

# ТЕХНОЛОГИЯ



# МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

**РЕДАКЦИОННАЯ  
КОЛЛЕГИЯ:**

*Гл. редактор*

**В. А. Казаков**

*Зам. гл. редактора*

**Н. В. Посметная**

Н. П. Бирюкова

Р. С. Голов

В. Д. Горбач

С. Н. Григорьев

Б. В. Гусев

А. В. Дуб

В. М. Ермаков

А. С. Зубченко

А. В. Иванайский

Е. А. Калашников

В. В. Капустин

А. Л. Карунин

И. П. Ксенович

А. Е. Лигачев

А. А. Лозован

В. П. Лялякин

Е. А. Мачнев

А. В. Медарь

Б. А. Никитин

Н. А. Паничев

В. Н. Семенов

О. С. Сироткин

А. К. Скворчевский

Н. В. Смирнов

А. В. Телушкин

А. Н. Феофанов

В. А. Фролов

В. К. Шелег

И. Н. Шиганов

Редакция:

*С. В. Богус,*

*Л. Т. Мартыненко,*

*Т. П. Маслик*

Компьютерная верстка:

*Е. В. Конова*

Дизайн обложки:

*Е. С. Благовидов*

Специальные

корреспонденты:

*А. Н. Иванов, А. В. Казаков,*

*Ан. А. Сулов*

Редактор-переводчик

*Е. О. Егорова*

Корректор

*Е. В. Комиссарова*

**4 (70)  
Апрель  
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](mailto: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, МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Оголихин В. М., Шемелин С. Д. — Получение композиционных материалов с заданной теплопроводностью сваркой взрывом . . . . .	5
--	---

## ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Федоров Д. Н., Жульев С. И., Мозговой А. В. — Разработка геометрии кузнечного слитка для полых поковок. . . . .	9
---	---

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

Вдовенко В. Г., Потапов В. Н., Чуйкин С. А. — Применение биполярного электрода для управления процессом электрохимической обработки деталей машин на принципах синергетики . . . . .	13
Полянчиков Ю. Н., Полянчикова М. Ю., Плотников А. Л., Курсин О. А., Лешуков А. В. — Повышение качества поверхности хонингованием с возрастающей скоростью . . . . .	15
Бекасов Д. Л., Воронов В. Н. — Методика расчета основных геометрических параметров некруглых профилей, обработанных фрезоточением. . . . .	16

## СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Носенко В. А., Носенко С. В., Довгаль А. Н., Васильев А. А. — Разработка рецептуры высокопористых кругов из карбида кремния для глубинного шлифования титановых сплавов . . . . .	18
---	----

## МЕХАНОБОРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Фролов В. П. — Принципиальные схемы процессов изготовления решетчатых крыльев. . . . .	24
--	----

## ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА И РОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Калашникова И. А., Калашников А. В. — Технология получения порошка на основе базальта . . . . .	28
Богданович Е. Н., Шалимов Ю. Н. — Электрохимическая технология получения сплавов с компонентами различных потенциалов восстановления для антифрикционных покрытий . . . . .	31

## СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ

Зуев А. К., Савинов Ю. П. — Бесшумные зубчатые передачи. . . . .	37
--	----

## МЕТРОЛОГИЯ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Багаев К. А. — Контроль геометрических параметров железнодорожного колеса. . . . .	39
--	----

## МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Попоудина С. А., Марцинкевич А. В. — Нормативное обеспечение проблемы измерения толщины ультразвуковым методом . . . . .	43
--	----

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Бажанов А. В., Пронин Н. С., Федоров С. А., Фролов В. А. — Технологические особенности низкотемпературной пайки оптических модулей . . . . .	46
--	----

## ЭНЕРГЕТИКА

Хромченко Ф. А. — Сварочные технологии ремонта элементов трубопроводных систем теплоэнергетики. Ч. 1. Ремонт элементов трубопроводов I категории. . . . .	49
---	----

## АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ, САПР

Людмирский Ю. Г., Солтовец М. В. — Опыт реализации принципов организационно-технологического проектирования роботизированных комплексов для дуговой сварки. . . . .	61
---	----

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

Ананьев А. С., Серов В. П. — Математическая модель процесса нарезания резьбы метчиком . . . . .	67
---	----

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Волкова О. А. — Внедрение в систему менеджмента качества новых технологических процессов . . . . .	69
--	----

## ОХРАНА ТРУДА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Ханов А. М., Онорин О. А., Игнатов М. Н. — Динамические характеристики ультрафиолетового излучения и сварочной пыли при сварке. . . . .	72
---	----

## ЭКОНОМИКА МАШИНОСТРОЕНИЯ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Будкин Ю. В. — Модель управления инновационными процессами в сварочном производстве . . . . .	74
Медарь А. В. — Методология технологического синтеза . . . . .	78

## ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Илясов Е. П., Лисичкин С. В. — О методе оценки эффективности работы центров содействия занятости учащейся молодежи и трудоустройству выпускников вузов . . . . .	82
--	----

## ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Потапова Г. С. — Содержание зарубежных журналов . . . . .	84
---	----

## ИНФОРМАЦИЯ

Суслов Ан. А. — 4-я Специализированная выставка нанотехнологий и материалов "NTMEX—2007" . . . . .	87
Иванов А. Н. — 10-я Международная выставка "Intertool—2007". . . . .	91
Иванов А. Н. — Международный промышленный форум—2007 . . . . .	95



# ТЕХНОЛОГИЯ

# МАШИНОСТРОЕНИЕ

REVIEW-ANALYTICAL, SCIENTIFIC-TECHNICAL  
AND PRODUCTION JOURNAL

## EDITORIAL BOARD:

**V. A. Kazakov**  
*Editor-in-Chief*

**N. V. Posmetnaya**  
*Deputy Editor-in-Chief*

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

### Editorial staff:

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

Computerized making-up:  
*E. V. Konova*

Cover design:  
*E. S. Blagovidov*

Special correspondents:  
*A. N. Ivanov, A. V. Kazakov,*  
*An. A. Suslov*

Editor-translator  
*E. O. Egorova*

Proof-reader  
*E. V. Komissarova*

**4 (70)**  
**April**  
**2008**

### FOUNDER:

**Publishing Centre**

**"Tekhnologiya Mashinostroeniya"**

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

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

**Tel.:** (495) 796 2491

**E-mail:** [tm@folium.ru](mailto: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

Ogolikhin V. M., Shemelin S. D. — Composites of prespecified heat conductivity production by explosion welding . . . . . 5

## BLANK PRODUCTION

Fedorov D. N., Zhulyev S. I., Mozgovoy A. V. — Development of the blacksmith's ingot shape for cored forging . . . . . 9

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

Vdovenko V. G., Potapov V. N., Chuykin S. A. — Bipolar electrode application for process control on the synergetics principles at machine components electrochemical working . . . . . 13

Polyanchikov Yu. N., Polyanchikova M. Yu., Plotnikov A. L., Kursin O. A., Leshukov A. V. — Surface condition improving by honing of increasing speed . . . . . 15

Bekasov D. L., Voronov V. N. — Calculation procedures for critical geometries of non-round, cutouts worked by mill-sharpening . . . . . 16

## TOOLING PRODUCTION

Nosenko V. A., Nosenko S. V., Dovgal A. N., Vasilyev A. A. — Formulation development of silicon carbide highly porous disks for the titanium creep feed . . . . . 18

## MACHINING-AND-ASSEMBLY PRODUCTION

Frolov V. P. — Lattice wings industrial process principle circuit . . . . . 24

## TECHNOLOGIES AND MACHINES FOR WELDING PRODUCTION AND RELATED PROCESSES

Kalashnikova L. A., Kalashnikov A. V. — Basalt-based powder technology . . . . . 28

Bogdanovich Ye. N., Shalimov Yu. N. — Electrochemical technology for alloys with componentry of different regeneration potential for antifriction coating . . . . . 31

## SPECIAL TECHNOLOGIES

Zuyev A. K., Savinov Yu. P. — Noiseless gearing . . . . . 37

## METROLOGY AND MEASUREMENT ASSURANCE

Bagayev K. A. — Rail wheel geometries control . . . . . 39

## TESTING AND DIAGNOSTICS METHODS IN ENGINEERING INDUSTRY

Popoudina S. A., Martsinkevich A. V. — Thickness measurement standard providing by the ultrasonic method . . . . . 43

## INSTRUMENT-MAKING TECHNOLOGIES

Bazhanov A. V., Pronin N. S., Fedorov S. A., Frolov V. A. — Process features of the optical major components low-temperature soldering . . . . . 46

## POWER ENGINEERING

Khromchenko F. A. — Welding practice of the heat-and-power engineering pipeline system elements repair. Part 1: Repair of the 1<sup>st</sup> class pipeline elements . . . . . 49

## PROCESSES AND PRODUCTION AUTOMATION AND CONTROL, CAD SYSTEMS

Lyudmirsky Yu. G., Soltovets M. V. — Implementation experience of the arc welding robotized complexes organized-process designing . . . . . 61

## MATHEMATICAL MODELLING, CALCULUS OF APPROXIMATIONS AND SOFTWARE SYSTEMS

Ananyev A. S., Serov V. P. — Mathematical model of the tapping . . . . . 67

## STANDARDIZATION AND PRODUCT QUALITY CONTROL

Volkova O. L. — New engineering process introduction into the system of quality management . . . . . 69

## LABOUR PROTECTION IN ENGINEERING INDUSTRY

Khanov A. M., Onorin O. A., Ignatov M. N. — Dynamic behaviour of the ultraviolet rays and welding powder at welding . . . . . 72

## ENGINEERING INDUSTRY ECONOMICS, PRODUCTION ORGANIZATION

Boudkin Yu. V. — Welding production innovative processes managing model . . . . . 74

Medar A. V. — Technological synthesis methodology . . . . . 78

## EDUCATION AND PERSONNEL TRAINING

Ilyasov Ye. P., Lisichkin S. V. — On the valuation method of activity efficacy of the centres to render students assistance in employment and job placement for the graduating students of the higher education institutes . . . . . 82

## FOREIGN EXPERIENCE

Potapova G. S. — Contents of the foreign journals . . . . . 84

## INFORMATION

Suslov An. A. — The 4<sup>th</sup> Specialized exhibition for nanotechnologies and materials "NTMEX — 2007" . . . . . 87

Ivanov A. N. — The 10<sup>th</sup> International exhibition "Intertool — 2007" . . . . . 91

Ivanov A. N. — International Industrial forum — 2007 . . . . . 95

---

В. М. ОГОЛИХИН, канд. техн. наук, С. Д. ШЕМЕЛИН, инж.

Конструкторско-технологический филиал Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева  
СО РАН (Новосибирск)

## Получение композиционных материалов с заданной теплопроводностью сваркой взрывом

### ВВЕДЕНИЕ

Современные технические решения в определенной степени базируются на новых, в том числе композиционных, материалах с широким спектром требуемых физико-механических свойств. В ряде конструкций оптимальные эксплуатационные свойства можно получить лишь при условии применения составных или комбинированных узлов из разнородных материалов, соединенных между собой в композиционный материал. Из таких композиционных материалов выполняют не всю конструкцию, а лишь те элементы, которые работают в условиях воздействия локально высоких нагрузок, повышенных температур или специальных сред [1].

Достаточно перспективным с точки зрения управления теплофизическими характеристиками является биметалл сталь—медь. Композиционный материал на основе меди и стали благодаря уникальным условиям, возникающим на границе соединения при сварке металлов взрывом, обладает электро- и теплопроводностью меди и в то же время имеет прочностные характеристики, близкие к характеристикам стали. Сочетание данных свойств и определило перспективность использования такого материала при изготовлении основных деталей и узлов электротермического оборудования [2, 3], работающих при высоких температурах и обеспечивающих интенсивный и равномерный отвод теплоты.

Для ряда конструкций из композиционного материала, состоящего из слоев стали и меди, оптимальное сочетание свойств по теплопроводности и прочности достигается за счет изменения толщины внутренних и наружных слоев меди и стали при постоянной конструктивно заданной толщине композита.

В данной работе на примере биметалла (сталь—медь) и триметалла (сталь—медь—сталь) рассмотрена возможность разработки и получения сваркой взрывом материалов с широким диапазоном свойств по прочности и теплопроводности.

### Сварка взрывом

Сварка меди со сталью достаточно подробно исследована как на лабораторных образцах [4, 5], так и при изготовлении крупногабаритных биметаллических изделий [6, 7]. При взрывном плакировании меди

сталью прочностные свойства по границе соединения определяются параметрами сварки взрывом.

Для изготовления биметалла и триметалла использовали сталь 12Х18Н9Т (ГОСТ 350—77) и медь М1 (ГОСТ 859—2001).

Медные заготовки размером  $600 \times 600 \times (15—12)$  мм с двух сторон последовательно плакировали стальными заготовками размером  $600 \times 600 \times (1—2)$  мм. В качестве зарядов взрывчатого вещества использовали смесь аммонита № 6ЖВ с аммиачной селитрой со скоростью детонации  $D = 2400 \div 2800$  м/с, обеспечивающей оптимальные условия соударения. Для исключения влияния напряжений на зону соединения после первого взрывного плакирования перед вторым плакированием биметаллическую заготовку подвергали термической обработке при  $700^\circ\text{C}$ . Предварительно были изготовлены две биметаллические заготовки с толщиной слоя стальной плакировки 1—2 мм и три триметаллические заготовки: две — с двусторонним плакированием меди сталью толщиной 1 мм и одна — с толщиной плакировки 2 мм. Общая толщина каждой заготовки составляла 16 мм. Четыре заготовки использовали для оценки прочностных свойств, а одну — для отработки последующей технологии изготовления сваркой взрывом заготовки изделия размером  $1500 \times 1500$  мм.

При получении положительных результатов планировали изготовить штамповкой из триметаллической заготовки композиционную тарель со специальной криволинейной поверхностью. Триметалл был выбран с целью выявления возможности изготовления оптимальной композиционной тарели для установки термоударной обработки сыпучих материалов<sup>1</sup>, работающей при  $200—800^\circ\text{C}$  в технологическом процессе, разработанном в Институте катализа им. Г. К. Борескова СО РАН.

### Теплопроводность композиционного материала

Одной из важнейших характеристик, определяющей параметры работы приведенной установки<sup>1</sup>, является теплопроводность материала тарели, влияющей на физические процессы термоударной

<sup>1</sup> Патент 2186616 (РФ).

обработки сыпучих материалов.

Известно, что тепловое сопротивление проводника зависит от его длины, площади поперечного сечения и материала, из которого проводник изготовлен. Формула для расчета теплового сопротивления имеет вид [8]

$$R_T = \rho_T \frac{l}{S}, \quad (1)$$

где  $\rho_T$  — удельное тепловое сопротивление материала;  $l$  — длина проводника;  $S$  — площадь поперечного сечения проводника.

Полное тепловое сопротивление по толщине композита состоит из включенных последовательно сопротивлений каждого слоя материала, входящего в состав композита. Тепловое сопротивление триметалла [9]

$$R_T = \frac{1}{S} (I_{стP_{T,ст}} + I_{M P_{T,М}} + I_{стP_{T,ст}}). \quad (2)$$

Удельное тепловое сопротивление  $\rho_T$  исходных материалов [10, 11] для меди М1 составляет  $2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К/Вт}$ , для стали 12Х18Н9Т —  $39,37 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К/Вт}$ .

Для упрощения расчетов площадь сечения заготовки принимали равной  $1 \text{ м}^2$ .

Тепловое сопротивление рассчитывали по толщине триметалла. Расчетные значения теплового сопротивления исходных материалов и готового образца триметалла сталь 12Х18Н9Т—медь—сталь 12Х18Н9Т различных вариантов исполнения приведены в табл. 1, а также на рис. 1 в виде номограммы.

Для расчетов могут быть использованы различные варианты номограмм, приведенные ниже. Используя номограммы — распределение теплового сопротивления по толщине образца триметалла симметричного типа, можно за счет изменения тол-

щины одного из плакирующих слоев получить вариант композита с заданными значениями теплового сопротивления  $R_T$  для несимметричной плакировки. Например, для расчета толщины слоев триметалла с  $R_T = 400 \cdot 10^{-6} \text{ К/Вт}$  в номограмме рис. 1 проведем из точки "400" оси ординат горизонтальную линию до пересечения с зависимостями (7—2—7, 6—4—6, 5—6—5. Абсциссы точек этих пересечений 12, 13,9, 15,7, соответственно, укажут общую толщину нового композита, а учитывая, что два слоя в исходных образцах триметалла оставались неизменными, получим следующие (несимметричные) варианты исполнения триметалла сталь—медь—сталь (мм): 7—2—3 (зависимость 7—2—7), 6—4—3,9 (зависимость 6—4—6), 5—6—4,7 (зависимость 5—6—5), имеющие тепловое сопротивление  $400 \cdot 10^{-6} \text{ К/Вт}$ .

Здесь же показано, что при общей толщине композита 16 мм тепловое сопротивление  $240 \cdot 10^{-6} \text{ К/Вт}$  можно получить при толщине плакирующего слоя (с каждой стороны) 2,65 мм и толщине медного листа между ними 10,7 мм (симметричный вариант), при этом общая толщина плакирующих слоев составляет 5,3 мм (2,65 + 2,65). Для рассматриваемого композита (16 мм) данное значение теплового сопротивления ( $240 \cdot 10^{-6} \text{ К/Вт}$ ) можно получить также при других толщинах плакирующих слоев (несимметричный вариант) при условии сохранения их суммарной толщины 5,3 мм. Например, сталь — 2 мм, медь — 10,7 мм, сталь — 3,3 мм.

В общем случае приведенная номограмма для симметричного варианта триметалла может содержать только семейство образующих точек перегиба зависимостей теплового сопротивления (далее образующие) от толщины плакирующего слоя, причем различной толщины композита соответствует отдельная образующая. На рис. 2 такими образующими являются прямые B2, A2, C2 для триметалла сталь—медь—сталь толщиной 16, 12 и 6 мм соответственно.

Число этих образующих и диапазон толщин триметалла на номограмме зависят от конкретной задачи и при необходимости

Таблица 1

Материал	Параметр	Вариант триметалла сталь—медь—сталь								
		0—16—0	1—14—1	2—12—2	3—10—3	4—8—4	5—6—5	6—4—6	7—2—7	8—0—8
Тепловое сопротивление исходных материалов										
Сталь	Толщина, мм	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	$R_T \cdot 10^{-6}, \text{ К/Вт}$	0	39,37	78,74	118,11	157,48	196,85	236,22	275,59	314,96
Медь	Толщина, мм	16	14	12	10	8	6	4	2	0
	$R_T \cdot 10^{-6}, \text{ К/Вт}$	46,24	40,46	34,68	28,9	23,12	17,34	11,56	5,78	0
Тепловое сопротивление готового образца триметалла										
Триметалл	Толщина, мм	16								
	$R_T \cdot 10^{-6}, \text{ К/Вт}$	46,24	119,2	192,16	265,12	338,08	411,04	484,0	556,96	629,92

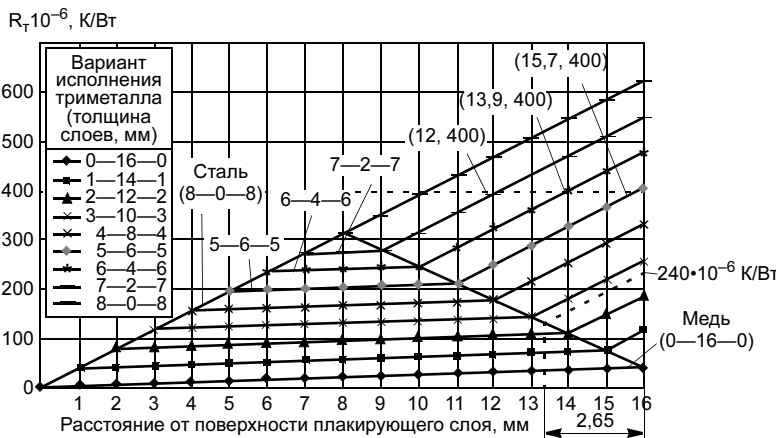


Рис. 1. Номограмма теплового сопротивления триметалла сталь 12Х18Н9Т—медь—сталь 12Х18Н9Т

могут быть изменены, а также дополнены отдельными зависимостями.

На рис. 2 приведены примеры определения (с помощью образующих) конкретных вариантов симметричного исполнения триметалла сталь—медь—сталь с заданным тепловым сопротивлением  $400 \cdot 10^{-6}$  К/Вт и общей толщиной 16 и 12 мм, а также для толщины 6 мм и  $R_T = 100 \cdot 10^{-6}$  К/Вт. В результате получены композиты с соотношением толщин 4,8—6,4—4,8 мм (для 16 мм), 5—2—5 мм (для 12 мм), 1,1—3,8—1,1 мм (для 6 мм).

