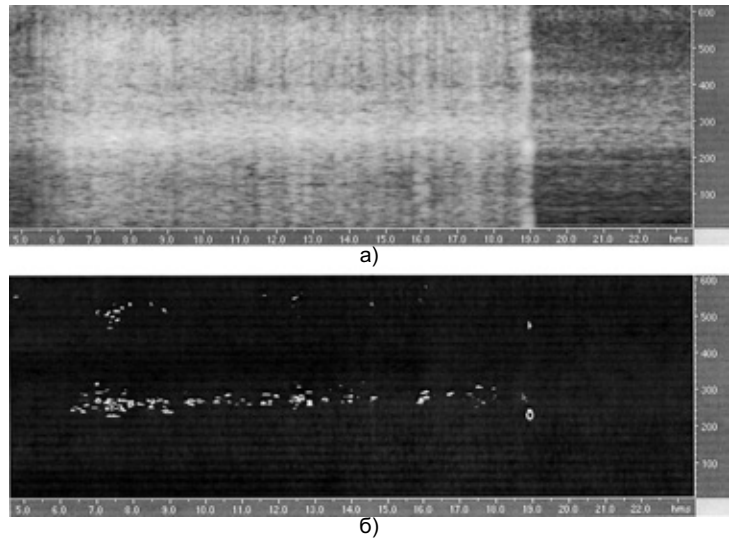


Рис. 3. Увеличенный участок спектрограммы процесса сверления

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кряжев Ю. А., Пицхелаури Т. И., Даниленко Б. Д. Экспериментальное изучение колебательных процессов, возникающих при работе спирального сверла // Известия вузов. Машиностроение. 1991. № 10—12. С. 121—123.
2. Подураев В. Н., Борзов А. А., Горюнов В. А. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии. М.: Машиностроение, 1988. 56 с.

А. В. СЛАВИН, канд. техн. наук, В. М. ШУМЯЧЕР, д-р техн. наук
Волжский институт строительства и технологий (филиал)
Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

Механо-химические процессы взаимодействия абразивного инструмента и заготовки при шлифовании металла

Снижение энерго- и материалоемкости процессов механической обработки способствует росту объемов операций шлифования, которые составляют в современном машиностроении 60—70 % [1]. В связи с этим совершенствование технологии абразивной обработки является актуальной проблемой. Один из основных вопросов при исследовании процесса шлифования — определение характера и количественных показателей взаимодействия абразивных зерен и обрабатываемого металла. Отделение стружки абразивным зерном происходит от совокупного действия механических и физико-химических процессов. В соответствии с современными представлениями процесс отделения стружек является следствием как резания, так и пластического течения металла [2—6]. В работе [7] показано, что образование стружек при шлифовании имеет адиабатический характер. Согласно разработанной автором

модели тепловая энергия концентрируется в узкой зоне перед абразивом и зерном, разогревает и разупрочняет металл, вызывая локально-концентрированный сдвиг микрообъема стружки.

Результаты исследований [7, 8] показывают, что с ростом скорости перемещения абразивного зерна при микрорезании толщина стружки уменьшается, что связано с характером течения пластически деформированного объекта по боковым сторонам внедрившегося в металл абразива и его скоростью. Существует некая критическая скорость, до достижения которой абразивное зерно не отделяет микроструктуру металла [8].

Анализ результатов приведенных работ показывает, что образование микростружек является комплексным процессом, являющимся следствием одновременного протекания механических и физико-химических процессов. Следует отметить, что в данной

трактовке описание механизма стружкообразования при шлифовании представлено недостаточно.

В связи с этим представляло интерес описать механо-химические процессы в зоне контакта круг—деталь при шлифовании металла. В результате взаимодействия абразивных зерен и обрабатываемой поверхности происходила активация приповерхностного слоя металла, что вызывало рост его энтропии и смещение констант равновесия химических реакций, протекающих на вновь образуемых поверхностях.

Важнейшим, определяющим эффективность шлифования процессом является образование микростружки металла как результат взаимодействия его с абразивным зерном. При шлифовании металла со скоростью от 35 до 80 м/с время взаимодействия абразивного зерна и обрабатываемого металла составляет от 10^{-5} до 10^{-4} с. Эти условия позволяют рассматривать образование микростружки металла абразивным зерном с позиций теории взрыва. В рамках данной теории область материала вблизи очага взрыва подчиняется законам идеальной несжимаемой жидкости [9, 10]. Металл при взаимодействии с абразивным зерном можно рассматривать как несжимаемую жидкость. По аналогии с задачей гидродинамики об обтекании цилиндра, которым аппроксимируем форму абразивного зерна, определим характер его взаимодействия с металлом. На передней поверхности зерна образуется пограничный слой, который движется в направлении возникающего в контакте давления, а за зерном — против градиента давления. Это приводит к отрыву пограничного слоя с последующей турбулизацией, вызывающей отрыв микростружки.

Воспользуемся данными работы [11] и определим сопротивление перемещению абразивного зерна в слое идеальной несжимаемой жидкости, которой моделируется металл:

$$F_{a.в} = k_f \frac{\mu_{мет} U_a^2}{2} S, \quad (1)$$

где k — коэффициент формы; $\mu_{мет}$ — вязкость металла; U_a — скорость движения абразивного зерна; S — площадь контакта зерна и металла.

При шлифовании число режущих зерен [12]

$$P_c = \frac{B_x^2 - 0,33B_x^3 - B_x \bar{H} [0,667 - \bar{H} - 0,667(1 - \bar{H})(\sqrt{1 - \bar{H}})]}{B_x(2B_x - B_x^2 - \bar{H})}, \quad (2)$$

где B_x — кинематический параметр; \bar{H} — средняя разностиотность абразивных зерен на рабочей поверхности круга.

Кинематический параметр [12]

$$B_x = \frac{v_d \delta}{v_k L_k}, \quad (3)$$

где v_d , v_k — скорости движения детали и шлифовального круга соответственно; δ — расстояние между абразивными зернами; L_k — длина дуги контакта, равная [12]

$$L_k = \left(1 + \frac{v_d}{v_k}\right) \sqrt{2R_k t} \quad (4)$$

(R_k — радиус шлифовального круга, t — глубина шлифования).

Для установления числа режущих зерен необходимо решить задачу об определении длины дуги контакта пары круг—деталь. При круглом наружном шлифовании длина дуги контакта круг—деталь может быть найдена из полученной аппроксимирующей зависимости:

$$l = \left[\arcsin \left(\frac{y}{R_k} \right) \right] R_k,$$

где y — координата пересечения круга и детали.

Тогда количество режущих зерен контакта круг—деталь при круглом наружном шлифовании

$$P_{c1} = \frac{P_c l}{2\pi R_k}. \quad (5)$$

С учетом зависимости (1) определим сопротивление перемещению абразивных зерен в контакте круг—деталь:

$$F_{\Sigma} = k_f S \frac{\mu_{мет} U_a^2 P_c l}{4\pi R_k}. \quad (6)$$

Количество энергии, выделяющейся при перемещении абразивных зерен в контакте круг—деталь, найдем, преобразовав зависимость (6):

$$E_{дисл} = k_f S \frac{\mu_{мет} U_a^2 P_c l^2}{4\pi R_k}. \quad (7)$$

Согласно данным работы [12], толщина среза металла абразивным зерном при круглом наружном шлифовании

$$a_z = 2(v_d/v_k) (\sqrt{t/2R_k}) \delta. \quad (8)$$

Предположим, что микроструктура имеет форму, аппроксимируемую сферой с диаметром $d_{стр} \sim a_z$.

В результате взаимодействия шлифовального круга и обрабатываемой детали в зоне обработки образуется система, состоящая из изотермически несжимаемой среды (СОЖ), микростружек, продуктов износа инструмента. В соответствии с результатами исследований [13] течение СОЖ в контактной зоне круг—деталь подчиняется законам гидродинамической теории смазки. Контактная зона характеризуется микрогеометрическими параметрами поверхностей абразивного инструмента и обрабатываемого материала. Вследствие наличия в контакте

круг—деталь СОЖ возникает давление, которое определяется уравнением Рейнольдса:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial P}{\partial y} \right) = \left(\frac{U_1 + U_2}{2} \right) \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (9)$$

где h — расстояние между средними линиями микропрофилей инструмента и детали; U_1, U_2 — скорости перемещения инструмента и детали; μ — вязкость СОЖ.

Положим, что в контакте круг—деталь перемещается объем СОЖ, равный $h \times \Delta x \times \Delta y$. Тогда с учетом данных работы [14] расходы СОЖ на единицу ширины контакта по координатам x и y :

$$q_x = -\frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial P}{\partial x} + \left(\frac{U_1 + U_2}{2} \right) h; \quad (10)$$

$$q_y = -\frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (11)$$

Средние значения приведенных расходов СОЖ можно определить из уравнений

$$q_x = \frac{1}{\Delta y} \int_y^{y+\Delta y} \left[-\frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial P}{\partial x} + \left(\frac{U_1 + U_2}{2} \right) h \right] \Delta y; \quad (12)$$

$$q_y = \frac{1}{\Delta x} \int_x^{x+\Delta x} \left(-\frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial P}{\partial x} \right) \Delta x. \quad (13)$$

Усредненное уравнение Рейнольдса течения СОЖ в контакте круг—деталь запишем следующим образом:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left(\varphi_x \frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varphi_y \frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial P}{\partial y} \right) = \\ & = \left(\frac{U_1 + U_2}{2} \right) \frac{\partial h}{\partial x} + \left(\frac{U_1 - U_2}{2} \right) \sigma \frac{\partial \varphi_s}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t}, \end{aligned} \quad (14)$$

где σ — совместная дисперсия микрорельефов инструмента (σ_1) и обрабатываемой поверхности (σ_2) ($\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$); φ_x, φ_y — коэффициенты расхода СОЖ по координатам x и y ; φ_s — дополнительный поток СОЖ за счет наличия микрорельефа в контактной зоне.

Для поверхностей с ориентированной шероховатостью [14]

$$\begin{aligned} \varphi_x &= \frac{1}{h^3 E(1/h^3)}; \\ \varphi_y &= \frac{E(h^3)}{h}, \end{aligned} \quad (15)$$

где E — оператор математического ожидания.

При совместном решении уравнений (10) и (11) получаем

$$\begin{aligned} \bar{q}_x &= \varphi_x \frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial P}{\partial x} + \left(\frac{U_1 + U_2}{2} \right) h + \\ &+ \left(\frac{U_1 + U_2}{2} \right) h + \left(\frac{U_1 - U_2}{2} \right) \sigma \varphi_s; \end{aligned} \quad (16)$$

$$\bar{q}_y = \varphi_y \frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (17)$$

Учитывая, что основной объем СОЖ поступает в зону контакта круг—деталь в направлении оси X , совпадающем с вектором скорости резания, определим его количество:

$$Q_{\text{СОЖ}} = -\frac{h^3}{\alpha\mu} \psi_p \frac{\partial P}{\partial x} + hU_1 - \frac{\sigma}{2} \psi_s U_2, \quad (18)$$

где ψ_p, ψ_s — коэффициенты сдвигового и напорного течения СОЖ.

В результате взаимодействия пары шлифовальный круг—деталь отделяются частицы металла (микростружка) и продукты износа инструмента, которые совместно с СОЖ образуют коллоидную систему. Поведение данной системы в зоне шлифования предопределяет интенсивность отвода продуктов диспергирования из контакта круг—деталь. Как показывает анализ значительного числа исследований, одной из основных причин потери режущей способности круга при шлифовании сталей является засаливание его режущего профиля, заключающееся в нивелировании абразивных зерен шламом путем его фиксации в межзеренном (поровом) пространстве. Результаты исследований [15] реологических характеристик систем продукты диспергирования металла, частицы износа инструмента — СОЖ в широком диапазоне составов металла и жидкостей показали, что их поведение удовлетворительно описывается уравнением Муна—Чанга. Течение подобных систем сопровождается пристеночным эффектом и аномальным изменением вязкости в слое у поверхности абразивного инструмента [15]. Вязкость системы

$$\eta_{\text{э}} = A \exp[-B_1(\varphi_m - \varphi)], \quad (19)$$

где A, B_1 — коэффициенты, учитывающие геометрические параметры, полифракционность, состав частиц дисперсной фазы и дисперсионной среды (СОЖ); φ_m — доля объема, занимаемая твердой фазой системы СОЖ + продукты диспергирования при ее предельном упрочнении без разрушения; φ — содержание твердой фазы в системе СОЖ—продукты диспергирования.

В соответствии с данными работы [15] зависимость (19) запишем в виде

$$\eta_{\text{э}} = A \exp[-B_1 k \alpha_z P_c (\varphi_m - 1/\dot{V})], \quad (20)$$

где k — кинематический критерий; \dot{V} — объем единичной стружки металла.

Движение СОЖ с частицами металла и продуктами износа инструмента в контакте круг—деталь имеет характер турбулентного течения. Если микропрофиль абразивного круга имеет высоту значительно большую, чем толщина пограничного слоя СОЖ, то абразивные зерна обтекаются невозмущенным потоком жидкости. Этот процесс характерен для периода работы шлифовального круга после правки. В условиях заполнения межзеренного пространства шламом СОЖ в зоне шлифования совершает турбулентное движение, что интенсифицирует коагуляцию его частиц. В общем случае коэффициент сопротивления течению системы СОЖ + продукты диспергирования в контакте круг—деталь определится зависимостью [11]

$$K^* = \ln\left(\frac{x}{\bar{h}}\sqrt{K_f}\right), \quad (21)$$

где \bar{h} — средняя высота микропрофиля абразивного инструмента, K_f — коэффициент.

Для расчета K_f воспользуемся формулой [12]

$$K_f = \frac{0,074}{Re^{1/5}}, \quad (22)$$

где Re — число Рейнольдса.

Оценка соотношения скоростей коагуляции частиц дисперсной фазы и их образования в зоне шлифования позволяет прогнозировать режущую способность круга. Согласно работе [15], скорость коагуляции частиц шлама в зоне шлифования, т. е. скорость засаливания режущего профиля круга, может быть оценена по зависимости

$$v_{\text{коаг}} \sim R^3 v_0 \left(\frac{ka_z P_c}{\dot{V}}\right)^2 \frac{Re^{3/2}}{L^2}, \quad (23)$$

где R — радиус коагуляции, определяемый как сумма радиусов частиц шлама; v_0 — кинетическая вязкость СОЖ; L — масштаб крупномасштабных движений дисперсной фазы.

Если скорость коагуляции выше скорости образования частиц шлама, происходит засаливание режущего профиля круга.

Условие коагуляции шлама на поверхности круга имеет вид [15]:

$$R^3 v_0 \left(\frac{ka_z P_c}{\dot{V}}\right)^2 \frac{Re^{3/2}}{L^2} > \frac{1}{t}. \quad (24)$$

Согласно условию (24), уменьшение времени контакта абразивного зерна и металла, что соответствует повышению скорости шлифования, приводит к снижению вероятности засаливания инструмента и, следовательно, росту периода между правками.

Таким образом, при шлифовании в контакте круг—деталь образуется система, состоящая из СОЖ, продуктов диспергирования металла и износа инструмента, характер течения которой регламентируется соотношением дисперсионной среды (СОЖ)

и дисперсной фазы (шлама). Одной из основных причин потери режущей способности круга является нивелирование его рабочей поверхности шламом (засаливание). Физическая сущность данного явления заключается в развитии коагуляционных контактов частиц шлама с абразивным зерном и связкой инструмента. Управление процессом засаливания может быть реализовано путем изменения скорости вращения круга, режимами правки, а также варьированием состава СОЖ путем введения компонентов, изменяющих реологические характеристики шлама.

С целью проверки полученных результатов был выполнен комплекс экспериментов, включающих изучение характера течения шлама в контакте круг—деталь с определением его реологических характеристик. Введение в состав СОЖ компонентов, обеспечивающих стабилизацию частиц шлама путем образования вокруг них слоев типа защитных коллоидов, обеспечивает оптимальное соотношение пластической вязкости и предельного напряжения разрушения шлама. Экспериментально показано, что применение СОЖ, в которые введены компоненты, минимизирующие пределы напряжения сдвига системы СОЖ + продукты диспергирования при максимальной пластической вязкости, позволяет сохранять в течение всего цикла обработки высокую режущую способность абразивного инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Завьялова Т. В.* Высокопроизводительное шлифование: Учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1990. 50 с.
2. *Резников А. П., Гаврилов Г. М.* Абразивная и алмазная обработка материалов. М.: Машиностроение, 1977. 384 с.
3. *Балкиров Т. С.* Повышение эффективности шлифования магнито-твердых материалов за счет использования схемы глубинной обработки и высокопроизводительных абразивных кругов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1992. 19 с.
4. *Грановский Т. И., Грановский В. Г.* Резание металлов: Учебник. М.: Высшая школа, 1985. 304 с.
5. *Вагер И.* Зона контакта круга с деталью при плоском шлифовании // CIRP Ann. 1990. № 1. С. 349—372.
6. *Робе В.* Исследование зоны контакта шлифовального круга с заготовкой // Proc. 13th Int. MATADOR conf. Manchester, 1993. С. 187—193.
7. *Филимонов Л. Н.* Высокоскоростное шлифование. Л.: Машиностроение, 1979. 248 с.
8. *Байкалов А. К.* Введение в теорию шлифования материалов. Киев: Наукова думка, 1978. 207 с.
9. *Исследования по теории функций комплексного переменного с применением к механике сплошных сред / Ред. кол. Ю. А. Митропольский и др.* Киев: Наукова думка, 1986. 208 с.
10. *Забабахин Е. И., Забабахин И. Е.* Явления неограниченной куммуляции. М.: Наука, 1988. 173 с.
11. *Левич В. Г.* Физико-химическая гидродинамика. М.: Государственное изд-во физико-математической литературы, 1959. 700 с.
12. *Островский В. И.* Теоретические основы процесса шлифования. Л.: Изд-во Ленинградского государственного университета, 1981. 137 с.
13. *Ефимов В. В.* Научные основы техники подачи СОЖ при шлифовании. Саратов: Изд-во Саратовского государственного университета, 1985. 134 с.
14. *Потир Ч.* Модель усредненного течения для определения влияния трехмерной шероховатости на частичную гидродинамическую смазку // Проблемы трения и износа. 1986. № 1. С. 10.
15. *Славин А. В.* Управление процессом шлифования на основе моделирования механо-химических явлений в зоне обработки: Дис. ... канд. техн. наук. Волжский, 2000. 132 с.

А. С. МОСЯГИН, инж.
(ОАО "ОКБ Сухого")

И. В. АЛЕКСЕЕВ, инж., И. Д. МИХНИН, инж.
(РКК "Энергия")

Технологический процесс изготовления сварных сотоблоков

Сотовые панели широко применяют в авиационной промышленности при изготовлении радиаторов, теплообменников солнечных батарей и др. Применение сотовых конструкций обеспечивает комплекс следующих положительных конструктивно-технологических эффектов:

- уменьшение массы конструкции на 20—40 % по сравнению с аналогом механического способа изготовления;

- увеличение жесткости конструкции, особенно в условиях работы при крутящих моментах;

- увеличение акустической стойкости и вибропрочности;

- улучшение качества аэродинамической поверхности, тепло- и звукоизоляционных свойств;

- расширение возможности стандартизации панелей и нормализации типовых элементов и их соединений.

При одинаковой несущей способности в условиях рабочих температур стальные панели с сотовым наполнителем тяжелее титановых стрингерных и гофровых панелей. Однако с повышением рабочей температуры весовая эффективность стальных сотовых панелей по сравнению с ти-

тановыми возрастает вследствие значительного снижения прочностных характеристик титана по сравнению со сталью. Сотовые панели представляют трехслойную конструкцию, состоящую из тонколистовых обшивок и расположенного между ними сотового наполнителя из фольги (рис. 1).

Цель данной работы — разработка технологического процесса резки, формовки, сварки сотового наполнителя — сотоблока.

Наиболее применяемыми являются сотоблоки с ячейками в виде шестигранника со сторонами 3 и 6 мм или квадрата со сторонами 5 и 6 мм. Диапазон высот сотоблока от 5 до 120 мм. Зависимость объемной массы наполнителя от размеров ячейки и толщины фольги приведена на рис. 2.

Работу проводили в рамках договора на изготовление трех пар сотоблоков из сталей ЭП654 (2Х18Н12СИТЮ) и 12Х18Н10Т размером 560 × 560 × 120 и 360 × 360 × 120 мм соответственно. Толщина исходного материала составляла 0,2 мм с размером стороны шестигранной ячейки 6 мм (рис. 3).

В процессе отработки технологического процесса изготовления сотоблоков выявили следующие недостатки и технологические особенности.

При резке фольги в размер ширины сотового наполнителя 120 мм при помощи дисковых ножниц НА-400 важно отсутствие люфта между резательным диском и барабаном, образующегося в результате выработки валов, на которых установлены резательный диск и барабан. Важны также на-

тяжение и направление ленты под дисковые ножи, которые обеспечивает направляющий стол.

При отработке технологии формообразования фольги гибкой прокаткой на станке СГФ-4 в зубча-

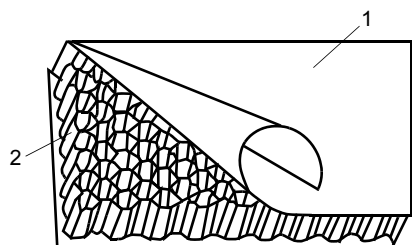


Рис. 1. Типовая конструкция сотовой панели: 1 — обшивка; 2 — сотовый наполнитель

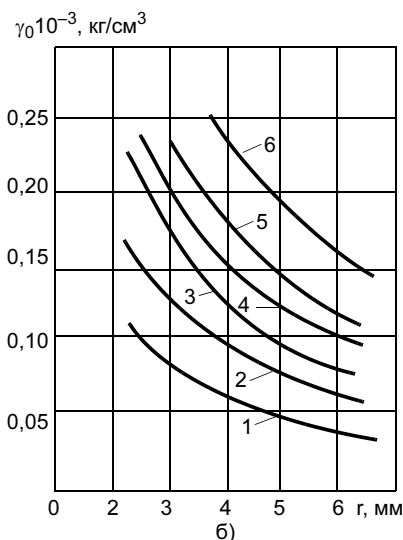
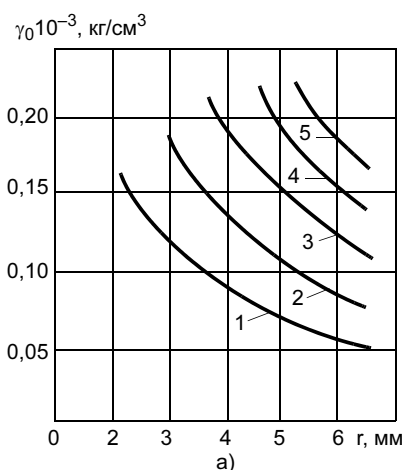


Рис. 2. Зависимость объемной массы наполнителя γ_0 от размеров ячейки r , ее толщины δ и формы: а, б — прямоугольная и шестиугольная форма соответственно; 1—6 — δ равно 0,02, 0,03, 0,04, 0,05, 0,06 и 0,08 мм соответственно

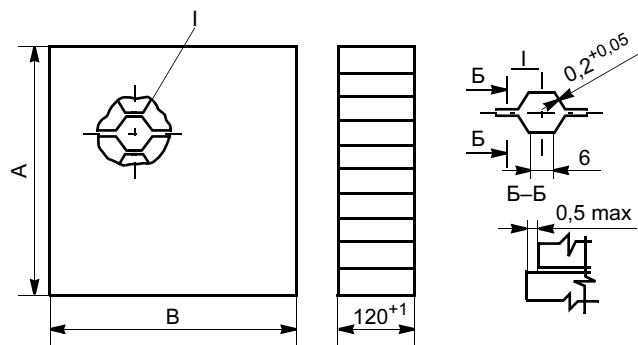


Рис. 3. Эскиз оптимального варианта конструкции сотоблока

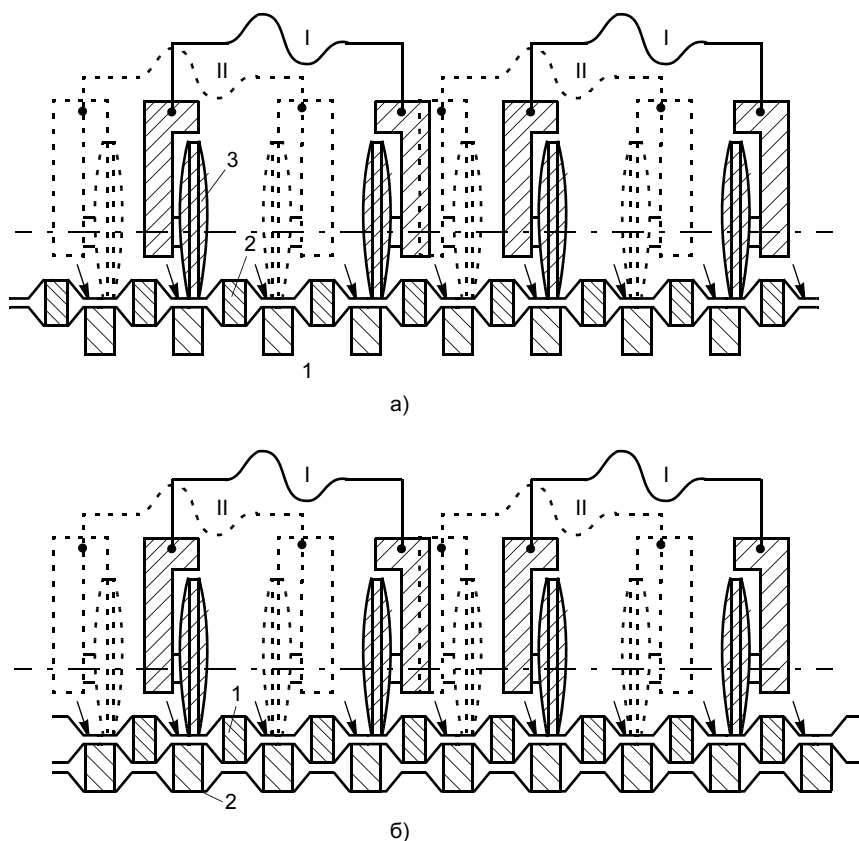


Рис. 4. Схема сварки сотовой панели: а, б — первая и вторая позиции сварочного ролика соответственно

тых роликах решающее значение имеет регулировка шага между ячейками сотового заполнителя и высота его ячейки. Указанные параметры выбирали согласно высоте и шагу между шпильками электродной гребенки машины МРСК-150. Резку формованной фольги в размер длины сотовой панели с припуском две—три волны проводили вручную обычными ножницами по металлу.

Технологию сварки сотовых панелей из фольги толщиной 0,2 мм отработывали заново с учетом особенностей установки для контактной роликовой сварки МРСК-150. Технологические режимы сварки (длительность импульса тока, длительность паузы, нагрев, скорость сварки, усилие электродов, положения ступени трансформатора) подбирали экспериментально на технологических образцах.

Для определения режима сварки технологические образцы-свидетели подвергали разрушению в тисках (испытания на вырыв).

В результате отработанной основной технологической цикл сварки сотовой панели.

Предварительно сформированную ленту, нарезанную по длине сотовой панели, с припуском две—три волны укладывают на шпильки электродной гребенки 1 (рис. 4). В это время электродная гребенка со шпильками 2 отведена в сторону. После укладки первой ленты подводится гребенка со шпильками, которые располагаются сверху первой ленты. Затем укладывается вторая сформированная лента. После этого опускаются сварочные ролики 3, сгруппированные парами и создающие сварочное давление. Сварку выполняют двумя швами с предварительной прихваткой, ширина рабочей поверхности роликов 1,0—1,5 мм, шаг — 4,0—4,5 мм. В связи с малым шагом ячеек сотового заполнителя невозможно расположить рядом все ролики, поэтому их группировали парами с некоторым интервалом. После сварки одних швов блок сварочных роликов переводили для сварки других (см. рис. 4, а, положение II, штриховые линии).

После сварки всех ячеек гребенка 1, на которой производили сварку, отводится в сторону, затем поднимается вверх на некоторую величину и одновременно другая гребенка 2 на такую же величину опускается вниз. Как только вертикальное перемещение гребенок заканчивается, гребенка 1 замыкается с гребенкой 2. Затем укладывается третья лента, и сварка производится на гребенке со шпильками. Здесь вся система сварочных роликов смещается при помощи фиксирующейся каретки влево на полшага, так как шпильки 2 смещены относительно шпилек 1 на полшага сотовых ячеек. Далее процесс сборки и сварки повторяется, образуя сотоблок.

З. А. СИДЛИН, д-р техн. наук
ООО "Техпром" (Москва)

К вопросу о качестве современных отечественных электродов для ручной дуговой сварки

Оценка качества продукции потребителем и изготовителем чаще всего разнится, причем весьма существенно. Тем более такое положение справедливо для сварочно-технологических свойств электродов, которые в последние годы становятся определяющими при выборе потребителем. Изменилась и база для сравнения: у большинства потребителей появился реальный доступ к электродам лучших мировых производителей. Изготовители же, как правило, по-прежнему ориентируются на нормы основного стандарта — ГОСТ 9466—75, а не на свойства лучшей рыночной продукции. Во многом это связано с недостаточным пониманием персоналом заводов-изготовителей последствий нарушений технологии изготовления электродов для фактической работоспособности сварных конструкций.

Проследить такую цепочку можно, составив таблицу, в которой для всех операций технологического цикла производства электродов прослеживается взаимосвязь качество электродов—качество сварных изделий: операция—возможные виды нарушений—причины возникновения—последствия для качества электродов—последствия для сварных конструкций [1].

По большому счету для потребителя неважно, сколько сил и средств вложил (и вложил ли вообще) изготовитель в совершенствование выпускаемой продукции. Его интересует возможность приобретения оптимальных по техническим и ценовым показателям сварочных материалов. В то же время здоровый консерватизм, многолетний опыт применения, нормативная база обуславливают использование потребителем привычных материалов. Поэтому рассмотрим изменение фактического уровня качества отечественных электродов на основе опубликованных данных.

Наиболее подробные исследования и анализ качества сварочных электродов на стадии их изготовления и потребления в течение многих лет проводили в Белоруссии [2—6]. По данным этих исследований, причины возникновения дефектности швов имеют следующие уровни вероятности, %: сварочные материалы — 5—62; подготовка и сборка конструкций — 6—45; квалификация исполнителей — 4—32; сварочное оборудование — 7—19.

Для электродов общего назначения выявлены значительные колебания по содержанию в наплавленном металле углерода (в сторону повышения) и марганца (в сторону уменьшения) при высокой суммарной вероятности таких отклонений. В части общих технических требований наибольшая вероятность отклонений от норм существует по разбрызгиванию и зачистке контактного торца — по 11 %, разнотолщинности и качеству формирования шва — по 10 %, порам и шлаковым включениям — 9 %.

На стадии потребления электродов кроме приведенных причин значимо влияет качество упаковки, возможность потери качественных показателей при неудовлетворительной транспортировке, хранении, погрузочно-разгрузочных работах, небрежном обращении, отсутствие возможности необходимой прокалки (просушки).

По данным проведенного в 1984 г. ИЭС им. Е. О. Патона выборочного обследования 15 машиностроительных предприятий, при входном контроле бракуется 6,3 % электродов общего назначения и 11,1 % специальных электродов [7], и это с учетом существовавшего дефицита электродов. При проведении сварочных работ в строительстве дефектность из-за некачественных сварочных материалов составляла в те же годы 26,3 % [3]. При изготовлении нефтехимической аппаратуры доля брака из-за низкого качества сварочных материалов превышала 10 % общего объема подлежащих исправлению швов.

По данным акад. И. К. Походни, проверка качества электродов на 10 заводах-изготовителях показала, в частности, что на некоторых из них до 40 % проверенных электродов не соответствовали требованиям стандарта по какому-либо из контролируемых показателей. Наибольшее количество нарушений отмечено по следующим параметрам: разнотолщинность покрытия — до 38 %, длина зачищенного покрытия торца — до 36 %, оголенность контактного торца — до 28 %. Следует отметить, что высокий процент брака был характерен для электродов, изготавливаемых как на отечественном оборудовании, так и на импортном [8].

Причины такого положения имели как технический характер (нестабильность и дефицит сырья, неудовлетворительные характеристики и состояние

оборудования, технологической дисциплины, систем контроля и др.), так и экономический (дефицит электродов, издержки централизованного распределения, нерациональная система оплаты труда) [9].

Ряд этих причин устранен, и теперь на одно из первых мест выходит злободневная и для изготовителей, и для потребителей электродов проблема идентификации товара для обнаружения и (или) предупреждения фальсификации.

В сварочной технике различные электроды известны главным образом по своим марочным наименованиям, которые установлены технической документацией организаций-разработчиков и изготовителей. В СССР и на постсоветском пространстве по принятой практике в буквенном обозначении марки электродов в закодированном виде, как правило, представлено наименование организаций-разработчиков, которые в большинстве случаев не являлись изготовителями [10]. Такая практика присвоения марочных наименований электродов существенно отличается от принятой в странах, где фирменные наименования марок юридически защищены.

В СССР по существовавшему законодательству передача нормативно-технической документации от разработчика к изготовителю чаще всего осуществлялась безвозмездно — "в порядке оказания технической помощи". Поэтому электроды серий АНО, МР, ОЗС, ОЗЛ и др. в настоящее время выпускают, как правило, без надзора разработчиков. Более того, проводимая предприятиями-изготовителями без ведома организаций-разработчиков модернизация существующих марок направлена главным образом на снижение себестоимости электродов, весьма часто в ущерб их качественным характеристикам. В результате этого, а также из-за существенной разницы в техническом уровне различных производств, выпускающих формально электроды одних и тех же марок, электроды, имеющие одинаковое марочное наименование, но изготовленные разными производителями, могут существенно отличаться по своим свойствам. Поэтому грамотный потребитель при практическом выборе электродов ориентируется не только на их марку, но и на репутацию предприятия-изготовителя, во многом зависящую от квалификации его персонала и политики его руководства.

С целью выделения своей продукции среди аналогичной рядом предприятий в настоящее время приняты двойные марочные наименования, дополнительно включающие обозначения заводов, например, ЛЭЗМР-3, ЛЭЗЦЛ-11 (Лосиноостровский электродный завод), Ротекс-ОЗС-12 (Судиславский завод сварочных материалов "Ротекс") и др. В то же время идет цивилизованный процесс появления настоящих фирменных электродов, в частности, серии SE (SE-08-00, SE-46-00 и др.) завода свароч-

ных материалов "СИБЭС", МТГ (МТГ-01, МТГ-02, МТГ-03) Сычевского электродного завода, ЛЭЗ (ЛЭЗ-04, ЛЭЗ-99 и др.) Лосиноостровского электродного завода и др.

Изготовители электродов в своей практической деятельности неоднократно сталкиваются с фальсификацией поставляемых сырьевых материалов и сварочной проволоки (замена сортов и марок, подделка сертификатов качества и происхождения и др.). Но и сами изготовители электродов из коммерческих соображений могут поставлять фальсифицированные электроды (более дешевые ильменитовые под видом рутиловых, изготовленных на проволоке, не соответствующей нормативной документации, и т. д.). Применительно к электродам, являющимся ответственным видом продукции, обеспечивающим надежность и безопасность многих объектов, такая фальсификация недопустима. Тем более, что на предприятиях, не располагающих специалистами высокой квалификации и испытательным оборудованием, изменения в известные марки вносят, ориентируясь лишь на внешние признаки электродов и некоторые из сварочно-технологических свойств. Впрочем, проблема фальсификации характерна для рынка России и СНГ в целом. Борьбу с ней необходимо вести законодательно на государственном уровне. Она уже начинается, как известно, с производством контрафактной видео- и печатной продукции, виноматериалов и др. Дело дойдет и до сварочной продукции.

В то же время фальсификацию не следует путать с "товарами-заменителями". Например, электроды с ильменитовым покрытием являются полноценной продукцией, но на их маркировке, в сертификатах, товаросопроводительных и информационных документах должно быть указано их подлинное наименование, а цена — соответствовать их качеству и происхождению.

До выполнения затратных работ по повышению качества электродов целесообразно проведение технологического аудита приглашенным квалифицированным специалистом. Технологический аудит — это обследование производственных мощностей предприятия и применяемой технологии с целью выработки оптимальных по технико-экономическим показателям технологических решений по техническому заданию заказчика. При этом знания и опыт аудитора — высококвалифицированного специалиста, способного к независимой оценке, сочетаются с опытом работы и знанием особенностей конкретного производства заводских технологов. Аудитор способен оценить технологический уровень данного производства в сравнении с конкурентами. Именно технологический аудит позволяет решить одну из основных проблем заводских технологов — недостаток аргументации для руководителей, обос-

новывающей необходимости тех или иных новшеств. К сожалению, современный руководитель производства часто не имеет собственного технологического опыта и поэтому испытывает сомнения (часто необоснованные) в правильности предлагаемых специальных решений, а заводской технолог не имеет достаточных знаний в области экономики и потребительского рынка, а также авторитета. Сочетая эти знания, аудитор-технолог адресует свое заключение не только руководителям предприятия, но и владельцам и инвесторам.

Подчас можно услышать утверждения, что недостатки отечественных электродов связаны с "устаревшими формулами покрытий", т. е. с их составами [11]. По мнению автора, это справедливо лишь для электродов узкого назначения, например для трубопроводного строительства. При соблюдении фирменных составов и технологии изготовления отечественные электроды по качественным показателям достаточно конкурентоспособны. Об этом, в частности, свидетельствует успешная работа шведского предприятия "ЭСАБ-СВЭЛ" (С.-Петербург), выпускающего наряду с электродами серии ОК и российские марки электродов УОНИ, ОЗС-12 и др. [12].

Дело в другом — в степени стабильности качества выпускаемых электродов. Именно нестабильность качества, присущая продукции многих заводов и связанная в основном с их низким техническим уровнем, резко снижает конкурентоспособность отечественных электродов. Известно, что "технология изготовления электродов оказывает непосредственное и часто решающее влияние на физические и металлургические процессы, протекающие при образовании сварного шва, и, следовательно, на качество швов и на сварочно-технологические характеристики электродов. Положительные свойства любой хорошей марки электродов могут быть сведены к нулю, если не будут удовлетворительно разрешены вопросы технологии промышленного их изготовления. Правильное решение этих вопросов имеет в настоящее время большее значение, нежели редко оправданное "изобретательство" бесконечного числа новых или "модернизация" существующих марок электродов" [13]. Это утверждение, датированное 1950 г., справедливо и в настоящее время.

Большие ожидания потребителей вкладывались в системы управления качеством и сертификации. Однако во многих случаях такая работа носит чисто формальный характер, не сказываясь определяющим образом на реальном качестве сертифицированной продукции. Наиболее характерен в этом отношении опыт работы по нормам Гостехнадзора в системе НАКСа.

И все же по настоящее время на рынке доминирует продукция отечественных производителей, хо-

тя цены на нее близки к мировым, а государственный протекционизм отсутствует. При этом отмечен (по данным государственной статистики) определенный рост объемов выпуска и применения электродов за счет имеющихся положительных факторов внутреннего рынка:

- улучшения точности изготовления, качества зачистки торцев, внешнего вида электродов;
 - улучшения качества упаковки;
 - широкого внедрения поштучной маркировки электродов, обеспечивающей идентификацию не только по маркам, но и по производителям;
 - снижения беспорядочного производства электродов-заменителей;
 - возрастания доли электродов под брендами предприятий-изготовителей;
 - начала активного внедрения рядом предприятий электродов с повышенными сварочно-технологическими свойствами;
 - заметного уменьшения средневзвешенного диаметра выпускаемых электродов;
 - ухода с рынка недостаточно качественной продукции закрытых высокочрезвычайно технически устаревших крупных производств (Череповецкого СПЗ, Магнитогорского ММЗ, Щелковского завода "Спецмонтажизделие" (Московская обл.), Одесского СПЗ, Сулинского металлургического завода и др.), низкокачественной продукции, а также целого ряда мелких предприятий;
 - укрепления ряда предприятий средней мощности (до 10 тыс. т), обладающих большой мобильностью и возможностями диверсификации производства (Опытный завод сварочных материалов ИЭС им. Е. О. Патона, Электродный завод (С.-Петербург), Межгосметиз-Мценск, СЗСМ "Ротекс"; Волгодонский электродный завод и др.), а также небольших заводов, выпускающих спецэлектроды (Завод сварочных материалов (г. Березовский), "Электрод Сервис" (Московская обл.), "Аркэс" (Донецк) и др.);
 - перехода высококвалифицированных кадров с опытом работы из вузов и НИИ непосредственно на производство;
 - увеличения ассортимента источников питания и улучшения их характеристик, расширяющих технологические возможности используемой номенклатуры электродов.
- По версии Минпромэнерго России "Стратегия развития российской металлургии до 2015 г.", ожидаемый рост производства/потребления готового стального проката возрастет с 58,2/33,4 до 66/44 млн т или 113,4/131,7 % соответственно [14]. С учетом существующих прогнозов по стабилизации доли ручной дуговой сварки и известной пропорциональности потребления стального проката и сварочных материалов это означает соответствующую

щий рост потребления и производства электродов. Очевидно, что в ближайшее время отечественных производителей электродов ожидает существенно более жесткая конкуренция с фирмами-лидерами мирового производства сварочных материалов и успех в этой борьбе потребует значительных инвестиций в развитие и налаженного диалога с потребителем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Жизняков С. Н., Сидлин З. А.* Ручная дуговая сварка покрытыми электродами строительных конструкций // Библиотека "Ротекса". 2001. Вып. 4. 46 с.
2. *Денисов Л. С.* Повышение качества сварки в строительстве. М.: Стройиздат, 1982. 160 с.
3. *Денисов Л. С.* Достижения и проблемы в практике управления качеством сварочных работ // Контроль и управление качеством сварки. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1984. С. 12—26.
4. *Денисов Л. С.* Анализ производственных факторов качества и причин образования дефектности. Минск: Белстройнаука, 1991. 24 с.
5. *Денисов Л. С., Занковец П. В.* Управление качеством сварочных работ // Автоматическая сварка. 1996. № 12. С. 26—31.

6. *Денисов Л. С.* Качество сварочных электродов, опыт их сертификации, тенденции и направления развития // Электродное производство на пороге нового тысячелетия. С.-Петербург, 2000. С. 173—178.
7. *Троицкий В. И., Ядченко Ю. Г.* Пути управления качеством сварочных электродов в отрасли // Резервы повышения эффективности сварочного производства. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1987. С. 11—119.
8. *Походня И. К.* Перспектива развития производства сварочных материалов и пути повышения их качества // Сварочное производство. 1989. № 9. С. 18—21.
9. *Яровинский Х. Л., Сидлин З. А.* К проблемам отечественного электродного производства // Сварочное производство. 1989. № 4. С. 2—3.
10. *Жизняков С. Н., Сидлин З. А.* Ручная сварка. Материалы. Оборудование. Технология. Киев: Экотехнология, 2006. 368 с.
11. *Иоффе И. С., Гаверилин Ю. М.* Повышение конкурентоспособности российских электродов // Сварочное производство. 2004. № 7. С. 50—51.
12. *Каталог "Сварочные материалы ESAB".* М.: ООО "ЭСАБ", 2006. 98 с.
13. *Соколов Е. В.* Электроды с качественным покрытием и их производство // Автогенное дело. 1950. № 11. С. 26—30.
14. *Обновление стратегического назначения // Металлоснабжение и сбыт.* 2007. № 4. С. 14—24.

В. А. ПОЛОВЦЕВ, канд. техн. наук, Н. В. МАКАРОВ, инж., Г. В. ШИЛЛО, инж., А. В. САБАНЦЕВ, канд. техн. наук, Т. Н. СМЕРНОВА, инж. (ГКНПЦ им. М. В. Хруничева), М. М. ШТРИКМАН, д-р техн. наук (ОАО "НИАТ")

Фрикционная сварка алюминиевых лейнеров металлокомпозитных баллонов высокого давления

В России различные виды сварки трением широко применяют во многих отраслях промышленности уже более полувека. Ряд изобретений в этой области защищены авторскими свидетельствами СССР и патентами РФ, в том числе в 1967 г. способ сварки линейных швов трением вращающимся стальным стержнем¹. Однако на фоне появившихся в 60—80-х годах прошлого века прогрессивных способов сварки плавлением (электронным и световым лучом, плазмой дуги, лазером и др.) данный способ не нашел в тот период своего дальнейшего развития.

Началом активного исследования и промышленного освоения этого способа явилось патентова-

ние в 1991 г. Институтом сварки Великобритании (TWI) аналогичного "Усовершенствованного способа фрикционной сварки" (Improvements to Friction Welding)².

В последние годы, судя по многочисленным зарубежным публикациям [1, 2], продолжает расширяться сфера практического использования процесса фрикционной сварки (ФС) в разных отраслях промышленности: авиастроении [3—5], ракетно-космическом производстве [6, 7], судостроении [8—9], атомной промышленности [10], вагоностроении [11] и др.

Технико-экономические преимущества процесса ФС делают этот процесс высокоэффективным для сварки неразъемных со-

единений интегральных конструкций из высокопрочных алюминиевых сплавов. В ряде случаев процесс не имеет альтернативы — когда в соединение входят сплавы, не свариваемые или ограниченно свариваемые традиционными способами сварки плавлением. Известно [12], что сплав 1201, а также сочетание его со сплавом АМг6 являются трудносвариваемыми сваркой плавлением. Однако с учетом высоких эксплуатационных характеристик этих сплавов в интервале рабочих температур их использование считается целесообразным в качестве конструкционных материалов для топливных баллонов: сплав АМг6 — для листовых элементов оболочки и сплав 1201 — для жестких.

¹ А. с. 195846 (СССР).

² Европейский патент 0615480.

В ГКНПЦ им. М. В. Хруничева работы по исследованию и внедрению способа ФС были начаты в начале 2002 г. За истекший период совместно с ведущими институтами — ОАО "НИАТ" (технологическим) и ОАО "Композит" (материаловедческим) — разработана технология ФС [13] и проведены исследования свариваемости, физико-механических и эксплуатационных свойств сварных соединений различных полуфабрикатов сплавов АМг6, 1201 и их сочетаний, полученных ФС, при температурах эксплуатации 150, 20, -196, -253 °С.

Установлено, что разработанные авторами параметры технологии и режимы ФС обеспечивают высокие прочностные и антикоррозионные свойства соединений этих сплавов в одноименном и разноименном сочетаниях в широком диапазоне рабочих температур [14].

Высокий уровень качества и прочностных характеристик сварных соединений позволил применить ФС для изготовления алюминиевого лайнера металлокомпозитного баллона высокого давления.

Конструкция лайнера состоит из двух дна изотензoidalной формы с вваренными круговыми швами фланцами, соединяемыми заключительным кольцевым швом (рис. 1, а). Сварка заключительного шва выполняется на разборном подкладном кольце (рис. 1, б).

Ранее предпринимались попытки изготовления аналогичного лайнера с толщиной оболочки 2,0 мм с применением автоматической сварки плавлением в инертном газе вольфрамовым электродом со сваркой заключительного кольцевого шва на остающейся технологической подкладке. Однако дефекты, возникающие при сварке заключительного кольцевого шва, значительно снижали работоспособность лайнера, особенно при циклических нагрузках, что не позволяло достичь стабильности свойств и требуемого запаса прочности.

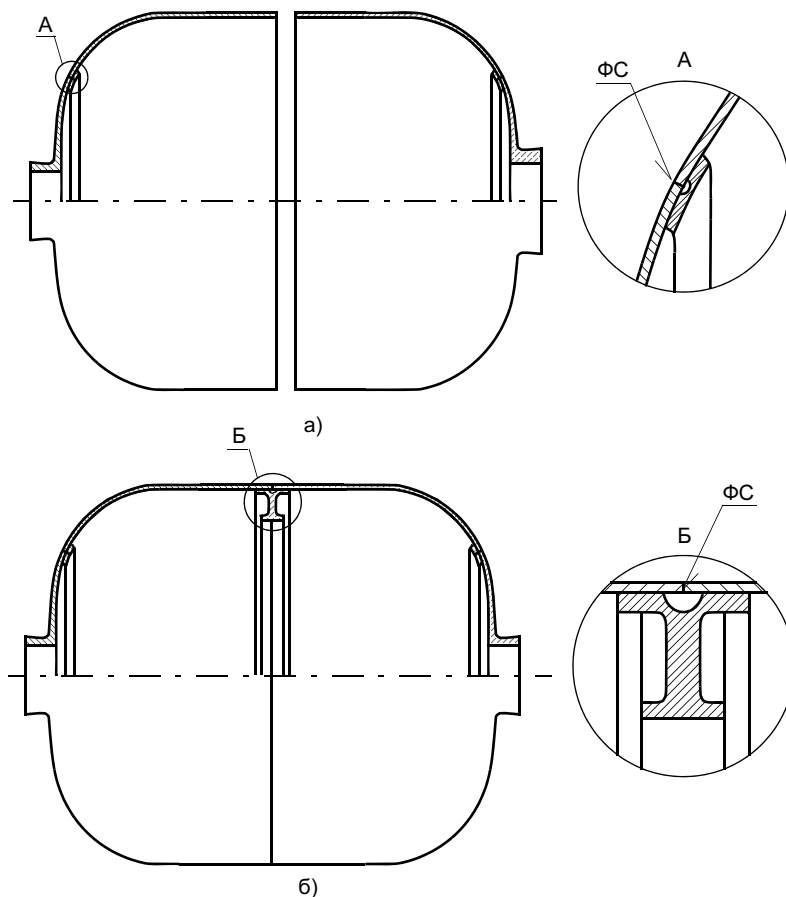


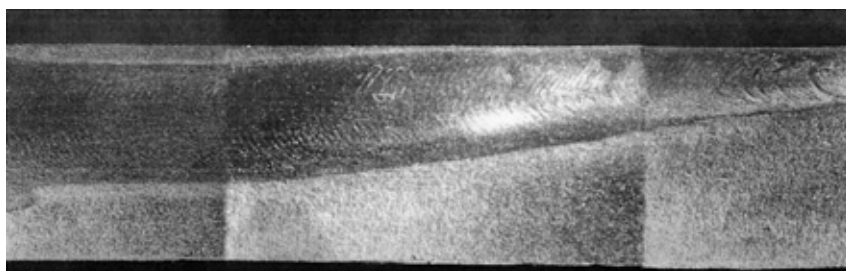
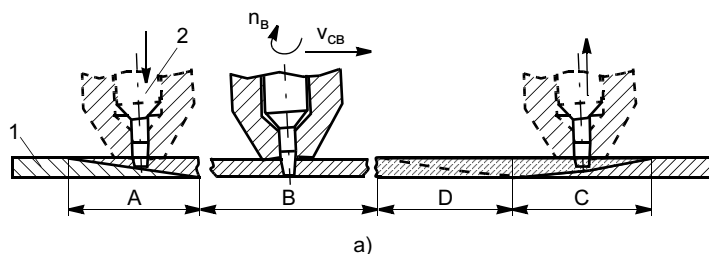
Рис. 1. Схема сборки-сварки (ФС) круговых (а) и кольцевых (б) швов лайнера

Особую трудность при выполнении кольцевого шва вызывает требование к точности сборки под фрикционную сварку — плотное прилегание соединяемых кромок к подкладке на всей протяженности шва [13]. При наличии зазора между кромками свариваемого стыка и подкладкой усилие на сварочном инструменте в процессе сварки приводит к образованию "хлопуна" перед ним, высота которого при перемещении инструмента увеличивается, при этом нарушается формирование конечного участка шва. Для предупреждения такого нарушения сварку кромок под сварку на кольцевой подкладке осуществляли с применением метода термофиксации³: соединяемые кромки перед сборкой подогревали до 200 °С. Поскольку наружный диаметр под-

кладного кольца на 1,5—2,0 мм превышал номинальный внутренний диаметр кромок дна, после охлаждения кромки плотно, с натягом прилегают к кольцевой подкладке и испытывают напряжения растяжения, достаточные для сохранения плотного контакта кромок с подкладкой на всем протяжении соединения, чем обеспечивается качественное формирование кольцевого шва.

Специфической особенностью процесса ФС является образование кратера, оставляемого в конце шва инструментом после выведения его из стыка. Проблема устранения остающегося кратера возникает особенно остро при сварке замкнутого (кольцевого или кругового) шва, когда нет возможности завершить сварку на технологической пластине или на припуске. Исследование различных способов решения этой проблемы показало, что рациональнее разрабо-

³ Патент 2290290 (РФ).



б)

Рис. 2. Схема введения в стык и выведения из него рабочего стержня сварочного инструмента (а), продольный макрошлиф конечного участка шва (б) (А, С — зоны ввода и вывода инструмента, В — зона шва без перекрытия, D — зона перекрытия начала шва): 1 — листовая заготовка ($\delta = 4$ мм); 2 — инструмент

тать способ исключения образования кратера, чем его устранять.

С этой целью за рубежом применяют инструмент с подвижным рабочим стержнем⁴. Авторами данной работы разработан вариант конструкции сварочного инструмента с подвижным рабочим стержнем. На рис. 2, а приведена схема внедрения рабочего стержня сварочного инструмента в стык и вывода из шва. В начале процесса вращающийся инструмент с убранным в корпус инструмента рабочим стержнем опускали до требуемого контакта опорного бурта с поверхностью соединяемых кромок; с этого момента начинали внедрять рабочий стержень в стык, а движение по вертикали корпуса с опорным буртом прекращали. При этом одновременно производили перемещение вращающегося инструмента вдоль линии стыка. После полного оборота и перекрытия начального участка шва на 40—50 мм рабочий стержень инструмента постепенно выводили из стыка, затем отводили инструмент от поверхности де-

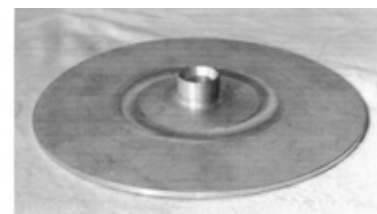
тали, прекращали его перемещение по линии стыка и отключали вращение. На продольном макрошлифе (рис. 2, б) видно, что при этом конечный участок сварного шва формируется без дефектов.

Технология сборки-сварки круговых швов, имитирующих соединение днища с фланцем (рис. 3, а) и кольцевых швов баллона (рис. 4), предварительно отработанная на натуральных образцах, обеспечила высокое качество сварных швов (рис. 3, б).

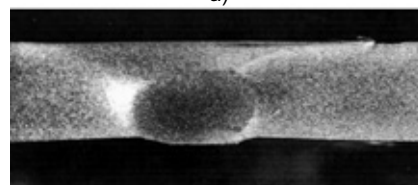
Сварку круговых швов и замыкающего кольцевого шва лейнера производили на следующем режиме: частота вращения инструмента 800 об/мин, скорость сварки 200—250 мм/мин. Для уменьшения вероятности образования дефекта в виде непровара в корне шва сварку выполняли на подкладных элементах с технологической канавкой под линией стыка. Сварные швы отличаются хорошим формированием, внешние и внутренние дефекты практически отсутствуют. Для сварки применяли разработанный авторами данной работы инструмент из теплопрочной износостойкой термически обработанной по определенному режиму стали типа

Р6М5, который выдерживал высокие напряжения кручения, изгиба и сжатия при нагреве до 550 °С в течение всего цикла сварки.

Экспериментальная сварочная установка (рис. 5) в комплексе с оснасткой и со специализированной сварочной головкой позволила реализовать необходимые функциональные настроечные и рабочие перемещения сварочного инструмента и свариваемого стыка относительно друг друга по всей протяженности соединения, а также обеспечить стабильность параметров режима с возможностью их регулирования. С применением разработанного комплекса оборудования отработаны оптимальные параметры технологии и режимы сварки применительно к резервуарам из алюминиевых сплавов 1201 и АМгб и сварены экспериментальные конструкции из этих сплавов (см. рис. 4). По завершении сварки кольцевого шва про-



а)



б)

Рис. 3. Образец-имитатор кругового шва лейнера (а) и макроструктура шва (б)



Рис. 4. Лейнер баллона высокого давления, сваренный ФС

⁴ Патент 5697544,0289603 (США), 98/00861 (Швеция).

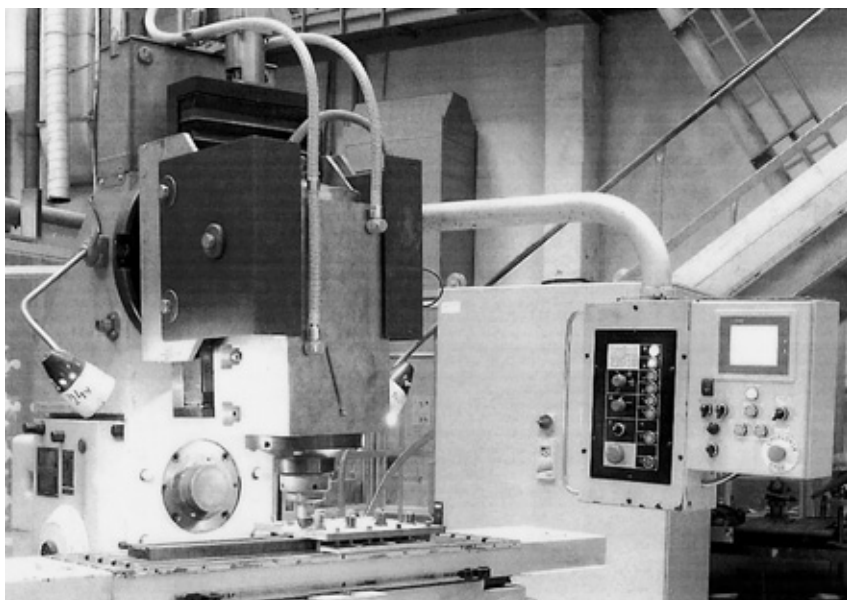


Рис. 5. Экспериментальная установка для ФС

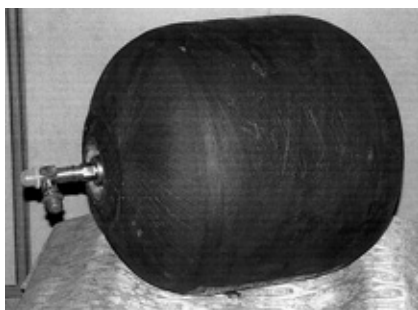


Рис. 6. Опытный металлокомпозитный баллон высокого давления

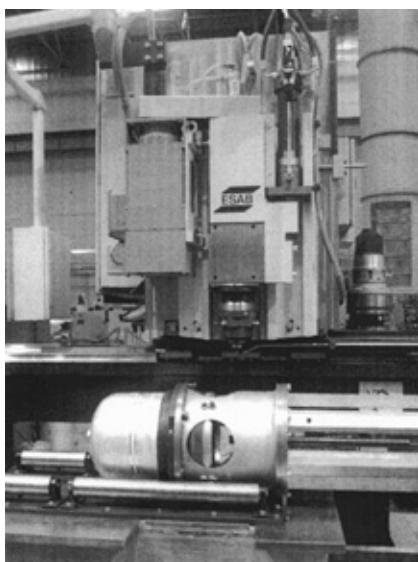


Рис. 7. Сварка лайнера на производственной установке

изготавливали демонтаж подкладного кольца с разборкой его на отдельные части и выемку каждой из них через технологическое отверстие диаметром 53 мм в одном из фланцев днища. После рентгеновского контроля и приемочных пневмоиспытаний лайнеры передавали на намотку силовой оболочки.

Готовые металлокомпозитные баллоны (рис. 6) подвергали комплексным динамическим и статическим испытаниям, в том числе гидроиспытаниям до разрушения их при давлении до 82 МПа и более.

В 2005 г. ГКНПЦ им. М. В. Хруничева приобрел установку серии LEGIO™ (рис. 7) фирмы ESAB (Швеция) и соответствующую лицензию. На этой установке были откорректированы режимы сварки, отработана производственная технология ФС лайнеров и изготовлена контрольная партия баллонов. Последующие комплексные испытания и исследования подтвердили их работоспособность. Применение ФС при производстве алюминиевых лайнеров позволило обеспечить необходимые эксплуатационные характеристики металлокомпозитных баллонов высокого давления.

Таким образом, по сравнению со сваркой плавлением ФС имеет ряд существенных преимуществ,

обуславливающих широкое применение данного способа сварки в ответственных конструкциях аэрокосмической отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Friction stir welding-process developments for aluminium applications* / N. M. Thomas, C. S. Wiesner, D. G. Staines, E. R. Watts // International conference and exhibition "Aluminium in transport". Moscow, 2005.
2. Штрикман М.М. Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений (обзор). Ч. III. // Сварочное производство. 2007. № 11. С. 36—45
3. *Lohwasser D. FSW for A350 aircraft* // 6th International Symposium on friction stir welding. Montreal (Canada), 2006.
4. *Shepherd G. The evaluation of friction stir welded joints on airbus aircraft wing structures* // 4th International Symposium on friction stir welding. Utah (USA), 2003.
5. *Friction stir welding system development for thin gauge aerospace structures* / B. Christer, M. Hansen, M. Skinner, G. Silva // 4th International Symposium on friction stir welding. Utah (USA), 2003.
6. *Jonsen M. R. Friction stir welding takes off at Boeing* // Welding Journal. 1999. N 2. P. 35—39.
7. *Hartley P. Friction plug weld repair of Space Shuttle external tank* // Welding and Metal Fabrication. 2000. N 9.
8. *Lahti K. et al. Rotation friction welding the possibilities in shipbuilding* // Svetzaren. 2003. N 1. P. 6—8.
9. *Midling O. T., Kvale J. S., Oma S. Application of prefabricated friction stir weld panels in catamaran building* // 4th International Forum on aluminium ships. New Orleans, 2000.
10. *Cedergvist L. FSW to seal 50 mm thick copper canisters — a weld that lasts for 100 000 years* // 5th International Symposium on friction stir welding. Metz (France), 2004.
11. *Kumagai M., Tanaka S. Properties of aluminium wide panels by friction stir welding* // 1st International Symposium of friction stir welding. California (USA), 1999.
12. Ищенко А. Я. Характер горячих трещин, образующихся при сварке плавлением высокопрочных алюминиевых сплавов // Актуальные проблемы при сварке цветных металлов. Киев: Наукова думка, 1985. С. 34—36.
13. *Фрикционная сварка листовых конструкций из алюминиевых сплавов 1201 и АМг6* / М. М. Штрикман, В. А. Половцев, Г. В. Шилло и др. // Сварочное производство. 2004. № 4. С. 41—47.
14. *Служебные характеристики соединений алюминиевых сплавов 1201 и АМг6, выполненных фрикционной сваркой* / В. А. Половцев, М. М. Штрикман, Г. В. Шилло и др. // Технология машиностроения. 2006. № 4. С. 30—34.

ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

С. Ф. ГНЮСОВ, д-р техн. наук, К. С. ГНЮСОВ, аспирант
(Томский политехнический университет),
В. Г. ДУРАКОВ, канд. техн. наук
(Институт физики прочности и материаловедения СО РАН)

Электронно-лучевая наплавка карбидосталей.

Ч. 2. Особенности формирования структуры и свойств покрытий сталь Р6М5 + WC¹

ВВЕДЕНИЕ

Технология многопроходной электронно-лучевой наплавки (ЭЛН) основана на явлении "вмораживания" порошка в жидкометаллическую ванну расплава, создаваемую электронным лучом с линейной разверткой [1, 2]. Наплавляемая деталь перемещается внутри вакуумной камеры относительно неподвижной электронной пушки и порошкового дозатора. При каждом последующем проходе "вмораживается" новая порция порошка и расплавляется предыдущая. Порошок, подаваемый в жидкометаллическую ванну расплава, ускоряет процесс ее кристаллизации, способствуя при этом формированию мелкозернистой структуры и уменьшению остаточных напряжений в наплавляемом покрытии. Необходимая толщина наплавленного слоя в пределах 0,5—5,0 мм достигается за счет изменения скорости подачи наплавляемого материала или увеличения числа проходов. Параметрами, характеризующими процесс наплавки, являются ускоряющее напряжение, ток электронного пучка, расстояние фокусирующей системы до поверхности обрабатываемой детали, диаметр и длина раз-

вертки пучка, скорость перемещения детали.

Микрометаллургические процессы, инициированные электронным лучом, характеризуются рядом особенностей. Прежде всего благодаря высокой плотности мощности электронного луча (до 10^6 Вт/см²) и значительному локальному перегреву в зоне его действия плавление, кристаллизация наплавляемого материала и последующее охлаждение происходят в сильно неравновесных условиях. В зависимости от плотности мощности луча температура в зоне локального перегрева может существенно превышать температуру плавления металла. Это приводит к интенсификации диффузионных процессов, растворению твердых фаз и формированию сильно пересыщенного раствора при быстрой кристаллизации расплавленной зоны. Высокие скорости охлаждения наплавляемого металла (до 10^4 К/с) могут формировать новые неравновесные структуры и сетку трещин.

Данные особенности действия электронного пучка обуславливают использование в качестве твердой фазы карбида вольфрама, обладающего большей степенью растворимости по сравнению с карбидом титана в жидкометаллической матрице [3]. В качестве связующей фазы предпочтительно использовать сталь Р6М5, в которой в процессе закалки сохраня-

ется некоторое количество остаточного аустенита. Более того, данная сталь обладает эффектом сверхпластичности, что позволяет значительно увеличить ее относительное удлинение и уменьшить сопротивление деформированию [4]. Можно надеяться, что перечисленные особенности быстрорежущей стали позволят релаксировать температурные напряжения и, следовательно, уменьшить или полностью предотвратить образование сетки трещин в упорочном слое и значительно увеличить его износостойкость.

В работе [5] подробно изложена технология, исследованы фазовый состав и структура исходных порошков карбида вольфрама, карбида титана, стали Р6М5 и композиционных спеков на их основе, применяемых при ЭЛН.

Цель данной работы — определение рационального количества вводимого карбида вольфрама в быстрорежущую сталь, влияния режимов термической обработки на структуру и свойства получаемого композиционного покрытия сталь Р6М5 + WC.

Методика проведения исследования

В качестве наплавочного материала использовали порошок стали Р6М5 и смесь порошков сталь Р6М5 + WC (10, 20, 30, 40 и 50 %). Композиционные смеси

¹ Ч. 1. — см. "Технология машиностроения". 2007. № 12. С. 51—55.

для наплавки получали смешиванием приведенных порошков, спеканием смесей в вакууме, последующим дроблением и рассевом на фракции полученных спеков. Подробно технология подготовки композиционных наплавочных смесей изложена в работе [5]. Наплавку проводили на образцы из стали 30 в пять проходов, при этом толщина наплавленного валика составила 3—4 мм. Ускоряющее напряжение, диаметр, длина развертки электронного луча, скорость перемещения подложки не изменялись и составляли соответственно 28 кВ, 1 мм, 20 мм и 2 мм/с. Одно- и двукратный отпуск наплавленных образцов проводили при температуре 560 °С в течение 1 ч.

Структуру наплавленных покрытий исследовали с помощью оптического микроскопа МЕТАМ-ЛВ-31, снабженного цифровой камерой, позволяющей фиксировать изображение на компьютере. Определение количественных характеристик микроструктуры проводили линейным методом по методике, изложенной в работе [6]. Исследование фазового состава образцов проводили методами рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ДРОН-УМ1, с фильтрованным CoK_α -излучением в режиме сканирования, в интервале углов 2Θ от 20 до 150°, с шагом 0,1°.

Микротвердость H шлифов измеряли на приборе ПМТ-3 (ГОСТ 9450—76) с шагом по глубине 100 мкм при нагрузке 0,981 Н. Прочность при изгибе (ГОСТ 18228—72) измеряли на шлифованных образцах в виде прямоугольных призм размером 5×5×45 мм. Испытания проводили на установке "Инстрон-1185" со скоростью нагружения 1,7 мкм/с. Толщина наплавленного слоя составляла $2 \pm 0,1$ мм. Упрочненный слой испытывал напряжения растяжения. Окончанием испытаний служил момент разрушения упрочненного слоя. По результатам испытаний определяли проч-

ность образцов, стрелу прогиба и угол изгиба (согласно ГОСТ 6996—66 и СНиП III-48—80). При расчете прочности образцов учитывали полную высоту образца (подложка + наплавка). Определение ударной вязкости на образцах без надреза проводили на копре типа Шарпи.

Абразивную износостойкость определяли при износе в контакте с нежестко закрепленными абразивными частицами (ГОСТ 23.208—79). В качестве абразивного материала использовали кварцевый песок зернистостью 160—350 мкм при нагрузке на образец $44 \pm 0,25$ Н.

Результаты исследования

На рис. 1 приведена микроструктура упрочненного слоя после ЭЛН в зависимости от количества упрочняющей фазы в быстрорежущей матрице. Видно, что наплавленный сталью Р6М5 материал состоит из трех структурных составляющих. При добавлении карбида вольфрама количество светло-серой фазы увеличивается (см. рис. 1, б, в), а начиная с содержания WC 30 % внутри этой фазы наблюдаются отдельные зерна темного цвета (см. рис. 1, г—е). Кроме того, количество фазы игольчатой мор-

фологии при добавлении 10 % WC уменьшается, а при 20 и 30 % WC данная фаза практически не просматривается (см. рис. 1, в, г). По данным рентгеноструктурного анализа, после наплавки стали Р6М5 ее фазовый состав состоит из мартенсита (α -фаза), остаточного аустенита (γ -фаза) и карбида типа M_6C с параметром решетки $a = 1,08$ нм. При добавлении карбида вольфрама количество фазы M_6C увеличивается, а начиная с состава, содержащего 30 % WC и выше, помимо названных фаз сохраняется исходная фаза карбида вольфрама с ГПУ решеткой. Анализ макроструктуры металла, наплавленного сталью Р6М5 и смесью сталь Р6М5 + WC (10, 20 и 30 %), не выявил образования сетки трещин на упрочненной поверхности.

На рис. 2 приведена микроструктура упрочненного слоя после ЭЛН и однократного отпуска. Видно, что для всех образцов характерно увеличение количества мартенситных пластин. Размер этих пластин для состава, содержащего 10 % карбида вольфрама, значительно увеличивается (см. рис. 2, б). В наплавленном металле, не содержащем карбида вольфрама (см. рис. 2, а) и с большим его содержанием (рис. 2, д, е), иглы мартенсита сла-

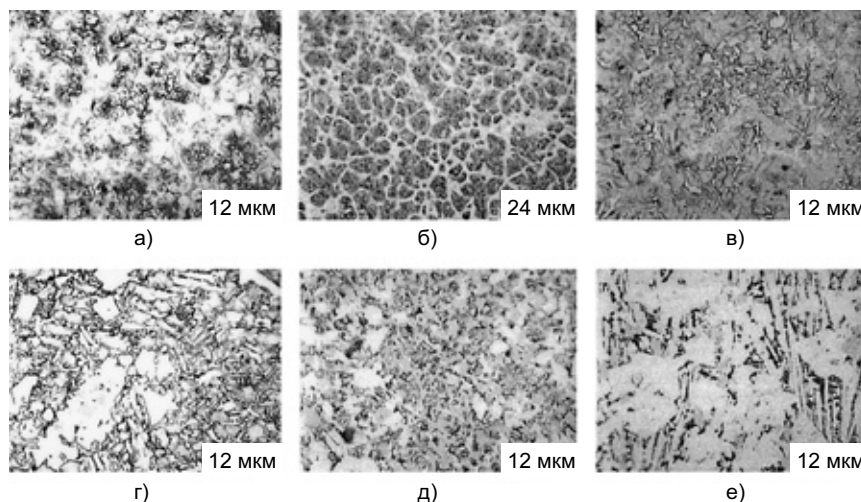


Рис. 1. Микроструктура упрочненного слоя после наплавки: а — Р6М5; б—е — содержание упрочняющей фазы (WC) равно 10, 20, 30, 40 и 50 % соответственно

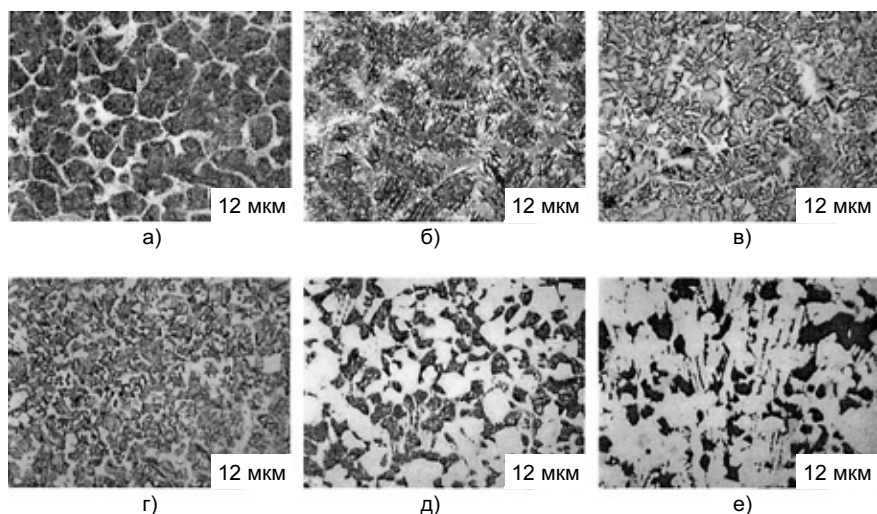


Рис. 2. Микроструктура упрочненного слоя после наплавки и однократного отпуска: а—е — см. рис. 1

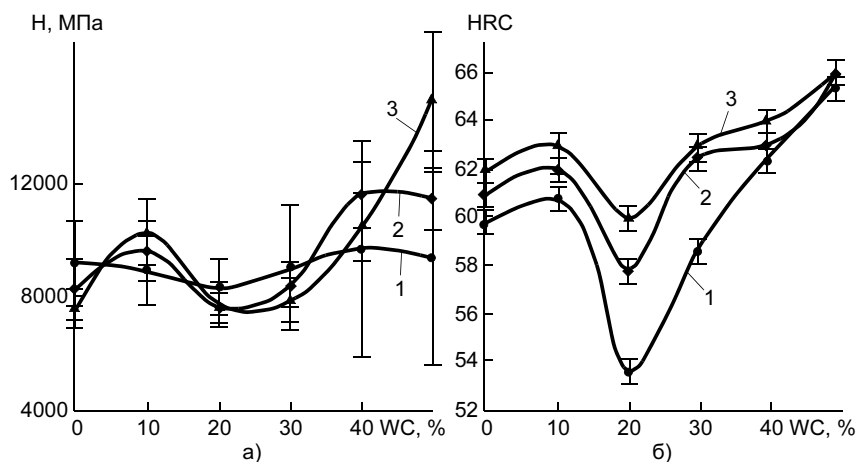


Рис. 3. Зависимость микротвердости (а) и твердости (б) образцов от содержания карбида вольфрама в исходной наплавочной смеси: 1—3 — после наплавки, одно- и двукратного отпуска соответственно

бо прослеживаются, что свидетельствует о формировании бесструктурного мартенсита. Для состава с 20 и 30 % WC количество мартенситных пластин невелико, присутствуют двойные карбиды типа M_6C в виде дендритов

(см. рис. 2, е). Двукратный отпуск не вносит существенных изменений в микроструктуру.

При добавлении в сталь Р6М5 карбида вольфрама наблюдается anomalous изменение твердости наплавляемых покрытий

(рис. 3, а, б, кривая 1). Минимальное ее значение (53,7 HRC) характерно для состава наплавляемого материала Р6М5 + 20 % WC. Последующая термическая обработка (одно- и двукратный отпуск) сохраняет данную аномалию в распределении твердости (см. рис. 3, кривые 2 и 3). Анализ полученных данных по твердости, микроструктуре и фазовому составу свидетельствует о том, что уменьшение твердости для данного состава наплавляемого материала связано с присутствием большого количества остаточного аустенита, который полностью не переходит в мартенсит даже при одно- и двукратном отпуске. Увеличение содержания карбида вольфрама свыше 30 % в наплавочной смеси приводит к тому, что объемная доля карбида M_6C превышает 50 % и он вносит основной вклад в повышение твердости наплавленного металла. Поэтому последующая термическая обработка образцов, в наплавочной смеси которых содержится 40 и 50 % WC, практически не влияет на повышение их твердости (см. рис. 3, а). Большой разброс значений микротвердости для этих составов (см. рис. 3, а) связан с формированием конгломератов из карбидных частиц с сохранением большого количества исходных частиц монокарбида вольфрама (см. рис. 1, з—е).

Образцы после наплавки сталью Р6М5 и композиционной смесью Р6М5 + 20 % WC подвергли испытанию на изгиб и ударную вязкость. Полученные данные приведены в таблице. Значения характеристик образцов, подверг-

Наплавочный материал	Обработка	Прочность при изгибе, МПа	Стрела прогиба, мкм	Угол изгиба, градус	Ударная вязкость, Дж/мм ²
Сталь Р6М5	Наплавка	1580 ± 200	350	1,2	0,9
	Наплавка + отпуск (однократный)	1670 ± 50	470	1,5	0,8
Сталь Р6М5 + 20 % WC	Наплавка	1620 ± 20	250	1,0	0,625
	Наплавка + отпуск (однократный)	1640 ± 20	300	1,1	0,85

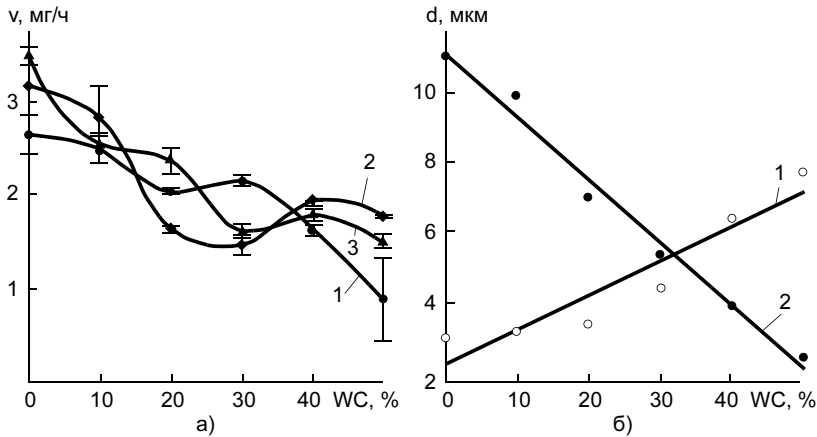


Рис. 4. Зависимость скорости износа (а) после наплавки (кривая 1), однократного (кривая 2) и двукратного (кривая 3) отпуска, а также среднего размера зерна карбида M_6C (б, кривая 1) и межкарбидных прослоек (б, кривая 2) от содержания вводимого карбида вольфрама в быстрорежущую сталь

нутых однократному отпуску, более высокие, что связано в основном с релаксацией температурных напряжений при отпуске.

На рис. 4, а приведены данные по износу образцов. Видно, что проведение однократного отпуска способствует формированию anomalously low wear rate of samples at 20–30% tungsten carbide content in the weld mixture. Apparently, this is conditioned by the high content of residual austenite in the samples after welding and its preservation after single annealing. In the process of austenite transformation, metastable austenite, undergoing martensitic transformation and thus serving as an additional relaxation channel for arising stresses.

Увеличение содержания карбида вольфрама до 40% увеличивает износ материала. Это связано с тем, что наличие ударной составляющей при испытаниях на износ приводит к значительной доле выкрошивания хрупких

карбидных выделений, средний размер и объемная доля которых значительно возрастают (рис. 4, б, кривая 1). Более того, связующая фаза — сталь Р6М5 — уже после наплавки практически полностью находится в мартенситном состоянии, средний размер ее прослоек между карбидными частицами уменьшается (см. рис. 4, б, кривая 2), и наличие значительных температурных и фазовых напряжений приводит к большому разбросу значений скорости износа (см. рис. 4, а, кривая 1). Последующий одно- и двукратный отпуск релаксирует данные напряжения, что способствует уменьшению разброса значений скорости износа, особенно для наплавочной смеси с 50% карбида вольфрама (см. рис. 4, а, кривые 2, 3), однако по абсолютному значению она выше, чем при содержании 20 и 30% карбида вольфрама.

ВЫВОДЫ

1. Введение в наплавочную смесь 20–30% карбида вольф-

рама приводит к увеличению доли карбида M_6C , сохранению малого среднего размера его частиц и образованию большого количества остаточного аустенита.

2. Дополнительная термическая обработка образцов, наплавленных данным составом, слабо влияет на уменьшение количества аустенита, что приводит к anomalously low microhardness of the hardened layer.

3. Наиболее предпочтительным износостойким материалом является сталь Р6М5 + (20–30%) WC после однократного отпуска.

4. Уменьшение скорости износа связано с дополнительным действием фазового перехода в матрице.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий / В. Е. Панин, С. И. Белюк, В. Г. Дураков и др. // Сварочное производство. 2000. № 2. С. 34–38.
2. Электронно-лучевая наплавка износостойких композиционных покрытий на основе карбида титана / В. Е. Панин, В. Г. Дураков, Г. А. Прибытков и др. // Физика и химия обработки материалов. 1997. № 2. С. 54–58.
3. Кульков С. Н., Гнусов С. Ф. Карбидостали на основе карбидов титана и вольфрама. Томск: Изд-во НТЛ, 2006. 240 с.
4. Гвоздев А. Е., Афанаскин А. В., Гвоздев Е. А. Закономерности проявления сверхпластичности сталей Р6М5 и 10Р6М5-МП // Металлургия. 2002. № 6. С. 32–36.
5. Гнусов С. Ф., Дураков В. Г., Гнусов К. С. Вакуумная электронно-лучевая наплавка карбидосталей. Ч. 1. Особенности технологии наплавки и подготовки композиционных наплавочных смесей // Сварочное производство. 2007. № 11. С. 18–13.
6. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография. М.: Металлургия, 1970. 376 с.

М. А. ФЕДОРЕНКО, канд. техн. наук

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

Формирование отклонений пространственного положения рабочих органов вращающегося оборудования

Вращающиеся обжиговые печи и помольные мельницы обеспечивают отдельные этапы технологической цепочки производства цемента. Они расположены последовательно друг за другом в производственном цикле. В печах сушат и обжигают сырье с целью получения клинкера, а на следующей операции мелют его в мельнице [1, 2].

Конструкции данных агрегатов имеют следующие характерные особенности.

Цементная вращающаяся печь:

- наличие рабочих органов в виде вращающихся цилиндрических тел и опор, высокая температура, расположение оси вращения агрегата и всех узлов под углом к горизонту;

- большие масса и габаритные размеры узлов и деталей (диаметр бандажей достигает 8150 мм при их массе 132,4 т, длина печи — до 220 м при массе 1200 т);

- постоянное вращение;

- расположение относительно горизонтальной плоскости достигает 6°;

- высокая температура в средней части агрегата (до 1200 °С);

- жесткие требования к точности изготовления и сборке узлов;

- постоянная вибрация из-за расположения печи на бетонных опорах высотой до 20 м;

- эксплуатация в условиях высокой запыленности и под открытым небом;

- сравнительно невысокая жесткость корпуса печи;

- уплотнительные устройства находятся под воздействием больших перепадов температур и абразивной пыли;

- динамические нагрузки и др.