Аналогичные расчеты теплового сопротивления проведены для биметалла сталь—медь (табл. 2) и представлены в виде номограммы на рис. 3, по которой можно определить соотношения между толщинами слоев исходных металлов, общей толщиной композита и тепловым сопротивлением. Здесь представлены распределения теплового сопротивления по толщине образцов композита сталь—медь со стороны плакирующего (стального) слоя для различных вариантов его исполнения, а также приведен пример определения толщин стали и меди в биметалле толщиной 16 мм для  $R_T =$

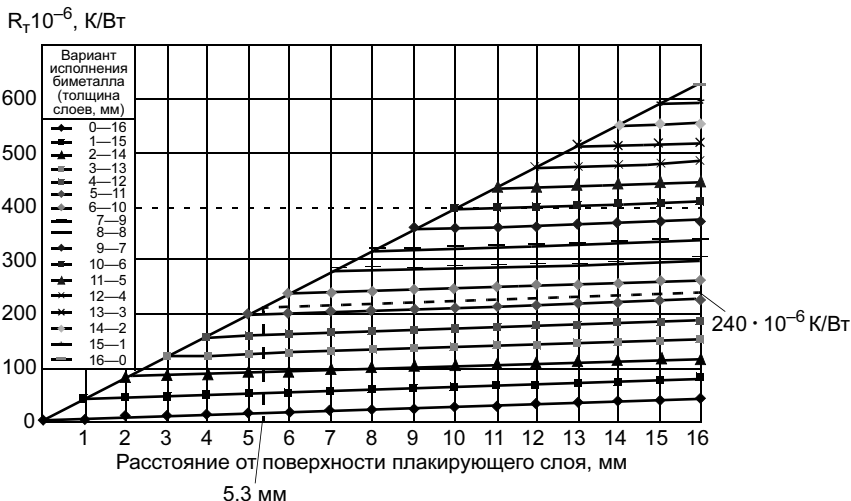


Рис. 3. Номограмма теплового сопротивления биметалла сталь 12Х18Н9Т—медь

$= 240 \cdot 10^{-6}$  К/Вт. Они составляют 5,3 мм для стали и 10,7 мм для меди.

За базу построения номограммы для биметалла сталь—медь может быть принята также внешняя поверхность медной пластины (здесь не рассматривается).

Как и для триметалла рассматриваемая номограмма может содержать только зависимости теплового сопротивления от толщины слоя отдельно для

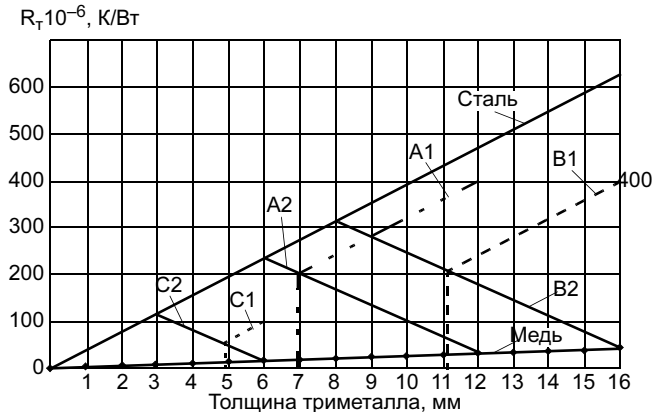


Рис. 2. Номограмма теплового сопротивления для симметричного варианта триметалла сталь 12Х18Н9Т—медь—сталь 12Х18Н9Т

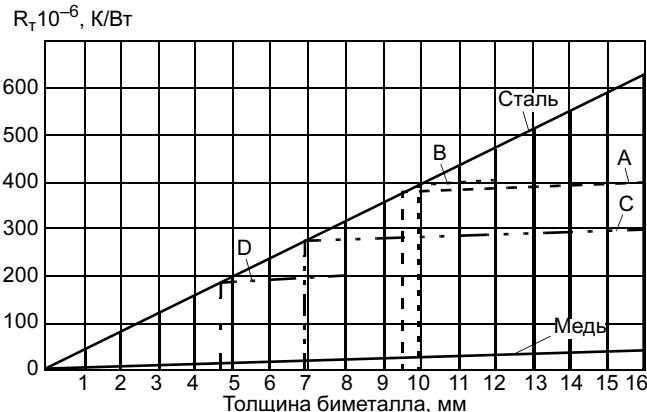


Рис. 4. Номограмма теплового сопротивления биметалла сталь 12Х18Н9Т—медь

Таблица 2

Материал	Параметр	Вариант биметалла сталь—медь																
		0—16	1—15	2—14	3—13	4—12	5—11	6—10	7—9	8—8	9—7	10—6	11—5	12—4	13—3	14—2	15—1	16—0
Тепловое сопротивление исходных материалов																		
Сталь	Толщина, мм	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	$R_T \cdot 10^{-6}$ , К/Вт	0	39,37	78,74	118,11	157,48	196,85	236,22	275,59	314,96	354,33	393,7	433,07	472,44	511,81	551,18	590,55	629,92
Медь	Толщина, мм	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	$R_T \cdot 10^{-6}$ , К/Вт	46,24	43,35	40,46	37,57	34,68	31,79	28,9	26,01	23,12	20,23	17,34	14,45	11,56	8,67	5,78	2,89	0
Тепловое сопротивление готового образца биметалла																		
Биметалл	Толщина, мм	16																
	$R_T \cdot 10^{-6}$ , К/Вт	46,24	82,72	119,2	155,68	192,16	228,64	265,12	301,6	338,08	374,56	411,04	447,52	484,0	520,48	556,96	593,44	629,92



меди и стали, а также вертикальные линии, соединяющие обе эти зависимости, для заданных значений биметалла (рис. 4). В данном случае они расположены с интервалом 1 мм в диапазоне от 1 до 15 мм.

На номограмме рис. 4 приведены примеры определения толщины листов стали и меди в биметалле толщиной 16 мм для  $R_T$ , равного  $400 \cdot 10^{-6}$  (линия А) и  $300 \cdot 10^{-6}$  К/Вт (линия С), в биметалле толщиной 12 мм для  $R_T = 400 \cdot 10^{-6}$  К/Вт (линия В), а также в биметалле толщиной 8 мм для  $R_T = 200 \cdot 10^{-6}$  К/Вт. Получены соответственно варианты исполнения биметалла сталь—медь: 9,7—6,3, 10—2, 7—8, 4,8—3,2 мм.

Таким образом, задавая величину теплового сопротивления, по номограммам просто вычислить толщину плакирующих слоев в биметалле и триметалле и изготовить его сваркой взрывом и наоборот, имея биметалл или триметалл, можно просто определить его теплопроводность.

### Оценка прочностных свойств

Из опытно-лабораторных образцов биметалла и триметалла изготавливали образцы для испытаний на отрыв, растяжение и изгиб, для каждого вида испытаний — от двадцати до сорока образцов.

Испытания на отрыв плакирующих слоев стали от меди проводили по методике, приведенной в работе [4]. Разрушение образцов при испытании на отрыв происходило, как правило, по меди при среднем усилии 254 МПа. Полученные значения соответствуют прочностным характеристикам меди как наименее прочного металла, входящего в биметалл и триметалл.

Испытания на растяжение проводили на прямоугольных образцах длиной 90 мм по ГОСТ 1497—84, изготовленных из заготовок, вырезанных вдоль слоев триметалла. Толщина плакирующих слоев стали с обеих сторон составляла 1 мм.

Характер разрушения образцов при растяжении свидетельствует о совместной деформации металлов, входящих в триметалл, среднее значение предела прочности составило 305,5 МПа.

Испытания на изгиб проводили по ГОСТ 14019—2003. Образцы изготовляли аналогично образцам для испытаний на растяжение, но с поперечным сечением  $15 \times 16$  мм, длиной 200 мм.

При испытаниях частичный разрыв наружного (стального) плакирующего слоя начинался при угле изгиба  $60^\circ$  при сохранении целостности внутреннего медного слоя. Полное разрушение наружного плакирующего слоя наблюдалось при угле изгиба  $65—70^\circ$ . Как правило, при штамповке на прессах криволинейной поверхности типа рассматриваемой тарели максимальный угол изгиба не превышал  $45—50^\circ$ .

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что исследуемые композиционные материалы не только обладают необходимыми теплофизическими свойствами, но удовлетворяют усло-

виям последующего механического передела. Теплопроводность полученного триметалла при заданной общей толщине по сравнению со сталью 12Х18Н9Т, традиционно используемой для аналогичных конструкций, в 5,3 раза выше, а прочностные свойства остаются высокими, о чем свидетельствует тот факт, что при различных видах испытаний разрушение происходит, как правило, не по зоне соединения. Установлена возможность получения сваркой взрывом листовых многослойных материалов с широким диапазоном свойств по прочности и теплопроводности.

По аналогичному принципу возможно построение номограмм и получение сваркой взрывом композиционных материалов на основе других металлов с заданными физико-механическими свойствами и теплопроводностью. Однако для композитов, полученных сваркой взрывом на основе металлов с существенно различающимися физико-механическими свойствами, следует учитывать дополнительное влияние состояния зон соединения на теплопроводность и электропроводность композита в целом.

### ВЫВОДЫ

1. Разработанный метод расчета с помощью номограмм теплового сопротивления композиционных многослойных листовых материалов позволяет на стадии проектирования конструкций рационально выбирать материалы с требуемыми свойствами за счет соотношения толщин исходных материалов в композите.

2. Данный метод позволяет получать сваркой взрывом листовые многослойные материалы с широким диапазоном свойств по прочности и теплопроводности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патон Б. Е., Рябов В. Р., Рабкин Д. М. Задачи сварки разнородных материалов // Сб. докл. VII Всесоюз. совещания по сварке разнородных, композиционных и многослойных материалов. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1983. С. 3—10.
2. Оголихин В. М., Симонов В. А. Сварка взрывом биметалла сталь—медь // Использование энергии взрыва для производства металлических материалов с новыми свойствами. 1985. С. 224—230.
3. Оголихин В. М., Симонов В. А. Использование сварки взрывом при изготовлении электротермического оборудования // Применение энергии взрыва в сварочной технике. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1983. С. 20—28.
4. Дерибас А. А. Физика упрочнения и сварки взрывом. 2-е изд. перераб. и доп. Новосибирск: Наука, 1980. 219 с.
5. Захаренко И. Д. Сварка металлов взрывом. Минск: Наука и техника, 1990. 205 с.
6. Сварка взрывом / Ю. А. Конон, Л. Б. Первухин и др. М.: Машиностроение, 1987. 216 с.
7. Кудинов В. М., Коротяев А. Я. Сварка взрывом в металлургии. М.: Металлургия, 1978. 168 с.
8. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. М.: Мир, 1983. 520 с.
9. Юдаев Б. И. Теплопередача: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1973. 360 с.
10. Охотин А. С. Теплопроводность твердых тел: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1984. 320 с.
11. Таблицы физических величин: Справочник / Под ред. И. К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976.



Д. Н. ФЕДОРОВ, канд. техн. наук, С. И. ЖУЛЬЕВ, д-р техн. наук, А. В. МОЗГОВОЙ, аспирант  
Волгоградский государственный технический университет

## Разработка геометрии кузнечного слитка для полых поковок

На современном этапе развития промышленности все более высокие требования предъявляются к качеству продукции, выпускаемой заводами машиностроительного комплекса. При этом особо важное значение имеет экономическая эффективность производства, позволяющая занимать устойчивое положение в условиях жесткой конкуренции на рынке металлопродукции.

Установлено, до 60,7—85,0 % поковок, выпускаемых отечественными заводами, являются полыми [1]. Тем не менее, до сих пор для их изготовления зачастую применяют прибыльные слитки, конструкция которых призвана обеспечить получение плотной бездефектной осевой зоны, в основном за счет значительных объемов прибыльной части (18—23 %) [2]. Последнее снижает выход годного металла и удорожает кузнечно-прессовую обработку. Такой подход абсолютно оправдан при производстве сплошных поковок и вреден в случае изготовления изделий, осевые объемы которых будут удалены на стадиях кузнечного передела или механической обработки.

Общей проблемой при производстве кованных заготовок является увеличение единичной массы слитка, призванное увеличить число поковок, получаемых из одного слитка, и тем самым сократить трудовые и материальные затраты на изготовление единицы изделия. Однако рост массы слитка за счет увеличения диаметра его тела неминуемо приводит к развитию ликвационной, физической и структурной неоднородности металла, которая, наследуясь готовым изделием, негативным образом сказывается на его качестве.

Цель данной работы — разработка геометрии кузнечного слит-

ка для производства полых поковок (в том числе длинномерных), которая обеспечила бы повышение выхода годного металла, снижение химической неоднородности слитков и, как следствие, готовых изделий, а также сокращение трудоемкости при подготовке изложниц и отливок слитков с одновременным повышением производительности кузнечно-прессового оборудования.

Для достижения поставленной цели предложено отливать слитки в составную из двух полуформ изложницу с прямой и обратной конусностью соответственно в верхней и нижней частях (рис. 1) [3]. В качестве полуформ можно использовать существующие на пред-

приятии изложницы, соосно устанавливаемые друг на друга и сопрягаемые со стороны максимальных внутренних диаметров. Прибыльная надставка при этом не используется.

С помощью компьютерного моделирования получено поле распределения дефектов усадочно-происхождения в слитке предлагаемой геометрии (рис. 2).

Как видно, слиток новой формы отличается от традиционного наличием в его теле узкой протяженной усадочной раковины, причем на большей высоте слитка размеры ее таковы, что обеспечивают гарантированное удаление при последующей прошивке или сверлении.

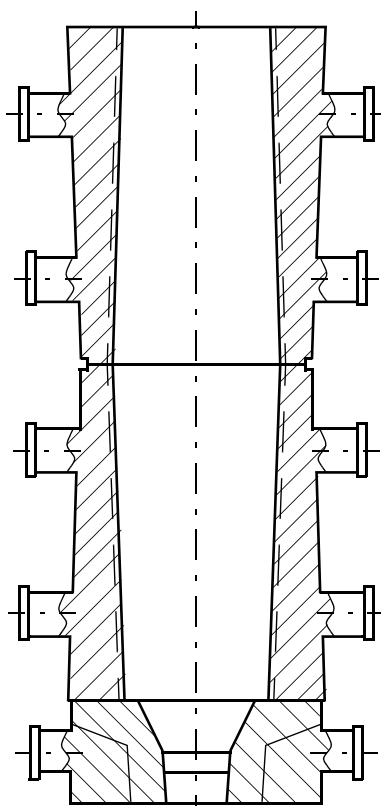


Рис. 1. Схема литейной оснастки, применяемой при отливке двояких бесприбыльных слитков

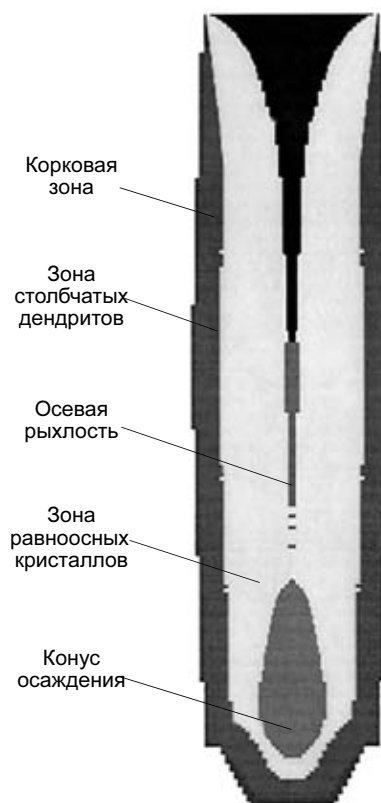


Рис. 2. Схема расположения структурной и физической неоднородности в двояком бесприбыльном слитке

Таблица 1

Слиток	Сталь	Масса слитка, т	H/D, мм	Конусность тела слитка, %	Относительный объем прибыли, %	Время отливки тела, мин	Время отливки прибыли, мин
Сдвоенный бесприбыльный Прибыльный нормальной длины	35X2H2MA	2,60	3,87	±6,1	—	6	—
	38X2H2MA	2,88	2,14	5,2	14,6	3	1,25

Примечание. H — высота тела слитка; D — средний диаметр тела слитка.

Для исследования характера структурной, физической и химической неоднородности отлили опытный сдвоенный бесприбыльный и обычный прибыльный слитки. Геометрические и технологические параметры отливки приведены в табл. 1.

Из слитков были изготовлены осевые темплеты, с которых после шлифовки снимали серные отпечатки и электролитическим травлением в 20 %-ном растворе серной кислоты выявляли макроструктуру.

Сдвоенный бесприбыльный слиток (рис. 3) характеризуется наличием тех же структурных зон, что и обычный. При этом в прибыльном слитке нормальной длины выявлена зона дугообразных трещин. Однако, несмотря на качественную схожесть строения, слитки существенно отличаются

по степени развития структурных зон (табл. 2). Так, суммарная доля корковой и столбчатой зон в нем в 1,4 раза больше, чем в обычном слитке, а конуса осаждения и зоны осевой рыхлости в 0,8 раза меньше.

Приведенные данные косвенным образом свидетельствуют о преобладании последовательного механизма кристаллизации в удлиненном слитке над объемным.

Физическая неоднородность обычной геометрии включает усадочную раковину, полностью локализованную в прибыльной части слитка; зону осевой рыхлости протяженностью 510 мм (42 % высоты тела слитка) и максимальным диаметром 75 мм (13,2 % среднего диаметра тела слитка), пораженную V-образными трещинами и скоплениями пор разной

степени развития; зону дугообразных трещин, занимающую до 30 % среднего диаметра слитка. Проведенные ранее исследования [1, 4] показывают опасность наличия данных трещин вследствие существенного их развития (порядка 1/3 среднего диаметра тела слитка) и, как следствие, сложность их устранения при изготовлении сплошных поковок и поковок с осевым каналом малого диаметра.

Усадочная раковина в сдвоенном бесприбыльном слитке представляет воронкообразную пустоту, не разделенную мостами. Ее поверхность покрыта "щеткой" дендритов, ориентированных преимущественно в сторону оси слитка (рис. 4). Геометрические параметры усадочной раковины исследуемого слитка приведены в табл. 3.

Незначительная степень развития усадочной раковины в верхней части слитка (порядка 19 % диаметра слитка) позволяет использовать данный дефектный участок под захват манипулятора или закатку цапфы под патрон про-

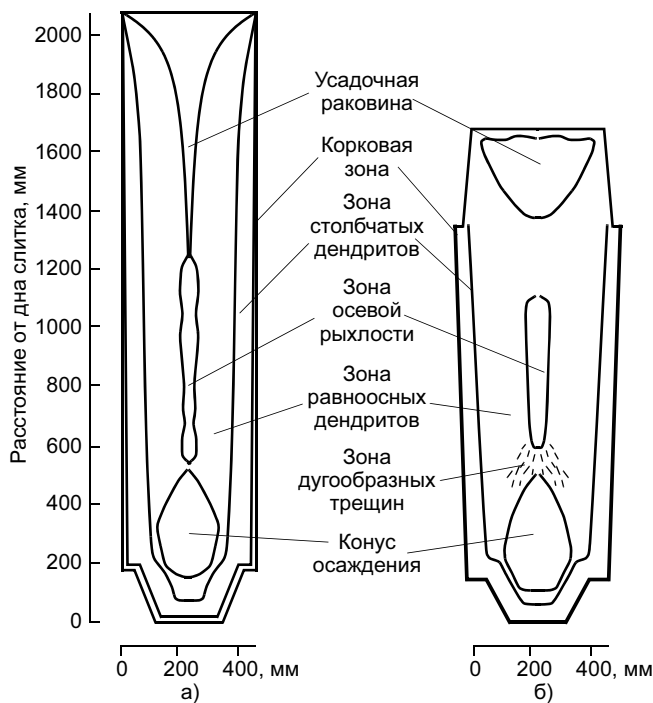


Рис. 3. Структурная неоднородность опытного (а) и сравнительного (б) слитков

Таблица 2

Структурная зона	Доля, занимаемая структурной зоной в общем объеме слитка, %	
	Сдвоенный бесприбыльный слиток	Слиток обычной геометрии
Корковая зона	8,06	5,38
Зона столбчатых кристаллов	42,36	30,74
Зона осевой рыхлости	0,42	0,37
Зона равноосных кристаллов	43,37	57,20
Конус осаждения	2,10	2,80
Усадочная раковина	3,69	3,51

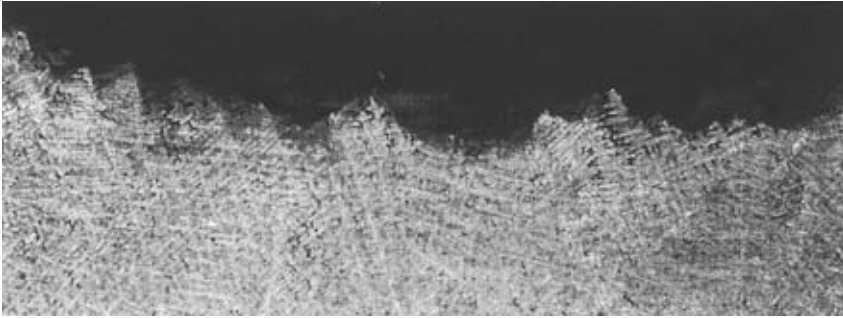


Рис. 4. Фрагмент поверхности усадочной раковины опытного слитка

тивовеса при ковке. Величина обрезки (головной или общей) при этом будет составлять 10—13 % массы слитка.

Зона осевой рыхлости в опытном слитке распространяется на глубину 700 мм (36,8 % высоты тела слитка) и составляет 72 мм в диаметре (15,7 % среднего диаметра слитка).