Помольный агрегат:

- большая масса мелющих тел;

- падение мелющей массы с высоты до 2,5 м;

- большая динамическая нагрузка;

- вибрация;

- расположение агрегата под углом к горизонту;

- масса мельницы до 600 т;

- частота вращения до 30 мин⁻¹ при длине мельницы до 16 м и диаметре до 3,5 м;

- большие нагрузки на опорные узлы и корпус мельницы;

- сравнительная невысокая жесткость корпуса.

В соответствии с перечисленным к вращающемуся оборудованию предъявляются повышенные требования по обеспечению жесткости и точности расположения оси вращения при наличии больших динамических нагрузок и вибрации. Поэтому в процессе их изготовления, монтажа и ремонта необходимо выполнять довольно жесткие требования, связанные с точностью установки пространственного положения рабочих органов оборудования и особенно расположения оси вращения печи и связанных с ней осей вращения агрегатов в силу того, что оборудование имеет большие габаритные размеры и массу.

Одним из основных технологических требований для данного оборудования является обеспечение и сохранение пространственного положения оси вращения оборудования и совпадение теоретической оси вращения с эксплуатационной в течение всего периода работы оборудования. Помимо этого эксплуатационная ось вращения основного агрегата должна сохранять параллельное расположение относительно вращения остальных узлов и вспомо-

гательных агрегатов, вращающихся синхронно с ним.

Выполнение жестких требований по точности является исключительно важной функциональной задачей, так как обеспечивает надежную и длительную эксплуатацию оборудования.

Для качественной работы оборудования необходимо обеспечить исполнение прямолинейности оси вращения корпуса; радиальное биение обечайки корпуса; вспучивание обечайки корпуса; круглость опорных и несущих узлов; жесткость корпуса; температурные смещения корпуса; вибрацию.

В результате исследований установлено, что корпус агрегата имеет искривление по длине, возникающее из-за тепловых деформаций и непараллельности оси вращения опор относительно оси вращения агрегата, а также неправильной установки бандажей большой массы. Вибрации в опорных узлах в силу их конструкции ранжированы по величине и времени, что искажает ось вращения.

Радиальные биения в печных агрегатах слабые, а в помольных мельницах более явные из-за падения большой массы мелющих шаров и сырья с высоты более 2 м.

Динамические воздействия на вращающиеся агрегаты, возникающие в процессе их работы, вызывают искривление оси вращения и проявляются в виде вибрации из-за малой жесткости корпусов при воздействии на них больших нагрузок.

Исследования, проведенные на ряде предприятий, показывали, что колебания несущей опоры, а следовательно, и ролик-опор достигают 10 мм и более, а колебания мельниц зависят от

точности изготовления подшипников и их подвижности в сферических опорах.

Неуравновешенность масс корпусов большого значения не имеет, так как внутри корпуса находится перекачиваемый материал большой массы.

На появление вибраций также влияют износ и неточность изготовления несущих и опорных узлов (рис. 1, 2). Ввиду относительно небольших габаритных размеров и более точного изготовления конструкция мельничного агрегата является более жесткой. Мельничный агрегат состоит из нескольких отдельных узлов, соединенных фланцами при помощи болтов. В целом такая конструкция является гибкой по длине и имеет в качестве опор подшипники скольжения. Масляная пленка в подшипниках упругая, и при больших оборотах и массе в конструкции возникают колебания, отрицательно влияющие на ее жесткость.

Одним из важных показателей работоспособности и экономичности печного агрегата является техническое состояние уплотнительного устройства. От его каче-

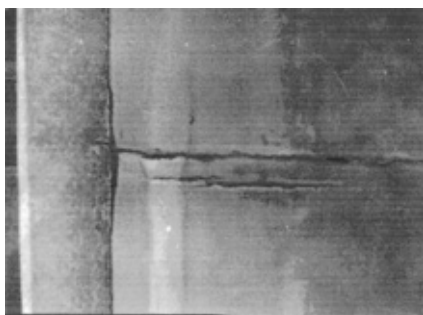


Рис. 1. Разрушение по сварному шву

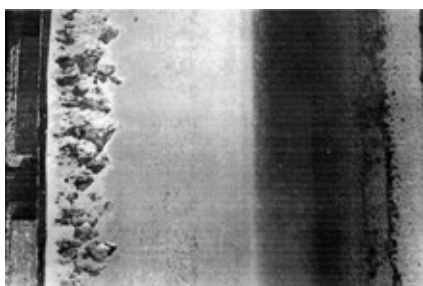


Рис. 2. Выкрошивание поверхности катания

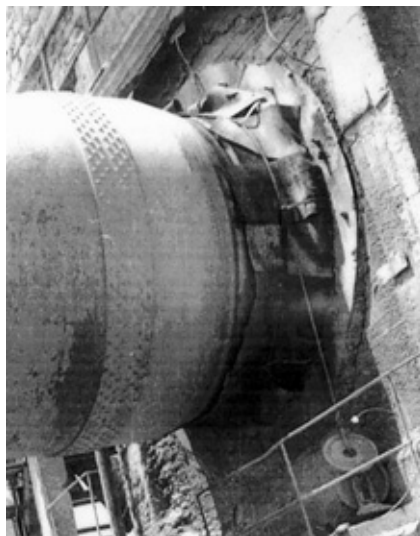


Рис. 3. Уплотнительное устройство холодного конца печи



Рис. 4. Уплотнительное устройство горячего конца печи

ства значительно зависит подсос наружного воздуха и, соответственно, расход топлива и электроэнергии при образовании клинкера (рис. 3, 4). Существующие уплотнения не перекрывают полностью доступ атмосферного воздуха в печь, поэтому, особенно в холодное время года, значительно увеличивается расход топлива на подогрев этого воздуха и расход электроэнергии на обеспече-

ние работы дымососов по выбрасыванию появляющегося дополнительного газа.

Уплотнительное устройство должно быть регулируемым, т. е. необходимо, чтобы количество атмосферного воздуха в зависимости от его температуры поддерживалось определенным, так как от этого зависит температура в конце печи и, следовательно, состояние этого участка печи. Его перегрев вызывает ползучесть металла корпуса, в результате чего корпус деформируется, а в зимнее время при наличии зазора понижается температура воздуха, поступающего в печь. Плотное прилегание уплотнения к корпусу печи способствует быстрому износу уплотнительного устройства в связи с тем, что в зоне контакта уплотнения с корпусом печи при наличии абразива происходит сухое трение.

В рекуператорных печах уплотнения также расположены в зоне высоких температур при наличии выбросов пыли и пламени. Основным недостатком данных печей является прогар и растрескивание рекуператоров (рис. 5, 6).

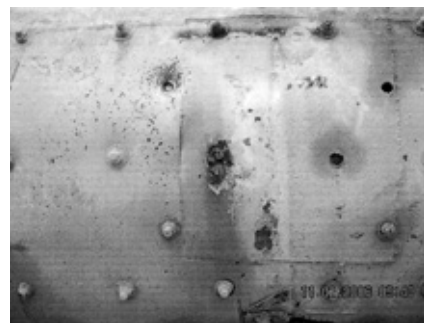


Рис. 5. Прогар корпуса рекуператора



Рис. 6. Деформация корпуса рекуператора в результате нагрева

Работоспособность рекуперативных холодильников зависит от состояния атмосферы — влажности и температуры, на нее оказывают значительное влияние резкие перепады температур, что характерно для горных условий юга. Печь предназначена для работы в умеренной климатической зоне,

при эксплуатации в других климатических условиях увеличивается расход газа и электроэнергии, а также снижается ее производительность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Банит Ф. Г., Нивижский О. А. Механическое оборудование цементных

заводов: Учебник для техникумов промышленности строительных материалов / 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1975. 318 с.

2. Банит Ф. Г., Крижановский Г. С., Якубович Б. И. Эксплуатация, ремонт и монтаж оборудования промышленности строительных материалов: Учебник для техникумов промышленности строительных материалов. М.: Стройиздат, 1971. 368 с.

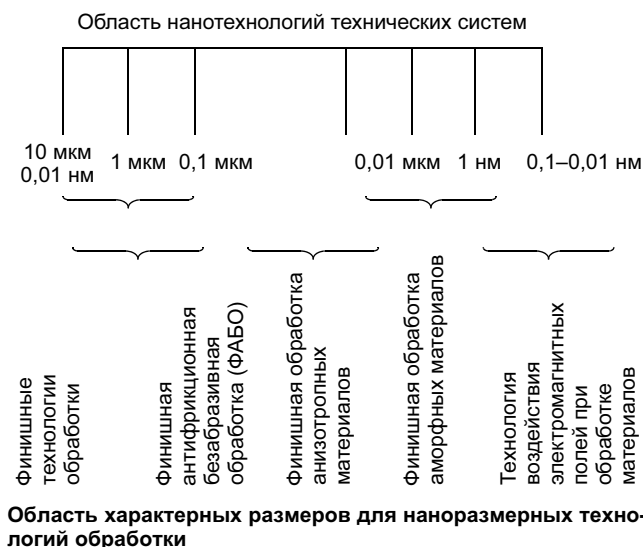
Г. В. ЧИРКОВ, инж.
ОАО "Сарапульский радиозавод"

Основы нанотехнологии обработки материалов

Технологии создания машин и изделий в пределах от метровой до микрометровой размерных шкал можно отнести к классическим. При размерах от половины до десятой доли мкм процессы, возникающие в зоне обработки, подчиняются квантовым законам.

При нанотехнологиях, когда микронный размер будет уменьшаться в 1000 раз, происходит переход от сплошных веществ классических технологий к атомно-структурным веществам квантовой нанотехнологии. На приведенной шкале (см. рисунок) указаны области характерных размеров для ряда наноразмерных технологий обработки, которые определяют направления развития станкоинструментальной промышленности.

Эффективность процесса нанообработки зависит от факторов, которые можно разделить на пять групп: трибо-электро-физико-химические, режимные, кинематические, конструкторско-технологические и эксплуатационные.



На основании теоретических и экспериментальных исследований термодинамическая система (абразивное зерно—связка—импрегнатор—СОТС—обрабатываемая деталь) (АЗСИСОД) должна отвечать следующим требованиям.

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

Образцы из стали 45 размером 30 × 30 × 15 мм обрабатывали на плоскошлифовальном станке 3М71 при продольной подаче $S_{пр} = 6$ м/мин, времени обработки $t = 0,02$ мм до чистоты поверхности $Ra = 0,63$ мкм. Коэффициент теплоотдачи для стали 45 примем $a = 0,06$ см²/с, для импрегнированного круга — $a_{ик} = 0,06$ см²/с (при вероятности не более 74 %, что цепочки ориентированными частицами металла не будут сплошными).

ВЫВОДЫ

1. После шлифования импрегнированным кругом (ИК) микротвердость снизилась с 8000 до 5000 МПа.
2. На глубине 30 мкм у стали 45, шлифованной ИК, наблюдается небольшое повышение микротвердости.
3. При шлифовании ИК общий размер напряженной зоны снижается в 2 раза, причем в наибольшей степени уменьшаются величина и зона распространения растягивающих напряжений.
4. У образцов, шлифованных стандартным кругом, микронапряжения в слое толщиной 20—25 мкм возрастают в 10 раз, а у шлифованных ИК — уменьшаются в 6 раз.
5. Размер блоков шлифовочных трещин в слое толщиной до 15 мкм после шлифования ИК в 2 раза меньше.
6. Результаты металлографического анализа выявляют микроструктуру стали — мартенсит.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ, ИСПЫТАНИЯ

А. В. СВИСТУН, инж., А. В. ЮРЧЕНКО, инж., А. В. ДИДЫК, инж.
НПФ "ПромПрибор"

Дефектоскоп УД4-76 – ультразвуковая лаборатория в габаритах ручного дефектоскопа

Анализируя тенденции развития аппаратуры НК и отзывы потребителей, специалисты компании "ПромПрибор" пришли к выводу о необходимости разработки нового ультразвукового дефектоскопа, обладающего расширенной функциональностью. Основным дополнением стали функции томографа — съем В-сканов с привязкой к пути сканирования, построение и работа с ортогональными видами В-сканов. Эти возможности позволяют дефектоскописту в реальном времени получать информацию о размерах и распределении дефектов в объекте контроля. Больше не потребуется проводить "в уме" расчеты и рисовать дефектограммы. Взаимное распо-

ложение обнаруженных дефектов будет наглядно отображено на ортогональных видах В-скана. Проведение измерений по радиочастотным В-сканам даст возможность получить информацию не только об условных, но и истинных (в случае применения TOFD-методик) размерах дефектов. В дефектоскопе предусмотрена возможность удобного построения карт коррозии. Добавлены инструменты для работы со спектром сигнала и многие другие функции.

Обилие функций может создать впечатление, что дефектоскоп сложен в освоении. Однако это не так. Разработчиками был принят комплекс мер, упрощающих работу с дефектоскопом. Во-первых, это

продуманная структура древовидных меню, в которой все настройки прибора сгруппированы в интуитивно понятном порядке. Кроме того, имеются два режима меню — "Пользователь" и "Эксперт". В первом режиме в меню представлены только базовые настройки прибора, тогда как во втором доступен полный спектр функции дефектоскопа-томографа.

Для удобства читателя описание возможностей прибора построено следующим образом: сначала приведен список функций и технических характеристик дефектоскопа (см. таблицу), а затем дано подробное описание наиболее интересных из них.

Техническая характеристика	Значение
Полоса пропускания приемного тракта, МГц	0,2—20
Номинальные значения центральных частот полосовых фильтров, МГц	0,4; 1,25; 1,8; 2,5; 5; 10; 15
Номинальные значения частот повторения зондирующих импульсов, Гц/дискретность установки, Гц	30—1000/1; 10; 100
Амплитуда зондирующего импульса генератора в режиме максимальной амплитуды/в режиме минимальной амплитуды, В	Не менее 200/20
Диапазон регулировки коэффициента усиления приемного тракта, дБ/дискретность установки, дБ	0—100/0,1; 0,5; 1; 10
Динамический диапазон сигналов, наблюдаемых на экране, дБ	Не менее 20
Диапазон контроля наличия дефектов по стали, мм/дискретность установки, мм	1—10 000/1; 10; 100
Диапазон измерений глубины залегания дефектов по стали, мм	0,5—10 000
Диапазон измерений эквивалентного дефекта, мм	0,8—20
Диапазон установки скорости распространения ультразвуковых колебаний, м/с/дискретность установки, м/с	1000—15 000/1; 10; 100; 1000
Диапазон установки угла ввода ультразвуковых колебаний ПЭП, градус/дискретность установки	0—90/0,1; 1,0; 10,0
Диапазон установки задержки развертки относительно импульса возбуждения, мм/дискретность установки, мм	0—10 000/1; 10; 100; 1000
Диапазон установки длительности задержки измерительного строба, мм/дискретность установки, мм	1—10 000/1; 10; 100; 1000
Диапазон установки порога АСД (высоты уровней измерительного строба):	
браковочный уровень (красный уровень строба), дБ/дискретность установки, дБ	—34—6 дБ/0,1; 1; 10
контрольный уровень (синий уровень строба), дБ/дискретность установки, дБ	—34—6 дБ/0,1; 1; 10
поисковый уровень (зеленый уровень строба), дБ/дискретность установки, дБ	—34—6 дБ/0,1; 1; 10
Диапазон установки линейной компенсированной отсечки, %/дискретность установки	От 0 до 80 высоты экрана/1
Количество запоминаемых программ настройки дефектоскопа	Не менее 100
Количество запоминаемых изображений развертки (А-скан изображений)	Не менее 100
Количество запоминаемых измеренных значений глубины (координат)	Не менее 150 000
Количество запоминаемых томограмм (В-скан изображений)	Ограничено объемом встроенной карты памяти
Масса дефектоскопа с аккумуляторной батареей (без комплекта ПЭП, кабелей и футляра), кг	Не более 3,5
Габаритные размеры дефектоскопа, мм	Не более 247 × 147 × 80
Электрическое питание дефектоскопа	Встроенная аккумуляторная батарея 12 В
Сеть переменного тока	220 В, 50 Гц
Емкость встроенной аккумуляторной батареи	4500 мА · ч

Функциональные возможности дефектоскопа:

- работа с любыми типами ПЭП;
- измерение эквивалентных и условных размеров дефектов;
- функция "толщиномер";
- развертки типов А-скан, В-скан;
- синхронизация: внутренняя, внешняя, от датчика пути;
- контроль скорости сканирования;
- различные формы детектирования: РЧ/2 п. п./+ п. п./- п. п.;
- набор функций регулировки усиления, в том числе АРУ, ВРЧ;
- интерфейс автоматической калибровки параметров ПЭП и объекта контроля;
- несколько режимов работы с АРД-диаграммами;
- два независимых трехуровневых измерительных строга;
- два дополнительных специальных строга;
- возможность контроля акустического контакта;
- система АСД по всем уровням стробов;
- индикация АСД на ярких трехцветных светодиодах;
- усовершенствованный режим пиковой кривой;
- режим наложения текущего сигнала на зафиксированный ранее (режим "стоп-кадр");
- построение спектра сигнала;
- динамическое изменение характеристик генерирующего тракта в зависимости от включаемых частотных фильтров;
- разметка экрана по отражениям сигнала в объекте контроля;
- возможность использования специального программного интерфейса;
- возможность выбора структуры меню по двум схемам: "Пользователь"/"Эксперт";
- возможность создания голосовых комментариев ко всем типам сохраняемых данных;
- большой высококонтрастный TFT-дисплей;
- сохранение и вызов настроек контроля;

— связь с ПЭВМ через USB-порт.

Большой контрастный цветной дисплей высокого разрешения в сочетании с продуманными цветовыми схемами позволяет дефектоскописту одновременно воспринимать большое количество информации, не утомляясь. Рабочее пространство дисплея условно разделено на три основные части: рабочая область раз-



Рис. 1. Внешний вид электронного блока УД4-76



Рис. 2. Смена режимов "Пользователь"/"Эксперт"

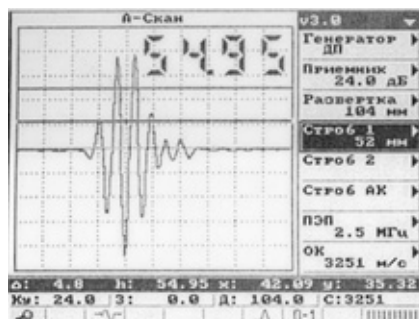


Рис. 3. Результаты измерений на экране дефектоскопа

вертки, область меню дефектоскопа и информационная панель.

При желании оператор может перейти в полноэкранный режим работы. В этом режиме область развертки занимает всю площадь дисплея (рис. 1).

Управление дефектоскопом осуществляется при помощи древовидных меню, привычных для пользователей ПК. Для удобства дефектоскописта параметры настроек сгруппированы в подменю в соответствии с логикой прибора. Так, например, задержка в приэме, угол ввода и стрела, являющиеся характеристиками датчика, настраиваются в меню "ПЭП", а скорость звука и толщина изделия — в меню "Объект контроля".

В условиях постоянного развития и усовершенствования аппаратной и программной составляющих современных дефектоскопов возрастает их функциональность, а значит, и сложность в эксплуатации прибора. Сложная архитектура рабочего меню дефектоскопа зачастую не дает возможности оперативно изменять текущие настройки. Эта проблема решена в новейшей версии программного обеспечения дефектоскопа УД4-76, которая предусматривает выбор структуры меню в зависимости от сложности выполняемых настроек дефектоскопа. В УД4-76 предусмотрены два типа структуры меню — "Пользователь" и "Эксперт" (рис. 2).

Наиболее важные параметры дефектоскопа и результаты измерений (до пяти параметров дефекта) постоянно отображаются на информационной панели. Также создана возможность вывода наиболее информативного, с точки зрения пользователя, измеренного параметра дефекта в рабочей области развертки, что заметно облегчает работу (рис. 3).

Для более подробного рассмотрения выводимого на дисплей изображения в приборе предусмотрены два независимых режима: "электронная лупа" и полноэкранный режим (рис. 4).

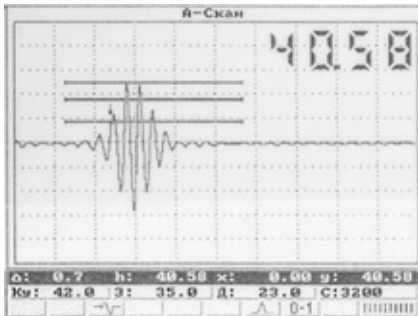


Рис. 4. Полноэкранный режим дисплея дефектоскопа

В УД4-76 наряду с простыми и всем привычными режимами настройки и работы также представлены новые "экспресс-режимы", нацеленные на улучшение точности измерений и уменьшение временных затрат при подготовке прибора к контролю. Одним из них является режим полуавтоматической калибровки параметров ПЭП и объекта контроля (рис. 5). Этот режим позволяет максимально упростить процесс предварительной настройки дефектоскопа при подключении нового ПЭП либо калибровки используемого ПЭП. Например, для полуавтоматической калибровки прямых ПЭП на произвольном образце достаточно задать толщину образца и, застробировав специальными измерительными стробами первый и второй донный эхо-сигналы, инициализировать измерение. Результатом измерения являются измеренные значения скорости ультразвука в образце и значение задержки в призме ПЭП (см. рис. 5). Далее полученные параметры можно сохранить как текущие или провести измерение повторно.

Для наклонных ПЭП выбор калибровки значительно богаче:

- есть возможность калибровать задержку в призме на СО-3;
- угол ввода — на СО-2;
- скорость — по любому отражателю в объекте контроля — например, по сигналу от торца;
- можно обойтись без стандартных образцов, откалибровав все три величины по двум отражениям от торца объекта

контроля — прямым и отраженным лучами;

- можно откалибровать задержку в призме и скорость в объекте контроля по любым двум отражателям в объекте контроля, например, его конструктивными особенностям.

В приборе реализована возможность калибровки прямых ПЭП, наклонных ПЭП и ПЭП поверхностной волны.

Особое внимание было уделено усовершенствованию акустического тракта дефектоскопа. Реализована возможность подключения как селективных узкополосных фильтров, соответствующих рабочим частотам подключаемых ПЭП, так и широкополосного фильтра с полосой пропускания 0,2—20 МГц. Кроме того, в приборе используются алгоритмы динамического изменения характеристик генерирующего тракта в зависимости от включаемых частотных фильтров. В дополнение к обычной фильтрации была применена инновационная методика спектрально-временной обработки сигналов, что позволило суще-

ственно повысить отношение сигнал—шум при контроле (рис. 6).

Известно, что для корректного расчета АРД-диаграмм необходимо точно указывать частоту используемого ПЭП. Учитывая, что каждый датчик имеет свою индивидуальную рабочую частоту, для проведения корректных измерений в УД4-76 реализован встроенный спектрограф с возможностью точного измерения рабочей частоты датчика и отображения спектра сигнала на дисплее дефектоскопа (рис. 7).

Для передачи в ПЭВМ "В-сканов", "А-сканов" и "Файлов" для создания отчетов по результатам контроля или баз данных в УД4-76 предусмотрен встроенный USB-порт. При необходимости в дефектоскоп из ПК могут быть введены пользователем программы настроек на конкретные виды контроля, что значительно сокращает время подготовки к проведению контроля (рис. 8).

В УД4-76 реализована возможность использования специального программного интерфейса для решения специализированных за-

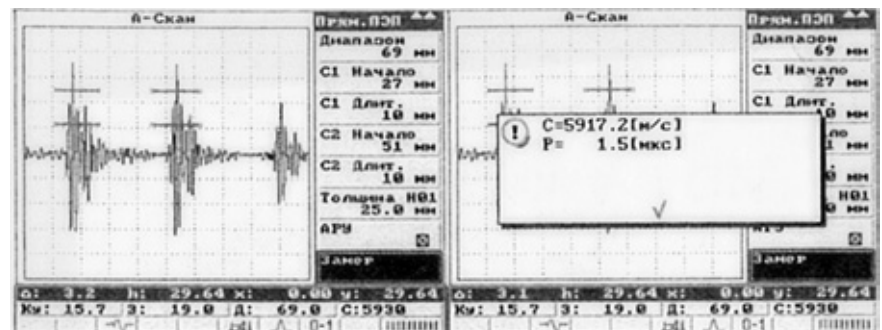


Рис. 5. Полуавтоматическая калибровка параметров ПЭП

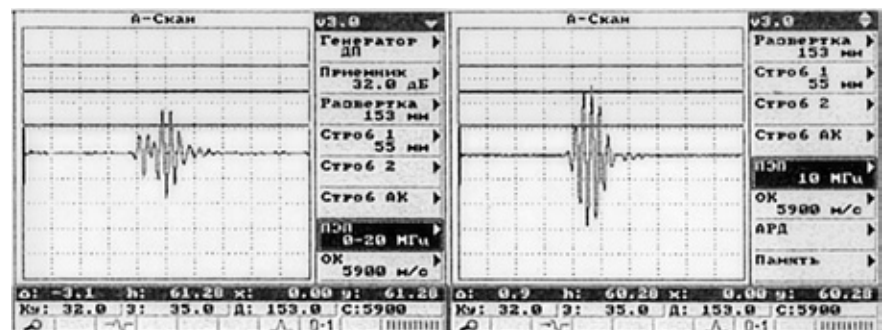


Рис. 6. Вид эхо-сигнала на дисплее дефектоскопа при выключенном и включенном алгоритме динамического изменения характеристик генерирующего тракта

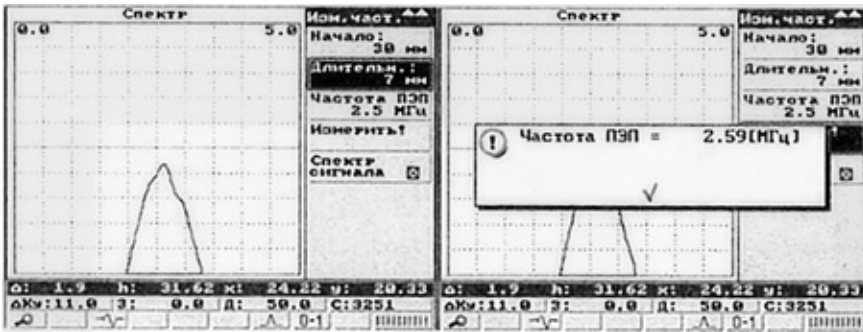


Рис. 7. Отображение спектра сигнала и измерение частоты ПЭП



Рис. 8. Режим связи УД4-76 с ПЭВМ

дач УЗК. При контроле различных однотипных деталей или в случае, когда детали имеют много зон контроля, возникает необходимость создавать много разных настроек дефектоскопа. Для их вызова нужно помнить, где они находятся, перед началом работы их необходимо перепроверять или перенастраивать. Это является трудоемкой задачей для оператора. В таких случаях обычно используют специализированные дефектоскопы, но их создание и внедрение влечет за собой большие затраты.

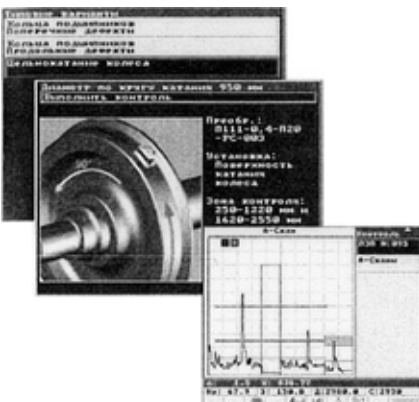


Рис. 9. Специальный программный интерфейс в УД4-76

Для решения этой проблемы в УД4-76 была создана система "СПЕЦ. МЕНЮ", позволяющая использовать настройки для контроля разнообразных деталей, и в то же время прибор можно использовать как обычный универсальный дефектоскоп общего назначения.

Необходимые типовые настройки и программный интерфейс "СПЕЦ. МЕНЮ" (рис. 9) загружаются в дефектоскоп с ПЭВМ. Введенные настройки нельзя испортить (изменить) неопытному пользователю, но при этом есть возможность создавать рабочие настройки из типовых (базовых) и изменять их. Рабочие настройки создаются в памяти дефектоскопа. Чувствительность контроля настраивается в режиме "Настройка" по эхо-сигналу от калибровочного отражателя.

Важнейшими параметрами достоверности механизированного контроля являются скорость сканирования и качество акустического контакта. Для отслеживания этих характеристик сканирования в УД4-76 имеются соответствующие контрольные системы, управляющие сигнальными све-

тодиодами "Скорость сканирования" и "Акустический контакт".

Прибор, как следует из его названия, принадлежит к IV группе дефектоскопов общего назначения. То есть имеет не только развертку типа А, но и полноценный В-скан с привязкой к пространственным координатам сканирующего ПЭП (рис. 10). Данные контроля могут быть представлены в виде В-сканов — ортогональных видов объекта контроля — спереди, сверху и сбоку с обозначенными на них обнаруженными дефектами (рис. 11). Использование В-развертки в дефектоскопе УД4-76 заметно упрощает работу дефектоскописта, а соответственно, производительность поиска дефектов многократно увеличивается. Регистрация В-разверток позволяет получить объективный документ контроля с полной информацией о проконтролированной детали. Измерение параметров обнаруженных дефектов по снятым В-сканам (их координат, условных и эквивалентных размеров, амплитуды



Рис. 10. Снятие В-скана дефектоскопом УД4-76

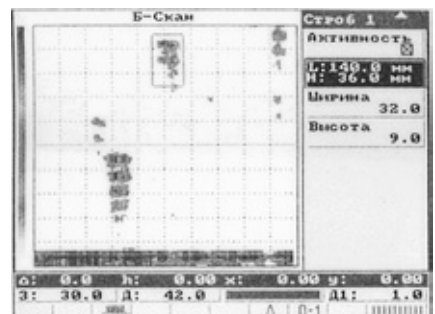


Рис. 11. В-скан на дисплее дефектоскопа УД4-76

B-Скан		
Ион. канал	Скано 1	Скано 2
В	29.0 дБ	
Lmax	135.0 мм	
Hmax	36.0 мм	
Umax	36.0 мм	
ΔL	23.0 мм	
ΔH	7.9 мм	
ΔU	7.9 мм	
ОТН. МАКС		
L12		
H12		
U12		
ΔL12		
ОТН. КРАЯ		
L12		
H12		
U12		
ΔL12		
ΔL		1.0
ΔH		1.0
ΔU		1.0

Рис. 12. Измерение параметров дефектов по В-скану

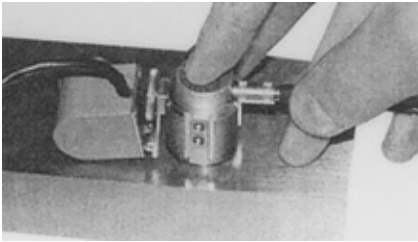


Рис. 13. Сканирующее устройство для серийных ПЭП

и т. п.) позволяет сделать выводы о степени их опасности (рис. 12).

Для серийных преобразователей, поставляемых с УД4-76, разработан комплект специализированных сканирующих устройств со встроенным датчиком пути (рис. 13) для фиксации истинной координаты перемещения ПЭП относительно объекта контроля.

Программное обеспечение дефектоскопа имеет гибкую структуру и может постоянно модернизироваться в соответствии с потребностями заказчиков (рис. 14). Так, например, в ближайшем будущем планируется оснастить прибор системой SAFT — когерентной обработки сигналов, позволяющей значительно повысить соотношение сигнал/шум и приблизиться к выявлению истинных формы и размеров дефектов. Другой алгоритм, также направленный на решение задач дефектометрии, который основан на измерении разности времен прихода сигналов (TOFD), отраженных и дифрагировавших на разных частях де-



Рис. 14. Применение УД4-76 с различными сканирующими устройствами

фекта, также стоит на очереди для включения его в арсенал программного обеспечения прибора.

Уважаемые коллеги, приглашаем Вас внести свою лепту в улучшение прибора — присылайте нам свои алгоритмы и технологии, которые Вы хотели бы видеть в программном обеспечении дефектоскопа.

"В мире неразрушающего контроля", 2007, № 1

В. В. КЛЮЕВ, акад. РАН, Ю. К. ФЕДОСЕНКО, д-р техн. наук, В. Ф. МУЖИЦКИЙ, д-р техн. наук
 ЗАО "НИИИИ МНПО "Спектр" (Москва)

Вихретоковый контроль: современное состояние и перспективы развития

НК, как известно, связан чаще всего с решением многопараметровых задач, когда в результате взаимодействия физического поля с контролируемым объектом на характеристики информативного сигнала влияют одновременно n параметров объекта. Измерять же приходится один или два из них. Для подавления нежелательного влияния остальных разрабатываются специальные приемы и методы. В этом ключевая проблема любого метода НК.

Основные теоретические положения

Проблематику вихретокового контроля в общем виде можно представить как комплекс вопросов, связанных с формированием, анализом и поиском решения системы нелинейных уравнений модели "вихретоковый преобразователь (ВТП) — многослойный объект контроля". Форма объекта может быть плоской, цилиндрической, сферической и др., а сам объект — изотропным или содержать локальные неоднородности.

Такую систему можно представить в виде системы $2n$ уравнений:

$$\left. \begin{aligned} U_m^1 &= \operatorname{Re} \dot{U}(\mu_1, \sigma_1; \mu_2, \sigma_2; \dots; \mu_n, \sigma_n; T_1, T_2, \dots, \\ &\dots, T_n; h_1, h_2; h_n, \omega_m); \\ U_m^2 &= \operatorname{Im} \dot{U}(\mu_1, \sigma_1; \mu_2, \sigma_2; \dots; \mu_n, \sigma_n; T_1, T_2, \dots, \\ &\dots, T_n; h_1, h_2; h_n, \omega_m), \end{aligned} \right\} (1)$$

где $m = 1, 2, 3, \dots, n$; U_m^1 и U_m^2 — вещественная и мнимая составляющие измеряемых сигналов преобразователя; μ_n, σ_n — начальная магнитная проницаемость и удельная электрическая проводимость слоя m ; h — величина зазора; T_m — толщина слоя m ; ω_m — частота возбуждения первичного электромагнитного поля (ток обмотки возбуждения ВТП).

В задачах дефектоскопии в систему уравнений (1) вместо μ_m, σ_m и T_m подставляются размеры m -го дефекта: a_q^m, b_q^m, l_q^m (высота, ширина, длина) и t_m —

глубина его залегания. При формировании уравнений системы (1) в отдельных случаях используются теоретические расчеты; чаще экспериментально-теоретические формулы, а также функциональные зависимости, построенные на основе экспериментальных данных. Набор уравнений получают либо за счет изменения частоты (выбранное число фиксированных частот $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$), либо за счет набора ВТП с различными значениями радиуса обмоток ($R_{в1}, R_{и1}; \dots; R_{вn}, R_{ин}$) или расположенными на различной относительно объекта высоте (h_1, h_2, \dots, h_n). Возможна комбинация первого и второго способов.

Сигналы ВТП являются комплексными величинами, поэтому при составлении уравнений сигнал можно разложить на действительную (Re) и мнимую (Im) составляющие, либо измерять амплитуду и фазу, либо модуль сигнала. В последнем случае число уравнений возрастает в два раза, и, следовательно, требуется в два раза больше фиксированных частот $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{2n}$. Сформированная система уравнений должна быть проверена на предмет независимости уравнений и корректности решаемой задачи.

Соблюдение первого условия проверяется численными методами, что при количестве переменных, скажем, 4 или 5 (для практических задач вполне достаточно) не представляет большой сложности. Его можно удовлетворить подбором частот $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$, при котором обеспечивается различная чувствительность ВТП к переменным x_1, x_2, \dots, x_n на разных частотах. Очень важным является выполнение второго условия. В общем случае, при большом числе переменных x_n , система (1) относится к некорректным задачам и решается с использованием методов регуляризации. Однако в подавляющем большинстве практических задач, когда число переменных сравнительно невелико (до 5—6), корректность задачи обеспечивается выбором конкретных относительно небольших диапазонов изменения переменных (μ, σ, h, T) и исключением тех случаев, когда переменные не разделяются (например, T и σ в тонких и сверхтонких проводящих слоях, когда $T^* = T/R_B \ll 1$, где T — толщина слоя, R_B — радиус кругового витка).

Для решения системы нелинейных уравнений типа (1) в настоящее время разработано достаточно много различных методов нелинейного программирования. Идея таких методов заключается в минимизации функционала

$$\Delta = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n [U_n(x_k) - U_n^0(x_k)]^2, \quad (2)$$

где $U_n(x_k)$ — функция k переменных при их текущих значениях; $U_n^0(x_k)$ — та же функция на первом ша-

ге счета. Значения x_k для функций $U_n^0(x_k)$ вводятся на основе известных нормативных и справочных документов: ТУ, ОСТ, ГОСТ, справочников и т. д. Поиск минимума функционала (2) проводится, например, градиентным методом.

Численные методы при достаточно высоком быстродействии современных компьютеров и наличии развитой системы программного математического обеспечения позволяют решать системы нелинейных уравнений при относительно большом числе переменных. Эффективность их применения существенно зависит от величины начальных отклонений переменных. В интервале этих отклонений до 30 % (одновременно по всем переменным) численные методы определяют корни системы достаточно устойчиво. С ростом значений начальных отклонений возможности численных методов снижаются: появляются локальные минимумы, ухудшается сходимость процесса счета, возможны случаи закликивания.

Однако для ряда практически важных задач (измерение зазоров, измерение толщины листов) решение системы (1) можно обеспечить путем такого подбора частот $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$, при котором задача сводится к нескольким системам с пониженным числом переменных. Так, для известной четырехпараметровой задачи контроля накладным ВТП двухслойного изотропного немагнитного объекта системе (1) можно существенно упростить, если выбрать для ее построения три рабочие частоты таким образом, чтобы на первой частоте ω_1 ВТП имел резко пониженную чувствительность к σ_1 , а значит, ВТП не чувствовал изменение переменных σ_1, σ_2 и T , на второй частоте отсутствовала бы чувствительность к изменению T и σ_2 , на третьей частоте ω_3 ВТП имел бы оптимальную чувствительность к переменной T . Тогда система (1) запишется в виде

$$\left. \begin{aligned} U_1^1 &= Re \dot{U}(h, \omega_1); \\ U_2^1 &= Re \dot{U}(h, \sigma_1, \omega_2); U_2^2 = Im U(h, \sigma_1, \omega_2); \\ U_3^1 &= Re \dot{U}(h, \sigma_1, \omega_3); U_3^2 = Im U(h, \sigma_1, T, \sigma_2, \omega_3) \end{aligned} \right\} .$$

Такая система численными методами решается гораздо проще за счет того, что искомые параметры h, σ_1, σ_2 и T находятся последовательно из уравнений с одной и двумя переменными.

Методы ВТ-контроля

На протяжении достаточно длительного периода времени развитие вихретокового контроля шло путем решения прямых задач для таких основных моделей, как накладной ВТП над изотропным объектом контроля (в общем случае многослойным)

плоской, цилиндрической, сферической или сфероидальной формы или как проходной ВТП с многослойным объектом цилиндрической, прямоугольной или эллипсоидальной формы.

При решении задач дефектоскопии в качестве моделей использовались объекты с локальными неоднородностями заданной формы и размеров, находящиеся в электромагнитном поле накладного или проходного ВТП.

На основе расчетов строились годографы, представляющие собой зависимости вектора выходной ЭДС (напряжения) или комплексного сопротивления ВТП от изменения таких основных параметров, как расстояние между ВТП и объектом контроля (в дальнейшем зазор), значения удельной электрической проводимости и начальной магнитной проницаемости каждого из рассматриваемых слоев. Анализ годографов позволяет определять области максимальной (или оптимальной) чувствительности к исследуемому параметру и зоны отстройки от параметра, мешающего контролю. На основе анализа годографов развит большой ряд методов для решения, в основном одно-, двух-, иногда трехпараметровых задач вихретокового контроля: амплитудный, переменного-частотный, амплитудно-фазовый, фазовый с использованием корректирующих каналов и т. д. [1], а также некоторых задач практической дефектоскопии. Однако с ростом числа переменных эффективность этих методов не отвечала потребностям. Поэтому дальнейшее развитие пошло по пути разработки методов формирования, анализа и поиска решения систем (1).

Достаточно эффективным методом решения нелинейных систем является экспериментально-теоретический. В этом случае при построении и решении системы уравнений используются экспериментальные данные. Массив данных о параметрах объекта контроля формируется с использованием экспериментальных образцов с известными характеристиками (наборами значений удельной электрической проводимости, начальной магнитной проницаемости, толщин слоев); при решении задач дефектоскопии с набором искусственных дефектов различной глубины, длины, ширины, глубины залегания, а также с их различным пространственным расположением. На основе этих данных строятся функциональные корреляционные связи между сигналами ВТП на различных частотах и параметрами объекта контроля. Такой подход широко используется в дефектоскопии и структуроскопии. В первом случае исследуемыми параметрами являются форма и размеры дефекта, глубина его залегания; во втором — величина внутренних напряжений, структура металла, химический состав стали, режимы термообработки. В многопараметровых задачах дефектоскопии и структуроскопии немагнит-

ных металлов используется электромагнитное поле, возбуждаемое на нескольких частотах (не более четырех). В структуроскопии ферромагнитных материалов наиболее эффективным является метод высших гармоник. В этом случае система (1) формируется за счет набора высших гармоник сигнала ВТП. Вид уравнений $U = f(\mu, \sigma, h, t)$ строится либо на основе методов регрессионного анализа, либо путем подбора аппроксимирующих полиномов [1].

Для повышения достоверности дефектоскопического контроля в последние годы разработаны методы дополнительной отстройки от структурных неоднородностей металла, например метод введения дополнительного шумоподавляющего измерительного канала [2]. Принцип его действия при использовании проходных дифференциальных ВТП основан на том, что в дополнительной дифференциальной паре измерительных обмоток большего диаметра наводятся только сигналы от структурных неоднородностей, так как сигналы от дефекта с увеличением диаметра обмотки резко ослабляются. В основной измерительной обмотке наводятся сигналы как от дефекта, так и от шума. После выравнивания шумовых сигналов обеих обмоток и их вычитания на дифференциальном усилителе сигналы от структурных неоднородностей удается подавить на порядок. При этом выделяются сигналы от дефектов при исходном отношении сигнал/шум меньше единицы. Эффективность метода повышается с ростом уровня шумов (при величине отношения сигнал/шум — 0,3—0,5).

Следует отметить еще два метода. Первый — метод с разнесенными возбуждающими и измерительными обмотками (в нашей стране он известен как метод с использованием векторно-разностных ВТП, за рубежом — как "remote field"). Метод применяется при контроле труб внутренними проходными ВТП. В этом случае электромагнитное поле передается к измерительной обмотке по стенке трубы, за счет чего достигается более равномерная чувствительность ВТП к наружным и внутренним дефектам. Второй — метод низкочастотного переменного поля с измерением его магнитной составляющей с помощью магнитного чувствительного элемента, например датчика Холла или магниторезистора (метод АCFM). Достоинство метода — контроль внутренних слоев ферромагнитных сталей с чувствительностью, близкой к чувствительности методов постоянного магнитного поля. При этом отсутствуют эксплуатационные недостатки постоянных магнитов.

Компьютерные технологии и программное управление техническими средствами в последние годы существенно продвинули возможности дефектоскопического вихретокового контроля объектов ответственного назначения. Эффективные методы

строятся на представлении расчетных или экспериментальных зависимостей сигналов ВТП от искомым параметров контролируемого объекта в виде кривых сложной формы или двумерных областей распределения сигналов. Банк данных с электронными образами дефектов или структурных отклонений хранится в файлах компьютера. При производственном контроле записанная форма годографов дефекта на разных частотах сравнивается с формами банка данных, и размеры дефекта находят по параметрам тех кривых, к которым наиболее близки кривые исследуемого дефекта. Используя Интернет, такая технология в принципе позволяет оценивать результаты контроля наиболее ответственных объектов с применением банка данных других организаций, как отечественных, так и зарубежных. Такая методика используется рядом американских, французских, испанских и российских фирм при контроле объектов типа теплообменных трубок парогенераторов атомных и тепловых электростанций, оборудования различного назначения в аэрокосмическом комплексе (американская фирма "Zetec"), оборудования трубопроводного и железнодорожного транспорта.

В последние годы получен ряд интересных результатов на основе комплексирования вихретокового метода с другими видами НК: магнитным, тепловым, ультразвуковым, оптическим. Так, при контроле толстостенных труб из ферромагнитных материалов применение вихретоковых преобразователей совместно с датчиками Холла позволило решить задачу по разделению дефектов типа продольных трещин на поверхностные, расположенные на наружной стороне стенки, и внутренние — на внутренней стенке [3]. Для возбуждения ВТП использовалась частота $f = 300$ кГц. Магнитный метод реализован с помощью электромагнита, намагничивавшего трубу в поперечном направлении. Датчики Холла регистрировали как поверхностные, так и внутренние дефекты, а преобразователи ВТП — только поверхностные. Разделение дефектов производилось программно с учетом широкого диапазона амплитуд сигналов от дефектов, регистрируемых датчиком Холла (амплитуды от внутренних дефектов при толщинах стенок от 12 до 20 мм отличались от поверхностных дефектов почти в 2,5—4,0 раза).

При использовании вихретокового метода совместно с оптическим удается существенно снизить глубину выявляемых поверхностных рисок и трещин, доведя этот размер до нескольких десятков микрон.

Интересным является развитый в последние годы вихретоко-тепловой метод, позволивший производить контроль тонколистовых металлических [4] и многослойных проводящих изделий, широко при-

меняемых в авиакосмической технике, приборостроении, микроэлектронике, электронной и СВЧ-технике. Металлические покрытия микронной толщины наносятся на диэлектрическую основу (полимерные пленки, стекло, полупроводник и т. д.). В вихретоко-тепловом методе нагрев металлической пленки осуществляется бесконтактно с помощью вихретокового преобразователя, а излучаемое тепловое поле измеряется тепловым преобразователем, например, пирозлектрическим. Удаётся разделять измерять толщину пленки и значение удельной электрической проводимости; выявлять такие дефекты изделия, как расслоения, пористые участки, степень сцепления слоев. Вихретоковый метод эти задачи не решает, так как значения T и σ в этом методе принципиально не разделяются.

Технические средства ВТ-контроля

Из анализа рассмотренных методов следует, что с их помощью удается решать широкий класс практических задач, в том числе и таких, когда число влияющих на контроль параметров объекта достаточно велико (три, четыре и более). Поэтому вихретоковый контроль широко внедрен во многих отраслях промышленности: авиационной, автомобильной, нефтяной и газовой, ракетостроении, железнодорожном транспорте, черной и цветной металлургии, на атомных и тепловых электростанциях. Вихретоковой аппаратурой контролируется 95 % тонкой проволоки (диаметром от 0,05 до 3 мм), 80 % сварных труб в потоке непрерывных электросварочных агрегатов, измеряется в 95 % случаев толщина тонких покрытий различного назначения (гальванических, теплозащитных, лакокрасочных и т. д.) в машиностроительной отрасли; контролируются на наличие дефектов ответственные металлические детали на авиационных, ракетостроительных, автомобильных и других машиностроительных заводах.

В настоящее время выпускаются несколько сотен типов приборов различного назначения: дефектоскопов, структуроскопов, толщиномеров покрытий, металлоискателей, виброметров, измерителей перемещений и др. Используется большой набор ВТП накладного и проходного типов. Приборы выпускаются как переносные для ручного применения, так и стационарные для автоматизированного контроля. Аппаратура выполняется на основе программно-управляемого встроенного микропроцессора (в переносных приборах) либо промышленного компьютера (стационарная аппаратура). Информация представляется на графическом дисплее. Диапазон частот тока возбуждения ВТП от нескольких десятков герц до нескольких мегагерц. Процесс калибровки приборов почти полностью автоматизирован. Приборы работают на нескольких частотах

Таблица 1

Толщиномеры покрытий*	Принцип действия	Материал основы/типы порывтия	Диапазон измерений	Погрешность, мкм	Особенности измерительной системы
МТ (рис. 1, а) ВТ (рис. 1, б)	Измерение магнитного сопротивления на частоте $f = 200$ Гц Измерение амплитуды сигнала на частоте несколько мегагерц	Ферромагнитные стали/хром медь, краски, эмаль, пластик Немагнитные материалы/непроводящие материалы, пластик краски, лаки	5—2000 мкм 0,1—20 мм 5—2000 мкм	0,03h + 1 0,03h + 0,1 0,03h + 1	Встроенный микропроцессор, цифровая индикация, кнопочное управление, автоматическая калибровка, статическая обработка массива измерений, фиксация результата измерений, запоминание до 200 измерений, портативное исполнение, малая масса
* Тип прибора здесь и далее приводится по разработкам Ассоциации "Спектр-Групп".					
Обозначение. h — измеряемая толщина покрытия.					

Таблица 2

Измеритель удельной электрической проводимости немагнитных металлов	Принцип действия	Диапазон измерений, МСм/м	Погрешность	Особенности измерительной системы
ВЭ (рис. 2)	Измеряется фаза информативного сигнала на частоте тока возбуждения ВТП в несколько сотен килогерц	1—57	0,02h	Встроенный микропроцессор, цифровая индикация, кнопочное управление, автоматическая калибровка, портативное исполнение, малая масса
Обозначение. h — измеряемый параметр.				

тах: от одной до четырех (одновременно). Кривые измерения вектора выходных сигналов (годографы) представляются набором динамических изображений на дисплее. Число фирм-производителей вихретоковой аппаратуры достаточно велико, хотя в соответствии с мировой тенденцией их становится меньше; объемы выпуска при этом не снижаются и полностью удовлетворяют потребности рынка. К наиболее известным фирмам и торговым маркам можно отнести такие, как Ассоциация "Спектр-Групп", "ПромПрибор", "Луч", "Кропус" и др. (Россия), Институт д-ра Фёрстера, фирма "Rohmann" (Германия), "Zetec", "ECT", "MAC" (США), "Hocking" (Англия), "R/D Tech" (Канада), "CMS" (Франция), в последние годы GEIT, Olympus и др.

Современные ВТ-приборы выпускаются, как правило, с использованием программно-управляемых микропроцессоров или промышленных компьютеров; перестраиваемых генераторов на широкий диапазон частот, дисплейных индикаторов. Они имеют примерно одинаковые габариты. Их технические и эксплуатационные характеристики также близки друг к другу. Поэтому достигнутый уровень вихретоковых средств НК целесообразно представить как технические характеристики обобщенных типов приборов различного назначения. Их данные приведены в табл. 1—4.

Этот тип приборов (структуроскопы) предназначен для неразрушающего контроля изделий из немагнитных сплавов на основе алюминия или меди при помощи измерения их удельной электрической проводимости. Сортировка изделий по прираще-

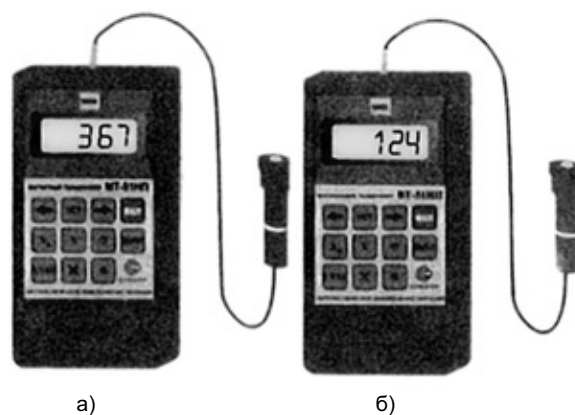


Рис. 1. Толщиномеры покрытий МТ-51НП (а) и ВТ-51НП (б)



Рис. 2. Вихретоковый структуроскоп ВЭ-26НП

Таблица 3

Вихретоковый дефектоскоп (рис. 3—5)	Принцип действия	Контролируемые материалы	Размеры минимального выявляемого дефекта (глубина × ширина × длина), мм	Особенности измерительной системы
ВД-портативные	Включение ВТП в контур генератора	Немагнитные металлы (алюминий и его сплавы, бронза, латунь, медь и др.); ферромагнитные стали	0,2 × 0,2 × 10	Встроенный микропроцессор, отстройка от краевого эффекта, цифровая индикация амплитуды сигнала, портативное исполнение, малая масса
ВД-переносные	Возбуждение ВТП на нескольких частотах (от одной до четырех)	Немагнитные металлы (алюминий и его сплавы, бронза, латунь, медь и др.); ферромагнитные стали	0,2 × 0,2 × 10 (глубина контроля по алюминию до 10 мм)	Широкий набор ВТП (прямых накладных; угловых; вращающихся накладных, проходных); представление динамических годографов дефектных зон на графическом дисплее. Сравнение измеренных динамических годографов дефекта (на нескольких частотах) с образцами дефектов банка данных

нию удельной электрической проводимости и контроль различных механических характеристик электропроводящих неферромагнитных материалов возможны при наличии экспериментально установленных корреляционных связей между удельной электропроводимостью и этими характеристиками.

В портативных дефектоскопах (см. табл. 3) используется, как правило, принцип срыва генерации гармонических колебаний. В контур генератора при этом включается вихретоковый преобразователь.

Частота генератора выбирается в диапазоне от нескольких единиц до нескольких десятков мегагерц. Генератор настраивается таким образом, что его срыв происходит при наличии в изделии дефекта. Размер дефекта индицируется светодиодным индикатором.

Электронные блоки переносных дефектоскопов (см. табл. 3) используются для создания автоматических средств контроля объектов типа парогенераторов атомных и тепловых электростанций. Проводит-



Рис. 3. Портативный двухпараметровый вихретоковый дефектоскоп ВД-89НП, применяемый для выявления и оценки глубины поверхностных трещин на изделиях различной формы из ферромагнитных и немагнитных металлов и сплавов — трубах, отливках, деталях машин — с одновременной отстройкой от влияния зазора до 0,2 мм



Рис. 4. 16-канальный дефектоскоп ВД-89НМ-16 с Notebook [9] для обнаружения стресс-коррозионных трещин в трубах под слоем изоляции, оценки их глубины и расположения



Рис. 5. Переносные вихретоковые дефектоскопы ВД-12НФМ (а) и ВД-12НФП (б)

Таблица 4

Стационарный вихретоковый дефектоскоп (рис. 6)	Диапазон толщин контролируемых изделий, мм	Дефекты	Минимальная глубина выявляемого дефекта	Скорость контроля, м/с	Особенности измерительной системы
С накладными вращающимися ВТП	10—120	Трещины, волосовины, плены, раковины, неметаллические включения	0,2—0,5 мм (в зависимости от чистоты поверхности)	0,2—2,0	Используются частоты порядка нескольких сотен килогерц, амплитудно-фазовая обработка сигнала; частотная селекция после детектирования
С набором проходных для контроля проволоки	0,05—3,00	Трещины, плены, волосовины, раковины и др.	5 % от диаметра проволоки	0,3—50,0	Диапазон частот от единиц герц до нескольких мегагерц. Отображение динамических подографов и информативных сигналов на графическом дисплее; кнопочное управление; автоматическое тестирование и контроль работоспособности
С набором проходных ВТП для контроля труб и проката	3—220 при контроле труб; 3—100 при контроле проката	Трещины, волосовины, непровары сварного шва, плены, раковины, неметаллические включения	0,3—0,5 мм (в зависимости от чистоты поверхности)	0,1—5,0	

ся дефектоскопия с применением механической системы запуска в трубку датчикового модуля проходного или накладного вращающегося типа. Использование нескольких частот питания ВТП позволяет оценивать не только размер дефекта, но и зону его расположения (сквозной, на внешней или внутренней стороне стенки трубы). На экране дисплея вычерчивается контур парогенератора (набор нескольких сот трубок) с отметкой дефектных труб для последующей их замены при ремонте парогенератора.

Стационарные вихретоковые дефектоскопы (см. табл. 4) широко используются при контроле массовой металлопродукции при ее выпуске и при входном контроле на заводах-потребителях металла. В первую очередь имеется в виду контроль проволоки, проката и труб широкой номенклатуры диаметров и марок материалов (ферромагнитных сталей, цветных металлов и их сплавов). Такие дефектоскопы выполняются либо на основе промышленных компьютеров, либо с применением микропроцессоров. Используются два типа блоков ВТП — вращающихся накладных или набора сменных проходных.

Цифровая обработка информативных сигналов на базе микропроцессоров и промышленных компьютеров позволила повысить достоверность контроля за счет применения сложных алгоритмов решения многопараметровых задач, автоматизировать режимы калибровки аппаратуры, повысить эксплуатационную надежность приборов.

Благодаря этому в ряде отраслей на основе вихретоковых средств разработаны технологии контроля ответственных узлов и агрегатов действующего оборудования, созданы нормативные отраслевые документы по применению средств вихретокового контроля. Можно привести несколько примеров. На базе вихретоковых дефектоскопов ВД-12ФМ и ВД-12НФП разработана "Инструкция по неразрушающему контролю деталей и узлов локомотивов и вагонного подвижного состава. Вихретоковый ме-

тод" и РД32.150—2000 "Неразрушающий контроль деталей вагонов. Вихретоковый метод".

Для обнаружения стресс-коррозионных трещин магистральных газопроводов используется компьютеризованный дефектоскоп ВД-89НМ-16. Технология контроля отражена в инструкции ООО "ВНИИИГАЗ" "ВД39-1.10-023(032.033)—2001".

В соответствии со стандартами DIN (SEP1917, SEP1925), API, ASTM на трубных заводах страны широко используется вихретоковый дефектоскоп ВД-41П.

В последние годы развивается модульный принцип построения аппаратуры. Строится ряд модулей, содержащих набор различных преобразователей, аналоговые модули для возбуждения преобразователей (генераторы с широким диапазоном частот — от единиц герц до десятков мегагерц), модули первичной обработки сигналов (амплитудной, амплитудно-фазовой, фазовой селекции, частотной фильтрации), платы ввода-вывода для оцифровки сигналов и передачи цифрового кода в про-

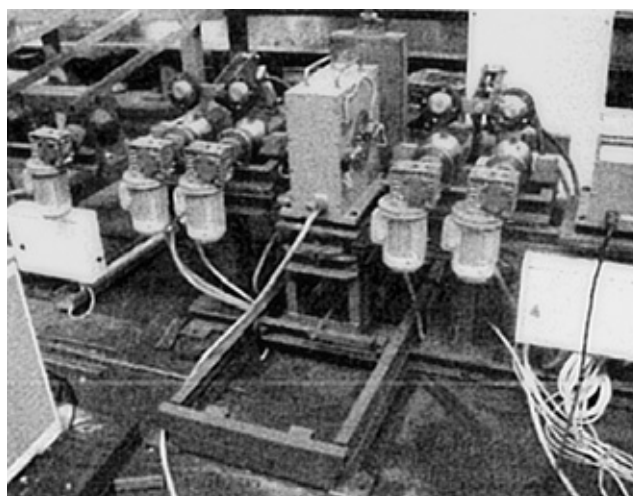


Рис. 6. Стационарный вихретоковый дефектоскоп ВД-41П — высокопроизводительный автоматизированный прибор для контроля качества труб, проката, проволоки широкой номенклатуры диаметров и марок материала (ферромагнитные и коррозионно-стойкие стали, цветные, тугоплавкие металлы и сплавы)

граммно-управляемый цифровой модуль на базе либо микроконтроллера, либо компьютера соответствующей вычислительной мощности (в зависимости от решаемой задачи). Цифровой модуль сопрягается с набором аналоговых плат и преобразователей различной конструкции.

Такой принцип позволяет реализовать комплексирование различных видов контроля: вихретоковый с магнитным, оптическим, тепловым, в некоторых случаях ультразвуковым. Это существенно расширяет функциональные возможности средств НК. В частности, модульный принцип реализован с использованием известных конструкций малогабаритных "ладонных" компьютеров. Первые такие разработки реализованы во Франции при создании ручных приборов НК для измерения толщин покрытий различного назначения с использованием магнитных и вихретоковых методов, а также толщиномеров листов и стенок труб (УЗК-метод) [5].

Перспективы ВТ-контроля

Дальнейшее развитие вихретокового контроля связано с применением компьютеров с более высоким быстродействием и большим объемом памяти. Это позволит в реальном масштабе времени преодолевать вычислительные проблемы при решении систем нелинейных уравнений с большой разрядностью. Поэтому весьма актуальна задача дальнейшего развития методов формирования, анализа и решения таких систем, что особенно важно для задач дефектоскопии, поскольку используемые в настоящее время экспериментальные подходы сильно привязаны к конкретным условиям и весьма трудоемки. Актуальным направлением является замена механических сканирующих систем электронными с использованием матричных ВТ. Такие системы начинают развиваться, но они пока привязаны к контролю изделий простейшей геометрической формы и для решения задач производственного контроля используются еще недостаточно широко.

Следует отметить направление, связанное с созданием встроенных систем контроля материалов объектов ответственного назначения. Вихретоковые преобразователи, работающие в достаточно жестких условиях эксплуатации, могут встраиваться в работающие агрегаты и обеспечивать информацию о состоянии металла наиболее нагруженных участков объекта.

Перспективным направлением является также дальнейшее развитие комплексирования различных методов НК. Так, развитие вихретоко-теплового метода позволит существенно продвинуть дефектоскопический контроль таких металлоизделий, как проволока, прокат и трубы, так как использование измерений тепловых полей дает возможность перейти к визуализации пространственного распре-

деления локальных неоднородностей по объему изделия, а широкие возможности компьютерной обработки изображений позволят перейти к изменению размеров и пространственного расположения дефектов. Возможности вихретокового контроля уже сегодня достаточно широки, с каждым годом они будут постоянно возрастать, что позволит уже в недалеком будущем перейти к важнейшей задаче диагностирования — оценке остаточного ресурса действующего оборудования. Многие влияющие на ресурс параметры металла контролируемых объектов — наличие нарушений сплошности и зон концентрации внутренних механических напряжений, резких изменений структуры, коррозионных повреждений — уже сегодня не только выявляются с помощью вихретокового метода, но и оцениваются по размерам и зонам пространственного расположения. По мере накопления данных по влиянию основных опасных дефектов на прочностные свойства исследуемого объекта будут разрабатываться алгоритмы оценки его остаточного ресурса. Уже в настоящее время такие работы имеют практический выход при оценке остаточного ресурса и определении межремонтных интервалов парогенераторов электростанций (атомных и тепловых) на основе расчета количества дефектов на заданной длине одной трубки и количества опасных трубок в общем объеме парогенератора. Аналогичные подходы используются при оценке ресурса буровых труб нефтяных скважин, деталей и узлов оборудования, при эксплуатации самолетов и ракет. Используя низкочастотные электромагнитные поля, позволяющие вести контроль толстостенных ферромагнитных объектов, можно ожидать в ближайшем будущем перехода к оценке ресурса и межремонтных интервалов резервуаров для хранения нефти и газа, что важно для предотвращения техногенных катастроф.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вихретоковый контроль* / Ю. К. Федосенко, В. Г. Герасимов, Ю. Я. Останин, А. Д. Покровский // *Неразрушающий контроль: Справочник в 8 т.* / Под ред. В. В. Клюева. Т. 2. Кн. 2. М.: Машиностроение, 2003. 688 с.
2. *Fedosenko Y. K. Enhancement of Technical Parameters of Eddy-Current Flaw Detectors Designed for Lengthy Metal Products On-Line Examination* // 9th European Conf. on NDT. Berlin, 2006. Pt. 2. P. 94.
3. *Новые разработки и перспективы развития автоматизированных электромагнитных средств поточного контроля труб и проката* / Ю. К. Федосенко, В. И. Гаврилов и др. // *Контроль. Диагностика.* 1999. С. 10—15.
4. *Исаев А. А., Шатерников В. Е.* Способы контроля толщины листа и коэффициента температуропроводности при импульсных тепловых взаимодействиях // *Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности.* М., 2006. С. 18—19.
5. *Rolet S. Smart NDT Tools: a New Generation of NDT Devices* // 9th European Conf. on NDT. Berlin, 2006. Pt 1.

"В мире неразрушающего контроля", 2007, № 2

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА

Ю. М. МИРОШ, д-р техн. наук, В. Ф. ПТИЦЫН, инж.
(ГКНПЦ им. М. В. Хруничева),
Т. С. СУХОВА, инж.
("МАТИ" – РГТУ им. К. Э. Циолковского)

Разработка методологии оценки рисков в процессе производства систем адаптации ракетносителей и космических аппаратов

С выходом ракетно-космических центров РФ на мировой рынок пусковых услуг возникла необходимость создания систем адаптации механических и электрических интерфейсов ракет-носителей (РН) различных классов с зарубежными и вновь создаваемыми отечественными космическими аппаратами (КА). Несколько типов систем адаптации, в состав которых входят переходная система (ПС) и средства разделения (СР), разработаны и производятся в ГКНПЦ им. М. В. Хруничева при использовании РН "Протон-М" с разгонным блоком (РБ) серии "Бриз-М" и РН "Рокот" с РБ "Бриз-КМ" (табл. 1). Также разработана базовая универсальная система адаптации с применением в ПС композиционных материалов, охватывающая практически весь спектр создаваемых в настоящее время КА (рис. 1).

Все создаваемые системы адаптации ориентированы на концепцию максимальной безопасности при эксплуатации [3], которая обуславливает необходимость анализа рисков не только по предельным ситуациям (авариям, отказам), но и с учетом вероятности недостоверной оценки характеристик или параметров системы. Наличие таких несоответствий на любом этапе

жизненного цикла связано с нарушениями устойчивости технологических процессов, случайным сбоем оборудования, ошибками в действиях исполнителей или другими причинами, приводящими к дополнительным

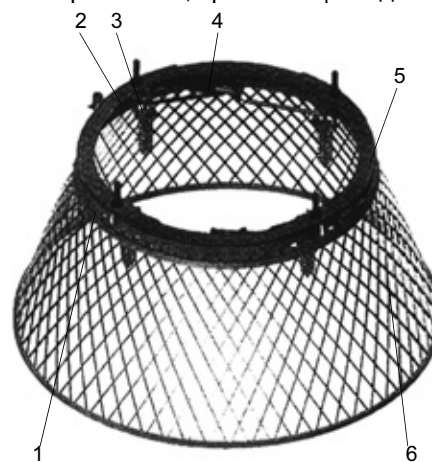


Рис. 1. Общий вид универсальной системы адаптации: 1 — кольцо ПС; 2 — толкатель; 3 — замок; 4 — пиропровод; 5 — кронштейны отрывных электросоединителей; 6 — каркас

Таблица 1




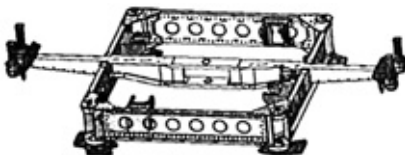
Вид каркасов ПС	Тип СР	Тип РН
	СР-1194 "SAAB" (Швеция)	"Протон-М"
	СР-ГКНПЦ (Россия)	"Протон-М"
	СР-"CASA" (Испания)	"Рокот"
	СР-ГКНПЦ (Россия)	"Рокот"

Таблица 2

ную неопределенность в оценку безопасности создаваемой продукции. При математическом описании процесса необходимо на каждом этапе создания системы адаптации установить параметры, характеризующие свойства системы и ее составных частей, а состояния системы считать случайными функциями времени, зависящими от значений этих параметров. Таким образом, на основании известных параметров составных частей системы, установленных в процессе наземной отработки (статические и динамические испытания ПС, испытания СР на функционирование), необходимо определить оптимальные параметры процесса подтверждения их соответствия, обеспечивающие заданные свойства функционирования системы в процессе изготовления, интеграции ПС и СР в систему адаптации и ее летной эксплуатации при минимальной вероятности (остаточном риске) использования составных элементов с параметрами, не соответствующими установленным требованиям. Общая оценка (overall evaluation) остаточного риска может оказаться излишней, если по каждому виду опасностей или этапу жизненного цикла продукции принято решение о допустимости риска.

Статические, динамические и функциональные испытания ПС и СР при имитации внешних воздействий позволяют не только выявить потенциально опасные отказы элементов системы адаптации (табл. 2), но и определить область анализа и оценки рисков, связанных с состоянием параметров ПС и СР.

Этап наземных испытаний — нормирование требований к состоянию параметров составных частей и системы в целом:

— по системе адаптации — группа параметров, определяющая требования к реализации процесса адаптации;

— по характеристикам ПС — группа параметров, характеризующая прочностные характеристики каркаса при синусных и случайных ударных нагрузках на участке выведения КА и при транспортировке;

— по характеристикам СР — группа параметров, ответственная за реализацию процесса отделения ПС от КА.

Этап производства — формирование требуемых значений параметров:

— система разделения в сборе (рис. 2) — выходные функциональные параметры;

— пиротехнический привод — ход штока до и после срабатывания, момент затяжки контрольной гайки, герметичность корпуса, отсутствие статического электричества;

— замок: время открытия замков, азимутальное расположение замков на плоскости разделения;

Элемент системы адаптации	Этап	Вид отказа	Последствия отказа
Каркас ПС	Полет РН	Разрушение или деформация конструкции	Невозможность отделения КА или нештатное отделение КА
Пиропривод	Отделение КА от ПС	Выброс газов из привода	Аварийное прекращение полета, невозможность разделения ПС и КА
Замок	Отделение КА от ПС	Выпадение "сухарей" из корпуса	Аварийное прекращение полета, невозможность разделения ПС и КА
Толкатель	Отделение ПС от РБ	Заклинивание подвижных и поворотных деталей и узлов	Снижение скорости отделения ПС и КА

— толкатель: перемещение штока, зазор между контактирующими поверхностями при приложении усилия, усилие сжатия пружин;

— переходная система в сборе: плотность прилегания стыковочных поверхностей каркаса ПС и имитатора КА; биение внутреннего и внешнего диаметров каркаса; усилие сжатия каркаса при осевых сжимающих нагрузках; величина перемещения поверхности каркаса при воздействии изгибающего момента.

Этап эксплуатации — оценка фактически достигнутых характеристик:

— система адаптации (СА): относительная скорость отделения ПС от КА, виброударные нагрузки при срабатывании пиротехнических приводов.

Таким образом, система может быть формализована взаимодействующими в промежутке времени $(0, t)$ этапами $N_k (k = 1, 2, \dots, n)$ формирования информации

объемом $\sum_{k=1}^n \left\{ \sum_{\varphi=1}^m W_{\varphi}^k(t) \right\}$ по множеству $\{\varphi \in \Phi_k\}$ пара-

метров системы и ее составных частей и представлена в виде связанного ориентированного графа (рис. 3).

Для построения расчетной модели применим закон Кирхгофа [2] и представим ориентированный граф в виде матрицы A^0 размера $(k \times \beta)$, где k — число этапов (вершин) графа, β — число его дуг с элементами, имеющими значения:

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1, j\text{-я дуга выходит из } i\text{-й вершины;} \\ -1, j\text{-я дуга входит в } i\text{-ю вершину;} \\ 0, i\text{-я вершина не является концом } j\text{-й дуги.} \end{cases} \quad (1)$$

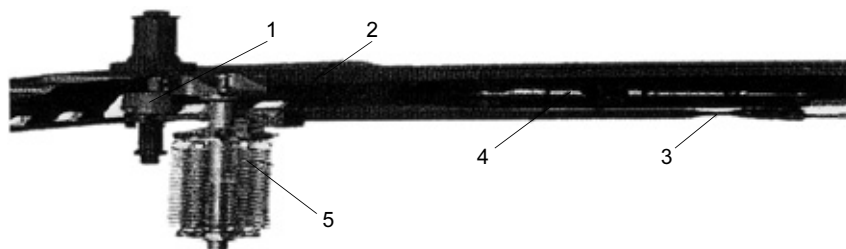


Рис. 2. Общий вид системы разделения с расположением ее основных элементов на каркасе переходной системы: 1 — замок; 2 — датчик контроля разделения; 3 — тяга; 4 — пиропривод; 5 — толкатель

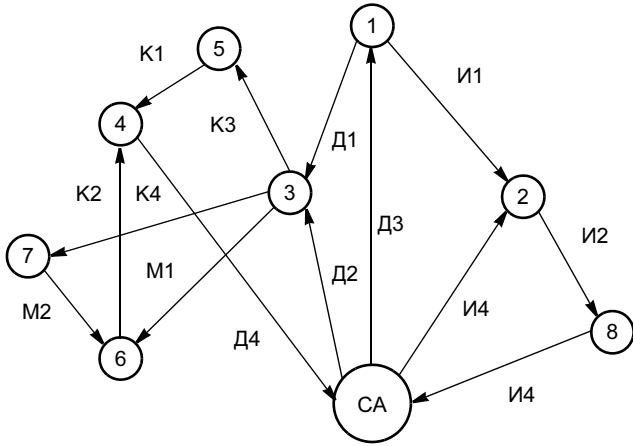


Рис. 3. Связный ориентированный граф

В соответствии с рис. 3 ($k = 9, \beta = 14$) матрица может быть представлена в виде табл. 3. В каждом столбце матрицы A^0 имеются два ненулевых элемента, в сумме равных нулю. Таким образом, матрица A^0 — вырожденная и строки являются линейно зависимыми, а ее ранг не превышает $(k - 1)$. При этом система k -уравнений устанавливает равенство нулю алгебраической суммы в узлах эквивалентной схемы, т. е. представленная система разрешена относительно $(k - 1)$ этапов (узлов) поступления информации в замкнутый контур и обеспечивает возможность поэтапного определения риска.

Состояние данной системы в фиксированный момент времени t характеризуется числом потоковых значений параметров W_φ^{k-1} , внесенных в $(k - 1)$ узел, и числом реализуемых требований параметров W_φ^k в k -м узле по графу строк (β).

Таким образом, сформированы правила подтверждения требований для системы в целом, состоящие в распределении требований к параметрам системы между отдельными ее составными частями (блоками) в соответствии с матрицей (см. табл. 3). Например, для этапа 4 по графу строк со знаком (+CA), для этапа 3 — по графу строк (+K3, +K4, +M1) и т. д.

При выборе интервала времени $T = (t_0, t_j, \dots, \infty)$ в качестве обобщенных координат и при допущении, что пространство элементарных событий по оценке состояний параметров $\{\varphi \in \varphi_k\}$ конечно, а $p_k = p(\varphi_k)$ — веро-

ятностная мера на пространстве элементарных событий φ_k , обусловленная риском R , достаточно с применением метода последовательного анализа Вальда [1] получить математическое отображение $p\{\varphi_{kj}(\tau)\}$ при

$$p_{kj} \geq 0 \text{ и } \sum_{k=1}^n p_{kj} = 1. \text{ При этом построение доверительного интервала с заданной вероятностью } \gamma_3 \text{ для совокупности исследуемых независимых параметров } \varphi \in \varphi_{kj};$$

$j = (1, \dots, \zeta, \dots, m)$ характеризуется доверительной вероятностью γ_φ и связано с общей доверительной вероятностью γ неравенством Бонферрони:

$$\gamma = \prod_{j=1}^m \gamma_\varphi, \text{ откуда } \gamma_\varphi = m\sqrt{\gamma_3}.$$

В этом случае испытания заключаются в последовательном сравнении случайных чисел η_{kj} с заданными значениями φ_{kzj} . Исходом испытаний является событие ω оценки удовлетворения измеренной величины η_k неравенству $\varphi_{kzj} - v_j \leq \eta_{kj} \leq \varphi_{kzj} v_j$, где v_j — допуск по параметру j .

Тогда возможный риск R наличия в системе составных частей с параметрами, не соответствующими установленным требованиям на каждом последующем этапе при принятых решениях об их отсутствии на предыдущем этапе, зависит от нескольких простых событий и для произвольно выбранного k -этапа может быть представлен в виде $R_k = \sum_{\varphi, \omega} \theta_{\varphi\omega} P_{\varphi\omega}$, где

$\{P_{\varphi\omega}\}_k$ — совместные вероятности того, что имеют место требования к состоянию параметра φ и принятое ω — решение по результатам его оценки на k -этапе; $\{\theta_{\varphi\omega}\}_k = \theta_k[G(\varphi)g(\omega)]$ — функции потерь, учитывающие потери, соответствующие каждой комбинации истинного состояния параметра φ и принятого в результате контроля решения ω ; $G(\varphi)$ — функция, характеризующая разбиение объекта по этапам контроля; $g(\omega)$ — функция решений, определяющая алгоритм принятия решения при обработке получаемой информации.

Для случая, когда потери при правильном решении считаются нулевыми, средний риск R^{CP} связан с возможными исходами на каждом этапе: ошибочными решениями $\{\omega_\beta\}$ о соответствии контролируемых параметров $\{\varphi_{kj}; j = 1, \dots, \zeta, \dots, m\}$ установленным требованиям $\theta_{2\omega_\beta}(1 - P_\varphi)$ или ложными решениями о забраковании $\{\omega_\alpha\}$ продукции при соответствии ее параметров уста-

Таблица 3

Номер k -этапа	Обозначения дуг- β													
	K1	D1	D3	K3	K2	D2	I2	D4	I4	I1	K4	I3	M1	M2
1	0	+1	-1	0	0	0	0	0	0	+1	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	+1	0	-1	-1	0	0	0	0
3	0	-1	0	+1	0	-1	0	0	0	0	+1	0	+1	0
4	-1	0	0	0	-1	0	0	+1	0	0	0	0	0	0
5	+1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	+1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	+1
8	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	+1	0	0
CA	0	0	+1	0	0	+1	0	-1	+1	0	0	-1	0	0

новленным требованиям $\theta_1\omega_\alpha P_\varphi$. В этом случае R^{CP} описывается выражением

$$R^{CP} = \prod_{k=1}^n \sum_{\varphi=1}^m \{\theta_1 k \omega_\alpha P_\varphi + \theta_2 k \omega_\beta (1 - P_\varphi)\} \leq \min R_{\omega\varphi}^0,$$

где ω_β — ошибки первого рода — риск заказчика; ω_α — ошибки второго рода — риск изготовителя (для высоконадежных ответственных изделий рационально выбрать $\omega_\beta = \omega_\alpha$; $0 < P_\varphi < 1$ — априорная надежность контроля; $R_{\omega\varphi}^0$ — допустимая вероятность флуктуации риска, определяющая степень непокрытия требований нормативной документации по всей совокупности анализируемых параметров при передаче изделия в эксплуатацию.

Общая достоверность решений, определяемая ошибками первого и второго рода, для независимых параметров $\omega_\alpha = 1 - \prod_{\varphi=1}^m (1 - \omega_{\alpha\varphi})$; $\omega_\beta = 1 - \prod_{\varphi=1}^m (1 - \omega_{\beta\varphi})$.

Совершенно очевидно, что производственная составляющая риска R^{CP} определяется показателем эффективности процесса поэтапного подтверждения ответственности параметров

$$\Lambda = \theta_2(1 - P_\varphi)/\theta_1\omega_\alpha P_\varphi + \theta_2\omega_\beta(1 - P_\varphi) = 1/\omega_\beta + \{\theta_1 P_\varphi/\theta_2(1 - P_\varphi)\}\omega_\alpha,$$

необходимым условием реализации процесса является неравенство $\Lambda > 1$, что равносильно требованию

$$\omega_\beta + P_\varphi/\theta_2(1 - P_\varphi)\omega_\alpha < 1,$$

откуда получаем общее условие

$$\theta_1 P_\varphi/\theta_2(1 - P_\varphi) = (1/\Lambda) - \omega_\beta/\omega_\alpha$$

и частные условия

$$\theta_1 P_\varphi/\theta_2(1 - P_\varphi) < 1/\Lambda\omega_\alpha; \omega_\beta < 1/\Lambda.$$

Анализ статистических свойств показателя $\Lambda(t)$ проведем исходя из оценки интенсивности λ недостоверных решений о состояниях параметров контролируемого объекта по совокупности $\{\varphi\}$ событий по связанному ориентированному графу (см. рис. 3) (с учетом характеристик при эксплуатации) за время τ_Σ диагностики и при условии, что объект с недостоверными данными о его параметрах не заменяется и диагностика прекращается после выявления заданного числа параметров ζ . Тогда плотность вероятности того, что в промежутке времени $(\tau_1, \dots, \tau_\zeta)$ было принято недостоверное решение по $(1, \dots, \zeta)$ параметрам, а в интервале времени (τ_ζ, T) результаты оценки состояний параметров $(\zeta + 1, \dots, m)$ достоверны и при вероятности этого события, описываемого экспоненциальным распределением, можно представить в виде

$$P(\tau_1, \dots, \tau_\zeta) = \frac{m!}{(m - \zeta)!} \lambda^\zeta \exp\left\{-\lambda \left[\sum_{i=1}^{\zeta} \tau_i + (m - \zeta)T\right]\right\},$$

где множитель $\frac{m!}{(m - \zeta)!}$ учитывает возможные способы наступления события ζ из m событий; $\exp\{-(m - \zeta)\lambda T\}$ —

вероятность того, что в момент окончания диагностики число параметров с достоверными решениями об их состоянии составляет $(m - \zeta)$. Логарифмируя, дифференцируя по λ и приравнявая результат нулю, получим точечную оценку максимального правдоподобия

для интенсивности недостоверных решений $\lambda^\varphi = \frac{\zeta}{\tau_\Sigma}$,

где τ_Σ — суммарная наработка. Суммарная интенсивность недостоверных решений для совокупности контролируемых параметров по табл. 3 при условии разрешения по $k - 1$ этапам

$$\lambda_\Sigma^\varphi = \sum_{\varphi=1}^{\xi(k-1)} \lambda_\varphi.$$

Оценкой вероятности $\Lambda(t)$ безошибочной оценки состояний параметров является эффективная несмещенная оценка вероятности $Z^\varphi = 1 - \frac{\zeta}{m}$, основанная на вероятности регистрации несоответствий параметров ζ в объеме m с биномиальным распределением

$$P(Z^\varphi, \zeta/m) = \frac{m!}{(m - \zeta)! \zeta!} Z^{m - \zeta} (1 - Z)^\zeta,$$

математическим ожиданием $M[\zeta] = mZ$ и дисперсией $D[\zeta] = mZ(1 - Z)$.

Текущая информация о параметрах составных элементов системы адаптации может быть использована для оценки коэффициента эффективности процесса подтверждения и реализации поэтапных управляющих воздействий по приведению системы в область допустимого риска.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная методология оценки рисков в процессе производства систем адаптации ракетносителей и космических аппаратов ориентирована на реализацию концепции максимальной безопасности их эксплуатации, которая обуславливает необходимость анализа рисков не только по предельным ситуациям (авариям, отказам), но и учитывает вероятности недостоверной оценки характеристик или параметров системы.