Характерным преимуществом слитка предлагаемой геометрии является отсутствие зоны дугообразных трещин, обрамляющих вершину конуса осаждения. Это можно связать с более высоким ферростатическим давлением, оказываемым столбом жидкого металла в слитке большей высоты и меньшего диаметра при неизменной массе. В связи с этим применение сдвоенных бесприбыльных слитков для изготовления полых длинномерных поковок обеспечивает сокращение дефектной зоны, удаляе-

мой прошивкой или сверлением, с 32 до 15 %.

Исследование химической неоднородности опытного и сравнительного слитков проводили на образцах, вырезанных на различных горизонтах слитков на фотоэлектрической установке ARL 3460 Metals Analyzer. Анализировали содержание основных ликвирующих элементов — углерода, серы и фосфора. Погрешность измерений соответствовала ГОСТ 18895—97. Результаты химического анализа проб, отобранных на разных горизонтах сдвоенного бесприбыльного слитка (рис. 5), свидетельствуют о незначительной

ликвационной неоднородности, которая в основном проявляется в довольно узкой осевой зоне. Слиток обычной геометрии менее однороден по содержанию углерода.

Так, максимальная отрицательная ликвация углерода для обоих слитков наблюдается в районе конуса осаждения и достигает 8—11 %. Положительная ликвация в сдвоенном слитке достигает своего максимума (8,1 %) в области под усадочной раковиной и сохраняет повышенные значения вдоль ее границ. В прибыльном слитке нормальной длины положительная ликвация наблюдается в районе подприбыльного моста (29,7 %), а также в теле слитка в участках, пораженных "шнурками" внеосевой ликвации (13,5 %). Подобная картина наблюдается для углерода, серы и фосфора.

Таким образом, сдвоенный бесприбыльный слиток отличается более равномерным распределением основных ликвирующих элементов — в периферийных областях их ликвация незначительна, некоторый рост наблюдается в осевых объемах и районе вер-

Таблица 3

Параметр	Значение
Протяженность усадочной раковины, мм (%*)	840 (44,2)
Диаметр усадочной раковины на расстоянии 270 мм от верхней поверхности слитка, мм (%**)	93 (18,9)
Диаметр усадочной раковины на расстоянии 540 мм от верхней поверхности слитка, мм (%**)	35 (7,1)
Диаметр усадочной раковины на расстоянии 810 мм от верхней поверхности слитка, мм (%**)	6 (1,2)

\* Относительно высоты тела слитка.  
 \*\* Относительно среднего диаметра тела слитка.

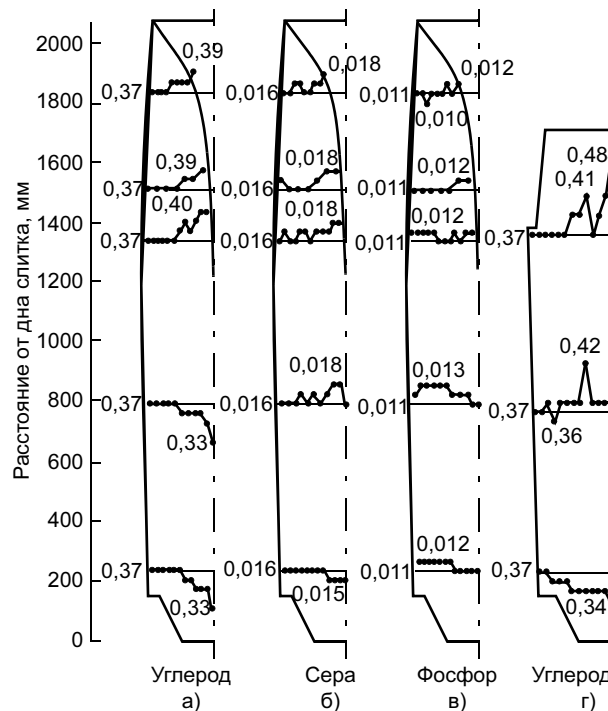


Рис. 5. Распределение ликватов в опытном (а—в) и сравнительном (г) слитках (плавочное содержание углерода 0,37 %, серы 0,016 %, фосфора 0,011 %)

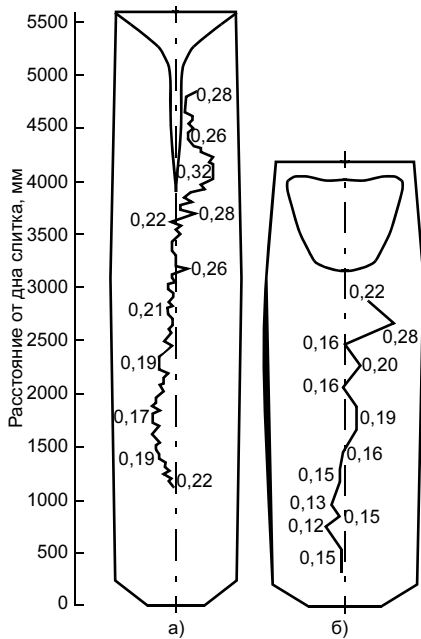


Рис. 6. Распределение углерода по высоте сдвоенного бесприбыльного слитка массой 51,04 т (а) и прибыльного слитка нормальной длины массой 50,0 т (б)

шины усадочной раковины, однако эти участки удаляются в отходы при последующей обработке, обеспечивая получение изделия с равномерным распределением углерода, серы и фосфора по длине.

Особый интерес представлял характер распределения основных ликвирующих элементов и, в частности углерода, по высоте слитков большой массы, поскольку известно, что они характеризуются значительной химической неод-

нородностью, наследуемой длинномерными поковками и негативным образом сказывающейся на их качестве. Результаты исследования отходов от прошивки двух слитков — сдвоенного бесприбыльного массой 51,04 т и прибыльного нормальной длины массой 50,0 т — отлитых из стали 20 приведены на рис. 6. Плавочное содержание углерода составляло соответственно 0,23 и 0,17 %.

Анализ стружки, отобранной по высоте осевой зоны, показал, что нижняя часть сдвоенного бесприбыльного слитка характеризуется более однородным и пониженным содержанием углерода. В верхней части слитка в районе вершины усадочной раковины содержание углерода повышено.

Сравнение развития ликвационной неоднородности в металле двух слитков различной геометрии (см. рис. 6) показало следующее: суммарная степень ликвации в обычном слитке составляет примерно 94 %, в то время как в сдвоенном бесприбыльном только 65 %. Таким образом, использование слитка новой геометрии позволило повысить химическую однородность в 1,5 раза.

Осевые усадочные дефекты исследовали на металле отходов прошивки — "выдрах" от слитка массой 51,04 т. Темплеты вырезали из "выдр" двух поковок, изготовленных из одного слитка (рис. 7).

Видно, что "выдра", полученная при прошивке поковки из верхней части слитка, имеет следы усадочных дефектов. При этом зона повышенной травимости располагается по оси темплета и занимает половину его сечения. Поверхностные слои металла плотные, без дефектов.

Металл "выдры", полученной при прошивке поковки из нижней части слитка, значительно более плотный, без дефектов. Представленные результаты исследований металла кузнечных отходов наглядно показывают возможность удаления дефектной осевой зоны и получения качественной полой поковки.

Таким образом, использование сдвоенного бесприбыльного слитка позволяет обеспечить снижение обрези при ковке крупных поковок на 10—13 %. Повышение ликвационной однородности, обусловленное ускоренной кристаллизацией слитка такой геометрии, способствует стабилизации уровня механических свойств изделий, особенно длинномерных. Нижняя часть слитков предлагаемой геометрии имеет значительно более плотное строение осевых объемов по сравнению с прибыльными слитками. Плотный, без дефектов (трещин и осевой рыхлости) металл можно использовать для изготовления сплошных поковок ответственного назначения.

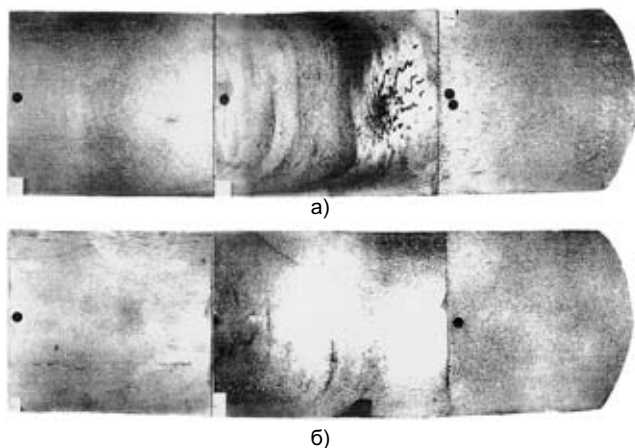


Рис. 7. Макроструктура темплетов, вырезанных из "выдр", полученных при прошивке поковок из слитка массой 51,04 т: а, б — верхняя и нижняя части слитка соответственно

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слитки для крупных поковок / С. И. Жульев, А. П. Фоменко, К. Е. Титов и др. // Сталь. 2005. № 11. С. 41—44.
2. Скобло С. Я., Казачков Е. А. Слитки для крупных поковок. М.: Metallurgia, 1973. 248 с.
3. Жульев С. И. Оптимизация процессов производства кузнечных слитков для поковок ответственного назначения с использованием САПР-технологий. Дис. ... д-ра техн. наук. Волгоград, 1991. 370 с.
4. Жульев С. И., Титов К. Е., Чекалин С. Н. Структурная неоднородность крупного кузнечного слитка конструкционной стали // Современные проблемы металлургического производства. Волгоград, 2002. С. 180—184.

В. Г. ВДОВЕНКО, канд. техн. наук  
(Красноярский государственный университет),  
В. Н. ПОТАПОВ, инж., С. А. ЧУЙКИН, канд. техн. наук  
(ФГУП "НПО "Техномаш")

## Применение биполярного электрода для управления процессом электрохимической обработки деталей машин на принципах синергетики

Электрохимическая размерная обработка занимает особое место в технологических процессах деталей машин, изготавливаемых из труднообрабатываемых материалов, например, титановых, коррозионно-стойких, жаропрочных сплавов. Она находит широкое применение в обработке деталей двигателей аэрокосмической техники, в транспортном, химическом машиностроении и др.

Управление процессом электрохимической обработки (ЭХО) для обеспечения заданных выходных параметров деталей представляет сложную в техническом отношении и трудоемкую задачу. В последнее время в технологии ЭХО для обеспечения деталей заданными эксплуатационными характеристиками начинают применять принципы синергетики [1]. При этом между эксплуатационными свойствами деталей и технологическими параметрами процесса устанавливается взаимосвязь через некие интегральные критерии технологической системы и тем самым возможность управлять процессом обработки.

Одно из решений данной проблемы — применение для ЭХО биполярного электрода (БПЭ), обеспечивающего управление процессом [2]. БПЭ представляет собой металлическую пластину с отверстиями (рис. 1), с помощью которых происходит разделение общего тока на  $I_{отв}$  — ток, проходящий через отверстия в БПЭ (3) и  $I_{ме}$  — проходящий через металл этого электрода. При такой схеме ЭХО биполярный электрод явля-

ется формообразующим элементом, работающим независимо от катода 2. Поэтому распределение тока по длине обрабатываемой детали будет зависеть от того, сколько газа в промежутке между БПЭ и анодом 4 и как распределяется газосодержание в нем. Количество газа в этом промежутке зависит от тока  $I_M$ , который в свою очередь определяется электрохимическим сопротивлением анодного и катодного процессов, происходящих на поверхности БПЭ, а также сопротивлением электролита в отверстиях БПЭ. Увеличение площади, занимаемой отверстиями приводит к снижению количества газа в промежутке между БПЭ и анодом, поскольку уменьшается  $I_M$ .

При такой схеме обработки равномерное распределение газосодержания по длине межэлектродного промежутка можно обеспечить за счет отвода газожидкостной смеси через отверстия в БПЭ. Через отверстия в БПЭ проходит ток, следовательно, напротив отверстий отсутствуют макровыступы. Шероховатость поверхности катода при его работе в совокупности

с БПЭ не влияет на шероховатость поверхности обрабатываемой детали, поэтому катод следует изготавливать с развитой поверхностью из материала с минимальным перепадом напряжения выделения водорода. Это приводит к снижению энергетических затрат.

Таким образом, БПЭ с отверстиями позволяет уменьшить концентрацию газа и обеспечить равномерное газосодержание в зазоре между обрабатываемой деталью и формообразующим элементом (БПЭ). За счет этого произойдет равномерное распределение плотности тока по обрабатываемой детали, а значит, увеличится точность обработки и уменьшится шероховатость поверхности. Кроме того, снижение газосодержания позволяет осуществить ЭХО током высокой плотности, которую невозможно реализовать при работе по обычной схеме. В случае непосредственного контакта БПЭ с обрабатываемой деталью произойдет лишь увеличение технологического тока, поэтому в установке для ЭХО достаточно применить устройство для защиты источника питания от перегрузок [3].

На рис. 2 приведены результаты экспериментальных исследований распределения относительной плотности тока по длине образца, а для сравнения — данные, полученные при обработке без БПЭ.

На рис. 3 показано изменение параметра шероховатости поверхности по длине образца. При обработке с БПЭ параметр шероховатости  $Ra$  составляет 0,10—0,25 мкм

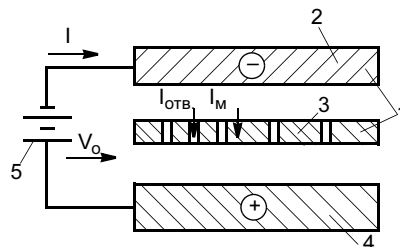


Рис. 1. Схема электрохимической обработки катодом-инструментом (1) с биполярным электродом: 5 — источник питания

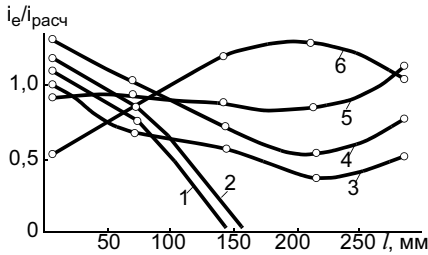


Рис. 2. Изменение относительной плотности тока по длине обрабатываемой детали при пористости БПЭ 3 (3—5) и 30 (6) %: 1, 2 — стандартный инструмент; 1—6 —  $i_{расч}$  равен соответственно 10,4, 12,1, 10,4, 11,3, 14,0 и 10,2 А/см<sup>2</sup>

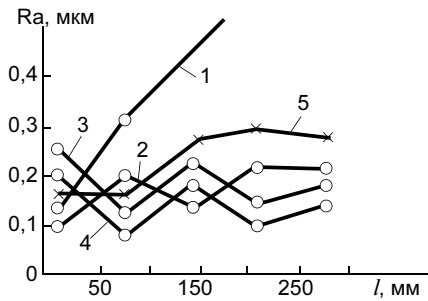


Рис. 3. Изменение параметра шероховатости по длине обрабатываемой детали при пористости БПЭ 3 (2—4) и 30 (5) %: 1 — стандартный инструмент; 1—5 —  $i_{расч}$  равен соответственно 12,1, 10,4, 14,0, 11,3 и 12,4 А/см<sup>2</sup>

для опытов № 2—4 и 0,16—0,32 мкм для опыта № 5, в то время как при обычном методе  $Ra = 0,125$  мкм на выходе и 0,8 мкм в середине образца. По всей длине обработки отсутствуют макровыступы.

Управление процессом ЭХО БПЭ заключается в появлении эффектов самоотжатия электродной системы, разрежения, всасывания жидкости в МЭЗ, самоподачи инструмента до его физического контакта с обрабатываемой деталью, самосмены полярности рабочей части инструмента и повторении цикла до тех пор, пока на электродную систему подается рабочее напряжение [2].

Рассмотрим схему управления ЭХО инструментом с БПЭ на принципах синергетики подробнее (см. таблицу). С этой целью введем следующие обозначения:  $\delta_1$  — межэлектродный зазор;  $\delta_2$  — зазор биполярного электрода;  $U_p$  — рабочее напряжение;  $p_k, p_3$  — давление в камере и зазоре соответственно;  $P_G$  — сила тяжести электродной системы;  $V_3, V_{H_2}$  — объем электролита и водорода в зазоре соот-

ветственно. Проанализируем случай электрохимической прошивки детали, т. е. образование формы в заготовке при поступательном движении инструмента (постоянном или переменном). При таком размерном формообразовании деталей возможно использование двух схем ЭХО. Первая схема — ЭХО в открытой камере — анодное растворение детали, когда зона межэлектродного промежутка непосредственно сообщается с окружающей средой. По второй схеме зона анодного растворения закрыта от непосредственного сообщения с окружающей средой.

Рассмотрим вначале механизм самоуправления для ЭХО по открытой схеме. В исходном положении электрод-инструмент находится в контакте с обрабатываемой деталью. Зазор-щель  $\delta$  между пластиной БПЭ и телом катода-инструмента заполняется раствором электролита, причем отверстия в металлической пластинке также заполняются этой жидкостью. Давление электролита равно давлению окружающей среды, т. е.  $p_3 = p_{o.c.}$

Номер этапа	Открытая камера		Закрытая камера	
	Схема полярности на БПЭ	Параметр управления	Схема полярности на БПЭ	Параметр управления
1		$\delta_1 = 0; p_3 = p_{o.c}$ $U_p = 0$ $P_G > p_3$ $V_3 = V\delta_2$		$\delta_1 = 0; p_3 = p_{o.c}$ $U_p = 0$ $P_G > p_3$ $V_3 = V\delta_2$
2		$U_p > 0$ $p_3 > p_{o.c}$ $p_3 \rightarrow P_G$ $V_3 = V\delta_2$		$U_p > 0$ $p_3 > p_{o.c}$ $p_3 \rightarrow P_G$ $V_3 = V\delta_2$
3		$U_p > 0$ $p_3 \geq P_G$ $V_3 = V(\delta_1 + \delta_2)$ Смена полярности		$U_p > 0$ $p_3 \geq P_G$ $V_3 = V(\delta_1 + \delta_2)$ Смена полярности
4		$U_p > 0$ $p_3 \leq P_G$ $V_{H_2} > V_3$		$U_p > 0$ $p_3 \leq P_G$ $V_{H_2} > V_3$
5		$U_p > 0$ $p_3 < P_G$ $\delta_1 \rightarrow 0$ Смена полярности		$U_p > 0$ $p_3 < P_G$ $\delta_1 \rightarrow 0$ $p_3 = p_{o.c}$ Смена полярности Вскипание; выброс электролита
6		Капиллярное всасывание; повторение цикла		Всасывание из-за разрежения в зазоре $\delta_2$ и капиллярного эффекта Повторение цикла

Межэлектродный зазор  $\delta = 0$ , напряжение источника питания  $U_p = 0$ .

В межэлектродном зазоре катода с БПЭ начинается электрохимический процесс. Поверхность БПЭ, обращенная к катоду, выполнена таким образом, что не происходит ее анодного растворения, а идет процесс интенсивного, бурного газообразования. Давление в зазоре возрастает и начинает превышать давление окружающей среды, т. е.  $p_3 > p_{0.c}$ . Контакт БПЭ с обрабатываемой деталью сохраняется из-за превышения силы тяжести электродной системы давления в зазоре ( $P_G > p_3$ ).

На третьем этапе процесса ЭХО инструментом с БПЭ давление газа в зазоре начинает превышать силу тяжести электродной системы ( $p_3 > P_G$ ). Давление газа распространяется и в отверстия пластины БПЭ, в силу чего биполярный электрод "отжимается" от поверхности анода, появляется основной рабочий зазор между БПЭ и ано-

дом. Это приводит к смене полярности, поверхность БПЭ приобретает отрицательный заряд — становится катодом.

Четвертый этап — рабочий период, в ходе которого происходит собственно электрохимическая обработка — растворение поверхности обрабатываемой детали. Водорода образуется так много, что его объем превышает объем электролита ( $V_{H_2} > V_э$ ). Это приводит к прекращению процесса анодного растворения, и электродная система под действием силы тяжести начинает опускаться (прижиматься) к аноду.

Наступает пятый этап, когда зазор  $\delta_1$  уменьшается до нуля. Происходит смена полярности и одновременно (за счет капиллярного эффекта) всасывается очередная порция свежего электролита. Последний заполняет отверстия в БПЭ и зазор  $\delta_2$ . Поскольку напряжение не убирается, а источник питания защищен от перегрузок, то в зазоре

начинает выделяться водород и цикл повторяется.

Отличие работы по самоуправляемой схеме в закрытой камере заключается в содержании пятого и шестого этапов. Поскольку нет свободного сообщения зазора  $\delta_1$  с окружающей средой, то на пятом этапе происходит вскипание электролита, его выброс и образование зоны разрежения в зазоре. Таким образом, всасывание порции свежего электролита идет за счет разрежения и капиллярного эффекта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хейфец М. Л., Кожуро Л. М. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей. Гомель: ИЛМСНАБ, 1999. 276 с.
2. Свойства технологической среды при электрофизической обработке / Л. А. Витязь, Л. М. Кожуро, И. П. Филатов, М. Л. Хейфец // Фракталы и прикладная синергетика. М.: МГОУ, 2003. С. 205—210.
3. Вдовенко В. Г. Эффективность электрохимической обработки. Красноярск: Изд-во КГУ, 1991. 245 с.