2. Предлагаемые математические модели позволяют на основе текущей информации о параметрах составных элементов системы адаптации оценивать коэффициент эффективности процесса подтверждения и реализации поэтапных управляющих воздействий по ее приведению в область допустимого риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вальд А. Последовательный анализ. М.: Физматгиздат, 1960. 325 с.
2. Зарубин В. С. Математическое моделирование в технике. М.: МГТУ, 2003. 418 с.
3. Мирош Ю. М. Основные принципы управления рисками космических систем // Науч. Тр. МАТИ. Вып. 9(81). М.: ИЦ МАТИ, 2005. С. 237—241.

Шум машин

Определение уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других заданных точках по интенсивности звука (технический метод) (ГОСТ ИСО 11205—2006)

Стандарт подготовлен ОАО "Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем" (ОАО "НИЦКД") на основе собственного аутентичного перевода стандарта ИСО 11205—2003. Внесен Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии. Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 30 от 7 декабря 2006 г.). Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 июня 2007 г. № 132-ст межгосударственный стандарт ГОСТ ИСО 11205—2006 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 октября 2007 г. Введен впервые.

1. Область применения

Настоящий стандарт устанавливает технический метод (2-й степени точности) для определения уровня звукового давления излучения машины в условиях эксплуатации на рабочем месте или в других заданных точках с использованием интенсивности звука. Стандарт является альтернативой ИСО 11201, ИСО 11202 и ИСО 11204 для измерений в полевых условиях. Он применим для всех видов условий испытаний, обеспечивающих выполнение требований по фоновому шуму и показателям звукового поля.

Настоящий стандарт применяется к оборудованию, излучающему стационарный широкополосный шум. Этот шум может отличаться для разных рабочих циклов машины, а также может содержать или не содержать узкополосные компоненты или дискретные частоты.

2. Нормативные ссылки

Следующие ссылочные стандарты являются обязательными для применения настоящего стандарта. Датированные ссылки применяются только к указанным редакциям документов. Недатированные ссылки относятся к наиболее поздней редакции цитируемого документа (включая все изменения):

— ИСО 7574-1 Акустика. Статистические методы для определения и подтверждения установленных значений величин шумового излучения машин и оборудования. Часть 1. Общие требования и определения;

— ИСО 12001 Акустика. Шум, излучаемый машинами и оборудованием. Руководство по разработке и представлению стандартов по испытаниям на шум;

— МЭК 60942:2003 Электроакустика. Звуковые калибраторы;

— МЭК 61043:2003 Электроакустика. Средства измерения интенсивности звука. Измерения парой чувствительных к давлению микрофонов.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1. **Интенсивность звука \vec{I} , Вт/м²**: усредненное по времени мгновенное значение потока звуковой энергии, проходящего через единичную площадку за единицу времени в направлении мгновенного значения локальной скорости частиц стационарного во времени звукового поля.

Примечания:

1. Интенсивность звука вычисляют по формуле

$$\vec{I} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T p(t) \vec{u}(t) dt,$$

где $p(t)$ — мгновенное звуковое давление в точке, Па; $\vec{u}(t)$ — мгновенное значение скорости частиц в той же точке, м/с; T — интервал интегрирования, с.

2. Интенсивность звука — векторная величина.

3.2. **Вектор интенсивности звука \vec{I}_{xyz} , Вт/м²**: векторная сумма трех измеренных ортогональных компонент интенсивности.

3.3. **Уровень вектора интенсивности звука L_{Ixyz} , дБ**: десять десятичных логарифмов отношения модуля вектора интенсивности звука к опорной интенсивности I_0 .

Примечания:

1. Уровень вектора интенсивности звука вычисляют по формуле

$$L_{Ixyz} = 10 \lg \left(\frac{|\vec{I}_{xyz}|}{I_0} \right).$$

2. Опорная интенсивность звука $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м².

3.4. **Показатель "давление — интенсивность" звукового поля или показатель поля F_{plx}** : разность между усредненным по времени измеренным уровнем звукового давления L'_p и уровнем вектора интенсивности звука L_{Ixyz} .

Примечания:

1. Показатель поля вычисляют по формуле

$$F_{plx} = L'_p - L_{Ixyz}.$$

2. Когда показатель поля определяют для каждой декартовой координаты x , y и z , его обозначают F_{plx} , F_{ply} и F_{plz} соответственно.

3. В ИСО 9614-1 применяют обозначение F_2 .

3.5. **Показатель "давление — остаточная интенсивность" δ_{pI0}** : разность между измеренным уровнем звукового давления и уровнем интенсивности звука, когда акустический зонд размещен и направлен в зву-

ковом поле таким образом, что интенсивность звука равна нулю.

Пример. Данный эффект может наблюдаться в акустическом модеме (устройстве для передачи данных в компьютер по акустическому каналу связи) или в другом аналогичном устройстве, выполненном в виде акустического зонда, ось микрофонной пары которого перпендикулярна направлению распространения плоских волн.

3.6. Уровень звукового давления излучения L_p , дБ: уровень звукового давления в контрольной точке вблизи машины при заданных режиме работы и условиях монтажа (установки) машины на звукоотражающей плоскости, когда исключено влияние фонового шума и отражений от поверхностей, отличных от допускаемых для целей испытаний.

3.7. Контрольная точка: место, определенное по отношению к машине, включающее место оператора.

Примечание. Местом может быть единственная фиксированная точка или совокупность точек, принадлежащих некоторой линии или поверхности, расположенной на заданном расстоянии от машины, как описано в соответствующем стандарте по испытаниям на шум при его наличии. Места, расположенные вблизи рабочего места или вблизи необслуживаемой машины, можно рассматривать как "место наблюдателя".

3.8 Показатель динамической способности L_d , дБ: разность между показателем "давление — остаточная интенсивность" и систематической ошибкой K :

$$L_d = \delta_{p10} - K.$$

Примечание. В настоящем стандарте $K = 10$ дБ.

3.9. Коррекция интенсивности для поля над отражающей плоскостью K_5 : коррекция, учитывающая тот факт, что уровень интенсивности звука в поле над отражающей плоскостью меньше уровня звукового давления.

Примечания:

1. В настоящем стандарте $K_5 = 1$ дБ.
2. Введение данной поправки уменьшает систематическую недооценку уровня звукового давления излучения по измерениям интенсивности: K_5 не зависит от частоты и, следовательно, пригодна для оценки уровня звука. В этом случае используют обозначение K_5 .

4. Неопределенность измерений

Значение уровня звукового давления излучения источника шума, определенное методами настоящего стандарта в каком-либо конкретном месте, вероятно, будет отличаться от истинного значения на некоторую величину, находящуюся в пределах неопределенности измерений. Неопределенность измерений уровня звукового давления излучения увеличивается в зависимости от многих факторов, влияющих на результаты измерений; некоторые из них связаны с акустическими условиями в измерительном помещении, другие — с методикой измерений.

Оценка неопределенности измерения может быть получена на основе стандартных отклонений воспроизводимости и повторяемости согласно ИСО 7574-1, если нет в распоряжении более конкретной информации.

Стандартное отклонение воспроизводимости ^{а)} σ_{RA} для стабильного ^{е)} источника, дБ	Стандартное отклонение повторяемости ^{б)} σ_{rA} для нестабильного ^{е)} источника, дБ	Суммарное стандартное отклонение, дБ	Расширенная неопределенность ^{д)} , дБ
1,5 ^{с)}	σ_{rA}	$\sqrt{\sigma_{RA}^2 + \sigma_{rA}^2}$	$2\sqrt{\sigma_{RA}^2 + \sigma_{rA}^2}$
<p>а) Получено разными операторами с использованием различного измерительного оборудования для одной и той же машины в различных внешних условиях. Эта величина включает малое стандартное отклонение повторяемости σ_r ($\sigma_r \approx 0,5$ дБ).</p> <p>б) Получено одним и тем же оператором для одной и той же машины в одних и тех же внешних условиях на одном и том же измерительном оборудовании (должно применяться при $\sigma_r > 0,5$ дБ).</p> <p>с) Если преобладают частоты свыше 5000 Гц, то σ_{RA} уровня звука может быть больше.</p> <p>д) 95 %-ная доверительная вероятность в предложении нормального распределения.</p> <p>е) Стабильность источника характеризуется значением σ_r.</p>			

Для установления стандартных отклонений воспроизводимости и повторяемости уровней звукового давления излучения в отдельных точках необходимо большое количество данных измерений. Эти стандартные отклонения значительно отличаются для различных типов машин и оборудования, относительно которых применяют настоящий стандарт. Поэтому нельзя предоставить универсально применимую информацию, но можно сослаться на стандарты по испытаниям на шум отдельных видов машин, содержащие соответствующие данные.

Типичное среднеквадратичное отклонение воспроизводимости приведено в таблице. Исходя из этого и привлекая дополнительную информацию о среднеквадратичном отклонении повторяемости, можно вычислить суммарное среднеквадратичное отклонение и оценку расширенной неопределенности измерения для доверительной вероятности 95 %, соответствующей фактору покрытия, равному двум.

5. Метод измерения

Основной принцип метода измерения заключается в том, что интенсивность звука в диффузном звуковом поле мала (теоретически должна равняться нулю), и уровень звукового давления равен уровню интенсивности звука в свободно распространяющейся волне. Метод измерения предполагает, что отраженный от ограждений помещения и препятствий звук образует в сумме диффузное звуковое поле. Прямой звук от испытуемой машины образует свободно распространяющуюся волну, не являющуюся частью диффузного звукового поля.

Эти предположения будут нарушаться, если акустическим зондом будут измеряться близкие по значению интенсивности звука от различных частей машины, которые в некоторой степени компенсируют друг друга, складываясь как векторные величины. В этих случаях измеряемая интенсивность звука становится меньше, а в предположении некоррелированного (энергетического) суммирования реальное звуковое давление бу-

дет больше по сравнению с тем, что соответствует значению интенсивности. В этих случаях уровень вектора интенсивности звука будет давать заниженную оценку уровня звукового давления излучения. Добавляя K_5 к заниженной оценке, обусловленной отражением от пола, а также большими размерами машин, ошибка в оценке может быть уменьшена посредством удовлетворения указанного в п. 8.5 критерия для показателя "давление — остаточная интенсивность".

6. Средства измерений

6.1. Общие положения

Средство измерения должно позволять измерять интенсивность относительно 10^{-12} Вт/м² в децибелах в октавных или третьоктавных полосах. Средство измерения, включая акустический зонд, должно соответствовать приборам 1-го класса по МЭК 61043. Если акустический зонд не обладает плоской частотной характеристикой для частот свыше 5000 Гц, можно руководствоваться инструкцией производителя или выбрать акустический зонд с микрофонами диаметром 6 мм, разнесенными на расстояние 6 мм.

Показатель "давление—остаточная интенсивность" $\sigma_{p/10}$ акустического зонда и анализатора должен быть больше, чем $F_{pl} + 10$ дБ в каждой октавной и третьоктавной полосе.

6.2. Калибровка

Соответствие измерительной аппаратуры требованиям МЭК 61043 должно периодически проверяться методами, установленными в соответствующих стандартах.

Во время каждой серии измерений средство измерений и акустический зонд должны калиброваться в соответствии с процедурой калибровки, по меньшей мере, на одной частоте из диапазона от 200 до 1000 Гц.

Перед каждой серией измерений должны быть выполнены следующие испытания средств измерений в акустическом поле:

а) выполняют акустическую проверку в соответствии с инструкцией производителя. Если такой инструкции нет, проверяют средство измерения согласно б) и с);

б) уровень звукового давления: проверяют каждый микрофон давления акустического зонда для уровня звукового давления, используя калибратор 1-го класса по МЭК 60942;

с) интенсивность: калибруют средство измерения с использованием калибратора интенсивности. Если такой калибратор отсутствует или конструкция акустического зонда не позволяет проведение такой калибровки, выполняют следующую проверку. Ориентируя акустический зонд в направлении наиболее важного источника звукового излучения, размещают его в точке, где шум машины является характерным для данной машины. Акустический зонд интенсивности должен быть установлен так, чтобы сохранять свои координаты во время выполнения поверочных измерений. Измеряют интенсивность. При тех же координатах акустического зонда изменяют его направление на 180° и повторно измеряют интенсивность. Измерительное средство допускается к измерениям, если для измерений максимальных уровней интенсивности звука в октавных или третьоктавных полосах модуль

разности между двумя модулями уровней, соответствующих противоположным направлениям акустического зонда, составляет менее 1,5 дБ.

7. Установка и режим работы источника

7.1. Общие положения

Способ установки и режим работы испытываемой машины могут оказывать значительное влияние на уровни звукового давления излучения в заданных местах. В настоящем разделе определяются условия, предназначенные минимизировать изменения шумового излучения, обусловленные способом монтажа и режимом работ испытываемой машины. Если для данного семейства машин или оборудования существует стандарт по испытаниям на шум, то выполняют соответствующие инструкции. Для измерения уровней звукового давления излучения следует использовать те же самые режимы работы и условия монтажа, как для измерения уровней звуковой мощности. Стандарт по испытаниям на шум рассматриваемой машины детально описывает установку, монтаж и режим работы.

П р и м е ч а н и е. В стандарте по испытаниям на шум может быть сделано исключение относительно этого требования идентичности установки, монтажа и режима работы для настольного оборудования. Во время проведения измерений по определению звуковой мощности такое оборудование может быть смонтировано на полу.

В частности, для больших машин необходимо принять решение, какие из компонентов, агрегатов, вспомогательного оборудования, источников питания и т. д. войдут в состав испытываемой машины.

7.2. Положение машины

Испытуемую машину следует устанавливать в одном или более положениях относительно отражающей плоскости, если это необходимо для ее нормального функционирования. Если это не противоречит типичной установке, то испытываемая машина должна по возможности размещаться вдали от таких отражающих поверхностей, как стены, потолок или другие звукоотражающие объекты.

П р и м е ч а н и е. Типичные условия установки для некоторых машин включают две или более отражающих поверхностей (например бытовой прибор, установленный напротив стены) или свободное пространство (например подъемный механизм), или отверстие в противоположной отражающей плоскости (так, что излучение может иметь место с обеих сторон отражающей плоскости). Конкретная информация по условиям установки должна основываться на требованиях настоящего стандарта и соответствующего стандарта по испытаниям на шум (при его наличии). Методы измерения в случаях, когда машина находится вблизи отражающих поверхностей, представлены в следующих разделах настоящего стандарта.

7.3. Установка машины

7.3.1. Общие положения

Во многих случаях шумовое излучение в заданных точках испытываемой машины будет зависеть от условий установки и монтажа машины. Если существуют

типичные условия установки для машины, они по возможности должны применяться или моделироваться.

Если типичных условий монтажа не существует или они не могут быть использованы при испытаниях, следует применять систему монтажа, не изменяющую звуковое излучение испытываемой машины. Следует предпринять меры для уменьшения излучения звука от основания, на которое устанавливается машина.

Упругое закрепление должно быть использовано только в случае, если испытываемая машина упруго закрепляется в обычных условиях эксплуатации. Многие малые машины, имея слабое собственное низкочастотное излучение, достаточно эффективно излучают низкочастотный звук, когда энергия их вибраций передается через излучающие поверхности больших размеров. Если это имеет место, то между испытываемой машиной и опорными поверхностями по возможности должны располагаться упругие амортизаторы с тем, чтобы минимизировать передачу вибрации на основание и ответное воздействие на источник. В этом случае монтажное основание должно быть жестким (т. е. иметь большой механический импеданс), чтобы защитить его от чрезмерной вибрации и излучаемого звука.

П р и м е ч а н и е. Условия присоединения (например, приводных двигателей и ведомых машин) могут оказывать значительное влияние на излучение звука испытываемой машины.

7.3.2. Ручные машины и оборудование

Ручные машины и оборудование должны подвешиваться или удерживаться рукой так, чтобы никакой структурный шум не передавался через устройство закрепления, не принадлежащее испытываемой машине. Если испытываемая машина требует закрепления во время работы, то закрепляющее устройство должно быть малым, должно рассматриваться как часть испытываемой машины и закрепляться, как описано в соответствующем стандарте по испытаниям на шум (при его наличии).

7.3.3. Устанавливаемые на фундаменте или на стене машины и оборудование

Такие машины или оборудование следует размещать на отражающей (акустически жесткой) плоскости (полу или стене). Смонтированные на основании машины и оборудование, предназначенные для установки перед стеной, должны быть установлены на акустически жесткую поверхность перед акустически жесткой стеной. Настольные машины или оборудование следует размещать на столе или станине в соответствии с требованиями стандарта по испытаниям на шум для семейства машин или оборудования, к которому принадлежит испытываемая машина. Стол или станина должны располагаться, по меньшей мере, на расстоянии 1,5 м от любых поглощающих поверхностей испытательного помещения.

7.4. Вспомогательное оборудование

Необходимо убедиться в том, что никакие электрические коммуникации, трубопроводы и воздушные каналы, присоединенные к испытываемой машине, не излучают в испытательное пространство значительное количество звуковой энергии.

По возможности все вспомогательное оборудование, необходимое для работы испытываемой машины, но не являющееся его составной частью (см. п. 7.1), следует размещать вне испытательного пространства. Если это невозможно, то вспомогательное оборудование следует включать в испытываемый источник, и режим его работы должен быть описан в протоколе испытаний.

7.5. Режим работы испытываемой машины

Режим работы машины во время измерений шума должен определяться соответствующим стандартом по испытаниям на шум, если он существует для узкого семейства машин, к которому принадлежит испытываемая машина.

Если стандарта по испытаниям на шум не существует, то испытываемая машина должна работать в режиме, являющемся типичным для ее нормальной эксплуатации. При этом могут быть выбраны (один или более) следующие режимы работы:

- при заданной нагрузке;
- при полной нагрузке (отличающейся от заданной выше);
- без нагрузки (холостой ход);
- режим, соответствующий максимальному возбуждению шума, характерному для нормальной эксплуатации машины;
- режим, имитирующий нагрузку для точно определенных условий;
- режим, соответствующий характерному операционному циклу.

Уровни звукового давления излучения в заданных точках следует определять для необходимого набора параметров условий работы (например, температуры, влажности, скорости устройства). Условия испытаний должны быть выбраны заранее и должны поддерживаться постоянными во время испытаний. Испытываемая машина должна быть приведена в необходимый режим работы до начала выполнения измерений шума.

Если шумовое излучение зависит также от других рабочих параметров (например, обрабатываемого материала или вида инструмента), то выбирают лишь те из них, которые ограничивают изменения шумового излучения и могут рассматриваться как типичные с точки зрения излучения шума.

Следует определить один или более режимов работы, которые подходят для испытаний машин или оборудования одного семейства в условиях наибольшей воспроизводимости шумового излучения, а также в наиболее общих и типичных для этого семейства машин условиях. Эти режимы работы должны определяться стандартами по испытаниям на шум.

При использовании моделирования режимов работы их следует выбирать так, чтобы они обеспечивали в заданных точках уровни звукового давления излучения, соответствующие нормальному функционированию испытываемой машины.

В особых случаях при определении результатов измерений в основном режиме работы результаты измерений в нескольких рабочих режимах могут объеди-

няться путем усреднения по энергии с учетом продолжительности работы в каждом режиме.

Режимы работы испытуемой машины во время измерений должны быть полностью описаны в протоколе испытаний.

8. Выполнение измерений

8.1. Применимость метода измерений

Метод настоящего стандарта не применим, когда вектор интенсивности направлен к испытуемой машине.

Если метод настоящего стандарта применяется к машине, расположенной перед звукоотражающей стеной или в углу, в результате получится уровень звукового давления излучения, соответствующий случаю машины, испытываемой в полузаглушенной камере перед одной или двумя отражающими плоскостями соответственно, при условии, что точка измерения не находится между испытуемой машиной и одной из стен. Если точка измерения находится между машиной и стеной, то акустический зонд должен быть, по меньшей мере, в 1 м от стены. Если целью измерений является моделирование условий полусвободного поля и машина установлена в такое положение, необходимо покрыть стену звукопоглощающим материалом. Требуемая толщина звукопоглощающего материала зависит от частотного спектра, обычно достаточно 10 см минеральной ваты или аналогичного материала.

8.2. Продолжительность измерений

8.2.1. Общие положения

Общую продолжительность измерений следует выбирать из условия достаточности времени для определения требуемого уровня звукового давления излучения и временных характеристик звукового излучения в заданных точках при установленном режиме работы.

Для данной испытуемой машины общая продолжительность измерений T может складываться из операционных интервалов измерения T_i , каждый из которых соответствует периоду выполнения заданной рабочей операции машины. В этом случае обычно требуется объединенный уровень звукового давления излучения. Его вычисляют путем усреднения отдельных скорректированных по характеристике A уровней звукового давления излучения, дБ, в соответствии с формулой

$$L_{pA} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N T_i 10^{0,1L_{pA, T_i}} \right], \quad (1)$$

где T — общая продолжительность измерений, $T = \sum_{i=1}^N T_i$; T_i — продолжительность измерений на i -м

операционном интервале; N — общее число измерительных интервалов или периодов выполнения различных операций; L_{pA, T_i} — скорректированный по характеристике A уровень звукового давления излучения на интервале T_i .

Для машин и оборудования с заданным циклом работы обычно необходимо расширить интервал измерения до суммарной продолжительности циклов всех последовательных операций.

Общий интервал измерения должен соответствовать лишь тем периодам работы, для которых требуется определить уровень звукового давления излучения и временные характеристики звукового излучения.

Общий интервал измерения, необходимые операционные интервалы измерения и число циклов операций, входящие в общий интервал измерения, обычно определяют из стандарта по испытаниям на шум семейства машин или оборудования, к которому принадлежит данная машина, если такой стандарт существует. В любом случае интервалы измерений должны быть такими же, как при определении уровня звуковой мощности испытуемой машины.

8.2.2. Постоянный шум

Если шумовое излучение в заданном месте постоянно для заданного режима работы (см. ИСО 12001), продолжительность измерений должна быть не менее 15 с.

8.3. Измерения

Устанавливают акустический зонд в заданном месте испытуемой машины. Кроме испытуемой машины, никакие отражающие объекты, включая проводящего измерения оператора, не должны быть ближе 0,5 м от акустического зонда. Если такие объекты имеются, они должны быть покрыты звукопоглощающим материалом. Для настольного оборудования стол должен рассматриваться как часть испытуемого объекта.

Измеряют компоненты интенсивности в направлении трех декартовых координат x , y и z соответственно. Для каждого направления измеряют уровень интенсивности и уровень звука, при необходимости в полосах частот. Время усреднения должно быть, по меньшей мере, 30 с в каждой точке расположения акустического зонда для частотных полос со среднегеометрической частотой не выше 160 Гц и 15 с для частотных полос со среднегеометрической частотой 200 Гц и выше. По возможности одновременно измеряют проинтегрированный по времени уровень звукового давления L_p . Если это невозможно, то уровень звукового давления измеряют позже в той же точке во время измерений интенсивности.

Вычисляют уровень вектора интенсивности звука L_{Ixyz} по формуле

$$L_{Ixyz} = 10 \lg \sqrt{(10^{0,1L_{Ix}})^2 + (10^{0,1L_{Iy}})^2 + (10^{0,1L_{Iz}})^2}, \quad (2)$$

где L_{Ix} , L_{Iy} , L_{Iz} — уровни интенсивности звука, измеренные по декартовым осям X , Y и Z .

Вычисляют показатели звукового поля "давление—интенсивность" F_{pIxyz} , F_{pIx} , F_{pIy} и F_{pIz} соответственно.

8.4. Ветер и газовые потоки

Акустические зонды более чувствительны к ветру и газовым потокам, чем обычные микрофоны. При значительных потоках используют ветрозащитные экраны. Если скорость ветра/газового потока превышает 4 м/с, результаты измерений недействительны, пока не доказано, что поток оказывал незначительное влияние на интересующих частотах.

8.5. Критерий для проверки акустических условий

Показатель звукового поля "давление—интенсивность", связанный с наибольшей компонентой вектора интенсивности звукового поля $\min\{F_{plx}, F_{ply}, F_{plz}\}$, должен удовлетворять следующим соотношениям:

$$\min\{F_{plx}, F_{ply}, F_{plz}\} \leq L_d, \quad (3)$$

$$F_{plx} < 10 \text{ дБ}. \quad (4)$$

Для машин, у которых наибольший размер превышает 2 м, такие же условия дополнительно должны выполняться для двух из трех осей X, Y, Z. Если для больших машин эти условия выполняются только для одного направления, следует проверить акустические условия измерений, поворачивая систему координат акустического зонда и повторяя измерения.

8.6. Критерии для фонового шума

В точках расположения акустического зонда, когда испытываемая машина не работает, уровень интенсивности нежелательного фонового шума, измеренный как взвешенный по частотной характеристике A уровень или в каждой интересующей частотной полосе в направлении испытываемой машины, во всех случаях должен быть, по меньшей мере, на 10 дБ ниже уровня испытываемой машины. Не должны применяться никакие коррекции.

8.7. Частотный диапазон измерений

Уровень звукового давления и уровень интенсивности звука должны быть измерены с использованием октавных фильтров со следующими среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Дополнительно могут быть сделаны измерения в 1/3-октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, по меньшей мере, от 50 до 6300 Гц.

П р и м е ч а н и е. Если требуется определить лишь скорректированные по характеристике A величины, то любой одиночный скорректированный по A уровень на 10 дБ или более низкий, чем наибольший скорректированный по характеристике A уровень в полосе частот, может не учитываться. Если появляется более чем один низкий полосовой уровень, то эти полосы могут быть проигнорированы, если уровень суммы скорректированных по характеристике A уровней в этих полосах на 10 дБ или более ниже максимального полосового уровня из всего частотного диапазона измерений.

8.8. Оценка результатов измерений

Уровень звукового давления излучения

$$L_p = L_{lxyz} + K_5, \quad (5)$$

где $K_5 = 1$ дБ.

Измерения непригодны для любой частотной полосы, в которой вектор интенсивности звука направлен на испытываемую машину.

9. Регистрируемая информация

9.1. Общие положения

В соответствии с настоящим стандартом регистрируют перечисленную ниже информацию. Вычислен-

ные значения округляют только после выполнения окончательных расчетов.

9.2. Испытуемая машина

Описание машины должно включать тип, технические характеристики, размеры, наименование фирмы-производителя, заводской номер, год выпуска.

9.3. Условия испытаний

Условия испытаний включают точное количественное описание режимов работы и при необходимости описание циклов и периодов рабочих операций, условия монтажа, расположение машины в испытательном пространстве, описание всех работающих во время проведения измерений источников, если испытываемая машина имеет несколько источников шума.

9.4. Акустические условия

Описание испытываемого пространства включает: описание поверхностей стен, потолка и пола с точки зрения их акустических свойств; эскиз расположения испытываемой машины и других объектов в помещении.

9.5. Средства измерений

Регистрируют следующую информацию о средствах измерений: перечень оборудования, используемого для измерений, с указанием наименования, типа, заводского номера и производителя; описание конструкции акустического зонда; метод поверки и калибровки измерительной системы (дату, место и результаты калибровки); характеристики ветрозащитного экрана, если он применяется.

9.6. Положение точек измерения

Указывают точные координаты всех точек, где измеряется уровень звукового давления излучения.

9.7. Данные измерений шума

Регистрируют следующую информацию:

- значения определенных уровней звукового давления излучения вместе с уровнем вектора интенсивности звука L_{lxyz} и показателем поля F_{plx} для каждой частотной полосы измерений;
- частотный диапазон, используемый для оценки уровня звука излучения;
- расстояние между микрофонами, применяемое для измерения в разных частотных полосах;
- частотные коррекции передаточной функции, если они применялись;
- уровень интенсивности фонового шума;
- место и дату проведения измерений и фамилию лица, ответственного за проведение испытаний;
- неопределенность измерений.

10. Информация, подлежащая занесению в протокол измерений

В протокол заносится только та информация (см. раздел 9), которая требуется для целей испытаний.

Ссылка на данный материал как официальный документ не допускается

В. М. ЧЕРТОВ, инж.
(Филиал ДониФЦ),
П. В. ПОТЕМКИН, инж.
(АОЗТ "Компания ЛЭМ")

Высокие технологии и экология в авиации

По расчетам ряда экологов, опубликованным в средствах массовой информации, в ближайшие 10 лет объем выбросов в атмосферу от сгорания углеводородного топлива в авиации достигнет 30 % общего объема (в настоящее время 10 %). До сих пор выбросы только от автомобильного транспорта в городах превышали 70—80 %. С ростом выбросов связывают рост ряда заболеваний среди населения, потепление климата и заметное увеличение числа природных катаклизмов на планете. Следует отметить, что природные и техногенные (антропогенные, т. е. созданные человеком) катаклизмы по числу жертв не уступают катастрофам в результате аварий самолетов, поездов и автомобилей. Одновременно ускоренно растут потребление углеводородного топлива и цены на него. Вполне вероятно сокращение его запасов в недрах Земли, и ряд специалистов говорит о наступившем энергоэкологическом кризисе. Естественным выходом представляется переход на возобновляемые и экологически чистые источники энергии. До сих пор поиски таких источников касались мощных теплоэлектростанций и автомобильного транспорта как наибольших потребителей топлива и источников вредных выбросов. Но представляется целесообразным уже теперь обратить внимание на ускоренный рост числа воздушных судов, в том числе увеличенной мощности и вместимости (до 500 пассажиров), и возрастающее потребление традиционного топлива в авиации.

Переход авиации на иные альтернативные виды энергии возможен только при соблюдении ряда условий, к которым относятся разработка экологически более чистых видов топлива (выбросы менее вредны или вовсе безвредны); разработка экологически чистых технологий их получения (в процессе производства вредность сведена к минимуму); разработка экономически более выгодных технологий (затраты на сырье, энергию и оборудование окупаются в разумно приемлемые сроки). Вместе с тем не должно быть иллюзий относительно простоты и дешевизны новых процессов, называемых "высокими технологиями". На отдельных примерах можно разобраться с узловыми проблемами применения высоких технологий в авиации. По многократным разработкам, наибольшими экологической чистотой и отдачей энергии отличается водородное топливо. Продуктом реакции окисления водорода, т. е. его соединения с кислородом, является горячая вода. Если этот процесс ведется не путем прямого сжигания в двигателе внутреннего сгорания, а в так называемом топливном элементе (электрохимическом генераторе — ЭХГ), то другим продуктом

реакции является электрический ток [1]. Единственный в СССР опыт полувековой давности сжигания сжиженного водорода в авиационном двигателе самолета Ту-155 не дал положительных результатов: дороговизна, громоздкость и сложность системы хранения, а также системы регулирования подачи водорода в двигатель явились препятствием для расширения эксперимента. В настоящее время хранение и применение сжиженного водорода в качестве автомобильного топлива освоено во всем мире только двумя компаниями — "БМВ" и "Мазда". Множество других фирм, в том числе таких крупных, как "Дженерал Моторс", "Даймлер-Крайслер", "Форд", "Тойота" и др., применяют газообразный сжатый водород, который хранится в баллонах при нормальной температуре, но при повышенном давлении [2]. Проблема получения водорода до сих пор упирается в дороговизну. Так, простой электролиз воды относится к числу наиболее энергоемких процессов. Наиболее дешевый способ — парогазовая конверсия или "расщепление" метана при высокой температуре в атмосфере водяного пара — не нашел применения в СССР и России [3]. В СССР сжиженный водород получали другим, дорогим способом для потребностей ракетно-космической отрасли; в России же, видимо, пока не находится средств для этого. Применение электроэнергии для движения летательного аппарата ограничилось запуском в МАИ самолета на традиционных кислотных аккумуляторах, имевших весьма малый запас энергии при большой массе. В проекте национальной программы "Водородная энергетика" до 2050 г. имеется единственная строчка о создании экранопланов и самолетов на водородном топливе, без конкретного указания технологий [3].

Каким может быть новый летательный аппарат, экологически чистый и экономически выгодный?

Для получения ответа на поставленный вопрос воспользуемся кратким сообщением о недавней постройке в США и первом полете беспилотного самолета на сжатом водороде, хранящемся в баллоне, с энергетической установкой (0,5 кВт) — топливным элементом [4]. Также примем во внимание сообщения с фронта последней войны Израиля против ливанских боевиков. Беспилотные израильские самолеты-разведчики, снабженные традиционными двигателями внутреннего сгорания, были видны на экранах радаров и тепловизоров и невооруженным глазом по дымному и горячему следу и слышны по шуму выхлопа. Отметим, что стоимость каждого грамма массы летательного аппарата гораздо выше, чем наземных транспортных

средств, поэтому не следует упускать из вида ни одной возможности, пусть даже небольшой, снижения массы каждого устройства на его борту. При изготовлении нашего проектируемого аппарата должны быть применены экономичные комбинированные баллоны для хранения водорода (тонкостенный лейнер из коррозионно-стойкой стали и композитная силовая оболочка), баллон для хранения сжатого кислорода, недорогой топливный элемент, малогабаритный электродвигатель постоянного тока для бесшумного вращения воздушного винта. Другой вариант источника тока — химический источник, в котором ток получается при взаимодействии алюминия с водой. Изготовление корпуса нашего аппарата из композитных материалов и нанесение покрытия по технологии СТЕЛС (поглощение радиоволн от радаров и невидимость для радаров) подразумеваются по умолчанию, причем последнее относится к категории двойных технологий и не являются предметом нашего рассмотрения.

Прежде всего, приведем технологию изготовления лейнера из коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т, надежно и длительно сохраняющего водород при повышенном давлении. Сосуд получается способом раскатки или ротационного выдавливания из листа. Сталь этого типа нестабильна, и после тридцатипроцентной холодной деформации в ней образуется твердая структурная составляющая — мартенсит. Хрупкий мартенсит склонен к еще большему охрупчиванию при взаимодействии с диффундирующим сквозь стенку водородом (для экономичности водород необходимо хранить при давлении порядка 70—80 МПа, но при этом ускоряется его проникновение). Для "ликвидации" мартенсита нужно закалить лейнер в особых условиях: нагреть до 1000 °С в вакуумной печи, чтобы на поверхности не образовалась окалина, и закалить в этой же печи в потоке холодного инертного газа. Это первый тип высокотехнологичного оборудования — вакуумная закалочная печь [5]. Для предотвращения возможного контакта материала лейнера с проникающим водородом на внутреннюю поверхность лейнера целесообразно нанести плотное (беспористое) металлическое покрытие из металла, не взаимодействующего с водородом. Этому условию отвечает химическое медное покрытие толщиной порядка 50 мкм по тонкому подслою электрохимического никеля [6]. Технология нанесения такого покрытия хорошо отработана, но следует учесть необходимость вакуумного прогрева при 300 °С (после нанесения каждого слоя покрытия!) для обезводороживания материала лейнера; небольшое, но нежелательное наводороживание и водородное охрупчивание даже при химическом нанесении покрытия всегда имеет место. Не следует упускать из вида и опасность индуцирования водородом образования хрупких структурных составляющих в сплавах [7].

Попробуем установить на нашем аппарате вместо баллонов с водородом и кислородом и топливного элемента химический источник тока (ХИТ), где используется реакция взаимодействия алюминия с во-

дой. На самом деле алюминий должен поступать в источник в виде порошка, насыпаемого или прессованного, а вода должна содержать добавку щелочи или нейтральной соли, растворяющей оксидную пленку на алюминии [8]. Расходуются алюминий (точнее, сплав алюминия или алюминиевый порошок), воздух, вода и щелочь. При применении нейтральной соли процесс полностью экологически чистый. Чистейшими продуктами реакции являются электрический ток и гидроксид алюминия, оседающий на дне ванны. Если применять соль вместо щелочи, то не придется отмыывать осадок от остатков щелочи, и обеспечивается абсолютная экологическая чистота процесса и его продуктов. Однако несколько снижаются выходные параметры и экономические показатели. ХИТ также имеет ограниченный срок действия: необходимо периодически очищать "реактор" от порошка. Но и водородный двигатель также имеет ограниченный срок действия, зависящий от массы водорода, запасенного в баллоне или в нескольких баллонах, хранящихся на борту. Важнейшими преимуществами химического генератора являются вдвое меньшая, по сравнению с топливными элементами, стоимость, высокая степень безопасности, простота сборки и использования. Эти показатели подтверждены при апробации в Москве опытного автомобиля разработки МАИ и компании "Альтернативная энергетика".

Что касается чрезмерной стоимости топливных элементов, пригодных для установки на летательном аппарате, то она может быть значительно снижена за счет существенного уменьшения массы платинового катализатора (имеется в виду топливный элемент с твердополимерной мембраной). Нанесение разными способами "толстого" слоя платины на углеродные частицы традиционной газопроницаемой "углеродной бумаги" обходится дорого [1]. Перспективна замена этой бумаги с нанесенными частицами платины на тонкую, толщиной около 150 нм, фольгу, полученную методом пакетной прокатки в вакууме, имеющую нанокристаллическую структуру (размер зерна 50 нм) и наноразмерные отверстия, полученные облучением ускоренными частицами, которые увеличивают каталитическую поверхность не менее чем в два раза [9]. В этом случае требуется применение специального оборудования. Такая технология улучшает каталитические свойства платиновой фольги и снижает расход дорогой платины.

И еще одно нововведение, которое можно и нужно применить на нашем аппарате. Постоянные магниты — составная часть электродвигателя — изготавливаются из специальных сплавов редкоземельных металлов. Весьма высокую коэрцитивную силу таких магнитов можно существенно, до двух раз, повысить в результате специальной термоводородной обработки (HDDR-процесс). Она заключается в изготовлении магнитов из порошка сплава системы Nd—Fe—В путем прессования и спекания, насыщения магнита водородом и последующего удаления водорода при вакуумном нагреве. При такой последовательности опе-

раций в сплаве сначала протекают процессы прямого мартенситного превращения, а затем обратное превращение и измельчение зерна [10].

Компоновка экологически чистого электролета подразумевает наличие небольшой никель-кадмиевой (лучше литий-ионной) батареи для запуска химического источника тока (вариант А) или топливных элементов (вариант Б). Первоначальные проекты создания малоразмерных дистанционно пилотируемых летательных аппаратов с электрической алюминиево-воздушной силовой установкой для мониторинга среды и контроля движения на дорогах [8] при соответствующем финансировании в ближайшее время (до 2050 или даже 2025 г.) вполне могут быть трансформированы в создание электролетов, пригодных для местных авиалиний.

Применение же химических источников или водородных двигателей на большегрузных самолетах в настоящее время проблематично: ХИТ не обеспечивает необходимую скорость, так как предусмотрен для винтовых самолетов, а ЭХГ не производит достаточной мощности из-за относительно медленного протекания реакции выделения электричества. Прямое сжигание водорода в потоке воздуха, обеспечивая высокую скорость полета, станет возможным только после разработки особо жаростойких сплавов, способных выдержать сверхвысокую температуру выхлопа.

Заключение

Таким образом, можно отметить следующие виды высоких технологий при компоновке будущего экологически чистого электролета:

для варианта ХИТ

— производство воздушно-алюминиевых химических источников тока мощностью 6 кВт и более;

— производство мощных литий-ионных батарей;

для варианта сжатого воздуха ЭХГ

— вакуумная закалка изделий из коррозионно-стойкой стали в потоке инертного газа;

— нанесение барьерного (антиводородного) покрытия на коррозионно-стойкую сталь;

— пакетная прокатка в вакууме тонкой платиновой фольги;

— облучение фольги ускоренными частицами;

— специальная технология изготовления силовой оболочки баллонов, обеспечивающая ее когерентное и перманентное взаимодействие с лейнером при высоком давлении;

для электродвигателя в разных вариантах электролета

— термоводородная обработка магнитов.

Удорожание оборудования окупится теми преимуществами электролета, которые проявятся в обозримое время, прежде всего как гуманитарные, экологические и в конечном счете экономические.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коровин Н. В. Топливные элементы и электрохимические установки. М.: МЭИ, 2005. С. 9—59.
2. Гольцова Л. Ф. XV Всемирная конференция по водородной энергетике // Альтернативная энергетика и экология (АЭЭ). 2004. № 6(14). С. 32—33.
3. Кузык Б. Н., Яковец Ю. В. Россия: стратегия перехода к водородной энергетике. М.: Институт экономических стратегий, 2007. С. 41—48.
4. От земли оторвался рекордный водородный беспилотник / <http://www.membrana.ru>
5. Ляпунов А. И. Оборудование термических цехов. М.: Монолит, 2002. С. 86—93.
6. Чертов В. М. О барьерных покрытиях нержавеющей стали // Водородная обработка материалов ВОМ—2007. Донецк: ДонНТУ, 2007. С. 871—876.
7. Гаврилюк В. Г., Шиванюк В. Н. Влияние водорода на свойства коррозионно-стойкой стали // Бернштейновские чтения. М.: МИСиС, 2001. С. 10.
8. Электрохимическая энергетика на основе алюминия и лития / С. Д. Севрук, В. Г. Удальцов, А. А. Фармаковская и др. // Альтернативные источники энергии для больших городов. М.: МКНТ, 2005. С. 61—62.
9. Создание и исследование платиновых наноструктурированных катализаторов для топливных элементов // ВОМ—2007. Донецк: ДонНТУ, 2007. С. 398—402.
10. Дидусь В. А., Додонова Е. В., Рыбалка С. Б. Эволюция структуры в сплаве Nd—Fe—В при HDDR-процессе // ВОМ—2004. Донецк: ДонНТУ, 2004. С. 170—171.

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.

А. П. ШУТЧЕНКО, канд. экон. наук

(Рязанский институт бизнеса и управления национального открытого института России),

Д. В. МАЛАХОВ, инж.