Ю. Н. ПОЛЯНЧИКОВ, д-р техн. наук, М. Ю. ПОЛЯНЧИКОВА, студентка,  
А. Л. ПЛОТНИКОВ, д-р техн. наук, О. А. КУРСИН, аспирант, А. В. ЛЕШУКОВ, аспирант  
Волгоградский государственный технический университет

## Повышение качества поверхности хонингованием с возрастающей скоростью

Главной задачей в современном машиностроении является повышение качества изделий, одним из способов которого является хонингование. Широко распространенные в настоящее время способы хонингования с постоянной скоростью вращения инструмента не позволяют в полной мере использовать потенциал каждого абразивного зерна и получать высокое качество обработанной поверхности.

Чтобы более полно использовать возможности абразивного инструмента при хонинговании предлагается изменять скорость вращения хонинговальной головки, а именно, постоянно увеличивать окружную скорость в заданном диапазоне в течение всего цикла обработки.

Предлагаемый способ хонингования отверстий<sup>1</sup> реализован при помощи частотного преобразователя Е1-8001, включенного в систему питания трехфазного электродвигателя привода вращения инструмента. Частотный преобразователь в совокупности с устройством управления позволяет непрерывно повышать частоту переменного тока в заданных пределах, что способствует непрерывному повышению частоты вращения электродвигателя.

В ходе исследований окружную скорость изменяли в определенных пределах. Так, при угле сетки следов обработки  $\alpha_c < 65^\circ$ , т. е.

$v_{ок}/v_{в-п} < 2,2$  ( $v_{ок}$  — окружная скорость хонинговальной головки;  $v_{в-п}$  — скорость возвратно-поступательного движения хонинговальной головки), получается большая глубина следов обработки, что ухудшает качество обработанной поверхности. При  $\alpha_c > 82^\circ$ , т. е.  $v_{ок}/v_{в-п} > 7$ , уменьшается шероховатость обработанной поверхности, но увеличивается износ инструмента.

Таким образом, окружную скорость следует изменять в пределах:

$$v_{ок} = (2,4 \div 7)v_{в-п} \quad (1)$$

Результаты исследования показали, что при хонинговании данным способом абразивным инструментом 25A12CM1 6Б1 из электрокорунда белого при давлении разжима брусков 0,33 МПа отверстия

<sup>1</sup> Патент 2305620 (РФ).



в стали 35 и постоянной скорости возвратно-поступательного движения  $v_{в-п} = 6,4$  м/мин с повышением окружной скорости  $v_{ок}$  от 14,1 до 42,2 м/мин (интервал изменения окружной скорости 28,1 м/мин) в течение цикла обработки по сравнению с хонингованием при тех же режимах и постоянной окружной скоростью  $v_{ок} = 28,1$  м/мин параметр шероховатости поверхности  $Ra$  снизился на 27,7 %.

С помощью регрессионного анализа<sup>2</sup> была выведена математическая модель зависимостей изменения параметра шероховатости  $Ra$  полученной поверхности от зернистости  $x_1$ , твердости абразивного инструмента  $x_2$ , окружной скорости хонинговальной головки  $x_3$  и интервала изменения окружной скорости  $x_4$  при режимах, приведенных выше:

$$F(x_1, x_2, x_3, x_4) = 0,523 \frac{x_1^{0,333} x_2^{0,203}}{x_3^{0,202} x_4^{0,0567}} \quad (2)$$

Зависимости параметра шероховатости  $Ra$  от интервала изме-

нения окружной скорости при средней окружной скорости интервала 19,1 м/мин ( $f1$ ) и 37,2 м/мин ( $f2$ ) приведены на рис. 1.

Подставив принятые выше значения в математическую модель (2), получим

$$f1(x_4) = \frac{1,669}{x_4^{0,0567}}; \quad (3)$$

$$f2(x_4) = \frac{1,459}{x_4^{0,0567}}. \quad (4)$$

Непрерывное повышение окружной скорости при неизменной скорости возвратно-поступательного движения приводит к тому, что следы обработки предыдущего и последующего ходов не совпадают из-за непрерывного изменения угла сетки следов обработки  $\alpha_c$ . Постоянное изменение направления движения абразивного зерна позволяет также срезать наплыв с одной стороны следа (рис. 2), образующийся вследствие выдавливания металла абразивным зерном вдоль следа обработки. За счет этого происходит значительное снижение шероховатости поверхности обрабатываемой заготовки.

Таким образом, предлагаемый способ хонингования с постоянно повышающейся скоростью враще-

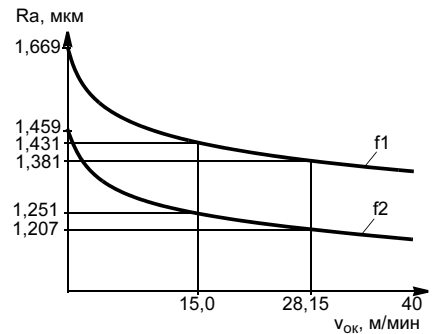


Рис. 1. Зависимость параметра шероховатости  $Ra$  от интервала изменения окружной скорости

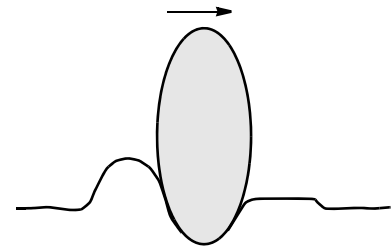


Рис. 2. Удаление наплыва металла при хонинговании с постоянно возрастающей скоростью

ния хонинговальной головки позволяет абразивным зернам перемещаться по новой траектории с постоянно меняющейся нагрузкой на режущие грани с включением в работу все новых граней. Это обеспечивает снижение шероховатости обработанной поверхности на 27,7 %.

Д. Л. БЕКАСОВ, инж., В. Н. ВОРОНОВ, инж.  
Ковровский филиал МГОУ

## Методика расчета основных геометрических параметров некруглых профилей, обработанных фрезоточением

Согласно методике расчета основных геометрических параметров торцевого сечения поверхностей, обработанных фрезоточением [1], необходимо провести графическое моделирование выбранной схемы обработки и определить вид кривой относительного движения режущей кромки зуба фрезы. Затем найти уравнение этой кривой и только после этого приступить к расчету основных геометри-

ческих параметров обработанного некруглого профиля. Для производственных условий эта методика является очень трудоемкой и сложной.

Цель данной работы — разработка упрощенной, инженерной методики расчета основных параметров некруглых профилей, обработанных фрезоточением, которая основана на анализе кинематики резания при различных схемах фрезоточения.

По классификации [2] все схемы фрезоточения наружных поверхностей делятся на две группы — с внешним и внутренним касанием детали и фрезы. В зависимости от направления вращения детали и фрезы процесс фрезоточения может быть встречным или попутным.

На рис. 1 приведена схема встречного фрезоточения с внешним касанием детали и фрезы. Деталь и фреза вращаются в одну

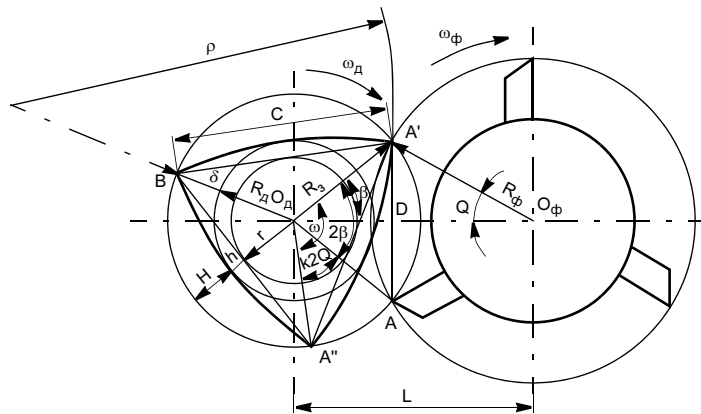


Рис. 1. Схема встречного фрезоточения некруглого профиля с внешним касанием детали и фрезы

сторону с соотношением угловых скоростей  $K = \omega_d / \omega_{\text{ф}} = 1$ , т. е. за один оборот детали фреза делает один оборот и один зуб фрезы обрабатывает одну грань некруглого профиля.

На рис. 2 приведена схема попутного фрезоточения с внутренним касанием детали и фрезы. Деталь и фреза вращаются в одну сторону с соотношением угловых скоростей  $K = \omega_d / \omega_{\text{ф}} = 1/3$ , т. е. за один оборот детали фреза делает три оборота и один зуб фрезы обрабатывает три грани некруглого профиля.

Основными геометрическими параметрами схем обработки

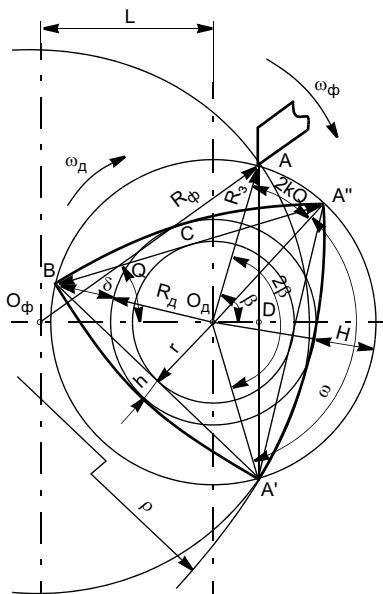


Рис. 2. Схема попутного фрезоточения некруглого профиля с внутренним касанием детали и фрезы

(см. рис. 1, 2) являются количество граней некруглого профиля  $\Gamma$ ; радиус заготовки  $R_3$ ; радиус фрезы  $R_{\text{ф}}$ ; радиус детали  $R_d$ ; межцентровое расстояние детали и фрезы в конце обработки  $L$ ; максимальная величина припуска  $H$ ; радиус вписанной окружности правильного многоугольника с прямолинейными гранями  $r$ ; длина грани правильного многоугольника  $C$ ; максимальная выпуклость или вогнутость обработанных граней  $h$ ; огранка  $\delta$ ; радиус контура криволинейной грани обработанной поверхности  $\rho$ .

При определении основных геометрических параметров профиля обработанной поверхности известны следующие параметры: схема обработки,  $\Gamma$ ,  $R_{\text{ф}}$ ,  $K$ ,  $R_3$ ; радиус заготовки принимают равным радиусу описанной окружности правильного многогранника с числом граней  $\Gamma$ .

В процессе обработки (см. рис. 1, 2) зуб фрезы врезается в заготовку в точке  $A$  и выходит из нее в точке  $A'$ . За это время точка  $A$  заготовки переместится в точку  $A''$ , следовательно, траекторией движения вершины зуба фрезы будет дуга с центральным углом  $\omega$ .

На основании анализа взаимосвязей геометрических параметров схемы обработки установлено:

$$\omega = 2\beta \pm 2KQ;$$

$$Q = \frac{\omega}{2R_{\text{ф}}/R_3 \pm K},$$

где знак "плюс" — при встречном фрезоточении, знак "минус" — при попутном;

$$\beta = Q \frac{R_{\text{ф}}}{R_3};$$

$$L = R_{\text{ф}} \cos Q \pm R_3 \cos \beta,$$

где знак "плюс" — при внешнем касании детали и фрезы, знак "минус" — при внутреннем";

$R_d = L - R_{\text{ф}}$  — при внешнем касании детали и фрезы;

$R_d = R_{\text{ф}} - L$  — при внутреннем;

$$H = \delta = R_3 - R_d; r = R_3 \cos \frac{360}{2\Gamma};$$

$h = r - R_d$  — вогнутость грани;

$h = R_d - r$  — выпуклость грани;

$$C = 2R_3 \sin \frac{360}{2\Gamma}; \rho = \frac{C^2 + 4h^2}{8h}.$$

При сравнении значений геометрических параметров профиля отработанной поверхности, рассчитанной по известной и предлагаемой методикам, установили разницу в значениях рассчитанных параметров. Это объясняется тем, что теоретический профиль кривой относительного движения зуба фрезы в данном случае заменяется дугой окружности радиуса  $\rho$ . Однако, учитывая, что эта разница очень мала (она проявляется лишь во втором-третьем знаке после запятой), можно рекомендовать данную методику для упрощенных инженерных расчетов в условиях производства.

Представленная методика позволяет оперативно рассчитать основные геометрические параметры некруглого профиля при выбранной схеме фрезоточения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов В. Н. Формообразование и кинематика резания при фрезоточении некруглых профилей // Автоматизация и современные технологии 2001. № 7.
2. Воронов В. Н. Технологические возможности процесса фрезоточения // Автоматизация и современные технологии. 1999. № 3.

# СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

А. В. НОСЕНКО, д-р техн. наук, С. В. НОСЕНКО, студент  
(Волжский политехнический институт),

А. Н. ДОВГАЛЬ, инж.

(ОАО "Волжский абразивный завод"),

А. А. ВАСИЛЬЕВ, инж.

(Волжский институт строительства и технологий)

## Разработка рецептуры высокопористых кругов из карбида кремния для глубинного шлифования титановых сплавов

При разработке новых конструкций абразивного инструмента (АИ) важная роль наряду с выбором надлежащих абразивных материалов и связи отводится взаимосвязям и соотношениям между отдельными элементами его структуры, что определяется рецептурой и технологией изготовления. Применяя особые рецептуры и специальные технологические методы, в абразивной промышленности осваивают выпуск инструментов с заданными характеристиками, необходимыми для выполнения различных операций абразивной обработки, в частности глубинного шлифования, где используются высокопористые высокоструктурные круги.

Разработка рецептуры и технологии изготовления высокопористых кругов включает множество задач, среди которых можно выделить две основные: определение количественных зависимостей между составом абразивной смеси и свойствами отожженного абразивного черепка, например твердостью и прочностью; выбор на этой основе оптимального состава многокомпонентных абразивных смесей.

В состав абразивной смеси при изготовлении высокопористых инструментов на керамической связке входят шлифовальный материал, порообразователь, связка, специальные наполнители и увлажнители. В процессе разработки рецептуры необходимо выбрать марку и зернистость шлифовального материала, структуру инструмента, порообразователь, его зернистость и количество, интервал твердости инструмента и соответствующее этому интервалу количество связки определенного состава. Для получения требуемых формы и прочности свежезаформованного и высушенного изделия в состав смеси вводят специальные клеящие вещества, в качестве которых применяют растворимое стекло (жидкий силикат натрия) и декстрины как в растворе, так и в порошке. В процессе отработки рецептуры необходимо учитывать и технологические факторы, например, тип печи, режимы обжига и др.

Таким образом, общее число исходных факторов при разработке рецептуры АИ намного превышает десяток, что в общем случае требует дифференцированного подхода. Поэтому представляет интерес проанализировать исходные факторы с учетом накопленного теоретического материала, производственного опыта и конкретных технологических условий изготовления инструмента.

Цель работы — разработка математических моделей определения твердости и прочности высокопористых, высокоструктурных шлифовальных кругов из карбида кремния в зависимости от содержания основных компонентов рецептуры абразивной смеси.

Для шлифования изделий из титановых сплавов широко используют круги из карбида кремния зеленого и черного [1]. В соответствии со сложившейся практикой для операций чистового шлифования применяют в основном карбид кремния зеленый, для чернового шлифования — карбид кремния черный. Глубинному шлифованию подвергают, как правило, особо ответственные детали, к состоянию поверхности которых предъявляют исключительно высокие требования. Поэтому в качестве абразивного материала выбрали карбид кремния зеленый, хотя для технологии изготовления АИ это не имеет принципиального значения.

Зернистость шлифовального материала может быть различной. Если ориентироваться на высокопористые круги из электрокорунда, применяемые для глубинного шлифования жаропрочных сплавов, то диапазон зернистостей находится в интервале от 10 до 16, иногда 8 и 25 [2, 3]. В данной работе зернистость шлифовального материала из карбида кремния выбрали в диапазоне от 10 до 16.

Структура определяет соотношение объемов зерна  $V_3$ , связки  $V_c$  и пор  $V_n$  в готовом (обожженном) инструменте:

$$V_3 + V_c + V_n = 100 \%.$$

Под  $V_c$  понимают объем, занимаемый всеми не испаряющимися и не выгорающими полностью при сушке и обжиге инструмента компонентами абразивной смеси, кроме зерна.

Высокопористые шлифовальные круги изготавливают не ниже структуры 8—10. Отечественные заводы выпускают высокопористые круги из электрокорунда в основном структуры 12. Поэтому в данной работе также приняли в качестве базовой структуру 12.

Каждой структуре независимо от зернистости и твердости инструмента соответствует один определенный объем зерна, который рассчитывают по формуле

$$V_3 = (62 - 2n), \quad (1)$$

где  $n$  — номер структуры.

Поскольку масса и объем зерна не изменяются в процессе обжига, формула (1) является исходной для расчета количества зерна в составе абразивной смеси.

При составлении рецептуры абразивной смеси удобнее пользоваться относительной массой или массой в единице объема заформованного АИ:

$$M_3 = \gamma_3 V_3 / 100 = (62 - 2n) \gamma_a / 100. \quad (2)$$

Плотность зерна  $\gamma_3$  обычно принимают равной плотности абразивного материала. Для карбида кремния зеленого  $\gamma_a = 3,2 \text{ г/см}^3$  [4]. Объемное содержание зерна в АИ структуры 12 и относительная масса зерен карбида кремния из формул (1) и (2) соответственно 38 % и  $1,216 \text{ г/см}^3$ . Такое объемное и массовое содержание зерна будет в инструменте структуры 12 любой твердости.

В качестве порообразователя при отработке рецептуры высокопористых кругов из карбида кремния выбрали крупу манную (ГОСТ 77022—97). Насыпная плотность крупы по ГОСТ 26327—84, составляет  $0,46 \text{ г/см}^3$ . Новизна технического предложения использования крупы манной в качестве порообразователя подтверждена патентом<sup>1</sup>, где в качестве примера рассмотрены круги из электрокорунда и показана их эффективность при глубинном шлифовании заготовок из жаропрочных сплавов. В данной работе крупу манную используют в кругах из карбида кремния с последующим применением их для глубинного шлифования титановых сплавов.

Порообразователь при выгорании задает порам определенную форму и размер. Чтобы иметь представление о размерах пор, необходимо знать размеры порообразователя. Данные о крупе манной из ГОСТ 77022—97 для определения размера пор явно недостаточно. Поэтому исследовали зерновой состав путем просеивания крупы через сетки, исполь-

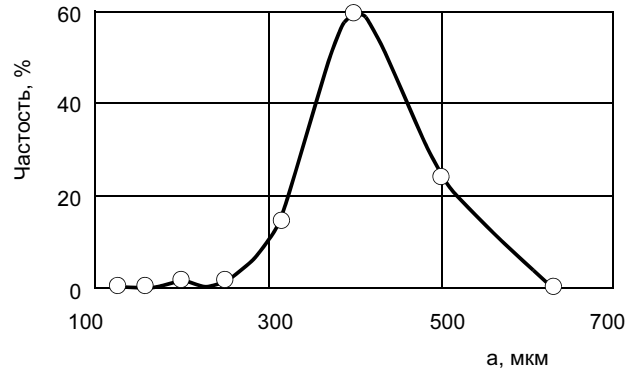


Рис. 1. Зерновой состав крупы манной ( $a$  — размер ячейки задерживающего сита)

зуемые для отсева шлифовальных материалов по ГОСТ 3647—80 (рис. 1).

Зерновой состав крупы так же, как и зерновой состав шлифовального зерна, можно представить состоящим из пяти фракций. Сохраняя названия фракций по ГОСТ 3647—80, получаем следующее распределение зерен: предельная — 6 %, крупная — 35 %, основная — 33 %, комплексная — 99 %, мелкая — 1 %. По содержанию комплексной и мелкой фракций зерновой состав отвечает требованиям зернистости 40. Количество основной фракции занижено на 7 %, крупной и предельной завышено, соответственно, на 15 и 6 %. Если зерновой состав крупы классифицировать на фракции зернистости 50, получим следующее: предельная — 0,2 %, крупная — 23,6 %, основная — 59,3 %, комплексная — 97,5 %, мелкая — 2,5 %. Таким образом, размер зерен крупы по ГОСТ 3647—80 можно считать соответствующим зернистости 40 с завышенным содержанием крупной фракции приблизительно на 4 %.

Представим средний размер зерна фракции  $b_k$  как среднее геометрическое сторон ячейки сита, через которое проходят и на котором задерживаются зерна фракции:

$$b_k = \sqrt{a_n a_b}, \quad (3)$$

где  $a_n, a_b$  — сторона ячейки соответственно нижнего (проходного) и верхнего (задерживающего) сит.

Средний размер зерна крупы манной

$$b_c = \frac{1}{100} \sum_{k=i-2}^{i+2} (b_k \theta_k), \quad (4)$$

где  $\theta_k$  — содержание фракции, %;  $k$  — порядковый номер фракции ( $i$  — основная фракция,  $(i - 1)$ ,  $(i - 2)$  — соответственно крупная и предельная фракции,  $(i + 1)$ ,  $(i + 2)$  — соответственно мелкая 1 и мелкая фракции). С использованием данных на

<sup>1</sup> Патент 2286244 (РФ).

рис. 1, формул (3) и (4) получено, что для крупы манной (ГОСТ 77022—97)  $b_c = 0,46$  мм.

Шлифовальные круги из карбида кремния изготавливают на керамических связках К10 и К33. Для увеличения кромкостойкости АИ целесообразно использовать более прочную связку К10.