(ПО счетно-аналитических машин, Рязань)

Разработка модели внутрипроизводственного планирования для машиностроительного предприятия

Экономико-математические методы являются одним из мощнейших инструментов совершенствования планирования. Особенную актуальность они приобрели в настоящее время, когда возможности ЭВМ значительно расширились. Экономико-математические методы применяют во многих отраслях народного хозяйства. Одним из распространенных является метод линейного программирования в оптимизации экономических процессов. Однако практическая реализация данного метода требует учета множества факторов, особенно в машиностроительном комплексе, где их число чрезвычайно велико. Учет всех необходимых ограничений, как правило, приводит к значительному усложнению подобных моделей и создает трудности для их реализации. Кроме того, существует общий закон, согласно которому 20 % факторов обуславливают 80 % результата. Другими словами, довольно ограниченное число факторов оказывает решающее влияние на итог.

Одним из основных направлений перспективного планирования на предприятиях является использование метода "input—output" ("затраты—выпуск"). В отечественной научно-технической литературе этот метод известен как метод межотраслевого баланса, который широко применялся на межотраслевом и отраслевом уровнях. Однако на уровне предприятия его применение было незначительными и до недавнего времени ограничивалось разработкой так называемых матричных техпромфинпланов. В соответствии с принципиальными положениями этого метода строили только технико-экономическую модель, являющуюся лишь подготовительным (хотя и, безусловно, важным) этапом в расчете техпромфинплана. Что касается экономико-математической составляющей этой методики, то она представляла задачу линейного программирования. Большая часть времени при этом уходила на заполнение этих моделей необходимой информацией.

Общими проблемами моделирования, особенно на уровне планирования производства с многономенклатурной, многостадийной характеристикой, являются недостоверные предпосылки, информационные ограничения, плохое использование результатов расчета и чрезмерные расходы.

В рамках данной работы рассматривается модель, построенная на формализации функциональных связей технологических переделов в производстве от-

дельных видов продукции, во многом решающая большую часть проблем в области внутрипроизводственного планирования. Предлагаемый метод включает модели расчета производственной возможности технологического цеха расчета плана производства технологических цехов. Анализ используемых подходов во внутрипроизводственном планировании на машиностроительных предприятиях не приводится.

Модель расчета производственной возможности технологического цеха

В результате расчета производственной мощности определяется максимально возможный выпуск изделий цехом в соответствии с планируемым ассортиментом продукции завода и максимальным использованием основного оборудования.

Для расчета производственной возможности в цехах механической обработки машиностроительного производства необходима следующая информация:

- номенклатура изделий n ;
- годовая программа выпуска всех изделий N ;
- годовая программа выпуска j -го изделия N_j ;
- номенклатура i -х деталей, входящих в j -е изделие r ;
- норма времени обработки i -х деталей на p -й группе оборудования t_{ip} ;
- число единиц оборудования C_p по группе p ;
- действительный фонд времени работы оборудования p -й группы $F_{дрp}$.

В предлагаемом методе определения производственной мощности механических цехов использован механизм расчета средней величины трудозатрат на единицу изделия. В целом по предприятию он отражает трудозатраты всех изделий, входящих в объем продукции планируемого ассортимента:

$$t_1^y = \frac{\sum_j t_j N_j}{N} = \frac{\sum_j t_j \frac{N_j}{N}}{\sum_j 1} = \sum_j t_j d_j, \quad (1)$$

где t_1^y — условная (средняя) величина трудозатрат на одно изделие годовой программой выпуска всех изделий; t_j — трудозатраты на производство одного изделия j -го вида; d_j — удельный вес планируемого выпуска j -х изделий в общем выпуске всех изделий.

Этот метод применяют в расчетах по каждой технологической операции, повторяющейся в производстве отдельных видов продукции.

Алгоритм расчета производственной мощности отдельного цеха включает следующее.

1. Определение трудоемкости j -го изделия на p -й группе оборудования (технологической операции):

$$t_{jp} = \sum_i^r t_{ijp}, \quad (2)$$

где t_{ijp} — норма времени обработки i -й детали j -го изделия на p -й группе оборудования. Такие расчеты производятся на предприятиях в отделах АСУ.

2. Определение условной (средней) трудоемкости обработки j -х изделий на p -й группе оборудования:

$$t_{1p}^y = \sum_j^n t_{jp} d_{jp}, \quad (3)$$

где d_{jp} — удельный вес планируемого выпуска j -х изделий в общем выпуске всех изделий, детали которых проходят обработку на p -й группе оборудования.

3. Расчет производственной мощности на p -й группе оборудования в изделиях. Трудоемкость обработки деталей этих изделий равна условной (средней) трудоемкости (t_{1p}^y) на одно условное изделие. Число условных изделий

$$N_p' = \frac{F_{\partial p}}{t_{1p}^y}, \quad (4)$$

где $F_{\partial p}$ — действительный фонд времени работы всех единиц C_p оборудования p -й группы, который, в свою очередь, может быть представлен произведением условной (средней) трудоемкости изделий, обработанных на p -й группе оборудования, на количество изделий с условной трудоемкостью каждого изделия:

$$F_{\partial p} = t_{1p}^y N_p'. \quad (5)$$

4. Расчет производственной мощности цеха по каждому наименованию изделия планируемой номенклатуры по каждой группе оборудования (N_{jp}):

$$N_{jp} = N_p' d_{jp}. \quad (6)$$

Действительный фонд времени работы оборудования p -й группы рассчитывают по формуле

$$F_p = \sum N_p d_{ip} t_{ip} = N_p \sum t_{ip} d_{ip},$$

из которой суммарный объем производства продукции планируемого ассортимента, произведенный на p -й группе оборудования, определяется зависимостью

$$N_p = F_p / \sum t_{ip} d_{ip},$$

следовательно, приведенные (рассчитанные) в формулах величины — N_j и N_p' — идентичны.

Рассчитанная производственная возможность по всем цехам представляет матрицу с элементами производственной мощности отдельных цехов по каждой группе оборудования, рассчитанной по выпуску продукции планируемого ассортимента (см. таблицу).

В условном примере выпуск указанных двух изделий в их планируемом количественном соотношении составит: по выпуску первого изделия — 14 450 шт.

Но- мер цеха	Изделие					
	первое			второе		
	Группа оборудования (p = 1,2,...) для обработки					
	Токар- ная	Шлифо- вальная	Фре- зерная	Токар- ная	Шлифо- вальная	Фре- зерная
2	1192	670	2587	178	100	387
3	6168	3951	1569	922	591	234
4	891		965	133		144
5	3377	3189	3258	505	477	487
7	2747	1456	3125	411	218	467
8		1465	987		219	147
9	1198		856	175		128
14		2854	907		427	136
24		865	918		129	137
Итого	15 573	14 450	15 172	2321	2324	2267

(по шлифовальным станкам всех цехов), по выпуску второго изделия — 2287 шт. (по фрезерным станкам всех цехов).

Итоговая величина по каждому j -му продукту и на p -м виде оборудования всех цехов определяет производственную возможность завода в целом по производству отдельного изделия. Исходная информация в матрице является базой для разработки маршрутной схемы обработки заготовок и поступающих полуфабрикатов со стороны.

Предлагаемая модель расчета производственной мощности цехов позволяет:

- определить наличие "капитального" ресурса в многоцеховой, многооперационной и многопродуктовой системе, характерной для большинства машиностроительных заводов;

- влиять на использование мощности;

- модель расчета производственной мощности рассматривать в динамике как единую систему, представленную в виде матрицы;

- достигать высокой точности в расчете производственной возможности цехов в выпуске продукции планируемого ассортимента, установленного для предприятия в целом.

Разработанная модель является инструментом, обеспечивающим все происходящие события в режиме реального времени. Предпосылкой этого является наличие информационной базы на большинстве машиностроительных предприятий.

Модель расчета плана производства технологических цехов

Формирование производственной программы машиностроительного предприятия и ее технологических переделов рассматривается как единая система с установлением ее количественной определенности.

В основе разработки производственной программы лежат установление и поддержание объективно формируемых пропорций, играющих главную роль в общей системе пропорций производства. В разработанной

модели предусмотрена возможность перехода от сложившихся пропорций производства к новым, соответствующим изменившимся условиям рынка и самого производства, исходя из установленного технологического маршрута и максимально возможного использования производственной мощности (см. таблицу).

Производственная программа определяет роль и место каждого звена. При ее расчете учитывают технологические связи переделов, участвующих в производстве продукции, которые позволяют дать количественную оценку влияния основных факторов на процесс функционирования рассматриваемой системы.

Схема взаимосвязи структурных подразделений, участвующих в процессе получения продукта на условном заводе, приведена на рисунке.

Для формирования связей в этой системе введены условные обозначения: r — вид продукции в планируемом ассортименте; i — вид деталей, входящих в r -ю продукцию; iu — детали, поставляемые по кооперации как комплектующие изделия; in — заготовки для i -х деталей, поступающих по кооперации; Z_j — продукция j -го цеха; Z_{cj} — сырье или продукция предыдущего технологического передела.

Расчет по цехам проводят в направлении, обратном направлению технологического процесса. В результате расчета по каждому цеху определяют объем перерабатываемого сырья с учетом поступления кооперированных поставок и изменения незавершенного производства.

По рассматриваемому заводу (см. рисунок) для сборочного цеха общий объем перерабатываемого сырья Z_{oc3} определится как сумма готовых деталей, поступающих из цеха механической обработки Z_c3 , и комплектующих изделий, поступающих со стороны Z_k3 .

Для планируемого объема производства определенной номенклатуры планируют и объем комплектующих изделий. Кроме того, определяют величину изменения незавершенного производства в конце планируемого периода ΔZ_{H33} . Исходя из плана производства, кооперированных поставок и изменения запасов готовых деталей рассчитывают объем сырья, поступающего из предыдущего технологического пе-

редела (готовой продукции цеха механической обработки):

$$Z_{c3} = Z_{oc3} - Z_k3 - \Delta Z_{H33} \quad (7)$$

С учетом приведенных выше условных обозначений представленная зависимость имеет вид:

$$\sum_i \sum_r N_{irc3} = \sum_i \sum_r N_{ir3} - \sum_i \sum_r N_{irk3} - \sum_i \sum_r \Delta N_{irH33} \quad (8)$$

где N_{irc3} — число деталей для производства планируемой номенклатуры, поступающее из цеха механической обработки; N_{ir} — общее число деталей, необходимых для выпуска продукции планируемого объема; N_{irk3} — число деталей — комплектующих изделий, поступающих по кооперации для производства продукции; ΔN_{irH33} — изменение остатков деталей каждого вида для продукции планируемого ассортимента.

Рассчитанная величина — планируемый объем продукции цеха механической обработки. По предлагаемой модели (7) рассчитывают объем сырья (готового литья), поступающего из предыдущего передела, необходимого для выполнения плана цехом механической обработки, с учетом кооперированных поставок и изменения запасов заготовок:

$$\sum_i \sum_r N_{irc2} = \sum_i \sum_r N_{ir2} - \sum_i \sum_r N_{irk2} - \sum_i \sum_r \Delta N_{irH32} \quad (9)$$

где N_{irc2} — число заготовок, поступающих из литейного цеха; N_{ir2} — общее число заготовок, необходимое для выпуска планируемого объема обработанных деталей, направляемых в сборочный цех; N_{irk2} — число заготовок для производства определенных видов деталей, поступающих по кооперации для производства каждого вида продукции; ΔN_{irH32} — изменение остатков заготовок определенных видов деталей для продукции планируемого ассортимента.

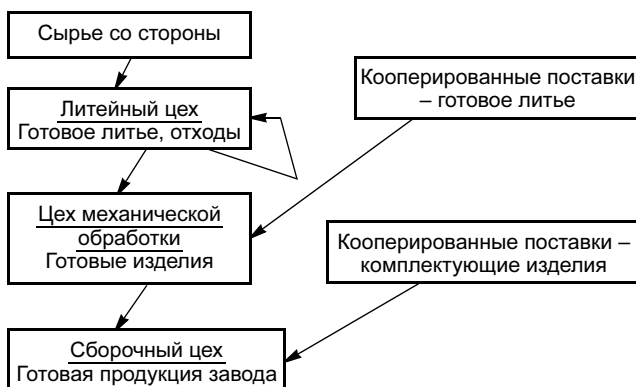
Рассчитанная величина — объем планируемой продукции литейного цеха. Для этого цеха, исходя из технологической потребности, предусматривается переработка определенного объема собственных возвратных отходов. Расчет объема металлосодержащего сырья, поступающего со стороны и необходимого для выполнения плана по выпуску заготовок для цеха механической обработки, с учетом изменения запаса сырья производится по формуле

$$Z_{c1} = Z_{oc1} - Z_{o1} - \Delta Z_{H31} \quad (10)$$

где Z_{c1} — количество сырья, поступающего со стороны в литейный цех, для выполнения плана производства по выпуску заготовок машиностроительного цеха; Z_{oc1} — общий объем сырья, необходимый для выполнения плана, который определяется исходя из количества планируемых заготовок ($N_{irc2} = N_{ir1}$), массы каждой заготовки m_{ir} и выхода годного по литейному производству $E1$. Формула расчета имеет вид

$$Z_{oc1} = \frac{\sum_i \sum_r (N_{ir1} m_{ir})}{E1} \quad (11)$$

где Z_{oc1} — планируемый объем переработки собственных возвратных отходов; ΔZ_{H31} — изменение остатков незавершенного производства.



Технологическая схема производства продукции

При разработке плана в показателях весовой категории продукции в установленных зависимостях учитывают массу отдельных деталей, а в расчете — выход годного по каждому переделу. По условному заводу, исходя из установленной взаимосвязи (с учетом переработки сырья по кооперации и переработки возвратных отходов), экономико-математическая модель расчета плана производства для j -го технологического передела в общем виде имеет следующий вид:

$$Z_{cj} = Z_{ocj} - Z_{kj} - Z_{eoj} - \Delta Z_{нзj}, \quad (12)$$

где Z_{cj} — масса сырья, поступающего с продуктом предыдущего передела (или со стороны); Z_{ocj} — общий объем сырья, необходимый для выполнения плана j -м переделом, с учетом переработки кооперированных поставок и возвратных отходов

$$Z_{ocj} = Z_j / E_j, \quad (13)$$

(Z_j — продукция j -го цеха; E_j — выход массы готовой продукции по j -му переделу); Z_{kj} — масса кооперированных поставок, перерабатываемых в j -м переделе; Z_{eoj} — масса собственных возвратных отходов или отходов других цехов, перерабатываемых в j -м цехе;

$\Delta Z_{нзj}$ — изменение массы незавершенного производства j -го передела.

Разработанная модель определения плана производства для цехов завода представляет единую систему разукрупнения производственной программы предприятия на планы отдельных подразделений, нацеленных на одни и те же задачи всего предприятия.

Представленная модель, которую можно рассматривать в динамике, включает:

- механизмы взаимосвязи участников производственного процесса в выпуске продукции и между участниками и конечным результатом предприятия в целом;

- возможность определения плана производства отдельного цеха в соответствии с планируемой номенклатурой продукции предприятия;

- возможность учета в плане цеха организационно-технических условий производства: переработки возвратных отходов, выхода годного и др.

Полученную в результате расчета информацию можно эффективно использовать для принятия управленческих решений в процессе контроля за выполнением плана и при его корректировке.

И. В. ЦЫГАНКОВА, канд. экон. наук, В. А. МОРГУНОВ, инж.
(Омский государственный технический университет)

Генезис формирования концепции качества трудовой жизни

Качество трудовой жизни (КТЖ) персонала предприятий (организаций) оказывает значительное влияние на производительность и эффективность труда работников, а следовательно, определяет конкурентоспособность экономики и социальную стабильность общества. КТЖ человека находится в тесной связи с условиями, в которых он может наиболее полно реализовать свои интеллектуальные и творческие способности, проявить духовные и нравственные качества.

В экономической литературе отечественных и зарубежных авторов нет единства в определении понятия "качество трудовой жизни".

По мнению авторов, более полно сущность КТЖ характеризует определение, данное в работе [1], где КТЖ трактуют как степень удовлетворения важных личных потребностей работника через деятельность в организации. Данная трактовка показывает тесную связь качества трудовой жизни со сферой трудовой мотивации.

Принято считать, что корни концепции КТЖ связаны с развитием протестантской трудовой этики, разработка которой принадлежит М. Веберу. Согласно теории протестантизма, труд является богоугодным делом, воспринимается как главная жизненная ценность и является важной составляющей духовного мира человека. Данная теория была широко распространена в Англии, Голландии, Германии, Швейца-

рии, где были заложены основные тенденции трудовой жизни — трудолюбие и добросовестность в труде.

Но необходимо отметить, что труд как ценность воспринимался не только с момента возникновения протестантской религии. Еще в Древней Греции, несмотря на существование рабовладельческого общества, труд являлся неотъемлемой составляющей жизни свободных граждан греческих городов-государств (полисов). Особенно почитаемыми считались такие виды деятельности, в которых человек мог проявить свои творческие и интеллектуальные способности. Соответственно, видное место в греческом обществе занимали ученые, скульпторы, архитекторы, врачи, искусные ремесленники и др. В то же время тяжелый физический труд, малосодержательный и монотонный, был презираем и считался уделом рабов. Древнегреческий ученый Ксенофонт считал, что необходимо различать труд руководителей и труд исполнителей. К труду исполнителей он относил тяжелый физический труд. Труд руководителей Ксенофонт считал делом свободных людей, исполнителей — трудом рабов. Данное мировоззрение, мировосприятие труда как важной неотъемлемой части человеческого существования предопределило расцвет древнегреческой экономики и общества в целом. В Древнем Риме происходит трансформация отношения к труду. В период расцвета Римской империи основные виды трудовой

деятельности — земледелие и ремесло — стали считаться позорным занятием для патрициев (коренных римлян). Это привело к обнищанию большей части населения, деградации общества и в значительной степени способствовало падению Западной Римской империи. Таким образом, отношение к труду как отдельного индивида, так и всего общества, влияющее на субъективное восприятие КТЖ, может значительно влиять на экономическую жизнь страны или региона.

В период раннего Средневековья выдающийся философ и церковный деятель Августин (IV—V вв.) высказывал положительное отношение к труду и призывал всех трудиться, ссылаясь на "священное писание" и на то, что в момент сотворения мира бог дал наказ человеку трудиться.

Зарождение капиталистического производства и сопутствующая ему механизация труда приводят к тому, что в работах ученых-философов возникает рационалистический подход, рассматривающий мир как механизм, детали которого взаимосвязаны и слаженно работают. Соответственно, человек и его трудовая деятельность рассматриваются как часть такого механизма. Рационалистический подход к мировосприятию, а следовательно и к труду, выражен в работах таких исследователей, как Ф. Бэкон, Т. Гоббс, Р. Декарт и др. Ф. Бэкон (XII в.) выступал за применение рационального метода для познания мира, основанного на анализе, сравнении, наблюдении, эксперименте. Т. Гоббс в своем труде "Левиафан, или Материя, форма и власть государства церковного и гражданского" разработал механистическую теорию государства, согласно которой государство создается для сохранения мира в обществе, а отдельная человеческая личность не играет значимой роли в общественном устройстве и развитии. В то же время каждый человек занимает определенное место в обществе и выполняет свою функцию, что способствует общественному развитию [2]. Р. Декарт считал, что человека можно рассматривать чисто физиологически как "автомат", специфику которого определяет мышление. Данные философские воззрения формировали определенный менталитет европейского общества XVII—XVIII вв. и явились фундаментом для возникновения технократического подхода к работникам предприятий. Опираясь на данные воззрения, основоположник научной организации труда Ф. Тейлор в 90-х гг. внедрил на американских предприятиях компании "Мидвелл Стилл" жесткую систему регламентации труда, определяющую способ выполнения, последовательность, темп трудовых действий, порядок чередования труда и отдыха, устанавливающую тесную связь между оплатой труда и выполнением производственных заданий. Работник в данном случае рассматривался как существо рациональное, ориентированное на получение вознаграждения, стремящееся избежать увольнений, штрафов, понижения в должности и других отрицательных моментов в трудовой деятельности. Такие аспекты, как взаимоотношения в трудовом коллективе, социальные ценности, потребности в самовыражении во внимание не принимались. Это привело к резкому росту интен-

сивности и производительности труда, но в то же время резко возрос уровень профессиональной заболеваемости и травматизма, не оставалось места для инициативы, проявления творческих способностей. Все это вызвало рост неудовлетворенности трудом и способствовало развитию процесса отчуждения труда.

После изобретения Г. Фордом (1863—1917 гг.) конвейера, в связи с появлением поточных производств регламентация трудовой деятельности еще более усилилась. Персонал должен был адаптироваться к технике, добиваясь максимального соответствия технической системе. Таким образом, идеальным работником считался человек, успешно выполняющий поставленные задачи определенным образом [3]. Несмотря на то, что данный подход к организации производства вызвал значительный рост производительности и эффективности труда, значительно обострились социальные противоречия в сфере труда. Ситуация усугублялась тем, что усложнение и усовершенствование техники требовало роста квалификации рабочих. Низкоквалифицированная рабочая сила на успешно функционирующих предприятиях заменялась на высококвалифицированную. Жесткая система регламентации труда препятствовала реализации способностей нового поколения работников — высококвалифицированной рабочей силы, способной к развитию и самообучению, принятию самостоятельных решений, стремящейся к содержательному труду.

В данных условиях зародилась и получила развитие теория "человеческих отношений", положившая начало гуманистическому подходу к решению проблем в трудовой сфере. Основоположником данной теории был австралийско-американский социолог Э. Мэйо. Основной вывод его исследований сводился к тому, что решающее влияние на рост производительности труда рабочих оказывают социально-психологические факторы. Э. Мэйо и другие сторонники концепции "человеческих отношений" считали, что в основе технократических (классических) теорий (Ф. Тейлор и его последователи) лежат ошибочные утверждения о том, что поведение человека рационально, и он, главным образом, стремится к экономической выгоде, а также о том, что поведение людей в организации может быть стандартизировано, подобно машинам. Э. Мэйо считал, что индивид, прежде всего, стремится к установлению значимых социальных связей с другими людьми. Экономическая функция, которую человек выполняет в процессе трудовой деятельности, играет второстепенную роль, при этом работник выступает как часть группы или определенного сообщества, а следовательно, отношение к трудовой деятельности зависит от оценки людей в данном сообществе. По мнению Э. Мэйо, социальные и психологические аспекты трудовой жизни работника в определенных рамках имеют большее значение, чем структура производственного процесса, гигиенические и эргономические условия труда. Сторонники концепции "человеческих отношений" считали, что необходимо построение новых организационных отношений, учитывающих социальные и психологические аспекты трудовой деятель-

ности людей, а организация должна быть ориентирована в большей мере на людей, чем на производство, причем проблемы отдельного индивида в организации должны решать менеджеры.

Теория "человеческих отношений" впервые затронула отдельные аспекты проблемы повышения КТЖ работников предприятий с научной точки зрения. Но, как считают многие отечественные и зарубежные экономисты, она носила "половинчатый" характер, так как стремилась объединить принципиально разные подходы: тейлористский, механистический и личностный, творческий. На предприятиях, несмотря на то, что стало уделяться внимание социально-психологическим факторам, влияющим на трудовую деятельность работников, по-прежнему применялись авторитарные методы управления и главенствующая роль отводилась материальному стимулированию.

В 50—60-х гг. XX в. возникают различные мотивационные теории, призванные повысить производительность труда и эффективность трудовой деятельности работников предприятий. Выделяют следующие группы мотивационных теорий:

— содержательные, анализирующие структуру потребностей и мотивов личности и их проявления;

— процессуальные, изучающие влияние на мотивацию внешних факторов;

— теория подкрепления, исследующая проблемы изменения или модификации людей в процессе труда, адекватность использования немедленного вознаграждения или наказания.

Наиболее известная содержательная теория мотивации была разработана А. Маслоу, который полагал, что в основе мотивации человека лежат пять типов потребностей, располагающихся в иерархическом порядке. К потребностям высшего уровня он относит отношения принадлежности, потребности в самоуважении; потребности в самоактуализации (в порядке возрастания). Теория А. Маслоу была модифицирована К. Алдерфером. У теорий А. Маслоу и К. Алдерфера много общего: обе имеют иерархическую структуру, обе предусматривают, что потребности более высокого уровня возникают лишь при удовлетворении потребностей более низкого. Тем не менее К. Алдерфер выделяет только три категории потребностей и считает что, если не удастся удовлетворить потребность более высокого уровня, человек может вернуться к уже удовлетворенной потребности низшего уровня. Таким образом, люди могут перемещаться по иерархии потребностей не только вверх, но и вниз, в зависимости от своих способностей.

В конце 50-х — начале 60-х гг. XX в. Ф. Герцберг разработал двухфакторную теорию мотивации. К первой группе факторов — гигиеническим — он отнес заработную плату, условия труда, отношения в трудовом коллективе, социальные блага. Он считал, что отрицательные гигиенические факторы вызывают неудовлетворенность от трудовой деятельности, положительные — избавляют сотрудников от отрицательных эмоций, не влияя на удовлетворенность трудом и не мотивируя к высоким результатам. Ко второй группе

факторов — мотиваторам — он отнес содержательный, творческий труд, возможности должностного и профессионального роста, признание в трудовой сфере и др. Данные факторы влияют на удовлетворенность трудом и мотивируют работников к более высокой производительности труда.

Д. Мак-Клеанд предложил теорию приобретения потребностей, в соответствии с которой определенные типы потребностей формируются в течение жизни человека. Он выделял три типа потребностей: потребности достижения — желание решать сложные задачи, достичь успеха; потребности присоединения — стремление к налаживанию контактов; потребности власти. Он считал, что данные потребности не расположены иерархически и могут одновременно влиять на трудовое поведение работника.

Несмотря на различия, во всех содержательных теориях представлена классификация потребностей, среди которых можно выделить те, которые мотивируют человека к производительному, эффективному труду.

Среди процессуальных теорий наиболее значимыми являются теория справедливости и теория ожиданий. Теория справедливости С. Адамса изучает, насколько объективно оценивается трудовой вклад работников. Теория ожидания В. Врума гласит, что уровень мотивации сотрудников зависит от представления человека о его способностях к выполнению определенных рабочих заданий и получения желаемого вознаграждения. Теория ожидания не выделяет конкретные типы потребностей, но утверждает, что потребности каждого человека индивидуальны, и мотивация к действиям у разных людей в одном трудовом коллективе будет различна.

В 1964 г. появилась мотивационная теория Д. Макгрегора. Она объединила в себе две противоположные по содержанию теории — X и Y. Теория X рассчитана на "экономического человека" и предполагает, что люди в большинстве своем нуждаются в руководстве и принуждении, а основным стимулом является заработная плата. Теория Y разработана для "социального" человека и подразумевает, что человек — творческая личность, и основными стимулами должны быть хорошие отношения в коллективе, содержательный труд, возможность участия в решении проблем организации и др. Таким образом, Д. Макгрегор попытался соединить концепцию Ф. Тейлора и концепцию Э. Мэйо. В 80-х гг. В. Оучи была предложена "Теория Z", смоделированная для хороших работников, предпочитающих работать в группе и иметь стабильные цели деятельности на длительную перспективу. Для работников данной группы действенными стимулами являются материальное и моральное поощрение, самоутверждение, принуждение. Следовательно, теории X, Y, Z существуют для различных групп людей, предпочитающих различные линии поведения. Применение той или иной теории определяется удельным весом работников конкретного типа в группе.

Позднее возникла комплексная процессуальная теория мотивации Л. Портера и Э. Лоулера. Они считали, что на результат, достигнутый работником пред-

приятия, влияют три фактора: приложенные усилия, способности и возможности человека, осознание своей роли в процессе труда. Приложенные усилия зависят от ценности вознаграждения и вероятности его получения. Достигнутый результат может привести к вознаграждению внутреннему (чувство удовлетворенности) и внешнему — поощрение руководителя, должностное продвижение и др. Работник имеет свою оценку степени справедливости полученного вознаграждения. Результативный, справедливо вознагражденный труд ведет к удовлетворению. Данный вывод, вытекающий из теории Портера—Лоулера, противоречит концепции "человеческих отношений", которая подразумевает, что удовлетворенность трудом, наоборот, приводит к высоким результатам.

Следовательно, процессуальные теории показывают, как и каким образом человек выбирает конкретный тип поведения.

Мотивационная теория подкрепления базируется на "законе эффекта", который гласит, что человек стремится к повторению позитивно подкрепленного поведения и избегает повторять неподкрепляемые действия.

Таким образом, в различных мотивационных теориях были сформулированы отдельные элементы понятия КТЖ. Теории мотивации, несмотря на их разнообразие, показывают, что поведение человека не является сугубо рациональным, диапазон интересов и потребностей личности очень широк, удовлетворенность от трудовой деятельности формируется под влиянием многих факторов.

Отдельные аспекты качества трудовой жизни также получили развитие в некоторых теориях организации и управления. Классические организационные теории Л. Гьюлика—Л. Урвика исходят из того, что любая организация должна носить внеличностный, беспристрастный характер. Л. Урвик утверждал, что при проектировании организационной структуры нельзя исходить из наличия конкретных лиц, которые будут работать в организации. Сначала необходимо проектировать структуру и лишь затем — искать подходящих для организации людей. В концепции Гьюлика—Урвика отдельный индивид рассматривается в организации как существо изолированное, связанное с другими лицами лишь формальными экономическими связями. Данная концепция предполагает, что для успешного функционирования организации вознаграждение работника должно сразу же следовать за выполнением работы. Можно заметить, что прослеживается определенная параллель данной теории с концепцией Ф. Тейлора. Человек рассматривается в обоих случаях с точки зрения технократического подхода, как "винтик", необходимый для осуществления производственного процесса или успешного функционирования организации. Тем не менее классические организационные теории оказали существенное влияние на развитие других теорий, представители которых были последователями гуманистического направления.

Позже появилась теория организации К. Арджириса, который изучал влияние организационной структуры на поведение работников. Он считал, что человек —

развивающийся организм, а "традиционная", формальная организация накладывает ограничения на его развитие. Человек развивающийся должен проявлять в организации такие качества, как активность, независимость, способность выполнять не только конкретные, но и абстрактные операции, проявлять свои таланты.

К. Арджирис считал, что при успешном развитии человека в организации также развивается способность отсроченного удовлетворения потребностей — когда вознаграждение следует не непосредственно после выполнения работы, а существует определенный временной лаг между выполнением задания и поощрением. При ограничениях развития индивида возникает определенная внутренняя напряженность, которая проявляется в безразличии и апатии к результатам трудовой деятельности, частой смене работы и др. При наличии таких явлений в традиционной организации за работником устанавливается жесткий контроль, что еще более усугубляет ситуацию. Таким образом, К. Арджирис оспаривает восприятие работника как "экономического" человека и считает, что для развития личности работника в организации необходимо постоянное и прогнозируемое развитие самой организации, что будет способствовать повышению эффективности труда работников.

Еще одна теория управления была выдвинута К. Ликертом, который выявил, что эффективные организации отличаются от неэффективных по ряду признаков. Эффективная организация характеризуется наличием эффективных рабочих групп, работники свободно обсуждают производственные проблемы с руководством, и руководитель, и подчиненный могут оказывать влияние на цели и деятельность подразделения и предприятия; диапазон стимулов к труду очень широк и включает не только экономические стимулы. Р. Ликерт подчеркивал, что необходимо уделять внимание таким аспектам, как психологический климат в коллективе и трудовая демократия, которые являются важными элементами, составляющими КТЖ работников предприятий.

Несмотря на то, что хороший организационный климат не обязательно обуславливает высокую производительность труда, а авторитарные организации могут быть более эффективными, чем демократические, последователи концепции "человеческих отношений" внесли ощутимый вклад в исследование проблем КТЖ, разработав отдельные элементы качества трудовой жизни.

К 60-м гг. XX в. в сфере труда сложился ряд теорий и концепций, призванных улучшить положение в сфере труда, предотвратить кризис трудовой сферы: "человеческого капитала", "гуманизации труда", "обогащения труда", "производственной демократии".

Авторы концепции человеческого капитала Т. Шульц (1979 г.) и Г. Беккер (1992 г.) справедливо исходят из того, что человеческий потенциал является ресурсом, в котором заложены наибольшие резервы для повышения эффективности современной организации. Они определяли человеческий капитал как имеющийся у каждого человека запас знаний, навыков, мотиваци-

онных установок, трудовую и географическую мобильность, здоровье, профессиональный опыт и др. Инвестиции в человеческий капитал, главным образом в образование работника, приводят к экономической отдаче. Оценку отдачи от инвестиций в человеческий капитал пытался произвести Г. Беккер. В настоящее время концепция человеческого капитала изучает влияние развития персонала на эффективность деятельности предприятия. Таким образом, данная теория почти не затрагивает вопросы удовлетворенности трудом и качества трудовой жизни.

В начале 70-х гг. XX в. оформилась концепция "гуманизации труда". Определенную роль в ее возникновении сыграли взгляды Э. Мэйо на роль человеческих отношений в трудовой деятельности, мотивационные теории А. Маслоу, Ф. Герцберга. Теорию "гуманизации труда" разрабатывали французские социологи И. Деламот, О. Желинье, К. Леви-Лебуайе и др. Авторы концепции отрицали чрезмерное влияние психологических факторов на трудовую деятельность, пытались синтезировать положительные стороны теории Ф. Тейлора и теории "человеческих отношений". Считали, что гуманизация труда представляет собой адаптацию трудовой деятельности к человеку и включает такие направления, как рационализация труда и производства, изменение организации труда, обогащение содержания труда. В настоящее время ряд отечественных авторов полагает, что гуманизация труда может рассматриваться в узком и широком смысле. Так, авторы работы [4] считают, что в широком смысле слова гуманизация труда — это процесс повышения качества трудовой жизни, в узком смысле — направление улучшения КТЖ, нацеленное на устранение антигуманных и разрушающих удовлетворенность трудящихся производственных факторов (дробление трудового процесса, приводящее к монотонному, несодержательному труду, чрезмерно централизованное планирование, принудительная организация труда, использование вредных для здоровья производственных материалов и др. По мнению авторов, нельзя ставить знак равенства между понятиями "гуманизация труда" и "качество трудовой жизни". Понятие КТЖ является более широким. Качество трудовой жизни формируется под влиянием не только производственных факторов. В рамках концепции гуманизации труда был исследован ряд элементов, составляющих КТЖ (организация труда, содержательность труда и др.), следовательно, гуманизация труда является лишь одним из направлений повышения КТЖ.

Теория "обогащения труда" основана на предположении, что работники должны быть лично заинтересованы в выполнении определенного задания или осуществлении какой-либо работы. Согласно теории обогащения труда, трудовая деятельность должна быть структурирована таким образом, чтобы работник осознавал сложность и значимость выполняемой работы, имел определенную самостоятельность и независимость при принятии решений, чувствовал ответственность за выполнение работы, а выполняемая работа не должна быть монотонной. Данная теория главным

образом уделяет внимание содержательности трудового процесса и его влиянию на повышение производительности и эффективности труда.

Концепция "производственной демократии" первоначально получила распространение в Скандинавии и опиралась на концепцию "человеческих отношений". Важную роль в ее формировании сыграли взгляды английского экономиста и социолога Дж. Коула (1889—1959 гг.), который в начале XX в. говорил о необходимости управления корпорациями посредством создания производственных советов, контролируемых рабочими. Данная концепция подразумевает участие работников в принятии решений и управлении производством, что могло проявляться в таких формах, как представительство наемных работников в органах, принимающих решения; участие персонала в решении вопросов организации труда и условий труда; проведение дискуссий по различным вопросам, касающимся управления предприятием, перспектив развития и др. Для реализации данной цели на предприятиях создавались заводские советы, в которые включались представители как руководства предприятия, так и наемных работников.

Следовательно, различные направления повышения КТЖ стали рассматриваться в рамках сложившихся в 60-х гг. в трудовой сфере теорий и концепций, призванных повысить производительность и эффективность труда (в рамках ранее существовавших в трудовой сфере теорий рассматривались лишь разрозненные вопросы, связанные с КТЖ). Но современные теории и концепции затрагивали лишь отдельные стороны КТЖ либо вообще были слабо увязаны с последним (теория человеческого капитала).

Согласно работе [4], термины "гуманизация труда", "обогащение труда", "условия труда", "демократизация рабочего места" являются синонимами по содержанию и используются для обозначения КТЖ в различных странах Европы. Но, по мнению авторов, концепция КТЖ является более широкой, более всеобъемлющей, рассматривающей различные стороны трудовой жизни работников, а такие понятия, как "условия труда", "демократизация рабочего места", представляют собой лишь отдельные элементы данной концепции.

В СССР в условиях плановой социалистической экономики отдельные аспекты КТЖ разрабатывались в рамках вопросов гуманизации труда (И. М. Макаров, В. Н. Васильев, В. Ф. Потуданская), научной организации труда (А. В. Ермакова). Помимо этого, уделялось внимание улучшению условий труда работников как на рабочих местах, так и вне производства в связи с планами "социального развития предприятий". Многие советские экономисты и социологи, разрабатывая проблемы "коммунистического труда", говорили о том, что необходим гуманистический подход к человеческой личности на производстве, который способствует раскрытию творческого потенциала, о необходимости уделять внимание содержанию труда (Ковригин, Н. И. Пилипенко). Тем не менее концепция КТЖ не была признана в нашей стране в советское время.

Таким образом, можно сделать следующие выводы. Рассматривая генезис формирования концепции качества трудовой жизни, можно выделить три периода:

— доклассический (до конца XIX в.) — характеризуется тем, что учеными затрагивались, но фундаментально не разрабатывались отдельные вопросы, связанные с КТЖ;

— классический (с 90-х гг. XIX в.) — время формирования технократического подхода к проблемам КТЖ — характеризуется тем, что существующие в данный период трудовые теории и теории управления рассматривают человека как часть организации, без которой она не может функционировать, но проблемам и потребностям человека в организации не уделяется должного внимания. Считается, что круг интересов работника замыкается на экономической выгоде от трудового процесса;

— гуманистический (с 20—30-х гг. XX в.) — время формирования теорий и концепций, рассматривающих человека как личность, имеющую широкий диапазон потребностей и способную творчески развиваться. Многие пытались соединить отдельные элементы теории Ф. Тейлора и его последователей с творческим,

личностным подходом к работнику (методы управления во многом остаются тейлоровскими, главным мотиватором является экономическое стимулирование, но при этом уделяется внимание условиям труда, взаимоотношениям в трудовом коллективе, содержанию труда и др.).

Лишь в 70-х гг. XX в. возникает концепция КТЖ, ставящая во главу угла человека как самостоятельную творческую личность, которая может оптимально реализовывать свои способности при создании благоприятных условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Персонал*. Словарь понятий и определений / П. В. Журавлев, С. А. Карташов, Н. К. Маусов, Ю. Г. Одегов. М.: Экзамен, 1999. 512 с.
2. *Гоббс Т.* Левиафан, или Материя, форма и власть государства церковного и гражданского. Сочинения: В 2 т. Т. 2. М.: Мысль, 613 с.
3. *Форд Г.* Моя жизнь, мои достижения. Екатеринбург: Урал-Юриздат, 2004. 223 с.
4. *Политика* доходов и качество жизни населения / Под ред. Н. А. Горелова. СПб.: Питер, 2003. 653 с.

Е. С. ДОБРИНСКИЙ, канд. техн. наук

(Академия проблем качества РФ),

В. А. СЕИН, инж.

(ОАО "АСМ-холдинг")

Промышленная сборка: положительные истораживающие тенденции реальной экономики российского автомобилестроения

После принятия Правительством РФ Постановления от 29 марта 2005 г. № 166 и совместного приказа Минэкономразвития, Минпромэнерго и Минфина РФ от 15 апреля 2005 г. № 73/81/58Н по промышленной сборке автомобилей зарубежных моделей в России прошло уже более двух лет. В июле 2007 г. состоялся традиционный Круглый стол автопроизводителей и СМИ. Итоги работы автопрома в первом полугодии 2007 г., представленные ОАО "АСМ-холдинг", вызывают настороженность по поводу тенденций развития российского автомобилестроения.

Анализ данных парка легковых автомобилей в России свидетельствует о его росте в 2006 г. на 4,8 %. В то же время парк иномарок возрос на 16,4 %, и его доля в общем парке составила уже 28,2 %. В первом полугодии 2007 г. выпуск иностранных моделей, произведенных на территории России, вырос по сравнению с аналогичным периодом прошлого года на 90,2 тыс. шт. или на 78,9 %, а их доля в общем производстве увеличилась с 20,5 до 34 %, т. е. более трети ныне выпускаемых в стране легковых автомобилей являются собранными у нас иномарками. Следует отметить, что

темпы прироста производства этих моделей чрезвычайно высоки и, учитывая реализуемые проекты промышленной сборки, это соотношение в ближайшие годы будет меняться не в пользу отечественных автомобилей (табл. 1).

Таким образом, сборка автомобилей иностранных марок набирает высокие темпы. С вводом создаваемых мощностей производство иномарок к 2010 г. может превысить 1,1 млн шт. в год с учетом производства легких коммерческих автомобилей (LCV) (табл. 2).

На основании результатов работы предприятий за первое полугодие 2007 г. прогноз производства легковых автомобилей в России в 2007 г. может быть оценен в 1260 тыс. шт., что на 7,7 % больше, чем в 2006 г.

Рассматривая грузовой парк автомобилей России, следует отметить неуклонное снижение числа автомобилей, произведенных в СНГ, т. е. зависимость отечественного грузового парка от поставщиков из стран дальнего зарубежья возрастает все значительнее. Так, например, в 2006 г. прирост парка грузовых автомобилей составил всего 1,7 %, а число импортных составляющих увеличилось на 7,11 %.

За первое полугодие 2007 г. в секторе грузовых автомобилей произведено почти 135 тыс. шт., или на 19,3 % больше, чем за соответствующий период 2006 г. В общем производстве грузовых автомобилей в России доля импортных моделей составила в первом полугодии 2007 г. 5,3 % (в 2006 г. — 3,9 %) (табл. 3).

Несомненно, что активизация введения процессов промышленной сборки в грузовом автомобилестроении еще более усилит эту зависимость и приведет че-

рез 4—5 лет к аналогичным последствиям, что и в легковом автомобилестроении.

Прогноз производства грузовых автомобилей в России в 2007 г. оценивается в 283 тыс. шт., что на 13,8 % больше, чем в 2006 г.

Автобусный парк России в 2006 г. достиг 824 тыс. шт. и состоит почти на 25 % из импортных автобусов. Если общий парк автобусов в 2006 г. увеличился на 4 %, то количество импортных возросло на 5,3 %. При этом

Таблица 1

Фирма, модель, город	Производство легковых автомобилей иностранных моделей в России, шт.			
	2006 (за год)	2007 (первое полугодие)	2006 (первое полугодие)	2007/2006, %
Автомобильный завод "ГАЗ", Marshal S-5, Горький	9	—	—	—
ЗАО "Автомобили и моторы Урала" (АМУР), ZX Landmark, Geely СК-1, Новоуральск	—	493	—	—
Группа компаний "Автотор", Калининград	40 087	41 734	9372	445,3
ЗАО "GM-АвтоВАЗ", Тольятти	47 946	26 488	22 836	116,0
ООО "ТагАЗ", Ростовская обл.	48 397	25 309	19 910	127,1
ОАО "Автофрамос", Москва	48 545	30 073	22 627	132,9
ЗАО "Форд Мотор Компани", Ленинградская обл.	62 409	37 568	27 770	135,3
ОАО "Иж Авто (KIA Spectra, RIO, Sorrento), Ижевск	22 210	26 174	10 742	243,7
ОАО "Завод микролитражных автомобилей" (ЗМА), Набережные Челны	4528	14 433	1015	1422,0
Уральская автомобильная компания (ФГУП ПО "Златоустовский машиностроительный завод")	54	40	25	160,0
Всего	276 185	204 493	114 303	178,9

Таблица 2

Фирма (город)	Класс автомобиля	Создаваемые мощности к 2010 г., тыс. шт. в год
ООО "Нисан Мотор РУС" (С.-Петербург)	B, C	50
ООО "Дженерал Мотор Авто" (С.-Петербург)	E	30
ООО "Тойота Мотор Мануфэкчуринг Россия" (С.-Петербург)	E	50
ОАО "Автофрамос" (Москва)	B	75
ООО "Фольксваген РУС" (Калуга)	D	115
ЗАО "Форд Мотор Компани" (С.-Петербург)	C	125
ОАО "ИжАвто" (Ижевск)	C	60
ОАО "ЗМА" (Набережные Челны)	B, SUV, LCV	80
ОАО "Северсталь-Авто Елабуга" (Елабуга)	MPV, LCV	65
ЗАО "Джи Эм-АвтоВАЗ" (Тольятти)	C, SUV	100
ЗАО "Автотор-холдинг" (Калининград)	A, B, C, E, SUV, MPV	140
ООО "ТагАЗ" (Таганрог)	C, D	120
Компания "Объединенные транспортные технологии" (Нижний Новгород)	B, C	160
Всего		1170

Таблица 3

Фирма, модель, город	Производство грузовых автомобилей иностранных моделей в России, шт.		
	2006 (первое полугодие)	2007 (первое полугодие)	2007/2006, %
ОАО "УАЗ", шасси "ISUZU", Ульяновск	—	704	—
ЗАО "Автомобили и моторы Урала", АМУР 4346 (ТАТА613) (г/п 4,0 т)	157	118	75,2
ТАТА 407 (г/п 2,8 т), Новоуральск			
Группа компаний "Автотор", YUEJIN, Zhong Xing, Great Wall Socool, Great Wall Saior, Калининград	337	894	265,3
ЗАО "ВТС Зеленоград", Volvo FH-12; FM-12, Московская обл.	226	252	111,5
ООО "Ивеко-УралАЗ", Ивеко-Урал-6329, -6362, -6529, Челябинская обл.	66	167	253,0
ООО "ТагАЗ", Hyundai Porter, Ростовская обл.	3663	5015	136,9
Всего	4449	7150	160,7

Таблица 4

Фирма, модель, город	Производство автобусов иностранных моделей в России, шт		
	2006 (первое полугодие)	2007 (первое полугодие)	2007/2006, %
ООО "Скания-Питер", OmniLink, OmniLine, С.-Петербург	129	65	50,4
ООО "ЕвроБус Русслэнд", микроавтобус Sprinter, Коломна	26	148	569,2
Павловский автобусный завод, микроавтобус Ford 3030	1	12	1200,0
ОАО "ГолАЗ", микроавтобус Ford, Московская обл.	10	121	1210,0
ООО "Ростовский завод грузовых автомобилей" (ТагЗГА), микроавтобус Hyundai County	—	559	—
Всего	166	905	545,2

рост доли импорта в парке обеспечивается почти исключительно за счет ввоза автобусов из-за рубежа, так как организация производства зарубежных моделей автобусов на территории России находится пока в начальной стадии (0,7 % общего выпуска в 2006 г.). Хотя, следует отметить, что в I полугодии 2007 г. прирост объемов сборки иностранных моделей на территории России составил уже 2,2 % общего выпуска автобусов (увеличение в 5,4 раза по сравнению с соответствующим периодом 2006 г.) и достиг 905 шт. (табл. 4).

Прогноз объема производства автобусов в России на 2007 г. составляет 83 тыс. шт., что на 4,0 % больше, чем в 2006 г.

Следует отметить активную поддержку государством организации промышленной сборки, в первую очередь легковых автомобилей на территории России. К сожалению, пока не налажен действенный механизм контроля за локализацией производства комплектующих, что позволяет превратить промышленную сборку в завуалированный ввоз автомобилей из-за рубежа по заниженным ценам.

Критерии промышленной сборки: объем производства автомобилей не менее 25 тыс. шт. в год, организация полномасштабного сборочного производства, включающего сварку и окраску кузова. Количество ввозимых материалов и комплектующих должно составлять не менее 70 % (в стоимостном исчислении) от общего объема затрат, а предельный срок локализации автокомпонентов не должен превышать 2,5 года.

За период с 1996 г. по настоящее время в России создано более 10 предприятий по производству импортных автокомпонентов (шин, стекла, запальных свечей, отдельных элементов электроники и электротехники, механических замков, ремней безопасности и др.). Наиболее значительный проект по производству автокомпонентов из созданных за последнее время — предприятие по выпуску коробок передач к грузовым автомобилям и автобусам (ООО "ZF-Кама").

Особо следует отметить зависимость национального автомобилестроения от таможенно-тарифной по-

литики и состояния нормативно-законодательной базы в отношении импорта автомобилей, формирующих в настоящее время чрезвычайно благоприятные условия для экспансии импортных легковых автомобилей на российском рынке. По-существу, создаются весьма благоприятные условия для передачи российского рынка зарубежным фирмам. Только за I полугодие 2007 г. продажа легковых автомобилей иностранных марок в России выросла до 720 тыс. шт. (включая автомобили российской сборки) или на 70 % по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года. В 2006 г. импорт только легковых автомобилей составил более 1 млн шт.

Прогнозное ожидание продаж легковых автомобилей в России по итогам 2007 г. составит 2,5 млн шт., в том числе новых иномарок — на уровне 1,6 млн шт. (из них 1,2 млн — импорт и 0,4 млн — местная сборка). Изготовление этого количества автомобилей на российских предприятиях обеспечило бы дополнительно 100 тыс. рабочих мест только в автомобилестроении, а реальная экономика получила бы собственных средств до 10 млрд руб. за счет прибыли и амортизации. Эти средства, крайне необходимые российской экономике на техническое перевооружение и подготовку производства автомобилей нового модельного ряда, уходят на счета зарубежных фирм, т. е. фактически на финансирование развития производства зарубежных конкурентов, постепенно захватывающих российский автомобильный рынок.

За период с 2001 по 2006 гг. число работающих в автомобильной промышленности сократилось на 15 тыс. человек, а с учетом смежных отраслей — на 90 тыс. человек. Если будут реализованы намеченные инвестиционные проекты зарубежных производителей по сборке автомобилей, автопром потеряет более 300 тыс. рабочих мест, в том числе и квалифицированных специалистов, которых в настоящее время не хватает машиностроению. По оценкам экспертов и фирм-производителей, к 2010 г. за счет ввода новых сборочных производств будет создано всего лишь 15 тыс. рабочих мест.

Заключение

По мнению ряда экспертов отечественных заводов автомобилестроения и автокомпонентной отрасли, а также консалтинговых фирм, продолжение односторонней политики в развитии автомобилестроения, основанной на повсеместной реализации промышленной сборки и неэффективной таможенно-тарифной политике, может привести к свертыванию производства на традиционных российских предприятиях, усилению зависимости от зарубежных фирм, обострению социальных проблем.

Необходимо срочно принять меры по предотвращению негативных последствий для автопрома в связи с бурным ростом импорта автомобилей иностранного производства и увеличением выпуска иномарок российскими предприятиями.

Содержание зарубежных журналов¹

American Machinist
(N 7, Vol. 150, 2006, США)

Haftl L. Производство автомобильных двигателей, с. 10, ил. 1.

Описан опыт фирмы Toyota Motor Manufacturing по применению шести роботизированных систем с визуальным управлением для изготовления автомобильных двигателей. Каждая роботизированная система оснащена 3D-камерой для контроля программируемого процесса обработки. Роботизированные системы с соответствующими схватами точно устанавливают двигатель или компоненты двигателя до начала их подъема и перемещения на следующую позицию обработки.

Специальный инструмент, с. 24, ил. 1.

Описаны инструменты Minigroove'N фирмы Kaiser Tool, состоящие из корпуса и механически закрепляемой режущей пластины. Специальная форма корпуса, изготовляемого из стали или твердого сплава, предохраняет инструмент от залипания и вращения при обработке осевых и радиальных канавок и фасонном растачивании отверстий диаметром от 6,4 до 8,25 мм.

Микрофрезы, с. 28.

Фирма RobbJack Corporation предлагает новую серию миниатюрных цельнотвердосплавных концевых фрез диаметром от 0,15 до 1,50 мм с двумя или четырьмя стружечными канавками, стандартной или укороченной длины с плоским или сферическим торцом, предназначенных для обработки различных материалов.

Изготовление алмазных инструментов, с. 29.

Фирма Methods EDM (США) выпускает комплект PCD Edge для профилирования новых и заточки изношенных режущих инструментов из поликристаллических алмазов на электроэрозионных станках с проводными электродами Fanuc iC. Предлагаемый комплект включает ПО для управления процессами обработки, генератор импульсов, обеспечивающий оптимальную работу алмазных инструментов с точки зрения качества обработанной поверхности, и устройство для закрепления инструмента.

Точные станки, с. 56.

Рассматриваются необходимые нормы, достаточные для обеспечения требуемой точности детали с исключением излишних производственных затрат. Указываются на два показателя точности станка с ЧПУ: точ-

ность позиционирования и повторяемость. Отмечается, что при стандартной точности 0,05 мм отклонение детали составляет 0,56 мм (по классу шесть сигма), а при удвоении до 0,10 мм количество дефектных деталей возрастает с 3—4 до 66 800 шт. на 1 млн.

Программное обеспечение обработки деталей сложного профиля, с. 71, ил. 2.

Описывается программное обеспечение Esprit в формате G-кодов для обработки деталей любой формы и сложности, а также моделирования технологии процесса обработки с целью повышения ее качества.

(N 10, Vol. 150, 2006, США)

Устройство для загрузки и разгрузки станка, с. 2, ил. 2.

Фирма DMG America предлагает устройство CTV 400 для загрузки и разгрузки металлорежущих станков, например вертикального токарного станка, сокращающее время этих операций до 40 %. Устройство пригодно для обработки с охлаждением и без него. Жесткая чугунная рама обеспечивает безопасную и удобную эксплуатацию устройства при трехменной работе. Линейный привод обеспечивает перемещение по оси X с минимальными потерями времени.

Подготовка поверхностей перед окрашиванием, с. 20, 22, ил. 1.

Фирма Rex-Cut Products предлагает шлифовальные круги Rex-Cut MX Plus Kit, включающие абразивные зерна из оксида алюминия и хлопковолокнистую основу и предназначенные для окончательной зачистки деталей и сварных узлов из коррозионно-стойкой стали и алюминия, например, при подготовке изделий перед окрашиванием. Предлагаются круги различной формы и размеров, имеющие оправку диаметром 6,35 мм.

Benes J. Маленькие детали — большие проблемы, с. 28—30, 32, ил. 3.

Описываются примеры механической обработки литейных моделей для отливки миниатюрных деталей, используемых в различных отраслях промышленности, исследуются причины выхода из строя микроинструментов на примере механической обработки с помощью микрофрез диаметром 50 мкм моделей размером менее 100 мкм со специальным износостойким покрытием. Обработка осуществлялась при частоте вращения инструмента до 150 000 мин⁻¹, а шероховатость поверхности составляла 0,2 мкм. Также рассматривается электроэрозионная микрообработка электродами диаметром 20 мкм.

¹Раздел подготовлен инж. Г. С. Потаповой (по вопросам получения материалов обращаться по тел./факсу: (495) 611 21 37, e-mail:stankoinform@mail.ru).

Bates Ch. Технология внутреннего шлифования, с. 40—42, 44, ил. 1.

Описывается опыт фирмы Saint-Gobain Abrasives в области технологии шлифования отверстий. Речь идет о правильном выборе шлифовального круга (материал, зернистость и твердость режущих зерен) и оптимальных режимах шлифования, благодаря чему можно устранить вибрацию и прижоги, уменьшить частоту правки круга. Приведены перечень и рекомендации по выбору абразивов в зависимости от конкретного обрабатываемого материала и диаметра круга в зависимости от диаметра обрабатываемого отверстия.

Универсальный фильтр, с. 59, ил. 1.

Фирма Donaldson Torit предлагает универсальное устройство WSO для обслуживания металлорежущих станков, которое за счет смены фильтрующего картриджа легко превращается из пылесборника в устройство для фильтрации водных эмульсий (СОЖ) и очистки масла или улавливания масляного тумана. Форма картриджа на 45 % увеличивает фильтрующую поверхность.

(N 6, Vol. 150, 2007, США)

Bates Ch. Автоматизированный участок, с. 24, ил. 1.

Описывается автоматизированный производственный участок фирмы Southern Michigan Tool & Machine для выполнения девяти базовых операций обработки резанием в крупносерийном производстве точных деталей автомобиля. Поступающие на участок отливки автоматически загружаются в два токарных станка для обработки наружных и внутренних поверхностей. Затем детали подаются в установку очистки сжатым воздухом, а оттуда — на позицию контроля без участия оператора. С позиции контроля информация передается на токарные станки для необходимой корректировки настройки. Затем осуществляется окончательная обработка, включающая удаление заусенцев, протяжку шпоночных канавок, шлифование и мойку.

Benes J. Установки для электроэрозионной обработки, с. 28, 29, ил. 4.

Приведены технические характеристики установок четырех фирм: Agie, Makino, Mitsubishi, Sodick с размерами рабочей зоны от 734 × 254 до 635 × 432 мм. Рассматриваются семь базовых характеристик, которые необходимо знать при выборе установки, подходящей для конкретных условий производства, в числе которых система смены электрода, требуемая мощность, наличие оси C, необходимость дополнительной диэлектрической жидкости и т. д.

Benes J. Покрытие режущих инструментов, с. 38—40, ил. 2.

Оптимальное покрытие существенно повышает эффективность обработки резанием за счет уменьше-

ния трения, теплоты и сил резания, увеличения подачи и скорости резания, улучшения качества обработанной поверхности и сокращения простоя оборудования. К наиболее существенным свойствам покрытия относятся твердость, износостойкость, поверхностная смазка, температура окисления и сопротивляемость налипанию обрабатываемого материала. Рассматриваются свойства и область применения наиболее распространенных покрытий: TiN, TiCN, TiAlN, AlTiN, TiB₂, CrN и алмазное покрытие.

Cutting Tool Engineering
(N 8, Vol. 58, 2006, США)

Kenndey B. Выигрыш времени на наладках станков, с. 46, 48—50, 52—56, ил. 7.

Даны рекомендации по подготовке технологических маршрутов, инструментов, документообороту и обработке сложных деталей на многоцелевых станках. Особое внимание уделено программному обеспечению производства. Рассмотрен опыт шести механообрабатывающих предприятий США.

Finn M. Правка шлифовального круга, с. 64, 66—68, 71—73, ил. 5.

Описана новая онлайн-технология правки шлифовального круга из КНБ со стекловидной связкой, которая совместно с улучшенной системой контроля и мониторинга позволяет увеличить производительность заточки и повысить качество сверл и концевых фрез. Правка кругов производится алмазным роликом, закрепляемым с помощью специально сконструированного переходника в шпинделе бабки изделия.

Новый инструментальный материал, с. 81.

Фирма Diamond Abrasives Corporation предлагает новый инструментальный материал Syndite CMX 850 из уникальных тонкозернистых поликристаллических алмазов. Этот материал обладает уникальным сочетанием стойкости против воздействия стружки, сопротивляемости абразивному истиранию и легкости изготовления режущих инструментов и, по данным фирмы, идеален для фрезерования титана и алюминиевых сплавов, применяемых в авиационной промышленности.

Эффективное хонингование, с. 204, 205, ил. 1.

Описывается опыт фирмы Miller Industrial Products по применению хонов Flex Hone фирмы Brush Research Manufacturing для окончательной обработки рабочих поверхностей тормозных барабанов и роторов для автомобильной промышленности. Конструкция хонов шарикового типа состоит из несущего корпуса и закрепляемых на периферии корпуса многочисленных мелких нейлоновых щетинок и абразивных шарообразных элементов.

(N 9, Vol. 58, 2006, США)

Круглошлифовальный станок, с. 20, ил. 1.

Описан круглошлифовальный станок ASG 300/400 фирмы NTC America Corp., демонстрировавшийся на выставке "IMTS—2006" (США). Отмечаются возможности внутреннего и наружного шлифования деталей диаметром 1,2 м на аэрокосмических и ремонтных предприятиях. Приведена характеристика станка.

Richter A. Изготовление деталей для медицинской промышленности, с. 58, 60, 62, ил. 2.

Сообщается об опыте фирмы F&F Screw Machine Products по изготовлению специальных резьбовых деталей для медицинской промышленности. Нарезаются винтовые шурупы (для скрепления кости) из коррозионно-стойкой стали 316, имеют резьбу шнекового типа диаметром 5 мм и длиной от 19 до 114 мм. Фирма разработала специальные технологии и резьбонарезные головки с тремя черновыми и тремя чистовыми режущими пластинами, нарезающие резьбу на стержне вихревым методом.

Fertigung

(N 9, 2006, Германия)

Гибкая производственная система MLS, с. 30, 31, ил. 2.

Система MLS, изготовленная фирмой Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH, предназначена для производства деталей типа призмы для двигателей и передач. Ее основное отличие от известных поточных и автоматических линий заключается в способности быстро реагировать на меняющиеся условия производства. Линия состоит из отдельных автономных модулей, пригодных для пятикоординатной обработки заготовок, и системы автоматизации с транспортными устройствами, обеспечивающей необходимые перемещения заготовок при условии непрерывной работы модулей.

Новый ленточно-отрезной станок HBM 540A, с. 42, 43, ил. 3.

Станок HBM 540A, изготовленный фирмой Behringer GmbH Maschinenfabrik und Eisengießerei, предназначен для разрезания полуфабрикатов из алюминиевых сплавов пилами из биметаллов или с вставками из твердых сплавов. Диаметр круглого полуфабриката может достигать 540 мм, максимальные размеры плоского — 630 × 540 мм. Максимальная величина подачи материалов 800 мм (по заказу увеличивается до 1500 и 3000 мм). Станок имеет массивное исполнение и поэтому работает без вибраций даже при максимальных усилиях резания.

Специализированный суперфинишный станок, с. 48, 49, ил. 3.

Фирма Supfina Gneshaber GmbH & Co KG выпустила станок Spheroline, предназначенный для доводки

деталей искусственного тазобедренного сустава (протеза). Срок службы такого протеза 15—20 лет, к тому же он работает в жестких условиях, поэтому к нему предъявляют жесткие требования по точности и шероховатости. Новый станок обеспечивает получение размеров с отклонениями не более 0,005 мм с круглостью 0,001 мм и параметром шероховатости $Ra = 0,04$ мкм.

Микрошлифовальный станок 305 linear, с. 54, ил. 1.

Станок 305 linear, выпущенный фирмой Alfred H Schulte GmbH & Co KG, предназначен для шлифования режущего инструмента диаметром до 20 мкм. Основная особенность нового станка — система прецизионного направления заготовки FWS, обеспечивающая надежную фиксацию заготовки непосредственно перед местом ее обработки. Оси вращения приводятся в действие непосредственным приводом в виде моментного электродвигателя.

Торцешлифовальный станок Planet V, с. 78—80, ил. 3.

С целью диверсификации своей производственной программы (после изучения рынка) фирмой Supfina Gneshaber GmbH & Co KG было принято решение о создании станка для одновременного шлифования деталей с двух сторон. На новом станке можно обрабатывать детали диаметром 3—250 мм и высотой до 100 мм кругами из обычных абразивов или кубического нитрида бора. Станок имеет устройство для одновременной автоматической правки обоих кругов и механическое устройство для их замены (время замены снижено с 2 ч до 30 мин). Время обработки составляет 1 с для малых и 5—6 с — для больших деталей.

Модернизация шлифовальных станков, с. 114, 115, ил. 2.

Ранее выпущенные шлифовальные станки часто не отвечают возросшим требованиям производства и поэтому подвергаются модернизации, в ходе которой наряду с другими узлами и агрегатами заменяются и системы измерений. Одной из лучших признана универсальная измерительная система P7 фирмы Margross GmbH с измерительной головкой Unimat, работающая в реальном времени. Модернизированные станки обеспечивают 90 % преимуществ новых станков, а их стоимость при этом равна примерно 55 % стоимости новых.

(N 10, 2006, Германия)

Специализированный центр PBZ HD 600, с. 10—12, ил. 5.

Центр PBZ HD 600 изготовлен фирмой Handtmann A-Punkt Automation GmbH и предназначен для обработки толстостенных алюминиевых профилей в авиационной промышленности. Один из таких центров успешно работает в американской фирме AMT Aerospace Manufacturing Technologies Inc., на которой изготавли-

ют детали фюзеляжа самолетов Boeing. Оси X, Y, Z и C и все вспомогательные агрегаты смонтированы в тяжелом портале, заготовка перемещается столом по оси X; ее фиксация выполняется специальными зажимами. Станок комплектуется системой управления Siemens 840D, он также пригоден и для обработки других материалов, включая композиты и титан.

Обрабатывающие центры для авиационной промышленности, с. 18, 19, ил. 3.

Центры серии MC разработаны и выпускаются фирмой Niles-Simmons Industrieanlagen GmbH с учетом специфики авиационной промышленности, в частности, для экономичной обработки заготовок из труднообрабатываемых металлов и сплавов, в том числе титановых. Процент брака при обработке близок к нулю. Одна из особенностей центра — возможность установки дополнительных модулей, например для сверления глубоких отверстий. Высокая точность деталей обеспечивается системами автоматических измерений инструмента и детали. Магазин центров вмещает восемь инструментов массой до 150 кг.

Зубофрезерный станок с ЧПУ, с. 35, ил. 1.

Фирма Gleason выпустила работающий по методу обката вертикальный зубофрезерный станок Genesis 130H, открывающий новую серию подобных станков на общей платформе. Его отличительными признаками являются станина из каменного литья, пригодность для работы без СОЖ, двойной зажим с кулачковым управлением, загрузка и выгрузка заготовок и деталей в течение 3 с.

Обрабатывающий центр Ecospeed F, с. 22—25, ил. 5.

Описан центр Ecospeed F фирмы Dorries, предназначенный для обработки ответственных деталей самолетов из алюминия. Центр дополнительно укомплектован угловой головкой Sprint Z3 с производительностью съема до 8000 см³/мин. Мощность привода 20 кВт, частота вращения до 15 000 мин⁻¹. Благодаря этому время обработки снижается в 2 раза, что компенсирует высокую стоимость станка.

Form + Werkzeug
(N 3 (июль), 2006, Германия)

Технология изготовления электродов, с. 41, ил. 1.

Эффективность электроэрозионной обработки в настоящее время повышают за счет применения 3D-электродов в сочетании с программным управлением работой проволочно-вырезных и копировально-прошивочных электроэрозионных станков. Описан программный модуль SolidCut Frasen 3D Professional,

обеспечивающий получение электродов с поверхностью, которая не требует дополнительной обработки.

Bonss S. Лазерная закалка, с. 64, 65, ил. 4.

Приведены примеры применения лазерной закалки при изготовлении различных инструментов для кузнечно-прессового оборудования, в том числе штампов для изготовления кузовов автомобиля. Применяется газовый лазер CO₂ для поверхностной закалки с глубиной упрочненного слоя от 1,0 до 1,5 мм. К преимуществам лазерной закалки относятся возможность местного упрочнения детали, минимальное коробление и уменьшение объема последующей обработки.

MAN (Modern Application News)
(N 9, Vol. 40, 2006, США)

Хонингование отверстий, с. 38, 39, ил. 2.

Описывается способ хонингования отверстий в блоке цилиндров дизельного двигателя с помощью специального шарикового хона Fkex-Hone фирмы Brush Research Manufacturing. Хон представляет мелкие шаровидные абразивные элементы, расположенные произвольно и плотно друг к другу по периферии инструмента и скрепляемые с оправкой гибкими волокнами. Хон применяется для выглаживания стенок отверстия и образования отпечатков (продольные углубления) на поверхности отверстия для лучшего удержания смазки.

Обработка с малым количеством СОЖ, с. 42, ил. 1.

Фирма Unist сообщает о практически "сухой" обработке резанием (с минимальным количеством смазки) при сверлении и фрезеровании на станках с ЧПУ различных материалов с помощью системы охлаждения Micro-Fluidization. Небольшое количество высококачественной смазки на основе растительного масла подается на поверхность контакта между режущим инструментом и обрабатываемым материалом для уменьшения трения, отвода теплоты и охлаждения.

Trametal
(Special OUTILS, март 2007, Франция)

Сверление: как появляется вибрация и какими способами можно с нею бороться? С. 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, ил. 5.

Рассмотрены проблемы регенеративных вибраций, возникающих при сверлении, которые часто ведут к заеданию инструмента, и средства для стабилизации низкочастотных вибраций, например, регенеративный наклон можно уменьшить закруглением режущей кромки, а также предлагается решение для предотвращения заедания при низких скоростях.

8-я Международная выставка "Высокие технологии XXI века"

23—26 апреля 2007 г. в Москве на территории ЗАО "Экспоцентр" состоялась 8-я Международная выставка "Высокие технологии XXI века", организованная ООО "Экспо-Экос" и ЗАО "Экспоцентр". В выставке приняли участие около 500 экспонентов из России и зарубежных стран, которые продемонстрировали более четырех тысяч экспонатов, включающих инновационные проекты предприятий и региональные инновационные программы. Объединенные стенды представили Министерство обороны, Росатом, Роспром, Министерство промышленности Московской обл. (наукограда), РАН и ее региональные отделения.

Ниже приведено краткое описание экспонатов, демонстрировавшихся на выставке, а также предложения предприятий, вызвавшие большой интерес у специалистов.

Институт машиноведения им. А. А. Благонравова (Москва) предложил потребителям различные лазерные установки для упрочнения и наплавки деталей:

— *автоматизированную линию для лазерного упрочнения и наплавки деталей сложной пространственной формы и тел вращения.* Лазерное упрочнение и наплавка деталей — прогрессивная технология в современном промышленном производстве. Наиболее эффективно энергия лазерного излучения используется при многопозиционной обработке. Лазерная установка работает в непрерывном режиме, поэтому время, затрачиваемое на холостой ход и другие вспомогательные операции, минимально. Эффективность лазерной установки приближается к 100%. Упрочнение и наплавку ведут с помощью специальных оптических головок, оснащенных сканирующими устройствами с колеблющимися и вращающимися зеркалами, с частотой 150—600 Гц. Твердость упрочненных слоев при глубине 0,5—2,0 мм достигает 67 HRC для стали 65Г. Мощность излучения 2,5 кВт. Размеры обрабатываемых деталей:

сложной пространственной формы — 1500 × 1000 × 300 мм, тел вращения — 250 × 1500 мм. Потребляемая мощность 26 кВт. Скорость перемещения оптических головок 20 м/мин. Точность позиционирования 0,05 мм. Габаритные размеры линии 5600 × 2200 × 1900 мм;

— *технологии лазерной, лазерно-плазменной, лазерно-ультразвуковой, лазерно-электроискровой, лазерно-фрикционной обработки* для упрочнения и наплавки поверхностей трения. Лазерное упрочнение применяется для обработки локальных поверхностей трения, а также маложестких и длинномерных деталей. Глубина упрочненного слоя 0,5—2,0 мм. Твердость поверхностного слоя зависит от содержания углерода и, например, для сталей 45, 40Х составляет 57—61 HRC.

Технологии упрочнения и наплавки разработаны с применением сканирующих устройств, с частотой колебаний луча 150—600 Гц с целью выравнивания плотности мощности на обрабатываемой поверхности и придания прямоугольной формы пятну нагрева. При этом в 3—5 раз повышается износостойкость поверхности трения, деформация деталей отсутствует или минимальная, имеется возможность обработки труднодоступных мест, технологический процесс экологически чистый, обработка поверхностей происходит без применения охлаждающих сред;

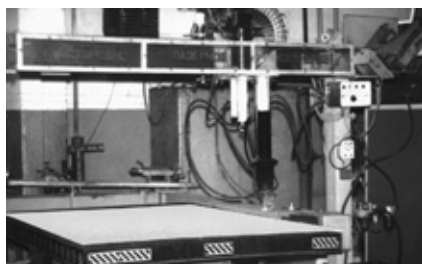


Рис. 1. Лазерная система для упрочнения деталей и точного раскроя листового материала

— *лазерную систему* (рис. 1) для упрочнения деталей и точного раскроя листового материала. Например, лазерная закалка сталей 45 и 40Х позволяет получить твердость упрочненного слоя 57—60 HRC, что невозможно обеспечить при традиционных методах термической обработки. Глубина зоны закалки 0,9—1,2 мм. Применение лазерной резки позволяет отказаться от изготовления дорогостоящей оснастки: вырубных и просечных штампов, кондукторов и шаблонов. Скорость лазерной резки стального листа толщиной 1 мм при мощности излучения 2,5 кВт достигает 10 м/мин. Перемещение лазерного луча по оси X составляет 1700 мм, по оси Y — 1200 мм, по оси Z — 300 мм. Точность позиционирования лазерной системы 0,05 мм;

— *сканер* для пространственного управления лазерным лучом при упрочнении поверхностей трения деталей сложной формы. Перемещение лазерного луча по оси X составляет 1500 мм, по оси Y — 1350 мм, по оси Z — 200 мм при скорости перемещения до 20 м/мин. Точность позиционирования 0,05 мм, мощность, потребляемая сканером, 1,2 кВт. Габаритные размеры сканера 2100 × 1580 × 1800 мм. При лазерной закалке детали из стали 65Г твердость упрочненного слоя глубиной до 1,5 мм составляет 65—67 HRC. Износостойкость детали повышается в 4 раза по сравнению с серийно выпускаемыми и упрочненными традиционными методами термической обработки.

Институт автоматики и электротехники Сибирского отделения РАН (Новосибирск) демонстрировал на выставке различные установки, в том числе лазерные для маркировки различных изделий:

— *лазерную систему* (рис. 2) для контурной размерной резки и точечной перфорации листовых материалов из стали и сплавов цветных металлов с применением концентрированного импульсного источника нагрева — лазерного луча —



Рис. 2. Лазерная система для контурной размерной резки и точечной перфорации листовых материалов

в сочетании с высокоточными схемами позиционирования и перемещения обрабатываемых изделий. Устройство работает под управлением интеллектуального контроллера и ПЭВМ РС/АТ. Рабочая программа задает параметры перемещения и обработки: шаг, размер зоны обработки, время нахождения в заданной точке, формирует сигнал включения и выключения, подачи лазерного излучения в зону обработки. Перфорирование можно производить на листе металла из коррозионно-стойкой стали толщиной 0,5—3,0 мм, диаметр минимального отверстия 0,05—0,10 мм. Размер обрабатываемой заготовки 33 × 500 × 1000 мм. Лазерная резка и перфорация в сравнении с традиционными способами (механической обработкой, плазменной резкой, штамповкой) выполняются с большей точностью, меньшим числом отходов, меньшим допуском реза. Лазерная резка, обеспечивая качественную поверхность кромки реза, исключает необходимость последующей ее обработки;

— *лазерную систему маркировки для конвейерных производственных линий.* В качестве источника излучения в системе использован CO₂-лазер мощностью 50 Вт. Двухкоординатная развертка лазерного пучка осуществляется блоком сканирования на основе электромеханических зеркальных сканеров. Фокусировка излучения на поверхность обрабатываемого изделия производится инфракрасным объективом. Для повышения качества маркировку производят на неподвижном изделии, которое останавливается специально встро-

енным механическим блоком позиционирования. Блок не снижает производительность линии. Для работы блока позиционирования используется привод от конвейера основной технологической линии. Этим достигается точная синхронизация процессов маркировки и работы конвейера. Управление маркером осуществляется автономным микропроцессорным блоком управления. Для подготовки и загрузки информации применен Windows-PC, соединенный с блоком управления стандартным последовательным каналом. Производительность системы до 10 000 маркировок/ч;

— *лазерный комплекс для прецизионной маркировки изделий инструментального производства* в условиях промышленного производства (производительность процесса маркировки до 1000 изделий/ч) однородной продукции в виде изделий с осевой симметрией, загрузка и позиционирование которых производятся в механизированном режиме. Маркировка производится методом лазерного гравирования поверхности изделий остро сфокусированным лучом твердотельного ИАГ: Nd-лазера. Комплекс может работать в составе автоматической технологической линии. Размер зоны обработки: при работе с роторным полуавтоматом загрузки — 50 × 50 мм; при работе с плоским столом, регулируемым по высоте, 100 × 100 мм. Скорость маркировки 2500 мм/с. Тип выводимых изображений — контурные и растровые, текстовые, графические и штрих-код. Мощность комплекса 5 кВт, питающее напряжение 380 В. Маркируемые материалы: сталь, алюминий, титан, медные сплавы, окрашенные металлические поверхности, пленки Tesa laser, резина, пластмасса, полупроводники и т. п. Комплекс успешно эксплуатируется на Новосибирском инструментальном заводе.

ООО "ЭПДМ" (г. Химки Московской обл.) предложило *технология штамповки металлических материалов с использованием электрического тока высокой плотности* — до 10 000 А/мм² — непосредственно в зоне деформации. Технология отличается уменьшением усилий штамповки на десят-

ки процентов, увеличением производительности прессов, сокращением числа переходов и промежуточных отжигов, улучшением структуры и физико-механических свойств материала штампуемых листов и ленты, а также экологической чистотой производства. Возможна интенсификация гибки профилей с одновременным растяжением заготовки в направлении действия тока, а также поперечная обтяжка профилей двойной кривизны с обтеканием линиями тока обшивки с двух сторон по мере облегчения пуансона. В результате повышается точность изготовления деталей, уменьшаются остаточные напряжения и устраняется пружинение заготовки. Возможно применение при производстве штампов листового материала и ленты из труднодеформируемых, тугоплавких и хрупких материалов, а также из композиционных материалов.

ОАО "Научно-исследовательский и конструкторский институт средств измерения в машиностроении" (Москва) демонстрировало различные измерительные приборы:

— *толщиномер БВ-6392* (рис. 3) с цифровым отсчетом для измерения наружных размеров и толщин деталей. Диапазон измерений 0—25 мм, шаг дискретности 0,001 мм, предел допустимой погрешности 0,004 мм, наибольшее расстояние от места измерения до края изделия 120 мм, максимальная скорость перемещения измерительного штока 2 м/с;

— *глубиномер БВ-6389* для измерения глубины уступов, проточек, выточек и пазов в деталях машин в условиях машиностроительных

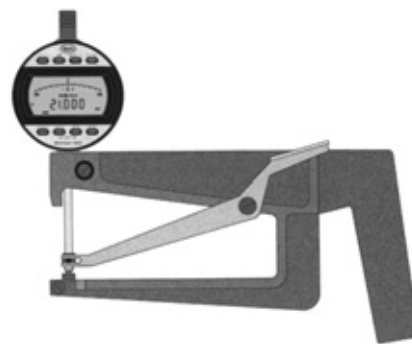


Рис. 3. Толщиномер БВ-6392

предприятий. Принцип действия глупиномера — емкостной. Диапазоны измерений: 0—25, 25—50, 50—75, 75—100, 100—125, 125—150, 150—175, 175—200 мм. Диапазон показания цифровой индикации $\pm 999,999$ мм. Предел допустимой погрешности 0,009 мм;

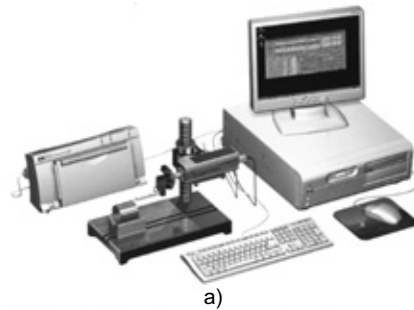
— *штангенрейсмас БВ-6435* для высокоточных измерений высот и разметки деталей в условиях любых машиностроительных предприятий. Принцип действия измерительного прибора электронный, емкостной. Диапазон измерения 0—60 мм. Допустимая погрешность $\pm 0,04$ мм;

— *портативную измерительную систему БВ-6436* (рис. 4) с индуктивным преобразователем в составе приборов для контроля размеров деталей и средств автоматизации технологических процессов. Диапазон измерений (показаний) при дискретности отсчета 1 мкм — 2000 (± 1999), 0,1 мкм — 399,8 ($\pm 199,9$), 0,01 мкм — 39,98 ($\pm 199,9$), 0,01 мкм — 39,98 ($\pm 19,99$). Основная погрешность измерения размера при дискретности отсчета 1 мкм — $1 + L/333$, 0,1 мкм — $0,1 + L/666$, 0,01 мкм — $0,01 + L/400$;

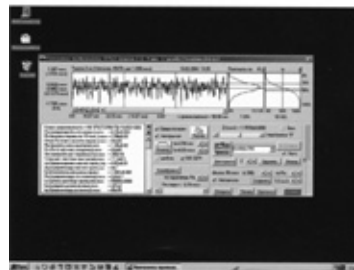
— *измерительную систему БВ-2045* для контроля формы и расположения поверхностей деталей типа тел вращения. Масса до 10 кг. Предельные размеры контролируемых поверхностей: наружный диаметр 1—250 мм, внутренний диаметр 7—250 мм, высота детали до 250 мм, глубина измерения до 110 мм. Погрешность измерения отклонений формы (некруглость, огранка, волнистость) 1,5 мкм; отклонений расположения (неперпендикулярность, несоосность) 2,5 мкм; радиального биения — 3 мкм;



Рис. 4. Портативная измерительная система БВ-6436



а)



б)

Рис. 5. Профилограф-профилометр БВ-7669 (а) и вид окна рабочей программы (б)

— *профилограф-профилометр БВ-7669* (рис. 5) для измерения в автоматическом режиме параметров шероховатости наружных и внутренних поверхностей, сечение которых в плоскости измерения представляет прямую линию. Класс шероховатости контролируемых поверхностей по ГОСТ 2789 — 1—12. Длина трассирования 1—12 мм, скорость трассирования 0,5—2,0 мм/с;

— *портативный профилометр БВ-7646* для измерения параметров шероховатости методом ощупывания плоских и цилиндрических (наружных и внутренних) поверхностей ответственных деталей. Измеряемые параметры шероховатости: R_a , R_q , R_z , R_{max} , S_m . Базовая линия — 0,08/0,25/0,8/2,5/8. Длина трассирования 2—50 мм. Основная относительная погрешность измерения не более 2,5 %;

— *прибор БВ-7601* для контроля диаметра роликов сферических подшипников в условиях машиностроительных предприятий. Контролируемый параметр — наибольший наружный диаметр. Диапазон размеров контролируемых роликов по диаметру 21—50 мм. Допустимая погрешность контроля не более 1 мкм;

— *цифровой показывающий и регистрирующий прибор БВ-7492* для контроля внутреннего диаметра кольца подшипника. Принцип действия прибора — индуктивный. Число контролируемых сечений — 2 шт. Прибор контролирует диаметр, овальность, конусообразность с погрешностью измерения 4 мкм.

ООО НПП "Мобильные лазерные системы" (Санкт-Петербург) предложило следующие разработки:

— *технология лазерной сварки* разнородных материалов — медь + сталь толщиной 10 мм. Сварка производится в сильном магнитном поле. Особенность такого вида сварки — высокая скорость процесса и инертность лазерного луча к магнитным полям, что незаменимо при изготовлении конструкций с расположенными внутри мощными постоянными магнитами;

— *мобильный лазерный комплекс* для бесконтактного удаления нагара с поверхности турбинных лопаток и дезактивации узлов и агрегатов. Длина волны излучения 1,06 мкм, длительность импульса 10 нс, средняя мощность излучения 15 Вт. Максимальное расстояние от излучателя до зоны обработки 2 м; скорость обработки 0,3 м²/ч; толщина удаляемого слоя 100 мкм. Питающее напряжение 220 В, потребляемая мощность 3,5 кВт.