Приблизительно оценить содержание связки в инструменте можно исходя из общих представлений о соотношении зерна, связки и пор в АИ. Раз-

работанная еще в пятидесятых годах теория структуры инструмента [5] рекомендует количество связки определять по следующей зависимости:

$$V_c = -11,5 + 1,5N + 2n, \quad (5)$$

где  $N$  — номер твердости (номер твердости — это цифровое обозначение степени твердости АИ, используемое при расчете объема связки и пор. Степени твердости ВМ1 присваивается № 0, ВМ2 — № 1 и т. д. Последняя степень твердости ЧТ2 имеет № 17).

Согласно формуле (5), количество связки зависит только от твердости и структуры инструмента. Для получения инструмента ближайшей большей структуры и той же твердости необходимо объем зерна уменьшить на 2 %, а объем связки на столько же увеличить. Конечно, истинная твердость зависит от вида связки и технологии изготовления инструмента, например обжига. Но, тем не менее, тщательное соблюдение технологии [5] позволяет изготавливать круги с отклонениями в строении черенка на половину номера структуры в ту или другую сторону. Все отклонения объемов связки и пор в данном случае надо пересчитывать на объемы зерна.

В работе [6] проанализирована зависимость между  $V_c$  из формулы (5) и реальным содержанием связки в рецептурах при изготовлении кругов. Зависимость количества связки от твердости при любой фиксированной структуре в соответствии с формулой (5) представляет прямую линию (рис. 2). Экспериментальные зависимости не совпадают с расчетными. Фактическое содержание связки в инструменте структуры 6 значительно выше теоретического, особенно у зернистости 40. В инструменте структуры 7 фактическое содержание связки выше теоретического также у крупнозернистого инструмента. Полное совпадение расчетного и экспериментального содержания связки получено для АИ структуры 7, зернистости 10—12, твердости СМ1 и С1 ( $N$  соответственно равно 5 и 7). Для более высокой твердости  $V_c$  ниже значений, полученных по формуле (5). Экспериментальная зависимость количества связки при  $N \geq 7$  близка к линейной, но коэффициент пропорциональности меньше. В диапазоне твердостей от М2 до СТ3 количество связки увеличивается от 7,9 до 15,3 %, т. е. для изменения твердости АИ на одну степень необходимо уменьшать или увеличивать объем связки в среднем на 1 %. Экспериментальная зависимость  $V_c$  от твердости для АИ8 различной структуры оказалась ниже теоретической. Изгиб кривых в области  $N = 6$  (СМ2) связан с изменением условий и шкалы измерения согласно ГОСТ 18118—79.

При одинаковой твердости содержание связки зависит от зернистости шлифовального материала (рис. 3). Например, с переходом зернистости от 10 к 40 для получения инструмента одинаковой твер-

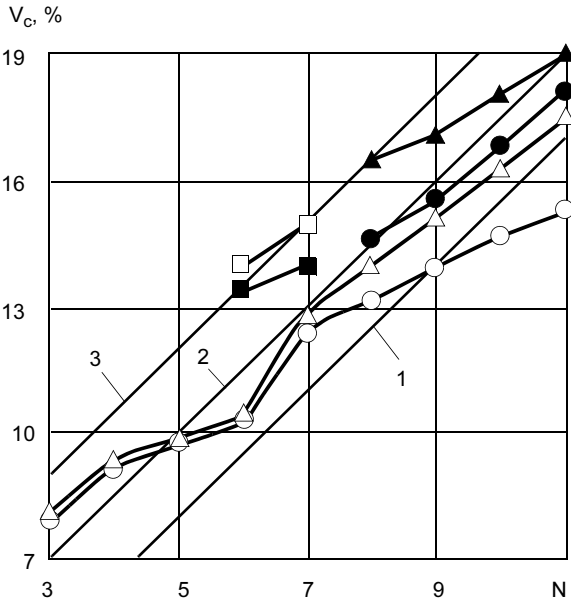


Рис. 2. Зависимость относительного объема связки  $V_c$  от номера твердости  $N$  инструмента из карбида кремния зеленого (○, ■, □ — зернистость 8—12, 20—25, 32—40 соответственно, структура 7; △ — зернистость 6—8, структура 8; ●, ▲ — зернистость 20—25, 32—40 соответственно, структура 6)

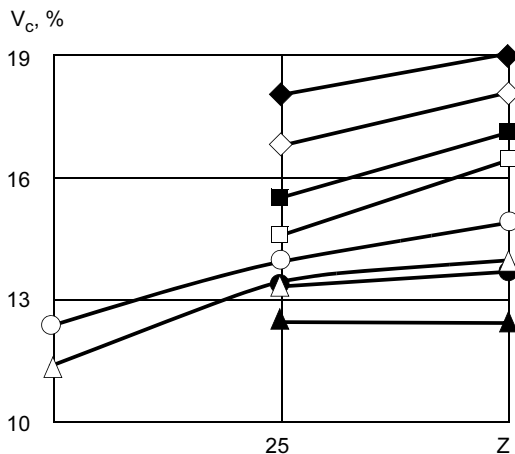


Рис. 3. Зависимость относительного объема связки  $V_c$  от зернистости  $Z$  (▲, ●, △, ○ — структура 7, твердость соответственно М3, СМ1, СМ2, С1; □, ■, ◇, ◆ — структура 6, твердость соответственно С2, СТ1, СТ2, СТ3)

дости  $CM_2 - C_1 V_c$  надо увеличить на 2,6—2,7 %, что по формуле (5) равносильно переходу к более высокой структуре. Наибольший рост  $V_c$  наблюдается в диапазоне зернистости 10—25 и составляет 65—80 % в зависимости от твердости АИ.

Результаты анализа свидетельствуют о том, что зависимость (5) для АИ из карбида кремния недостаточно характеризует связь между содержанием связки и твердостью инструмента. При отработке рецептуры необходимо учесть влияние зернистости, возможное влияние порообразователя и его количества.

При разработке рецептуры нового высокопористого инструмента можно воспользоваться методом рационального планирования эксперимента, в основе которого лежит так называемый "черный ящик" — исследуемый объект, в отношении к которому данные о процессах, в нем протекающих, ограничены. Зависимость между выходными (откликом) и входными параметрами (факторами), определяется функцией отклика и называется математической моделью, под которой понимается приближенное описание неизвестного закона в заданной области факторного пространства. Естественно, что для приближенного описания объекта можно предложить несколько различных моделей. Поэтому к качественным характеристикам модели, как и к общему понятию качества, правомерно использование таких определений, как хорошая или плохая. Оценка качества модели осуществляется по статистическим критериям.

Разработку рецептуры высокопористого АИ осуществляли методом полного факторного эксперимента типа  $2^k$ . За исходные факторы выбрали зернистость карбида кремния зеленого  $Z$  по ГОСТ 3647—80, содержание связки  $D_M$  и порообразователя  $D_n$  в массовых долях (м. д.). На основании анализа имеющихся сведений о рецептуре высокопорис-

тых АИ и предварительных исследований определили интервалы варьирования факторов:  $Z$  — от 10 до 16;  $D_n$  — от 6 до 10 м. д.;  $D_M$  — от 22 до 27 м. д. Кроме перечисленных компонентов в состав рецептуры входили декстрин, лигносульфонат и вода, содержание которых выбирали в соответствии со сложившейся практикой.

Твердость определяли согласно ГОСТ 18118—79 по глубине лунки  $h$  пескоструйным методом на приборе модели 910 с двух сторон плашки. Прочность на разрыв типовых образцов восьмерок определяли на машине УММ-5. Общее количество измерений в каждой точке плана при определении твердости составило 10 (пять плашек), а прочности — 6 (шесть образцов — восьмерок). Средние значения и дисперсии параметров в каждой точке плана приведены в табл. 1 (опыты 1—8). Там же представлены результаты опытов 9—14 для оценки достоверности полученных математических моделей.

При одинаковом числе параллельных опытов воспроизводимость процесса проверяли по критерию Кохрена:

$$G = S_{u_{max}}^2 / \sum_{u=1}^n S_u^2 \leq G(0,005; f_n; f_u), \quad (6)$$

где  $S_u^2$  — дисперсия, характеризующая рассеяние результатов опытов на  $u$ -м сочетании уровней факторов;  $S_{u_{max}}^2$  — наибольшая из дисперсий в строчках плана;  $G(0,05; f_n; f_u)$  — табличное значение критерия Кохрена при 5 %-ном уровне значимости;  $f_n$  — число независимых оценок дисперсии, равное  $n$ ;  $f_u$  — число степеней свободы каждой оценки, равное  $m - 1$  ( $m$  — число параллельных опытов).

Таблица 1

Номер опыта	Фактор			Параметр									
	$Z$	$D_n$ , м. д.	$D_c$ , м. д.	$\bar{h}$ , мм	$S^2(h)$ , мм <sup>2</sup>	$\pm\Delta h$ , мм	$h_p$ , мм	$S^2(h_p)$ , мм <sup>2</sup>	$\bar{\sigma}$ , МПа	$S^2(\sigma_u)$ , МПа <sup>2</sup>	$\pm\Delta\sigma_u$ , МПа	$\sigma_p$ , МПа	$S^2(\sigma_p)$ , МПа <sup>2</sup>
1	10	6	22	6,7	0,01	0,1	6,5	0,04	28,4	2,77	1,7	28,5	0,01
2	16	6	22	7,5	0,03	0,1	7,4	0,01	23,9	1,23	1,2	25,3	1,96
3	10	10	22	6,2	0,08	0,2	6,4	0,04	29,1	3,25	1,9	28,5	0,34
4	16	10	22	6,5	0,05	0,2	6,5	0,01	26,2	2,33	1,6	25,3	0,81
5	10	6	27	5,3	0	0,1	5,4	0,01	30,4	4,92	2,3	32,1	2,89
6	16	6	27	5,3	0,10	0,2	5,5	0,04	27,2	3,25	1,9	28,9	2,82
7	10	10	27	4,6	0,10	0,1	4,5	0,01	33,3	4,33	2,2	32,1	1,44
8	16	10	27	5,6	0,02	0,1	5,4	0,04	31,0	7,69	2,9	28,9	4,49
9	10	10	21,5	6,9	0,08	0,2	6,6	0,09	27,6	4,62	2,3	28,2	9,38
10	10	8	23	6,5	0,10	0,2	6,2	0,09	27,2	2,96	1,8	29,2	9,22
11	10	8	24	5,5	0	0,1	5,9	0,16	28,9	4,62	2,3	30,0	8,69
12	16	8	22	7,3	0,06	0,2	7,0	0,09	23,5	2,26	1,6	25,3	2,25
13	16	6	26	5,7	0,02	0,1	5,9	0,04	28,0	6,65	2,7	28,2	13,42
14	16	8	27	5,2	0,08	0,2	5,5	0,09	31,3	11,82	3,6	28,9	11,70

Получены следующие значения критериев воспроизводимости:

$$G_h = 0,2564 \leq G_h(0,05; 8; 9) = 0,2926;$$

$$G_\sigma = 0,2584 \leq G_\sigma(0,05; 8; 5) = 0,3595.$$

В соответствии с условием (6) принимаем, что дисперсии опытов отличаются незначимо. Это утверждение позволяет найти уточненные дисперсии воспроизводимости:  $S_h^2 = 0,05 \text{ мм}^2$  и  $S_\sigma^2 = 3,72 \text{ МПа}^2$ .

Аналитическое выражение функции отклика в кодированном значении факторов для плана  $2^3$  имеет вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{23}x_2x_3 + b_{13}x_1x_3 + b_{123}x_1x_2x_3, \quad (7)$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{23}, b_{13}, b_{123}$  — коэффициенты регрессии, значения которых для параметров твердости и прочности приведены в табл. 2.

Значимость коэффициентов регрессии оценивали по критерию Стьюдента. Коэффициент считается значимым, если выполняется неравенство

$$|b_j| \geq \Delta b_j = t(\alpha; f_y) \frac{S_y}{\sqrt{n}}, \quad (8)$$

где  $t(\alpha; f_y)$  — критерий Стьюдента с уровнем значимости  $\alpha$  и степенями свободы дисперсии воспроизводимости  $f_y = n(m - 1)$ .

Коэффициенты регрессии рассчитывали по значениям параметров в восьми точках плана, т. е.  $n = 8$ . Для глубины лунки  $f_h = 72$   $t(0,05; 72) = 2,00$  и  $\Delta b = 0,158$ . В соответствии с условием (8) значимыми следует считать коэффициенты  $b_0, b_1, b_2, b_3$  и  $b_{123}$ . Для прочности  $f_\sigma = 40$   $t(0,05; 40) = 2,02$  и  $|\Delta b| = 1,38$ . Таким образом, в уравнении регрессии прочности значимыми следует считать коэффициенты  $b_0, b_1$  и  $b_3$ . Подставляя значения коэффициентов в формулу (7), получим следующие корреляционные зависимости в кодированном значении факторов:

$$h_m = 5,96 + 0,26x_1 - 0,25x_2 - 0,75x_3 + 0,19x_1x_2x_3; \quad (9)$$

$$\sigma_m = 28,7 - 1,61x_1 + 1,79x_3, \quad (10)$$

где  $x_1-x_3$  — кодированные значения факторов соответственно  $Z, D_n$  и  $D_c$ . Перевод кодированных значений факторов  $x_i$  в натуральные  $X_i$  осуществляют по зависимости  $x_i = 2(X_i - X_{i0})/\Delta X_i$  ( $X_{i0}$  — нату-

ральное значение середины интервала варьирования соответствующего фактора;  $\Delta X_i$  — интервал варьирования фактора).

Незначимый коэффициент при факторе означает, что данный фактор не влияет (или влияет незначительно) на параметр оптимизации. Однако на коэффициент регрессии влияет не только данный фактор, но также выбранный интервал варьирования. При очень узких пределах изменения фактора в эксперименте его вклад в изменение параметра оптимизации может быть действительно очень малым. Однако только поэтому нельзя еще говорить о том, что фактор является незначимым.

Проверка адекватности линейной модели выполнена с помощью критерия Фишера для всех значений, приведенных в табл. 1. Дисперсии в данном случае также следует считать однородными, поскольку

$$G_h = 0,137 \leq G_h(0,05; 14; 9) = 0,186,$$

$$G_\sigma = 0,189 \leq G_\sigma(0,05; 14; 5) = 0,234.$$

Уточненные дисперсии по 14 значениям  $S_h^2 = 0,052 \text{ мм}^2$ ,  $S_\sigma^2 = 4,48 \text{ МПа}^2$ , число степеней свободы уточненных дисперсий  $f_h = 126$ ,  $f_\sigma = 70$ .

Адекватность моделей обоснована, если выполняется неравенство

$$F = S_a^2/S_y^2 \leq F(0,05; f_a; f_y), \quad (11)$$

где  $S_a^2$  — дисперсия неадекватности, равная

$$\sum_{u=1}^n (y_u - y_p)^2/f_a; F(0,5; f_a; f_y) — критерий Фишера$$

при 5 %-ном уровне значимости;  $f_a$  — число степеней свободы дисперсии адекватности, равное  $(n - k - 1)$ ;  $k$  — число значимых коэффициентов в уравнении регрессии.

Для моделей (9), (10) и данных табл. 1:  $f_{ah} = 10$ ,  $f_{a\sigma} = 12$ . Дисперсия неадекватности модели твердости

$$S_{ah}^2 = 0,075 \text{ мм}^2, \text{ модели прочности } S_{a\sigma}^2 = 5,79 \text{ МПа}^2.$$

Расчетные значения критерия Фишера для твердости и прочности равны  $F_h = 1,44$  и  $F_\sigma = 1,29$ , табличные значения критерия  $F_h(0,05; 10; 126) = 2,57$  и  $F_\sigma(0,05; 12; 70) = 2,37$ . Таким образом, модели (9) и (10) следует считать адекватными в силу выполнения условия (11).

Наибольшее влияние на твердость АИ в рассмотренном интервале варьирования факторов оказывает содержание связки, с увеличением которой глубина лунки уменьшается, соответственно твердость инструмента возрастает. По формуле (9) при среднем значении зернистости карбида кремния и количестве порообразователя изменение содер-

Таблица 2

Коэффициент	Для твердости	Для прочности
$b_0$	5,958	28,79
$b_1$	0,263	-1,61
$b_2$	-0,253	1,21
$b_3$	-0,750	1,79
$b_{12}$	0,067	0,31
$b_{13}$	-0,005	0,24
$b_{23}$	0,130	0,46
$b_{123}$	0,190	-0,09



жания связки от 22 до 27 м. д. соответствует изменению глубины лунки на 1,5 мм или приблизительно на полторы степени твердости. В наибольшей степени связка влияет на твердость АИ при сочетании минимальных и максимальных значений двух других факторов, в наименьшей — при сочетании нижнего и верхнего факторов или наоборот.

Согласно формуле (2), при увеличении объема связки на 1,5 % твердость АИ должна увеличиваться на одну степень. Используя модель (9), можно определить, на сколько экспериментальные данные для высокопористых кругов из карбида кремния с порообразователем из манной крупы близки к зависимости (6) по коэффициенту пропорциональности объема связки. Для этого преобразуем массовые доли связки в объемные проценты по формулам, приведенным в работе [6]. Коэффициент потери массы связки при обжиге примем равным 0,95. Расчеты показали, что с увеличением содержания связки от 22 до 27 м. д. объем связки возрастает от 10,6 до 13,0 % или на 2,4 %. Глубина лунки при средних значениях остальных факторов уменьшается в этом интервале содержания связки на 1,5 мм. С изменением объема связки на 1,5 % изменение глубины лунки составит 0,94 мм, что соответствует одной степени твердости и согласуется с зависимостью (6).

Второе место по значимости влияния на твердость разделяют содержание порообразователя и зернистость шлифовального материала.

Влияние порообразователя аналогично влиянию связки — с увеличением количества вводимого порообразователя твердость АИ увеличивается. В рассмотренном диапазоне варьирования порообразователя при среднем значении остальных факторов глубина лунки изменяется на 0,5 мм (чуть больше половины диапазона степени твердости). В наибольшей степени влияние содержания порообразователя наблюдается при сочетании противоположных граничных значений факторов зернистости шлифовального материала и количества связки.

Содержание порообразователя при постоянной структуре инструмента не влияет на суммарный объем пор, который в данном случае зависит от содержания связки. С увеличением количества порообразователя происходит упорядочение размера пор, что способствует более равномерному распределению связки и положительно влияет на твердость инструмента.

Изменение зернистости шлифовального материала от 10 до 16 при среднем значении остальных факторов приводит к увеличению глубины лунки также на 0,5 мм и согласуется с данными других исследователей [7]. В наибольшей степени влияние

зернистости шлифовального материала на твердость проявляется при сочетании минимальных или максимальных значений остальных факторов. При сочетании противоположных граничных значений факторов содержания порообразователя и связки влияние зернистости шлифовального материала уменьшается.

Содержание связки в составе абразивной смеси во многом определяет и прочность на разрыв абразивного черепка. С увеличением твердости на одну степень за счет увеличения количества связки прочность на разрыв, согласно формуле (10), возрастает почти на 3 МПа. Например, для шлифовального материала зернистостью 10 при увеличении содержания связки от 22 до 27 м. д. прочность на разрыв изменяется от 28—29 до 30—33 МПа. Прочность инструмента возрастает также с уменьшением зернистости шлифовального материала, в частности переходом зернистости от 16 к 10 прочность черепка увеличивается на 2—4 МПа. Влияние содержания порообразователя на прочность инструмента практически отсутствует.

С использованием полученных математических моделей в ОАО "Волжский абразивный завод" разработана рецептура высокопористых высокоструктурных шлифовальных кругов типоразмера I 500 × (20—63) × 203 из карбида кремния зеленого твердостью ВМ1—М2. Отжиг инструмента осуществляли в туннельных печах. Круги испытаны на операциях глубинного шлифования особо ответственных деталей из титановых сплавов. Установлено, что применение высокопористых высокоструктурных кругов из карбида кремния производства ОАО "Волжский абразивный завод" обеспечивает необходимое качество обработанной поверхности изделий из титановых сплавов и удовлетворяет требованиям производства по производительности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саютин Г. И., Носенко В. А. Шлифование деталей из сплавов на основе титана. М.: Машиностроение, 1987. 80 с.
2. Старков В. К. Шлифование высокопористыми кругами. М.: Машиностроение, 2007. 688 с.
3. Оптимизация технологии глубинного шлифования / С. С. Силин, Б. Н. Леонов, В. А. Хрульков и др. М.: Машиностроение, 1989. 119 с.
4. Абразивные материалы и инструменты: Каталог-справочник. М.: НИИМаш, 1986. 358 с.
5. Ипполитов Г. М. Абразивные инструменты и их эксплуатация. М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1959. 255 с.
6. Носенко В. А., Орлова Т. Н., Шегай А. А. К вопросу о структуре абразивного инструмента // Справочник. Инженерный журнал. 2006. № 3. С. 38—41.
7. Пташников В. С., Федотова С. М., Шпотаковский Д. Ф. Шлифование быстрорежущих сталей и титановых сплавов инструментом из карбида кремния на новых керамических связках // Абразивы. 1973. № 9. С. 23—28.