ЦНИИ технологии судостроения (Санкт-Петербург) демонстрировал на выставке свои разработки, в том числе оборудование для резки и сварки металлов:

— *газорежущую машину "Ритм М ПКП2,5 ЗР"* для высокоточной резки листов из углеродистых и коррозионно-стойких сталей, а также листов из сплавов цветных металлов. Система управления на базе ПК и зарубежный цифровой привод с вентильным двигателем обеспечивают высокую точность работы машины. Толщина разрезаемого листа плазменным резаком 5—100 мм; микроплазменным резаком — 1—16 мм; газовым резаком — 5—200 мм. Ширина разрезаемого листа 2,5—5 м, длина его не регламентирована. Машина оснащена четырьмя каретками. Скорость перемещения резаков 0,1—12,0 м/мин с точностью до $\pm 0,05$ мм;



Рис. 6. Полуавтомат ППН-200 для плазменной сварки и наплавки

— полуавтомат ППН-200 (рис. 6) для плазменной сварки и наплавки током обратной и прямой полярности изделий из алюминия, меди, их сплавов и коррозионно-стойких сталей толщиной от 1,5 мм. Мощность полуавтомата 6 кВт, пределы регулирования тока 20—200 А, диаметр присадочной проволоки 0,6—1,6 мм. Расход газа: защитного — 5—10 л/мин; плазмообразующего — 0,1—1,0 л/мин;

— автомат "Юниор" для сварки стыковых соединений конструкций ответственного назначения, в том числе из высокопрочных материалов. Возможна сварка во всех пространственных положениях, в том числе неповоротных стыков при радиусе кривизны более 2,5 м. При сварочных работах манипуляторы не требуются. Толщина деталей, свариваемых автоматом, 10—50 мм, номинальный ток 250 А, диаметр сварочной проволоки 0,8—1,6 мм.

Производственное объединение "Старт" (г. Заречный Пензенской обл.) демонстрировало оригинальные разработки:

— малогабаритный паяльник ПМУ-2 "Журавлик" для пайки мягкими припоями электромонтажных соединений. Высокое качество паяных соединений достигается за счет самостабилизации температуры паяльного стержня, основанной

на использовании "эффекта точки Кюри". Паяльник имеет четыре фиксированных температурных режима. Перевод паяльника на выбранный режим осуществляется установкой в нагреватель паяльника соответствующего паяльного стержня из комплекта. Паяльные стержни имеют износостойкое, легко смачиваемое припоем покрытие. Блок питания паяльника с индикатором "Вкл" совмещен с сетевой вилкой, обеспечивается защита паяемого соединения от воздействия статического электричества. Конструкция подставки для разогретого паяльника препятствует случайному прикосновению к паяльному стержню. Питающее напряжение 36 В;

— инвертор сварочного тока "ИСТ-160-01" для ручной дуговой сварки плавящимся электродом и аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Питание сварочной дуги осуществляется постоянным током с пульсациями повышенной частоты 4—32 кГц, что обеспечивает крутопадающую внешнюю ВАХ, легкое зажигание и стабильность дуги, сварку во всех пространственных положениях стали любых марок, меди, никеля, титана и их сплавов, мелкозернистую структуру и гладкую поверхность шва, без подрезов и прожогов; минимальные потери металла на брызги и угар при сварке покрытыми электродами; увеличенную глубину проплавления шва при сварке массивных деталей. Переход с режима дуговой сварки на режим аргонодуговой осуществляется переключателем "Способ сварки". Зажигание устойчивой дуги происходит при напряжении до 52 В. Главная регулировка сварочного тока осуществляется в каждом диапазоне, в том числе с пульта дистанционного управления. Выносной дистанционный пульт управления сварочным током инвертора и низкие значения напряжений зажигания дуги и холостого хода обеспечивают безопасность и широкие возможности при сварке в стесненных условиях. Инвертор эффективно подавляет электромагнитные помехи до уровня ниже минимально допустимого, что позволяет использовать сети, задействованные для пита-

ния электронной аппаратуры и систем автоматики объекта без их профилактического или аварийного отключения. Уровень шума, создаваемого инвертором при работе, не превышает 80 ДБ.

ОАО "Мотор Сич" (Запорожье, Украина) предложило потребителям свою продукцию и новые технологии:

— технологию электронно-лучевого отжига сварных роторных деталей газовоздушного тракта. Технологический процесс осуществляется на электронно-лучевой установке с контролем постоянства заданной температуры инфракрасным термометром. Технология позволяет сваривать и термообработать электронным лучом сборочные единицы с радиальными и торцевыми швами в автоматическом режиме по заданным программам, хранящимся в памяти компьютера, с применением камер слежения, расположенных на обеих пушках установки. Технология обеспечивает сварку деталей, изготовленных с минимальными припусками под механическую обработку. Деформация деталей в процессе термической обработки исключена. Габаритные размеры сборочных единиц: диаметр до 1200 мм, длина до 1000 мм, точность измерения температуры ± 10 °С;

— технологию сварки трением разнородных материалов с различными свойствами (температурой плавления, теплопроводностью, твердостью в нагретом состоянии) и, кроме того, склонных к образованию трещин при сварке. Возможна сварка на машинах МСТ-41-3Н и МФ-362 вала-крыльчатки турбонаддува двигателей внутреннего сгорания, где крыльчатка выполнена из жаропрочного сплава, а вал — из углеродистой стали. Технология обеспечивает экономию 40 % жаропрочного сплава и повышает качество сварной детали;

— технологию взрывной штамповки для изготовления деталей сложной формы из листа штамповкой с использованием энергии взрыва. Материал штампующих деталей: алюминиевый, титановый и жаропрочные сплавы, коррозионно-стойкие стали. Штамповка про-

изводится в бассейнах диаметром до 5 м, заполненных водой, расположенных в бронеканерах. Бассейны рассчитаны на взрыв зарядов массой до 1 кг и получение деталей диаметром до 3000 мм и высотой 80—800 мм. Технология повышает качество деталей, обеспечивает стабильность их размеров. Снижается трудоемкость изготовления деталей по сравнению с глубокой вытравкой. Получена возможность изготовления деталей, которые другими способами изготовить невозможно;

— САПР/АСТПП "Зубообработка" для технологических и конструкторских подразделений, занимающихся проектированием зубчатых передач и зуборезного инструмента.

Система имеет модульную структуру и предназначена для проектирования и подбора зуборезного инструмента, анализа пригодности инструмента для обработки зубчатых венцов деталей, анализа точности зуборезного инструмента, создания электронных эталонов для контроля зуборезного инструмента и профилей зубчатых венцов деталей. Применение САПР/АСТПП обеспечивает уменьшение времени проектирования и повышение производительности при изготовлении червячных фрез и зуборезных долбляков; сокращение времени контроля, повышение качества контролируемых деталей и зуборезных инструментов.

Выставка прошла с большим успехом. Гостям и участникам выставки были продемонстрированы передовые разработки, реализация которых предусмотрена в рамках приоритетных национальных проектов. Была организована международная конференция "Высокие технологии — стратегия XXI века". На секционных заседаниях, семинарах и "круглых столах" обсуждались проблемы формирования национальной инновационной системы, возможности регионов России в области высоких технологий и межрегионального сотрудничества.

А. Н. ИВАНОВ, инж.

8-я Специализированная выставка "Изделия и технологии двойного назначения. Диверсификация ОПК"

2—5 октября 2007 г. в Москве на ВВЦ прошла 8-я Специализированная выставка "Изделия и технологии двойного назначения. Диверсификация ОПК". Выставка организована Минпромэнерго РФ при поддержке Администрации Президента РФ, Минобороны, МЧС и МВД России, Федерального агентства по промышленности, Федерального агентства по атомной энергии, Федерального космического агентства, РАН, РИА и РВК "Эксподизайн".

Цель выставки — демонстрация научно-технического потенциала предприятий ОПК страны в развитии наиболее актуальных задач национальной безопасности (информационной, энергетической, экологической и социально-экономической). В выставке участвовали 170 предприятий, организаций и фирм из России и стран СНГ.

Ниже приведены некоторые организации и их перспективные разработки по основным направлениям оборонных отраслей: информационным технологиям и электронике, производственным технологиям, экологии и рациональному природопользованию, энергетике и топливу,

транспорту, системообразующим материалам и др.

НПО "АННА" (Москва—Санкт-Петербург) — аппаратура защиты информации:

— системы быстрого (экстренно) уничтожения информации на магнитных носителях;

— комплексы и средства защиты информации;

— оборудование помещений техническими средствами защиты информации;

— нестандартное радиоэлектронное оборудование.

Разработки защищены патентами РФ. Производство сертифицировано Гостехкомиссией. Имеются соответствующие лицензии на деятельность в области создания средств защиты информации.

ФГУП "Барнаульское СКБ "Восток" — разработка и производство радиоэлектронной аппаратуры специального и производственно-технического назначения:

— устройство "БУГ" для контроля и управления дизельными генераторными установками, дизельными передвижными электростанциями и газовыми мотор-генераторами. Устройство защищено патентами и

свидетельствами на полезную модель и зарегистрировано в Государственном реестре РФ;

— комплекс "Телемеханика. КТМ-02" для автоматизированного дистанционного контроля и управления технологическим оборудованием контролируемых пунктов (КП) из центрального диспетчерского пункта (ЦДП) по радиосигналу или волоконно-оптической линии связи по сети Ethernet (ВОЛС). Питание комплекса осуществляется от сети переменного тока напряжением 187—242 В и частотой 50 Гц. Потребляемая мощность оборудования КП с учетом радиостанции не более 80 В · А (рис. 1).

НПП "Электронно-механические системы" (Муром, Владимирской обл.) — единственное в России предприятие, серийно выпускающее автомобильные компьютерные тренажеры вождения легковых автомобилей модели "ВАЗ":

— компьютерный тренажер вождения — сложное электронно-механическое устройство для первоначального обучения учащихся автошкол вождению автомобилей (рис. 2).

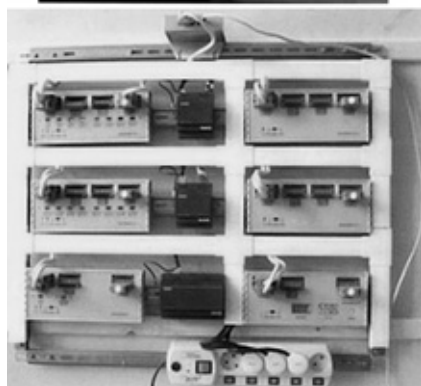


Рис. 1. Комплекс "Телемеханика. КТМ-02" для автоматизированного дистанционного контроля и управления технологическим оборудованием



Рис. 2. Компьютерный тренажер вождения легковых автомобилей модели "ВАЗ"

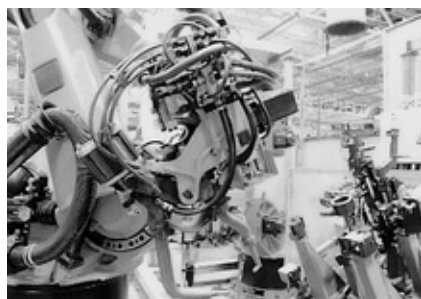


Рис. 3. Гибкий производственный роботизированный модуль для сварки кузовов легковых автомобилей

В компьютер введен математическая модель реального автомобиля. При работе тренажера в каждый момент времени компьютер решает систему специальных уравнений (около 150) и в зависимости от положения органов управления автомобилем на экране монитора выводится соответствующее изменение визуальной обстановки. Тренажер работает в нескольких режимах. Разработка автомобильного тренажера удостоена Золотой медали ВВЦ, медали выставки "Русский щит", награждена различными дипломами.

В настоящее время предприятие разрабатывает тренажер грузового автомобиля "КамАЗ-43114".

ОАО "АвтоВАЗ" (Тольятти) — разработка и изготовление различного технологического оборудования:

- роботизированное оборудование — роботы электромеханические по лицензии фирмы KUKA (Германия) грузоподъемностью до 350 кг для контактной, дуговой, лазерной сварки и резки, механической обработки, штамповки, складирования и выполнения других операций;

- металлообрабатывающее оборудование — специальные агрегатные станки и автоматы с поворотными делительными столами, автоматические линии с "жестким" спутниковым транспортом для обработки корпусных деталей на базе унифицированных узлов;

- сварочное оборудование и оснастка — гибкие производственные модули для дуговой и контактной сварки, многоточечные сварочные машины, автоматические сварочные линии, сварочная оснастка (рис. 3).

ФГУП "Брянский химический завод им. 50-летия СССР" — изготовление промышленных взрывчатых веществ, утилизация обычных видов боеприпасов и другой продукции производственно-технического назначения. В рамках конверсии завод планирует создать новые производства: изготовление блоков из ячеистого бетона до 60 тыс. м³ в год; переработка изношенных автомобильных шин; изготовление элементов для сототермоструктурных домов с уникальными теплохимическими характеристиками.

ОАО "Вятка" (г. Киров):

- переработка методом горячей винтовой прокатки отработавших свой срок тонкостенных труб специального назначения (бурильных труб, корпусов снарядов) в полые заготовки деталей машин, имеющие точную геометрию и качественную наружную и внутреннюю поверхности;

- горячая пластическая деформация слитков быстрорежущей стали (Р6М5 и др.) винтовой прокаткой взамен традиционно применяемойковки (более трудоемкой и дорогостоящей) с целью улучшения макро- и микроструктуры стали.

ЗАО "ПСБ-ГАЛС" (Москва) — ультразвуковое оборудование и технологии очистки изделий из металла, керамики, стекла и др. от различного рода загрязнений с использованием ультразвуковых ванн различных моделей (ПСБ) и технических моющих средств. Принцип действия ультразвуковых ванн основан на применении ультразвуковых колебаний (свыше 16 кГц) в жидких и твердых телах. В современных ультразвуковых ваннах (рис. 4) источник механических колебаний жестко закреплен за пределами сосуда, благодаря чему сама ванна становится резонансным телом, а жидкость, находящаяся в ней, имеет одинаковую интенсивность колебаний. Это обеспечивает абсолютную очистку деталей различной формы, а также деталей точной механики, медицинского инструмента и др.

ФГУП "Серовский механический завод" (г. Серов Свердловской обл.):

- корпуса боеприпасов;
- оборудование и инструмент для нефтедобывающей отрасли



Рис. 4. Современные ультразвуковые ванны серии ПСБ для очистки изделий от различных загрязнений

(муфты, замки для бурильных труб, бурильные трубы и др.);

— оборудование и инструмент для горнорудной отрасли (буровые штанги, коронки, соединительные муфты и др.);

— инструмент для геологоразведочного оборудования (муфты, замки, переходники; противоаварийный инструмент для колонкового (вращательного) бурения и др.).

Авиамоторный научно-технический комплекс "СОЮЗ" (Москва):

— разработка газотурбинных энергоустановок серии ГТЭ (рис. 5) на базе авиационных двигателей серии Р125 собственной разработки, предназначенных для производства электроэнергии и тепла, номинальной мощностью 30 МВт. ГТЭ является составной частью газотурбинной тепловой электростанции, создаваемой в рамках Комплексной программы промышленной деятельности в Москве при содействии Департамента науки и промышленной политики Москвы.



Рис. 5. ГТЭ для производства электроэнергии и тепла

ООО НПП "Энерготехсервис" (Челябинск):

— проектирование и внедрение когенераторных (согласованных) установок для малой энергетики;

— диагностика, капитальный ремонт высоковольтного оборудования;

— изготовление мобильных осветительных установок "Световая башня", "Световой шар" для экстренного развертывания на местности в случае природных или техногенных катастроф, при несанкционированном отключении освещения, для освещения больших площадей также при проведении ночных работ в промышленности, строительстве и др. (рис. 6).



Рис. 6. Мобильные осветительные установки "Световая башня" и "Световой шар"

Федеральный научно-производственный центр ФГУП "Алтай" (Бийск, Алтайский край):

— технологический модуль для изготовления теплоизоляционных материалов из горных пород. Сырьем для производства теплоизоляционных материалов служат нерудные горные породы типа базальтов, диабазов, габбро (глубинная горная порода), порфиринов (аналог базальтов) и др. Предлагаемые теплоизоляционные (базальтоволокнистые) изделия экологически безопасны, негорючи, долговечны, обладают повышенной химической и гидролитической стойкостью, имеют низкий коэффициент теплопроводности. На контрактной основе технологические модули установлены более чем в 10 регионах России;

— газогенератор кислорода предназначен для экстренной подачи кислорода. В отличие от газобаллонной системы имеет ряд преимуществ: автономность, постоянную готовность к работе, прост в эксплуатации, надежен. Газогенераторы кислорода обеспечивают подачу кислорода в аварийных ситуациях, а также могут применяться для газовой сварки и резки металлов с использованием автономных и малогабаритных средств;

— ультрадисперсные детонационные алмазные материалы и наноалмазы для получения износостой-

ких композиционных электрохимических покрытий, полировальных составов и антифрикционных присадок к индустриальным и моторным маслам.

Федеральное космическое агентство, ФГУП ГКНТЦ им. М. В. Хруничева, Филиал КБ "Арматура", Филиал НИИ космических систем:

— газодинамические покрытия в космической технике. Газодинамическое напыление представляет процесс нанесения на обрабатываемую поверхность порошков металлов или их смесей с керамическими материалами, ускоренных с помощью сверхзвукового газового потока, создаваемого подачей сжатого воздуха под высоким давлением на вход сверхзвукового сопла. Типичные микроструктуры покрытия: герметизирующее покрытие, медное покрытие под алюминиевой подложкой. Процесс отличается универсальностью, мобильностью, простотой;

— экономичная ресурсосберегающая экологически чистая технология термохимического покрытия — оксизотирование — термохимический процесс диффузионного насыщения поверхности изделий азотом, совмещенный с оксидированием в газовой среде. Преимущества: износостойкость, коррозионная стойкость, экологическая безопасность, широкая область использования;

— экономичная ресурсосберегающая экологически чистая технология гидроштамповки элементов трубопроводных элементов (крестовин, тройников, угольников, переходников). Исходная заготовка — труба в состоянии заводской поставки. Роль пуансона при штамповке выполняет жидкость высокого давления (до 350 МПа).

Технология разработана по контракту с Российским космическим агентством;

— межгосударственная информационная система мониторинга и управления транспортом (МИСМУТ) на основе объединения информационных ресурсов систем мониторинга, развертываемых в регионах и имеющих общий транспортный коридор. Основными функциональными элементами системы явля-

ются аппаратно-программные комплексы диспетчерских центров и абонентские комплексы аппаратуры, устанавливаемые на транспортные средства. Это позволяет с высокой надежностью оптимизировать оперативное управление транспортом.

Федеральный центр двойных технологий "Союз" (г. Дзержинский Московской обл.):

— химическая технология, проектирование и конструирование машин и аппаратов, промышленное производство;

— системы и средства аэрозольного и жидкостного пожаротушения, установки и керамические порошки для ремонта футеровок высокотемпературных печей, алмазно-абразивный инструмент и др.

ФГУП "Государственный научно-производственный ракетно-космический центр "ЦСКБ-ПРОГРЕСС" (Самара): — разработка и эксплуатация ракет-носителей, космических комплексов дистанционного зондирования Земли и автоматических космических аппаратов прикладного (народнохозяйственного) назначения (космический комплекс "Ресурс-ДК-1") (рис. 7). В настоящее время в Самаре создается Поволжский центр космической геоинформации (оценка состояния и экономического потенциала АПК Самарской обл., инвентаризация земель и строений с целью обновления и формирования картографических баз данных государственного земельного кадастра Самарской области и др.);

— продукция производственно-технического назначения и то-



Рис. 7. Автоматический космический аппарат "Ресурс-ДК-1"

вары народного потребления: оборудование для пищевой, нефтяной, деревообрабатывающей и автомобильной промышленности, а также товары медицинского назначения и товары народного потребления (каптеры, мотолодки, радиаторы и др.

ФГУ "33 Центральный научно-исследовательский испытательный институт МО РФ" (Вольск Саратовской обл.):

— способ экспрессного определения дисперсного состава аэрозоля с использованием компьютеризированной системы обработки видеозаписей фиксирующих индикаторных подложек с нанесенными частицами аэрозоля. Технический результат — повышение точности, объективности и экспрессности анализа дисперсного состава. Имеется патент РФ;

— способ оценки функционального состояния человека — оператора в системе "человек—машина", что позволяет с высокой достоверностью проводить оценку функционального состояния организма на основе моделирования реальных условий его функционирования. Имеется патент РФ.

Военно-морская академия им. адмирала флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова (Санкт-Петербург) — научные исследования в области высоких технологий в кораблестроении: системы спасения и эвакуации людей и техники, модернизация энергетических установок, экологические разработки и др.

Ростовский военный институт ракетных войск им. главного маршала артиллерии М. И. Неделина:

— технологии контроля технического состояния конструктивных материалов и изделий, основанные на использовании интерференционных методов регистрации и обработки информации, что позволяет существенно повысить точность и информативность регистрируемых данных. Защищены патентами РФ;

— экспериментально-измерительное оборудование для диагностики технического состояния конструктивных материалов и изделий. Основано на использовании оптических интерференционных методов, существенно повышает точ-

ность и информативность. Защищено патентами РФ.

Данная разработка выполнена при участии НИИ механики и прикладной математики РГУ.

61-й Научно-исследовательский испытательный институт железнодорожных войск (Москва) — разработка технологий и средств для восстановления и скоростного строительства железных дорог.

На выставке были широко представлены научные разработки ГНЦ РФ, вузов, научно-исследовательских и академических институтов (более 30). Отметим только ряд из них.

ФГУП ВНИИНМ им. акад. А. А. Бочвара (Москва):

— производство некристаллических магнитных материалов с использованием центробежного распыления (патент РФ). Преимущества: высокая точность геометрических размеров, не требующая дополнительной механической обработки, повышенная коррозионная стойкость, управляемые прочностные характеристики. Область применения: магнитные системы для специальных разработок Росатома, а также для автомобильной и авиационной промышленности, радиоэлектроники и др.;

— современная технология и высокопроизводительное оборудование для нанесения покрытий толщиной 0,01—150 мкм, в том числе наноструктурированных, из различных материалов методом высокоскоростного ионно-плазменного магнетронного распыления (ВИПМРС) — пионерская разработка института. Для этого ВНИИНМ совместно с ООО "МЭШ плюс" — специализированным предприятием по созданию вакуумного оборудования — разработали универсальную технологическую установку ВУ—ВСМ нового поколения для процесса ВИПМРС. По степени универсализации и технологическим возможностям технология ВИПМРС превосходит современные технологии покрытия (электронно-лучевого испарения, вакуумно-дугового распыления и др.). Область применения: машиностроение, автомобильная промышленность, энергетика, нефтедобывающая отрасль и др.

ФГУП "ГНИИХТЭОС" (Москва):

— оригинальная экологически чистая технология производства нанодispersных порошков на основе порошков алюминия, бора, оксида железа для изготовления наноматериалов (наноструктурных специальных сплавов, нанокерамики, нанокомпозитов и др.).

Получаемые по данной технологии продукты отвечают мировому уровню качества, но стоимость их в 1,5—2 раза ниже. Имеется патент РФ;

— низкотемпературный теплоноситель (низкомолекулярная кремнийорганическая жидкость) для объектов космической техники и радиоэлектроники, а также эксплуатации хладоносителя в системах терморегулирования (рис. 8). Свойства теплоносителя: температура застывания ниже $-125\text{ }^{\circ}\text{C}$, химическая инертность, низкая токсичность;

— новая универсальная биологически активная субстанция "АСТ-РАГЕРМ", содержащая биомикроэлемент германий. Исследования химического состава растений, традиционно используемых для профилактики и лечения многих заболеваний человека (жень-шеня, алоэ, чеснока), показали, что они обладают повышенным содержанием германия (до 0,2). Препараты, созданные на основе ГОС, являются эф-



Рис. 8. Использование низкотемпературного хладоносителя для эксплуатации в системах терморегулирования различных объектов

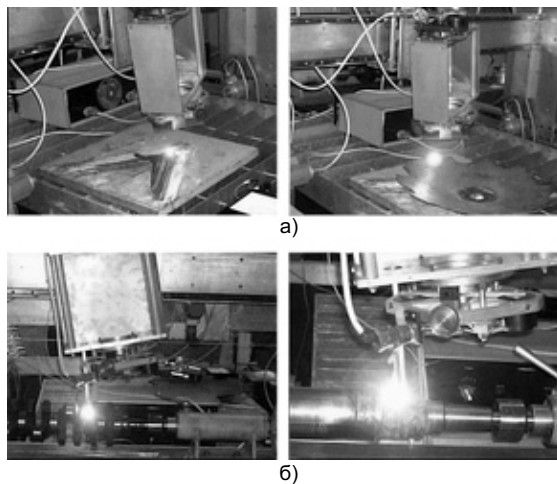


Рис. 9. Лазерные системы и технологии для упрочнения поверхностей трения различных деталей: а — упрочнение и наплавка деталей сложной формы; б — лазерное упрочнение и наплавка тел вращения

фективными регуляторами иммунной системы, оказывают общеукрепляющее действие на организм человека. Это пионерская разработка института.

ФГУП "ГосНИИмаш" им. В. В. Бахирева" (Дзержинск Нижегородской обл.):

— импульсный метод нанесения каталитически активных покрытий с помощью метода управляемого взрыва заряда ВВ малой массы. Позволяет создавать прямоточные трубчатые реакторы для процессов глубокой переработки нефтехимического сырья и нейтрализации отходящих газов. Имеется евразийский патент.

Разработка удостоена серебряной медали на международной выставке "ЭВРИКА—2006";

— способ повышения износостойкости рабочих поверхностей металлических изделий с использованием метода взрывного легирования трущихся поверхностей порошками мелкодисперсных частиц. Имеется патент РФ. Преимущества: повышение износостойкости, уменьшение среднего относительного момента трения, варьирование твердости обрабатываемой поверхности. Область применения: машиностроение, металлообработка, транспорт;

— программный комплекс "АВЕРС" для расчета "отклика" топливонасыщенных объектов на аварийные и несанкционированные воздействия.

РАН, ИМАШ РАН им. А. А. Благонравова (Москва):

— лазерные системы и технологии для упрочнения, наплавки по-

верхностей трения и точного раскроя материалов (рис. 9). Преимущества новых технологий: повышение износостойкости поверхностей трения, минимальные деформации деталей, экологическая чистота процесса, обработка без охлаждающих сред;

— электрообогревающий комплект для транспортировки пострадавших от общего охлаждения и восстановления теплового состояния человека при гипотермии в полевых условиях на этапе эвакуации в лечебное учреждение. Разработка выполнена совместно с ВЦМК "Защита" и ООО "Экометр".

Межрегиональное общественное учреждение "Институт инженерной физики" (Серпухов Московской обл.):

— система подогрева впускного воздуха двигателей на основе плазмохимической технологии. Предназначена для улучшения пусковых качеств двигателей специального назначения при низких температурах окружающей среды и облегчения холодного пуска двигателя. Защищена патентами РФ;

— мобильная инженерная система для проведения очистных и утилизационных работ. Состав базового комплекса: автомобиль "ЗИЛ-139" ("МАЗ", "КаМАЗ"), насосная установка высокого давления с приводом от собственного дизельного двигателя и комплектом автоматики, рукава высокого (200—500 п. м.) и низкого давления для подвода воды, резервная емкость для технической жидкости. Возможна модернизация базового модуля мобиль-

ной инженерной системы: многофункциональные городские машины, специальные инженерные машины, специализированные установки различного назначения.

ФГУП "ГосНИИ "Кристалл" (Дзержинск Нижегородской обл.) — разработка и внедрение ВВ и ВС, зарядов из них для военной техники и промышленности, взрывных технологий и технологий снаряжения боеприпасов. В рамках международной "Конвенции по маркировке пластических ВВ в целях их обнаружения" и "Программы борьбы с терроризмом" институт проводит работу по обеспечению безопасности государства в области разработки маркеров, способов и технологий маркирования ВС с целью исключения возможностей использования ВВ в противоправных целях на различных видах транспорта.

МГТУ им. Н. Э. Баумана — жаростойкие газонепроницаемые наноструктурные покрытия для защиты рабочих поверхностей деталей энергетических и лабораторных установок, работающих в агрессивных средах при высоких температурах до 2000 °С (например в среде горящего кислорода). Данные покрытия наносятся с помощью вакуумных ионно-плазменных установок с использованием электродугового испарителя новой конструкции, обеспечивающего высокую скорость нанесения наноструктурированных покрытий. Толщина покрытий 100—300 мкм, газонепроницаемость — 100 %, адгезия к подложке — высокая;

— дизель, работающий на угольных суспензиях для дизель-электростанций и транспортных силовых установок (преимущественно тепловозов и судов). Принцип действия основан на прямом сжигании угольных суспензий в цилиндре двигателя. Преимущества: затраты на топливо в 3 раза ниже, чем при работе на дизельном топливе, оригинальная топливная система, длительный срок эксплуатации.

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия (РГАТА) им. П. А. Соловьева — наноматериалы и нанотехнологии, новые материалы со специальными свойствами для авиационного машиностроения, теория

систем автоматического управления, технологическое обеспечение производства.

ГНЦ РФ, ФГУП "Обнинское НПП "Технология":

— полимерные композиты-технологии и конструкции;

— конструкционные и функциональные, цветные и бесцветные стекла, ситалы (стеклокристаллические материалы);

— конструкционная и функциональная керамика;

— функциональные полимерные материалы.

Концерн "Наноиндустрия" (Москва):

— базовые технологии модификации традиционных материалов санитарно-гигиенических и дезинфекционных средств наноразмерными частицами с целью придания им биоцидных свойств широкого спектра действия. Обладающие биоцидными свойствами наночастицы серебра наносят на поверхность и имплантируют в структуры традиционных материалов и покрытий, модифицируя их состав и придавая им новые потребительские качества. Применение биоцидных материалов: кабина космических станций, салоны транспортных средств, очистка воды, воздушные кондиционеры, места массового посещения и др. Для модификации данной продукции используются созданные и производимые в концерне концентраты коллоидных растворов наноразмерных частиц серебра АуБион-1 и АуБион-2;

— спектроэллипсометр фотометрический "Эльф" (рис. 10) для измерения толщины пленок и слоев в тонкопленочных структурах

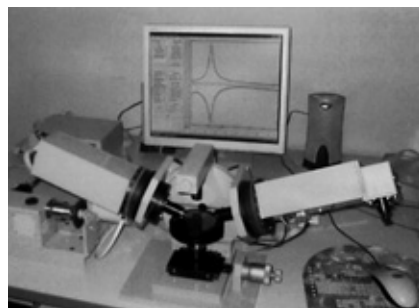


Рис. 10. Спектроэллипсометр фотометрический "Эльф" для измерения толщины пленок и слоев в тонкопленочных структурах

(металлах, полупроводниках и диэлектриках, твердых и жидких пленок), а также исследования структуры материалов (состава, неравномерности, пористости, фазового состава, степени кристаллизации, наличия дефектов). Диапазон толщин 0,1 нм—2,0 мкм. Время измерения от 30 с до 1—2 мин. Прибор обеспечивает возможность построения пространственной карты любой из измеряемых характеристик. Наличие опорного фотоприемника позволяет проводить фотометрические измерения.

Принцип работы прибора основан на поляризационно-оптическом методе исследования — эллипсометрии, которая изучает изменение формы эллипса поляризации световой волны при взаимодействии с образцом. Серийное производство прибора запланировано на начало 2008 г. Один из разделов выставки был посвящен актуальным вопросам жизнеобеспечения и экологии. Здесь можно отметить разработки следующих организаций, предприятий и фирм.

ИБХФ им. Н. М. Эмануэля РАН (Москва):

— разработан и изготовлен не имеющий аналогов в мире теплозащитный костюм, предназначенный для защиты оператора от жесткого теплового воздействия. Одноразовый, многослойный костюм имеет массу 25—27 кг, снабжен изолирующим противогазом. Полевые испытания костюма показали, что испытатели могут находиться в нем при температуре свыше 1600 °С в течение 3—5 мин. Костюм незаменим при тушении особо мощных пожаров на нефтяных и газовых месторождениях, на химических реакторах, при авариях на железных дорогах, терминалах и др.

— высококачественные упаковочные материалы, обладающие требуемыми эксплуатационными свойствами и способностью биоразлагаться в естественных условиях.

ЗАО "Дыхательные системы—2000" (Москва) — противопожарное и аварийно-спасательное оборудование: дыхательные аппараты со сжатым воздухом серии АП "ОМЕГА", АП-96М, "СПИРОГАЙД" (новинка), самоспасатели серии

АДА-2, АДА-ПРО, комплекс испытательного оборудования КИО-1, комплектующие дыхательных аппаратов (баллоны высокого давления, панорамные маски, легочные аппараты для отключения/включения избыточного давления и принудительной подачи воздуха в дыхательный аппарат, средства связи), компрессорное оборудование, костюмы химической защиты, индивидуальные газосигнализаторы серии ИГС-98 и др. Фирма является официальным представителем ОАО "Кампо" (Орехово-Зуево).

ФГУП "Муромский приборостроительный завод":

— средства инициирования для систем пожаротушения (пусковые устройства для приведения в действие исполнительных механизмов автоматических установок пожаротушения, средства для вскрытия запорных устройств, толкатели для перемещения исполнительных устройств, средства для зажигания вышибных зарядов порошковых огнетушителей, изделий светопиротехники);

— капсули-воспламенители с экологически чистым составом для патронов к служебному и гражданскому оружию. Рецептура всех составов защищена патентами. Завод входит в число мировых лидеров в области капсульного производства. Капсули экспортируются в США, Южную Америку и другие страны;

— сигнальные и спасательные средства (спасательные круги серий КС-01, КС-02, буй светодымящий БСД-02, шашка дымовая плавающая ШДП-01, огонь самозажигающийся ОС-1, фальшфейеры красного и белого огня);

— пистолеты поршневые монтажные ППМ-301, ППМ-307, ППМ-603, строительный крепеж евростандарта (дюбели монтажные для инженерных систем, резьбовые, универсальные). Пистолеты снабжены различными механизмами выброса стреляной гильзы из патронника (автоматический, полуавтоматический, ручной). Конструкция пистолета имеет блокировку от случайного выстрела. Защита от возможного рикошета и разлета мелких частиц поверхности пристрелки обеспечивается упором (экраном). Пистолете-



Рис. 11. Пистолет поршневой монтажный ППМ-603 с комплектом промышленных патронов



Рис. 12. Специальные противогородовые ракеты "Алазань"

ты комплектуются промышленными патронами с экологически чистым составом различной мощности (рис. 11). Ряд изделий, выпускаемых заводом, — спасательные круги, буй светодымящий, патроны промышленные — отмечен золотыми знаками "Всероссийская марка (III тысячелетие). Знак качества XXI века".

ФГУП "Чебоксарское производственное объединение им. В. И. Чапаева":

— противогородовые ракеты для защиты сельскохозяйственных культур от града. По своим тактико-техническим характеристикам превосходят мировые аналоги. Технология противогородовой защиты растений основана на радиолокационном обнаружении и распознавании градовых, градоопасных облаков и внесения в них с помощью специальных ракет "Алазань" кристаллизирующих агентов на основе йодистого серебра (рис. 12);

— патроны для воздействия на облака с целью вызывания и перераспределения осадков — высокоэффективное средство, разработанное на основе последних достижений науки и техники. Запуск патронов производится из пускового устройства, установленного на самолете.

ООО "Аква-технология" (Челябинск) — улавливатель нефте-

продуктов и твердых отходов из воды. Предназначен для очистки сточных вод, резервуаров и хранилищ с отходами от нефтепродуктов и твердых примесей. Отличительные особенности: увеличение производительности переработки смесей при отделении нефтепродуктов от воды, снижение эксплуатационных затрат.

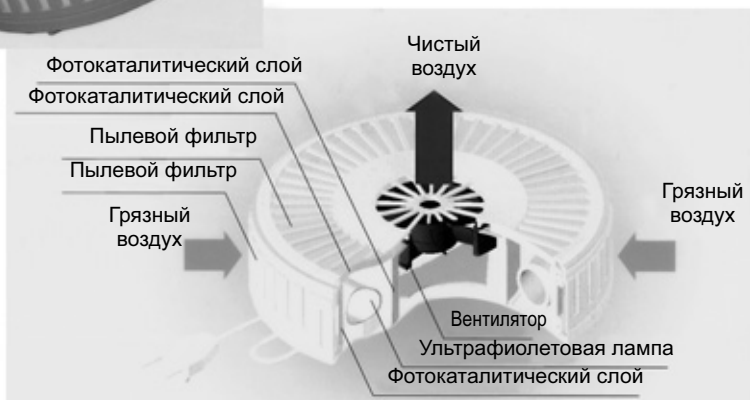
Новосибирское производственное объединение "ЛУЧ" "Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН (Новосибирск) — серия фотокаталитических очистителей воздуха "Луч" (четыре модели). Фотокаталитический фильтр — принципиально новый подход к очистке воздуха от летучих органических и неорганических соединений, обеспечивает наиболее полную очистку воздуха по сравнению с известными методами. В отличие от других фильтров не накапливает загрязнений (реакция фильтрации протекает на поверхности катализатора под действием "мягкого" ультрафиолетового излучения).

Фотокаталитическое окисление одинаково эффективно по отношению к токсинам, вирусам и бактериям. Болезнетворные микроорганизмы, даже обладающие повышенной сопротивляемостью ультрафиолету, погибают. Большинство запахов, вызываемых органическими соединениями, также полностью разлагается при фильтрации. Разработка защищена патентом РФ, удостоена дипломов и медалей отечественных и международных выставок. На рис. 13 приведен фотокаталитический очиститель воздуха "Луч-22". Основные характеристики: потребляемая мощность не более 25 Вт, диаметр 260 мм, высота 74 мм, масса не более 1 кг, коэффициент фильтрации за один проход для пыли 95 %, молекулярных примесей — 20 %, воздухопроизводительность не менее 23 м³/ч, срок службы 5 лет.

Определенный интерес у посетителей выставки вызвал стенд **"Молодежного творческого коллектива — изобретатель"** при ФГОУ "Московский государственный университет природообустройства", на котором были представлены краткие описания различных проектов:



Рис. 13. Фотокаталитический очиститель воздуха "Луч-22"



— пневмобетон-мастер широкого профиля (ограждения, выполненные по технологии пневмобетонирования без опалубки и в короткие сроки, с использованием экспериментальной установки для "набрызга" бетонных смесей);

— проект-идея обустройства Новороссийской акватории для приема кораблей из Севастопольской морской базы — "Искусственные острова, атоллы, дамбы, причалы" (изготовление уникальных по форме и сложности указанных сооружений по технологии пневмобетонирования) (рис. 14);

— ГЭС на донных морских течениях и приливных волнах (программа "Альтернативная или беспопытная энергетика").

Среди других предприятий и организаций можно выделить следующие: ФГУП "Центральный институт по проектированию машиностроительных предприятий" — Центро-

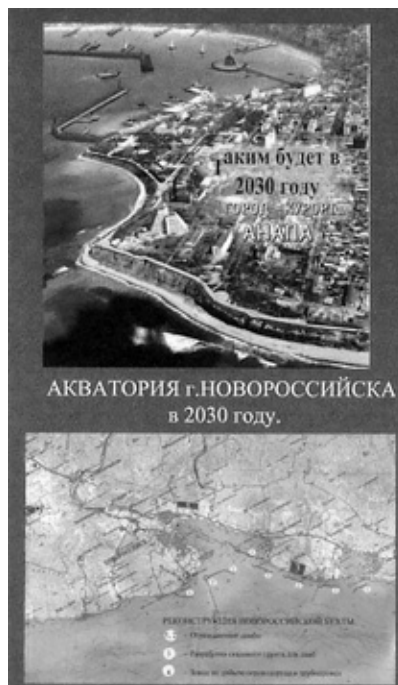


Рис. 14. Проект-идея обустройства Новороссийской акватории в 2030 г.

машпроект, ЗАО "Информационное агентство" "Телеинформационная сеть военно-промышленного комплекса", ФГУ "Российское объединение информационных ресурсов научно-технического развития "Росинформресурс".

В рамках выставки были проведены научная конференция "Ориентированные фундаментальные исследования — федеральные целевые программы, наукоемкое производство", научно-практическая специализированная конференция "Современные технологии для обеспечения экологической безопасности в нефтяной отрасли", круглые столы "Комплексное использование технологий оборонных отраслей в формировании инновационных социально-производственных комплексов", "Новые материалы и технологии диверсификации предприятий промышленности боеприпасов и спецхимии", "Применение двойных технологий в борьбе с парниковым эффектом", семинары по основным направлениям выставочной тематики, конкурсы и церемония награждения.

Выставка продемонстрировала огромные возможности научно-технического и промышленного потенциала предприятий ОПК в решении задач социально-экономического развития России, способствовала установлению деловых партнерских отношений и заключению взаимовыгодных контрактов между производителями и потребителями продукции как гражданского, так и военного назначения, продвижению ее на отечественный и зарубежный рынки".

Ан. А. СУСЛОВ,
канд. техн. наук

Издательский центр "Технология машиностроения"

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 31.10.2007. Подписано в печать 18.12.2007. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 14,39. Заказ 01/08.

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"