В. П. ФРОЛОВ, д-р техн. наук

## Принципиальные схемы процессов изготовления решетчатых крыльев

Первые образцы решетчатых крыльев в 50-е годы XX столетия изготавливали такими известными в авиационной промышленности методами, как клепка, сварка, кокильное литье, хотя они и не обеспечивали высоких технико-экономических показателей при тех новых требованиях, которые были обусловлены появлением решетчатых крыльев. Известны примеры, когда стальные решетчатые крылья выфрезеровывали из монолитных поковок ценой огромных трудозатрат и потерь металла, до 90 % отходящего в стружку.

С появлением в 50-х годах сотовой (ферменной) схемы решетчатых крыльев, отличающейся большей сложностью, чем рамная конструкция, возникла задача исследования и разработки рационального метода изготовления и построенной на его основе типовой технологии, которые бы позволили осуществлять процесс производства указанных изделий с наибольшим технико-экономическим эффектом.

Решетчатые крылья, как и любые другие конструкции, могут изготавливаться различными методами, т. е. путем использования принципиально разных технологических процессов. Наряду с методами холодной обработки, такими как клепка, склеивание, резание — механическое и электроэрозионное, могут быть использованы и методы горячей обработки — сварка, пайка, литье.

Методика разработки типовой технологии изготовления решетчатых крыльев основывалась на принципах создания изделий, рассмотренных в работах [1, 2 и др.], и результатах анализа возможностей различных методов изготовления решетчатых

конструкций. В основных чертах эта методика состояла в следующем.

В соответствии с рациональной последовательностью этапов [2] логическим или расчетным методом на ЭВМ производился выбор конструкционного материала и припоя, удовлетворявших техническим условиям и специальным требованиям, предъявляемым к изделию. Далее планировалось параллельное проведение теоретических и экспериментальных исследований.

Первые преследовали цель накопления упорядоченной информации в соответствии с расчетами элементов математической модели процесса пайки и формирования основных операций технологии изготовления решетчатых крыльев. Вторые предназначались для проверки полученных данных и накопления новой информации, а также для уточнения логических построений. Компоновка типовой технологии производилась, таким образом, методом последовательных приближений: от теоретических предпосылок и логических схем к практике, от накопленного опыта к усовершенствованной теории технологического проектирования и т. д.

Экспериментальные работы проводили по традиционной схеме: лабораторные образцы, затем макетные технологические узлы и модели с последующим переходом к натурным крыльям.

Для имитации элементов конструкции решетчатых крыльев при исследованиях и испытаниях применяли как стандартные, так и специальные образцы. Некоторые из последних приведены на рис. 1.

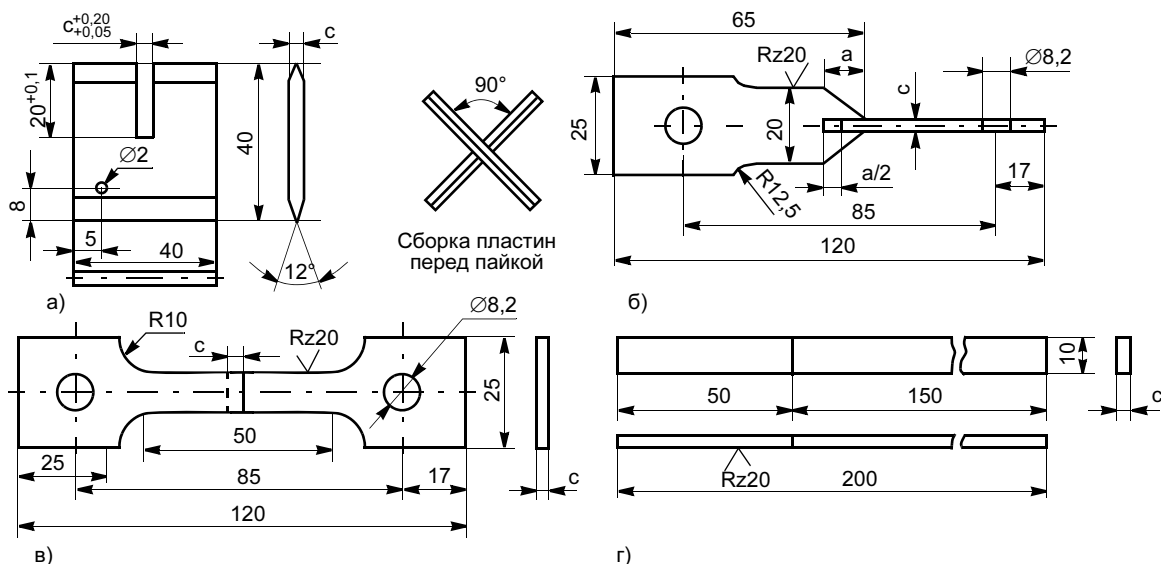


Рис. 1. Паяные образцы для испытания: а — на эрозию при пайке; б — на срез (втавр); в — на срез (внахлестку); г — на выносливость (встык)

Сборку пластин в перекрестье (см. рис. 1, а) выполняли в соответствии с ГОСТ 19249—73 "Соединения паяные. Основные типы и параметры", разработанным В. П. Фроловым (ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского) при участии С. В. Лашко (НИИНМАШ) под руководством д-ра техн. наук С. М. Белоцерковского.

Для образца, спаянного втавр (см. рис. 1, б), напряжение среза

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{P}{10^6 c(ax + cy)},$$

где  $P$  — разрушающее усилие, Н;  $c$  — толщина материала, мм;  $a$  — длина нахлестки (перекрытия), мм;  $x, y$  — коэффициенты, зависящие от радиуса галтели  $R$ .

При  $R = 2c x = 5,28$  и  $y = 3,08$ .

Макетные узлы для отработки различных операций типовой технологии приведены на рис. 2.

При отработке технологии изготовления паяных образцов, макетных узлов и моделей производили испытания на смачиваемость, растекаемость и эрозию, механические и коррозионные испытания, огневые испытания в сверхзвуковой струе газов жидкостно-реактивного двигателя при температурах 2200—3000 К в струе газов турбореактивного двигателя при температурах 800—1150 К, а также применяли различные методы физико-химического исследования: измерение твердости и микротвердости, металлографический анализ, микрометрические измерения геометрии решеток, ультразвуковой контроль, измерение контактной разности потенциалов и микрорентгеноспектральный анализ.

Испытания паяных моделей и натуральных крыльев производили также на электродинамическом вибраторе и статических разрывных машинах.

С этой целью изготовлены более 500 паяных моделей различных типов и размеров из сплавов на основе алюминия (АМг6, Д16АТ, АЦМУ), железа (30ХГСА, 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т, 08Х25Н16Г7АР (ЭИ835), 10Х16Н4БА (ЭП56, ЭП258), титана (ОТ4, ВТ6), хрома (ВХ1, ВХ2, ВХ3, ВХ4), ниобия (ВН2), молибдена (ВМ1), тантала и вольфрама (ВВ1).

Выбор припоев и режимов пайки производили на основе результатов математического моделирования. Для пайки указанных материалов применяли стандартные припои ПСр 40, ПСр 37,5 и ПОС 61, а также опытные сплавы (табл. 1—4), нашедшие промышленное использование. Наряду с этим применяли чистые металлы — медь, никель, палладий и титан. Припои № 3 и 6МА (см. табл. 4) специально разработаны для пайки решетчатых крыльев. В табл. 1—4  $t_3$  — температура начала плавления припоя,  $\Delta t_3$  — разница температур в начале и конце плавления припоя.

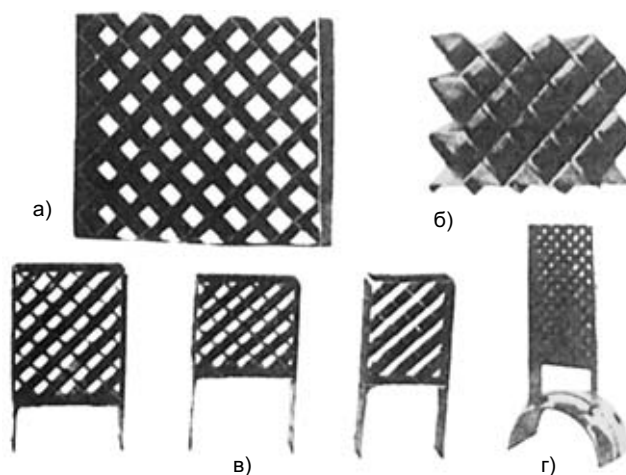


Рис. 2. Макетные узлы для отработки технологических операций: а — нанесения припоев гальваническим методом; б — просечки тонкостенных планов при  $s \geq 0,1$  мм; в — сборки и пайки; г — стыковки решетки с корпусом посредством пайки

Таблица 1

Припой <sup>1</sup>	$t_3, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_3, ^\circ\text{C}$	Содержание, %				
			Al	Cu	Co	Si	Zn
№ 48	375	14	7	3,9	0,5	—	88,6
№ 36 А	490	15	56,5	20	—	3,5	20
№ 34 А	525	0	$66 \pm 1,5$	$28 \pm 1$	—	$6 \pm 0,5$	—

<sup>1</sup> Для пайки алюминиевых сплавов.

Таблица 2

Припой <sup>1</sup>	$t_3, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_3, ^\circ\text{C}$	Содержание, %			
			Ag	Cu	Mn	Pd
83-17	780	40	83	17	—	—
85-15	960	10	85	—	15	—
75-20	1020	100	75	—	5	20

<sup>1</sup> Для пайки титановых сплавов.

Таблица 3

Припой <sup>1</sup>	$t_3, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_3, ^\circ\text{C}$	Содержание, %					
			Nb	Ti	V	Mo	Zr	Hf
65-20-15	1550	40	—	20	15	—	—	65
75-25	1740	10	25	—	—	—	75	—
77-20-3	1750	30	20	—	—	3	77	—
74-20-6	1750	100	—	20	—	6	—	74

<sup>1</sup> Для пайки тугоплавких сплавов.

При отработке технологии изготовления решетчатых крыльев пайку образцов, макетных узлов, моделей и натуральных изделий производили преимущественно в печах (в контейнерах) в аргоне первого состава с активными добавками типа трехфтористого бора, в водороде с точкой росы  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  или в азоте с точкой росы  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а также в вакууме до  $133 \cdot 10^{-3}$ — $133 \cdot 10^{-5}$  Па. В отдельных случаях применяли пайку погружением в расплавленный припой, флюсовую пайку горелками, паяльником и бесфлюсовую ультразвуковую пайку.

Режимы и особенности пайки приведены в работах [2—4], некоторые типы моделей, выполненных пайкой, — на рис. 3 и 4.

Наряду с собственно технологией пайки обрабатывали подготовительно-заключительные операции изготовления решетчатых крыльев, а также операции, связанные с получением элементов конструкции из листовых заготовок и сборкой крыльев перед пайкой.

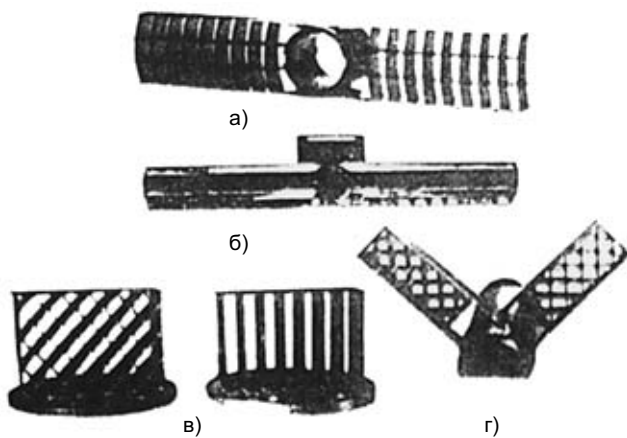
На рис. 5 приведена типовая технология изготовления паяных решетчатых крыльев.

Таблица 4

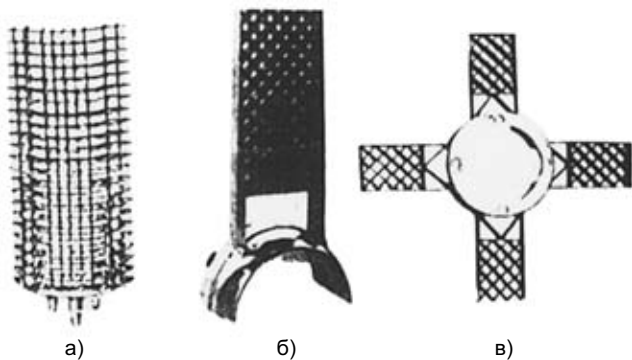
Припой <sup>1</sup>	$t_3, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta t_3, \text{ }^{\circ}\text{C}$	Содержание, %						
			Ni	Mn	Cr	Si	Fe	B	Cu
61-20-19	990	50	19	20	—	—	—	—	61
Г70НХ	1030	60	20—23	Остальное	4—5	0,8	2,0	—	—
ВПр 1	1080	40	27—30	—	—	1,5—2,0	1,5	0,1—0,3	Остальное
ПЖК-35	1130	40	Остальное	34—7	17—20	0,8	1,5	0,1	—
6МА	1130	30	"	—	13—16	6—8	—	0,3—0,5	—
№ 3	1200	40	14	18—28	18—28	1,0	18—28	1,0	—

<sup>1</sup> Для пайки жаропрочных сталей и никелевых сплавов.

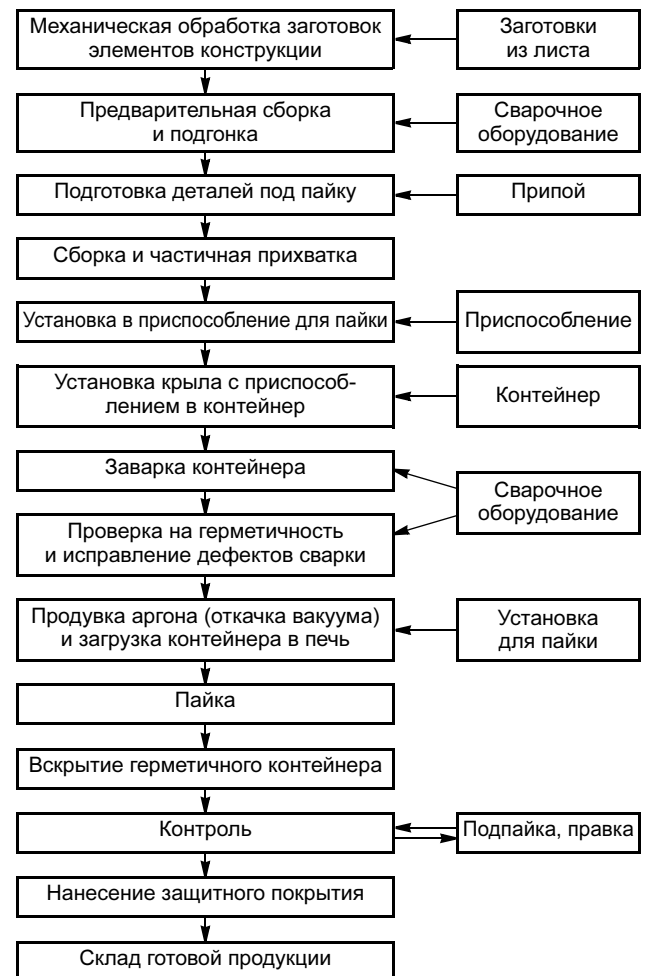
Примечание. В припое Г70НХ — 0,3 С, припое ПЖК-35 — 8—10 Со, припое 6МА — 7—23 Мо.



**Рис. 3. Паяные модели для аэродинамических испытаний :** а, б — рамная из стали 30ХГСА; в — сотовая и рамная из стали 12Х18Н10Т; г — сотовая из стали 08Х25Н16Г7АР (ЭИ835)



**Рис. 4. Паяные модели для аэродинамических испытаний:** а — рамная сфероидальная (складывающееся крыло) из стали 30ХГСА; б — сотовая из стали 12Х18Н10Т; в — сотовая из стали 10Х16Н4БА



**Рис. 5. Принципиальная схема типового технологического процесса изготовления цельнопаяных решетчатых крыльев**

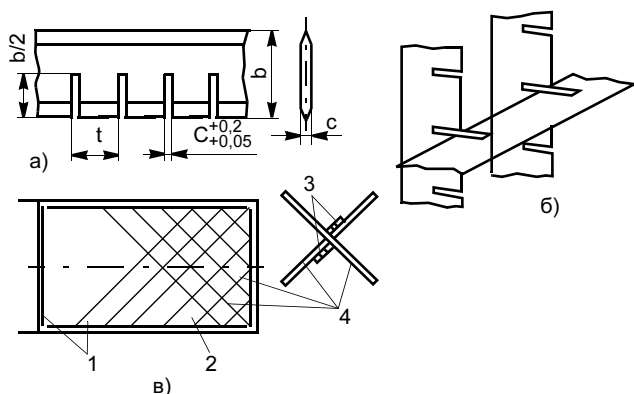


Рис. 6. Предварительная сборка решетки под пайку: а — планы после профилирования и просечки пазов; б — схема сборки планов; в — укладка фольги припоя 1 на боковину 2 и полосок припоя 3 на планы 4

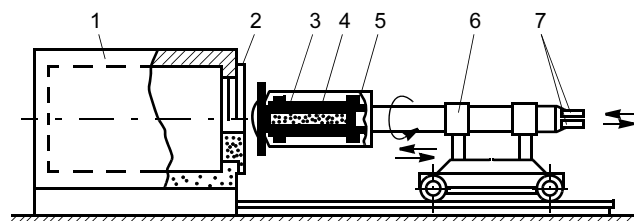


Рис. 7. Комплекс устройств для пайки решетчатых крыльев: 1 — высокотемпературная печь; 2 — разъемная дверца; 3 — фиксирующее приспособление; 4 — паяемое изделие; 5 — контейнер; 6 — тележка-манипулятор; 7 — трубопроводы два циркуляции газовой среды

**Заготовительные работы.** Раскрой листов осуществляли с помощью гильотинных ножниц в соответствии с предварительной разметкой. Листы из вольфрама, молибденового и хромовых сплавов разрезали электроискровым способом или тонкими абразивными дисками.

**Механическая обработка.** Для получения боковин переменного сечения по длине применяли фрезерование. Заострение планов и боковин производили шлифованием или химическим фрезерованием. Изготовление пазов на планах осуществляли как фрезерованием, так и просечкой в штампах. После зачистки заусенцев планы, боковины и поперечные стержни (нервюры) поступали на сборку.

**Слесарно-сборочные работы.** Предварительную сборку производили по схеме, указанной на рис. 6. На собранном крыле выборочно проверяли зазоры в местах пересечения планов. Величина зазоров должна составлять от 0,05 до 0,2 мм. Это требование вытекает из условия обеспечения полного пропаявания всех соединений. Далее производили подготовку и прихватку внутреннего набора к окантовывающей раме с помощью контактной электро-сварки.

**Термические работы.** При подготовке к пайке выполняли операции, связанные с получением химически чистой поверхности соединяемых деталей, нанесением фольги или полосок припоя, закрепляемых с помощью конденсаторной сварочной машины ТКМ-4, а также установку крыла в приспособление, вместе с которым крыло загружается в контейнер. После герметизации контейнера рабочее пространство продували соответствующим газом (или откачивали вакуум) и изделие поступало в печь.

Пайка является процессом окончательной сборки крыла, поэтому соблюдение назначенного режима является главным условием получения высококачественного изделия. Комплекс основных устройств, необходимых для высокотемпературной пайки, схематически приведен на рис. 7.

**Заключительные операции.** В задачи контроля должно входить определение не только качества пайки, но также геометрических размеров и формы изделия. Испытание крыла на статическую прочность осуществляли с помощью специальных устройств. К числу заключительных операций относится также нанесение на крыло защитного покрытия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационная поддержка САПР технологических процессов производства и ремонта ЛА и АД с применением пайки и сварки современных конструкционных сплавов / В. П. Фролов, В. М. Засимов, В. Н. Семенов, А. В. Жариков. М.: Машиностроение, 1996.
2. Справочник по пайке / Под ред. С. Н. Лоцманова, И. Е. Петрунина, В. П. Фролова. М.: Машиностроение, 1975.
3. Справочник по пайке / Под ред. И. Е. Петрунина. 3 изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2003. С. 340—376.
4. Решетчатые крылья в ракетостроении, космонавтике, авиации / Под ред. С. М. Белоцерковского, В. П. Фролова, В. А. Подобедова, В. П. Плаунова. М.: Новый Центр, 2007. 408 с.

И. А. КАЛАШНИКОВА, инж., А. В. КАЛАШНИКОВ, канд. техн. наук  
Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка

## Технология получения порошка на основе базальта

Из современных методов повышения стойкости против изнашивания наиболее применяемым является нанесение упрочненного слоя на поверхность детали. Исследования в этой области выполнены И. И. Тылкиным, В. С. Поповым, Е. В. Антошиным, Ю. С. Борисовым, А. А. Борисовой, В. И. Юшковым, С. Л. Фисиманом и другими учеными.

Значительная часть технологических задач по повышению стойкости против изнашивания решается путем использования газотермических методов нанесения покрытий. Благодаря этому методу можно напылять различные материалы в несколько слоев, получая при этом покрытие со специальными свойствами [1—4]. Газотермическое напыление применяют для нанесения тугоплавких и высокотвердых покрытий из оксидов, металлов, интерметаллидов, силицидов, карбидов, боридов и др.

В зависимости от эксплуатационных свойств и практического назначения покрытия делят на следующие основные группы [5—8]: износостойкие, термостойкие, стойкие против атмосферной коррозии и воздействия редких сред, со специальными электрофизическими и оптическими свойствами, служащие для образования саморегулирующих зазоров, а также для восстановления размеров изношенных деталей.

В некоторых случаях покрытие одновременно может удовлетворять ряду требований.

В данной работе разработано покрытие для защиты от абразивного изнашивания.

При работе пары трения в условиях интенсивного абразивного изнашивания рекомендуется использовать для нанесения покрытий вольфрамкобальтовые твердые сплавы [4]. При абразивном изнашивании в условиях невысоких температур (до 500 °С), когда абразивные частицы проникают в зазор между парами трения, наибольшее применение получили покрытия на основе никелевых самофлюсующихся сплавов как в чистом виде, так и с примесями порошков упрочняющих материалов (карбидов, боридов) [5].

Особое место в технологии газотермического нанесения покрытий занимают композитные материалы для упрочнения поверхности. Они состоят из пластичной — железной или никелевой матрицы, упрочненной боридами железа, титана, никеля или карбидами этих элементов.

Стоимость материалов довольно высока, поэтому в данной работе рассматривается применение естественных износостойких минералов в качестве основы для газотермических покрытий, в частности базальта.

Базальты относятся к наиболее распространенным горным породам магматического происхождения. Минеральный состав базальтов аналогичен материалу габбро. Они отличаются высокой вязкостью и достаточно большой механической прочностью и состоят преимущественно из пироксена и плагиоклаза [7].

Для получения порошков использовали базальтовые отливки следующего минерального состава: до 90 % моноклинного пироксена, до 15 % магнетита, 2 % хромита, до 15 % стекла и оливин в незначительном количестве.

Магнетит в процессе кристаллизации выделяется первым. Он присутствует в виде мелких кубических кристаллов, тонкой магнетитовой пыли или дендритных форм, которые иногда образуют сплошную сетку. При медленном охлаждении расплава они выделяются в интервале ликвидуса — до 620—650 °С [8].

Оливины являются нежелательной фазой. Они обычно кристаллизуются из расплавов, в состав которых входят железо и при повышенном содержании оксиды магния, особенно в зонах отливок, которые охлаждаются медленно. Плагиоклазы, состоящие из лабрадора или андезина, могут выделяться при медленном охлаждении базальтового расплава в виде бесцветных призматических кристаллов или сферолитовых агрегатов.

Главной минеральной фазой базальтового литья является моноклинный пироксен диопсид-геденбергитового ряда. Он выделяется при медленном охлаждении расплавов в интервале температур от 1200—1150 до 800 °С (наибольшее количество выделяется при 1150 °С). Преобладающие формы выделений — сферолиты. Различают радиально-лучистые, звездчатые, радиально-волоконистые и перистые сферолиты. Преобладают звездчатые сферолиты, которые имеют округлую или неправильную полигональную форму. В центре их располагаются кристаллы буровато-красного хромита или непрозрачного магнетита. Сферолиты соединяются между со-

бой тонкими оболочками стекла, тонкозернистыми агрегатами магнетита, хромита. Оптимальный размер сферолитов 60—90 мкм. Структура базальтового каменного литья практически полнокристаллическая, по форме кристаллических агрегатов преобладает сферолитовая, но при определенных условиях может образоваться дендритная, пальцеобразная, иногда иглообразная, а также венечно-сферолитовая или дендритно-сферолитовая. Текстура чаще всего однородная, массивная.

Различия в каменном литье из базальта для трех типов минералообразования иллюстрирует табл. 1 [8, 9].

Для получения порошка использовали базальтовые плиты объемной плотностью 2,9—3,1 г/см<sup>3</sup>, прочностью на сжатие 200 МПа, твердостью по Моосу 7—8, потери при трении на круге ЛКИ не выше 0,027 г/см<sup>2</sup> (Донецкий ОАО "Литейный завод "Магма").

Базальтовые плиты измельчали до порошкообразного состояния. При этом порошок с крупностью фракции 150—250 мкм использовали как чистый материал для напыления, а фракции крупностью 5—10 мкм перемешивали с порошком никеля и пластификатором.

Никель добавляли для образования вязущей матрицы (так как свойства газотермических покрытий на основе базальтов только изучаются).

Концентрацию никеля принимали в процентах от массы порошка в соответствии с планом эксперимента и требованиями технологии газотермического напыления.

Грануляцию (фракции 150—250 мкм) смеси никеля с базальтом проводили на основе рекомендации Института материаловедения НАН Украины, в каче-

стве пластификатора использовали 20 %-ный раствор картофельного крахмала [10].

Технология получения порошка отличается относительной простотой. Полученную смесь замешивали в бегунах и просушивали на воздухе до влажности 30—40 %. Просушенную на воздухе смесь протирали на виброситах с размерами ячеек 1,6, 1,0, 0,63 и 0,4 мм керамическими цилиндрами, которые свободно катались в смеси. После протирания порошок высушивали в сушильном шкафу в течение 8 ч при 70—80 °С, а затем отсеивали на контрольных ситах.

Важным фактором при получении порошка является процент выхода качественного порошка заданной фракции.

С целью достижения максимального эффекта получения качественного порошка проводили оптимизацию эксперимента методом планирования [11]. Для планирования эксперимента использовали двухфакторный центральный ортогональный план вида

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1^2 + a_4x_2^2 + a_5x_1x_2. \quad (1)$$

Число экспериментов при планировании составляет  $N = 2^2 + 2 \cdot 2 + 1 = 9$ , а с учетом повторяемости ( $\gamma = 3$ ) возрастает до 27. Значения факторов и уровни их варьирования приведены в табл. 2.

Результаты исследований соответственно плану экспериментов приведены в табл. 3.

После обработки результатов эксперимента на ПЭВМ получили модель процесса:

$$y = 50,36 + 4,7x_1 + 11,08x_2 - 1,43x_1^2. \quad (2)$$

Таблица 1

Тип минералообразования	Содержание пироксена, %	Состав пироксена (Ca, Mg, Fe, Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>6</sub>	CaFe <sub>3</sub> + 2Si <sub>6</sub>	CaTiAlSi <sub>6</sub>	NaAlSi <sub>6</sub>
1	49,3	76,1	—	18,9	6,0	—
2	81,4	48,4	30,2	—	3,6	17,8
3	90,7	43,3	27,1	10,3	3,3	16,0

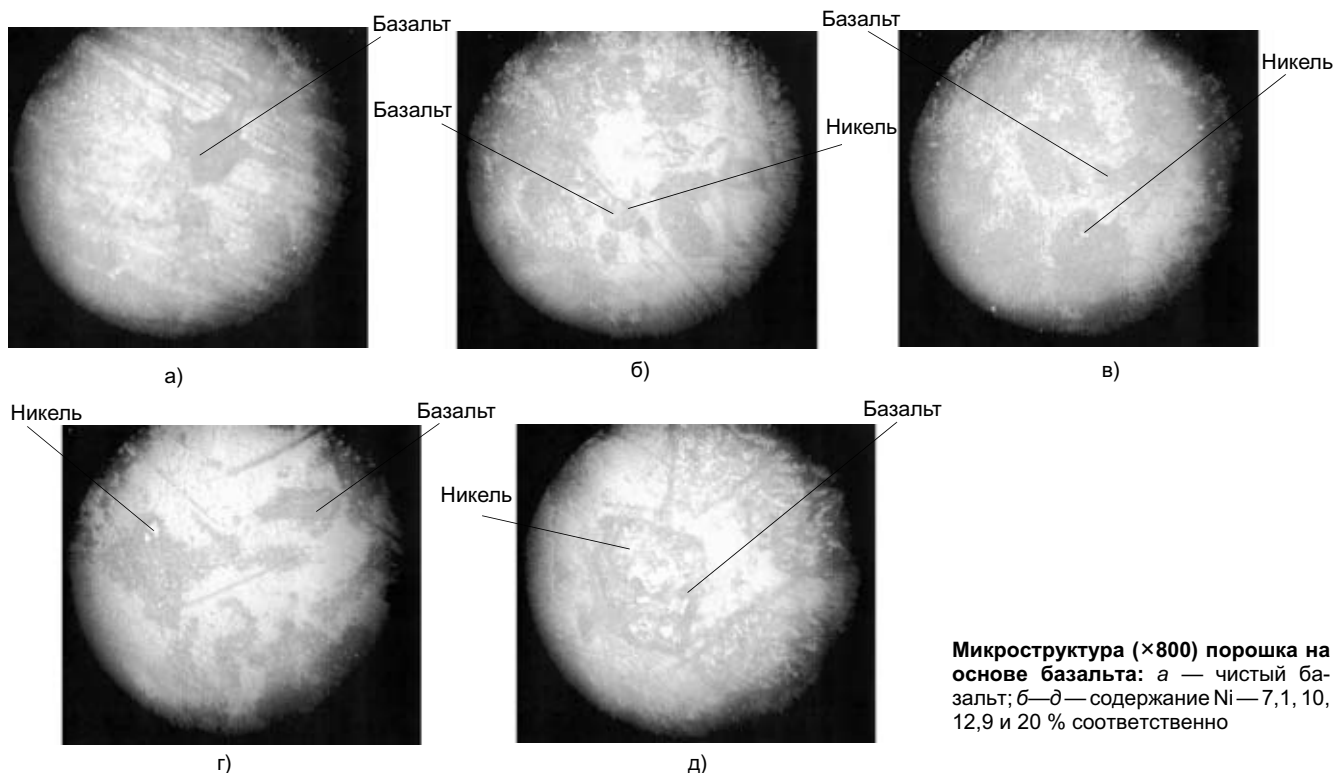
Таблица 2

Уровень варьирования	Код	Фактор	
		Содержание никеля x <sub>1</sub> , %	Содержание крахмала x <sub>2</sub> , %
Основной	0	10,0	20,0
Верхний	+1	20,0	30,0
Нижний	-1	0	10,0

Таблица 3

Номер эксперимента	x <sub>0</sub>	Матрица x-плана		Содержание выхода качественного порошка, %			Среднее значение выхода, %
		x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	У <sub>1</sub>	У <sub>2</sub>	У <sub>3</sub>	
1	+1	-1	-1	33,89	32,91	28,99	31,93
2	+1	+1	-1	43,20	43,35	42,33	42,96
3	+1	-1	+1	56,70	53,60	55,90	55,40
4	+1	+1	+1	43,65	44,82	43,82	44,10
5	+1	-1	0	61,50	65,50	64,40	63,80
6	+1	+1	0	52,12	53,63	52,95	52,90
7	+1	0	-1	39,62	40,25	37,82	39,23
8	+1	0	+1	62,98	59,26	61,96	61,40
9	+1	0	0	49,05	49,24	52,91	50,40





После перехода от кодированных значений факторов к реальным получили уравнение вида

$$F = -2,08 + 9,67C_2 - 0,36C_2^2. \quad (3)$$

Эта зависимость проанализирована на максимальную величину выхода качественного порошка.

Микроструктура порошка с различным содержанием никеля приведена на рисунке.

Выход качественного порошка (фракции 150—250 мкм) после пересева на стандартных ситах составляет 63,97 % массы полученного порошка при содержании крахмала 23 %.

Порошок имеет довольно длительный срок хранения. При контрольном пересеве после семилетнего срока хранения порошка карбида бора, полученного по подобной технологии, отходы составили меньше 1 % [12].

## ВЫВОДЫ

1. Для грануляции порошков, используемых при газотермическом напылении, целесообразно использовать в качестве пластификатора картофельный крахмал, так как в этом случае можно применять относительно простое оборудование.

2. Оптимальное содержание крахмала составляет 20—26 %.

3. Срок хранения такого порошка довольно продолжительный — более 8 лет.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Износостойкость* различных наплавочных сплавов, эксплуатируемых в условиях абразивного изнашивания в воде / Н. А. Гринберг, Э. Г. Куркумели, Л. Н. Калинин и др. // Сварочное производство. 1990. № 4. С. 19—21.
2. *Долговечность шарошечных долот* / Н. А. Жидовцев, В. Я. Кершенбаум, Э. С. Гинзбург и др. М.: Машиностроение, 1992. 22 с.
3. *Икрамов У. А.* Расчетные методы оценки абразивного износа. М.: Машиностроение, 1987. 287 с.
4. *Кудинов В. В., Иванов В. М.* Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. М.: Машиностроение, 1981. 192 с.
5. *Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник* / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов и др. Киев: Наукова думка, 1987. 544 с.
6. *Газотермическое напыление покрытий.* Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1990. 175 с.
7. *Миловский А. В.* Минералогия и петрография: Учебник. 5 изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1985. 432 с.
8. *Рашин Г. А.* Возможности управляемого минералообразования в петрургии // Проблемы каменного литья. Киев: Изд-во АН УССР, 1968. Вып. 2. С. 12—16.
9. *Затвердевание и кристаллизация каменного литья* / Б. Х. Хан, И. И. Быков, В. П. Кораблин, С. В. Ладохин. Киев: Наукова думка, 1969.
10. *Получение и свойства сфероидизированных порошков тугоплавких соединений для плазменного напыления* / В. С. Слепцов, И. М. Финкельштейн, Е. А. Король, В. Г. Миконенко и др. // Порошковая металлургия. 1975. № 3. С. 1—5.
11. *Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов* / Под ред. Э. К. Лецкого. М.: Мир, 1977. 167 с.
12. *Калашников А. В.* Карбид бора — износостойкое покрытие в растворонасосах // Новые технологии и системы обработки в машиностроении. Донецк: Донеччина, 1994. С. 54—55.

Е. Н. БОГДАНОВИЧ, инж.  
(Воронежский ГТУ),  
Ю. Н. ШАЛИМОВ, д-р техн. наук  
(ФГУП НКТБ "Феррит")

## Электрохимическая технология получения сплавов с компонентами различных потенциалов восстановления для антифрикционных покрытий

Применяемые на практике металлургические способы получения сплавов с ограниченно растворимыми компонентами требуют больших энергетических затрат и сложной технологической оснастки. Кроме того, степень дисперсности получаемых сплавов относительно невысока, а химический состав неоднороден. Это связано с малой растворимостью компонентов друг в друге, следствием которой является неадекватность образующихся металлических структур при кристаллизации. Поэтому гальванические способы получения таких сплавов являются одной из альтернатив традиционным методам. Предлагается использовать импульсный электролиз при получении многокомпонентных сплавов, образующих неоднородную механическую смесь. Основной причиной выбора такой технологии является универсальность способа с позиции выравнивания концентраций компонентов в процессе электрокристаллизации.

В условиях импульсного электролиза соотношения между восстанавливающимися компонентами определяются параметрами импульсного тока и, в частности, главными определяющими факторами являются максимальное значение тока, частота следования импульсов и их скважность. Выбор этих величин зависит от концентрации компонентов в растворе электролита, его температуры и условий теплообмена в зоне реакции. Максимальное значение мгновенной плотности тока (ток в импульсе) не должно превышать среднего значения катодной плотности тока в условиях постоянно токового режима, т. е. необходимо выполнение условия

$$i_{\text{имп}} \leq i_{\text{пост}} Q, \quad (1)$$

где  $i_{\text{имп}}$  — ток в импульсе;  $i_{\text{пост}}$  — плотность постоянного тока;  $Q$  — скважность, равная  $(\tau_{\text{имп}} + \tau_{\text{п}})/\tau_{\text{имп}}$  ( $\tau_{\text{имп}}$ ,  $\tau_{\text{п}}$  — длительность импульса и паузы).

Согласно формуле (1), увеличение скважности позволяет повысить ток в импульсе. Это в свою очередь приведет к возрастанию числа центров кристаллизации и, соответственно, должно повысить степень дисперсности покрытия. Общее значение катодного тока

$$i_k = i_0 \left( \frac{C_k}{C_0} e^{-\frac{\alpha z F}{RT}(\varphi - \varphi_p)} - \frac{C_a}{C_0} e^{-\frac{\beta z F}{RT}(\varphi - \varphi_p)} \right), \quad (2)$$

где  $i_0$  — ток обмена;  $C_k$ ,  $C_a$  — концентрации разряжающихся ионов соответственно на катоде и аноде;  $C_0$  — концентрация ионов в объеме электролита;  $\alpha$  — коэффициент переноса реакции восстановления;  $\beta$  — коэффициент переноса анодной реакции;  $z$  — число электронов;  $F$  — число Фарадея;  $R$  — универсальная газовая постоянная;  $T$  — температура;  $\varphi$  — потенциал, вычисленный по уравнению Нернста;  $\varphi_p$  — равновесный потенциал.

Анализ формулы показывает, что величина тока определяется разностью скоростей стадий разряда и ионизации, достижение постоянства которых зависит от градиента концентраций ионов в зоне реакции.

Для определения кинетических параметров процесса электроосаждения сплава классическим методом (постоянно токовые режимы) обычно снимают суммарную зависимость катодной плотности тока от электродного потенциала  $i_k = f(E_k)$  и парциальные кривые для каждого из компонентов. Основным недостатком этого метода [1] является неполная воспроизводимость результатов эксперимента из-за наличия параллельных процессов, протекающих на катоде. В общем случае ток для отдельного компонента  $j$  двухкомпонентной системы АВ

$$i_j = \frac{i_{\text{AB}} n_j N_j}{\sum_j n_j N_j}, \quad (3)$$

где  $i_{\text{AB}}$  — значение тока для двухкомпонентной системы АВ;  $n_j$  — общее число перенесенных электронов в расчете на один атом металла;  $N_j$  — атомная доля  $j$ -го компонента.

Величина  $i_j/i_{\text{AB}}$  представляет собой выход по току  $j$ -го компонента. Построение таких зависимостей приведено на рис. 1.

Такие же расчеты можно выполнить с учетом данных о составе осадков в массовых долях  $N_m$ . В этом случае можно определить условный электрохимический эквивалент сплава АВ

$$\mathcal{E}_{\text{AB}} = \frac{\mathcal{E}_A \mathcal{E}_B}{\mathcal{E}_A N_{mB} + \mathcal{E}_B N_{mA}}, \quad (4)$$

где  $\mathcal{E}_A$ ,  $\mathcal{E}_B$  — электрохимический эквивалент компонентов А и В в сплаве соответственно;  $N_{mA}$ ,  $N_{mB}$  — массовые доли компонентов А и В в осадке соответственно.

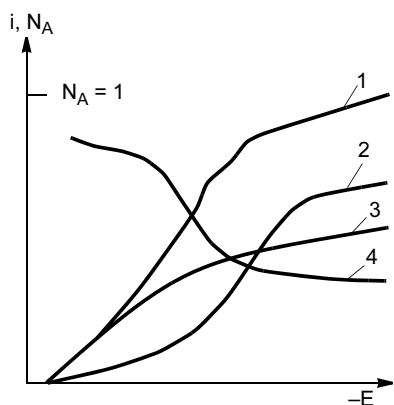


Рис. 1. Суммарная поляризационная кривая выделения сплава (1), парциальные кривые для компонентов А (3) и В (2), зависимость атомной доли компонента А  $N_A$  от потенциала (4)

Выход по току сплава

$$BT_{AB} = \frac{m_{AB}F}{Q_K \mathcal{E}_{AB}} = \frac{i_{AB}}{i}, \quad (5)$$

где  $m_{AB}$  — масса осадка;  $Q_K$  — количество электричества;  $i$  — суммарная плотность тока.

Парциальная плотность тока компонента

$$i_A = \frac{\mathcal{E}_{AB} BT_{AB} i N_A}{\mathcal{E}_A}. \quad (6)$$

В реальных электрохимических системах применение вышеприведенных формул дает не всегда удовлетворительные результаты. Одной из главных причин несопоставимости расчетных данных с экспериментальными является неадекватность временных зависимостей выхода по току  $BT_j = f(\tau)$ .

На основании проведенных исследований установлено, что большинство металлов, кристаллизующихся в постоянно токовых режимах, имеют монотонно убывающие зависимости выхода по току металла от времени. Поэтому применение формул (3)—(6) является неверным. Например, при изучении процессов хромирования из серноокислых электролитов установлено, что выход по току металлического хрома зависит не только от плотности тока, но и определяется временем электролиза. Характер таких зависимостей приведен на рис. 2.

Зависимость выхода по току  $A_{Cr^0}$  от времени показывает, что наиболее резкое снижение характерно для больших плотностей тока. Это связано с влиянием фактора дестабилизации процесса электрокристаллизации металлического хрома. Одной из причин, ухудшающих условия формирования металлической структуры, является повышение температуры в зоне реакции с увеличением продолжительности электролиза. Вследствие этого изменяется ионный состав электролита, что приводит к смещению равновесия в сторону образования компонентов конкурирующих реакций (в данном случае водорода).

Для аналитических расчетов необходимо ввести параметрические уравнения, определяющие зависимость некоторых технологических параметров, например, тока, температуры, концентрации электролита, от продолжительности электролиза. Такое выражение для зависимостей выхода по току отдельных компонентов, если они могут быть представлены в линейном виде, удобнее всего выражать в виде пространственной прямой. Она проходит через начало координат и ее положение в пространстве определяется параметрами процесса.

Для трех независимых технологических параметров (например, тока, температуры и концентрации электролита) такие уравнения имеют вид

$$x = x_0 + r_x t; \quad (7)$$

$$y = y_0 + r_y t; \quad (8)$$

$$z = z_0 + r_z t; \quad (9)$$

где  $x, y, z$  — координаты по осям  $Ox, Oy, Oz$  соответственно;  $x_0, y_0, z_0$  — начальные точки отсчета;  $r_x, r_y, r_z$  — компоненты направляющего вектора  $r$ ;  $t$  — временной параметр.

В этом случае прямая может быть задана как линия пересечения двух непараллельных плоскостей [4]:

$$\begin{aligned} A_1 x + B_1 y + C_1 z + D_1 &= 0; \\ A_2 x + B_2 y + C_2 z + D_2 &= 0, \end{aligned} \quad (10)$$

где  $A_1, B_1, C_1, D_1$  и  $A_2, B_2, C_2, D_2$  — константы.

Компоненты направляющего вектора  $r = (r_x, r_y, r_z)$  могут быть определены из выражений

$$\begin{aligned} r_x &= (B_1 C_2 - B_2 C_1); \\ r_y &= (C_1 A_2 - C_2 A_1); \\ r_z &= (A_1 B_2 - A_2 B_1). \end{aligned} \quad (11)$$

Каноническое уравнение прямой, проходящей через точку  $(x_0, y_0, z_0)$  и имеющей направляющий вектор  $r$ , определится из выражения

$$\frac{x - x_0}{r_x} = \frac{y - y_0}{r_y} = \frac{z - z_0}{r_z}. \quad (12)$$

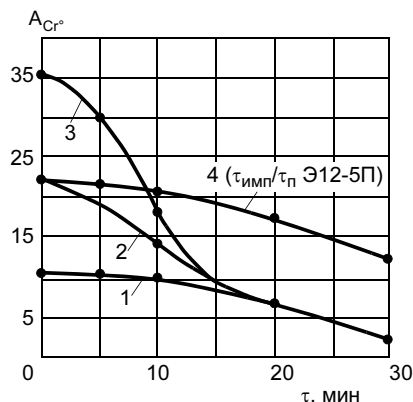


Рис. 2. Зависимость выхода по току хрома  $A_{Cr^0} = f(i_k, \tau)$  при различной плотности тока: 1—4 — 15, 25, 35 и 20 А/дм<sup>2</sup> соответственно

Если функции параметров от времени носят нелинейный характер, то для упрощения аналитических расчетов их преобразуют с помощью уравнений линеаризации, а постоянные коэффициенты этих уравнений определяют из номограмм.

В качестве примера можно рассмотреть процесс гальванического осаждения сплава, содержащего в качестве компонентов Cu, Pb и Sn. Для свинцовистых бронз, когда на катоде образуются системы типа механической смеси, формирование зародышей каждого компонента происходит на своей поверхности. Вероятность зарождения новых центров на инородных поверхностях в общем случае не исключается. Плотность тока при осаждении таких сплавов

$$i_{ABC} = S_A i_A + S_B i_B + S_C i_C, \quad (13)$$

где  $S_A, S_B, S_C$  — площадь поверхности осаждения компонентов;  $i_A, i_B, i_C$  — парциальные токи компонентов А, В и С соответственно.

Поскольку локальные плотности токов для каждого компонента различны, а распределение тока по поверхности электрода в общем случае неравномерно, то степень однородности сплава будет определяться отклонением изменения концентрации, температуры и плотности тока на каждом элементарном участке электрода. С учетом удельных поверхностей осаждения компонентов плотность тока для каждого из них

$$i_A = \frac{i_{ABC} n_A (N_A V_A + N_B V_B + N_C V_C)}{V_A (N_A n_A + N_B n_B + N_C n_C)}, \quad (14)$$

где  $V_A, V_B, V_C$  — атомные объемы компонентов А, В и С соответственно.

Размеры кристаллитов определяются в основном вероятностями образования зародыша (частотами образования) компонента А на поверхности металлов В и С. В данном случае компонент С можно исключить из расчетов, так как концентрация олова в сплаве составляет всего 1 % по отношению к общему объему.

В условиях импульсного электролиза [4] образование центров нуклеации можно увеличить, используя режимы питания электрохимических ячеек импульсами с большой скважностью. Исходя из соотношений потенциалов восстановления компонентов при их равновесных концентрациях необходимо учитывать, что свинец кристаллизуется при больших значениях перенапряжения выделения металла  $\eta_{Me}$ . Для получения сплава определенного химического состава необходимо найти оптимальные значения параметров импульсного тока, учитывая следующее:

— при малых частотах следования импульсов, когда период следования составляет единицы и десятки миллисекунд, механизм кристаллизации сплава не отличается от постоянно токовых режимов;

— верхний предел частоты следования импульсов зависит от времени разряда потенциалопре-

ляющих ионов, который должен быть больше времени собственного разряда иона;

— скважность импульсного тока не должна превышать максимального значения, при котором становится возможным пробой электролита (поверхностный разряд).

Увеличение числа центров нуклеации при импульсном электролизе  $n_{имп}$  по сравнению с постоянно токовыми режимами  $n_{пост}$  определится из соотношения

$$\frac{n_{имп}}{n_{пост}} = \sqrt{Q}. \quad (15)$$

Другим более эффективным способом, позволяющим улучшить технологические параметры процесса, является использование сканирующего электрода в системе электролитической ячейки — источник питания. Схематическое изображение работы такого электрода приведено на рис. 3.

При такой конструкции электрода обеспечивается стабильный электрохимический процесс в момент прохождения выступающей части электрода на минимальном расстоянии от восстанавливаемого изделия. При условии вращения сканирующего электрода со скоростью  $\omega = 0,1$  рад/с и радиусе кривизны поверхности 125 мм электрохимическая ре-

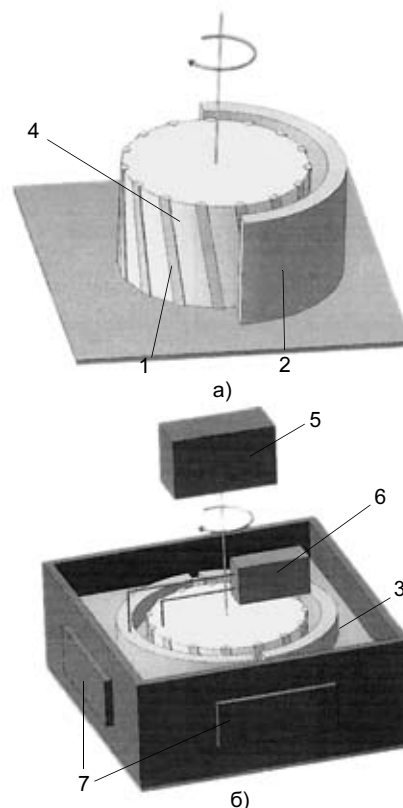


Рис. 3. Схематическое изображение работы сканирующего электрода: а — электрохимическая ячейка; б — расположение электрода в электролитической ванне; 1 — электрод; 2 — деталь; 3 — электролит; 4 — корпус электрода; 5 — подвесной механизм; 6 — источник питания; 7 — терморегуляторы

акция осуществляется всегда при одних и тех же концентрациях и температурах электролита.

Механизм формирования покрытий предполагает, что образование зародышей и их рост определяются условиями электрокристаллизации основного компонента (меди) на предельном токе.

Согласно работе [5], число зародышей, образующихся на поверхности в течение 1 с

$$N = N_0 e^{-\frac{A_3}{kT}}, \quad (16)$$

где  $N_0$  — константа;  $A_3$  — работа образования зародыша;  $k$  — постоянная Больцмана;  $T$  — температура.

Работа образования зародыша

$$A_3 = \frac{\pi \rho^2 A}{nF|\eta|}, \quad (17)$$

где  $\rho$  — радиус поверхностного зародыша;  $A$  — площадь, занимаемая одним молекул в моноатомном слое, см<sup>2</sup>/моль;  $n$  — число молей в поверхностном зародыше;  $\eta$  — перенапряжение.

Из формулы (17) следует, что работа образования зародыша тем меньше, чем больше величина перенапряжения.

После подстановки значения энергии (работы) зародышеобразования в общее уравнение для определения числа центров кристаллизации выражение (16) можно записать в следующем виде:

$$N = N_0 e^{-\frac{\pi \rho^2 A}{kTnF|\eta|}}. \quad (18)$$

Полагая, что плотность тока кристаллизации и перенапряжение связаны пропорциональной зависимостью, можно утверждать, что число центров кристаллизации на поверхности их зарождения также пропорционально катодной или анодной (при электрохимическом окислении металлов) плотности тока. В условиях постоянно токовых режимов абсолютное значение плотности тока (верхний предел) будет определяться предельным током.

В условиях импульсного электролиза мгновенное значение тока в импульсе в  $Q$  раз больше по сравнению с постоянно токовыми режимами, что согласуется с экспериментальными результатами большинства исследователей [4, 6].

Так как значение константы  $N_0$  для электрохимического образования зародыша не выводится, то по аналогии можно принять, что она должна быть связана с частотой обмена адсорбированных атомов. Приближенно для образования поверхностных зародышей при учете только поверхностной диффузии вместо  $N_0$  необходимо подставить

$$N_0 = N_{A_{\text{ад}}} \frac{2D}{a^2} e^{-\frac{nF\eta}{RT}}, \quad (19)$$

где  $N_A$  — число Авогадро;  $c_{\text{ад}}$  — концентрация адсорбированных атомов при перенапряжении  $\eta$ , моль/см<sup>-2</sup>;  $D$  — коэффициент поверхностной диффузии, см<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>;  $a$  — расстояние между двумя ступенями роста.

Если имеет место обмен адсорбированными атомами по реакции перехода с электролитом, то частота смены мест

$$N'_0 = \frac{N_A}{nF} i_0 e^{-\frac{(1-\alpha)nF\eta}{RT}}. \quad (20)$$

Скорость электрохимического растворения и осаждения металлов помимо частоты образования зародышей существенно зависит от разрастания образовавшихся зародышей по всей поверхности. Для идеальных условий разрастания, когда радиус  $r$  велик по сравнению с глубиной проникновения поверхностной диффузии  $\lambda_0$ , разрастание фазы происходит с постоянной радиальной скоростью

$$v = \frac{2\lambda_0}{zFc_0} i_0 \left[ e^{\frac{\alpha zF\eta}{RT}} - e^{-\frac{(1-\alpha)zF\eta}{RT}} \right], \quad (21)$$

где  $c_0$  — исходная концентрация электролита.

Образовавшийся к моменту времени  $\tau$  поверхностный зародыш имеет радиус  $r = v(t - \tau)$  и поверхность  $\pi v^2(t - \tau)^2$ .

Прирост поверхности без перекрытия

$$dq = N\pi v^2(1 - \tau)^2 d\tau. \quad (22)$$

Так как в процессе разрастания вероятным становится эффект перекрытия, то с учетом этого факта соотношение (22) имеет следующий вид:

$$dq = N\pi v^2(1 - q)(t - \tau)^2 d\tau. \quad (23)$$

Разрастание поверхностных зародышей при постоянных скорости образования зародышей и радиальной скорости разрастания с учетом перекрытия круговых поверхностей можно описать уравнением

$$q(t) = 1 - e^{-\frac{\pi}{3} N v^2 t^3}. \quad (24)$$

Во время разрастания одного атомного слоя на него будет накладываться новый атомный слой с образованием зародышей. В условиях импульсного электролиза такое чередование может быть нарушено. При этом основным параметром, определяющим механизм образования слоев металла, является соотношение  $\tau_{\text{имп}}/\tau_{\text{п}}$ .

В самом общем случае при выборе параметров поляризующего тока задаются периодом (частотой) следования импульсов поляризующего тока, в который входят длительности прямого и обратного импульсов и пауза. При действии импульса прямого тока всегда будет наблюдаться "перезарядка" емкости двойного электрического слоя. Авторы ра-

боты [4] считают, что прерывистый характер импульсного тока и проведение электролиза при высоких значениях средней плотности тока, а следовательно, и при более отрицательных значениях потенциала катода, способствуют изменению структуры электролитических покрытий. Дискретный характер прямого импульса позволяет эффективно воздействовать на электродные процессы [4]. Изменением длительности импульсов и времени их воздействия регулируется расстояние, на которое может удаляться фронт диффузии разряжающихся ионов. Крутой передний фронт импульсов обуславливает более быстрое изменение потенциала от минимального значения до максимального. Вследствие этого более интенсивно происходит обеднение ионами электролита вокруг растущего кристалла. Влиянием крутизны заднего фронта объясняется снижение выхода по току. Приведенные на рис. 4 [4] кривые не могут быть бесспорным подтверждением высказанных предположений, так как отсутствуют ссылки на параметры электрохимической ячейки и генератора поляризующего тока. А рассматривать электролизер (систему электрод — электролит) в отрыве от источника поляризующего тока (его выходное сопротивление, наличие индуктивных и емкостных составляющих) нельзя, так как это может привести к неверным заключениям о механизме электродных процессов.

Сопоставимость экспериментальных данных отдельных авторов при использовании импульсных режимов электроосаждения (растворения) металлов может быть обеспечено только при адекватности всех параметров электрохимической ячейки и источника тока.

В качестве примера рассмотрим работу электрохимической системы с источником тока и напряжения, идеализировав импеданс электрохимической ячейки (исключив импеданс Варбурга и Геришера) для упрощения задачи. При этом воспользуемся двумя критериальными вариантами работы электрохимической системы:

- для питания ячейки используется источник тока;
- электрохимическая ячейка поляризуется от источника напряжения.

Эквивалентные схемы приведены на рис. 5.

При работе электрохимической ячейки с источником тока, внутреннее сопротивление которого (для идеального варианта) стремится к бесконечности, время перезарядки емкости двойного слоя будет очень большим (так как  $\tau = RC/3$ , где  $R$  — пересчитанное эквивалентное сопротивление источника и активной составляющей общего им-

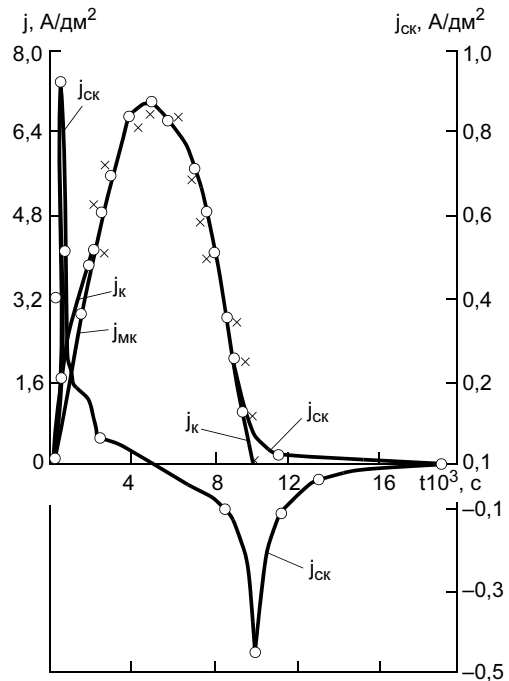


Рис. 4. Изменение за период однополупериодного тока зависимостей плотностей полного  $j_k$ , парциального разряда ионов меди  $j_{mk}$  и емкостного  $j_{ск}$  токов при импульсном электролизе в серноислом электролите с добавкой ДЦУ концентрацией 2 г/л

педанса электродной системы). Если же источник поляризуемой электродной системы представляет источник напряжения ( $R_{вн} \rightarrow 0$ ), то время перезарядки емкости двойного слоя будет значительно меньше, так как значение эквивалентного сопротивления будет определяться только активной составляющей импеданса электрохимической системы. Исходя из этого для двух рассмотренных вариантов справедливо следующее неравенство:

$$R_n C_{эКВ} \ll R_T C_{эКВ}, \quad (25)$$

где  $R_n$ ,  $R_T$  — эквивалентное сопротивление системы при работе в режиме источника напряжения и источника тока соответственно.

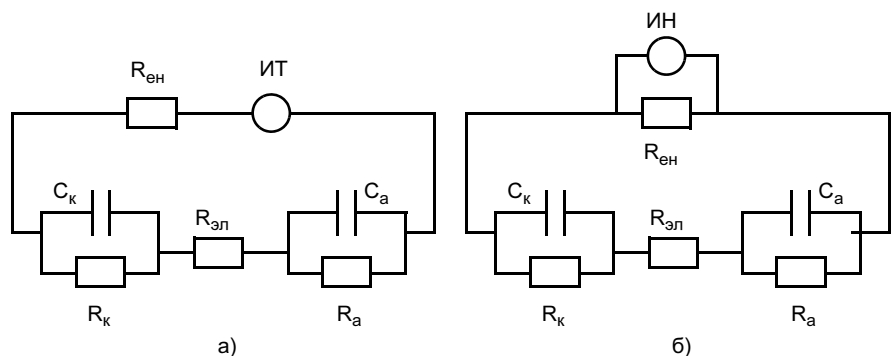


Рис. 5. Эквивалентные схемы замещения электрохимических систем, работающих с источниками тока ИТ (а) и напряжения ИН (б)

Переходя к обратным значениям сопротивлений (проводимостям), можно записать

$$\chi_{\text{экв}} = \frac{\chi_{\text{T}}\chi_{\text{H}}}{\chi_{\text{T}} + \chi_{\text{H}}} = \frac{\frac{1}{R_{\text{T}}}\frac{1}{R_{\text{H}}}}{\frac{1}{R_{\text{T}}} + \frac{1}{R_{\text{H}}}}, \quad (26)$$

т. е. для реального источника питания электрохимической системы эквивалентная проводимость всегда будет удовлетворять условию

$$\chi_{\text{T}} < \chi_{\text{экв}} < \chi_{\text{H}}.$$

В соответствии с этим зависимость тока через электрохимическую систему может быть представлена нагрузочной прямой, приведенной на рис. 6.

Ордината точки 1 соответствует условию, когда в электрохимической системе осуществляют равновесные процессы на электродах, что соответствует на абсциссе значению тока обмена. Максимальное значение тока (точка 2) соответствует предельному значению тока электрохимической системы. С полным основанием можно предположить, что поскольку значение тока обмена для различных металлов зависит от их природы и химического состава среды, то величина отрезков, представляющих проекции точки 1 на ось абсцисс, будет всегда определять ток обмена. Аналогично величина отрезка на оси абсцисс, заключенная между 0 и проекцией точки 2 нагрузочной прямой, определяет значение предельного тока данной электрохимической системы. Угол наклона нагрузочной прямой пропорционален сопротивлению реакции. В конечном итоге нагрузочные характеристики различных электрохимических процессов могут быть представлены серией прямых, координата начала которых определяется значением  $i_0$ , а конечная точка — значением предельного тока.

Предположение авторов работы [4] о послыном последовательном формировании слоев за время действия серии импульсов тока до момента образования сплошного покрытия требует дополнительных

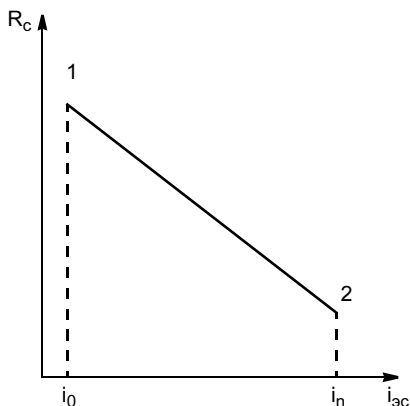


Рис. 6. Изменение тока электрохимической системы от активной составляющей ее импеданса (нагрузочная прямая)

доказательств. Существование такого механизма можно предположить лишь для относительно небольшого числа гальванических процессов. В частности, по механизму восстановления компонентов на электроде выводы целого ряда исследователей носят противоречивый характер. Все это можно объяснить лишь тем, что процессы кристаллизации осуществлялись в неадекватных условиях. Например, при хромировании деталей с большой толщиной покрытий для улучшения их качества используют проток электролита через зону электрохимической реакции. Высокая стоимость таких технологических приемов и необходимость окончательной обработки поверхности обуславливает поиск способов решения этой проблемы.

Результаты эксперимента показали, что использование сканирующего электрода позволяет получить покрытия с хорошей адгезионной способностью и скоростями роста, не уступающими технологиям с проточным электролитом. Анализ данных гидродинамических расчетов позволяет установить, что процесс электрокристаллизации будет более стабильным для технологии, использующей сканирующий электрод. Основной причиной этого является более равномерное распределение выделяющегося на электродах газа по объему электролита (отсутствует заметный градиент газонаполнения по высоте образца).

Применение импульсных режимов электролиза способствует получению покрытий с более равномерным распределением компонентов с одновременным улучшением структуры (уменьшением размера зерна, повышением микротвердости, отсутствием дендритов). При использовании сканирующего электрода создаются предпосылки расширения диапазона параметров импульсов, так как в этом случае внутреннее сопротивление источника питания электрохимической системы не играет существенной роли. По этой причине появляется возможность получения покрытий гораздо большей толщины без ухудшения их качества. Установлено, что отклонения по толщине покрытий от нижней до верхней кромки (100 мм) образца составляет не более 1,5 %, т. е. окончательная доводка поверхности может быть осуществлена методом шлифовки по валу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамбург Ю. Д. Электрохимическая кристаллизация металлов и сплавов. М.: Янус-К, 1997. 384 с.
2. Вячеславов П. М. Электролитическое осаждение сплавов. Л.: Машиностроение, 1977. 96 с.
3. Батунер Л. М., Позин М. Е. Математические методы в химической технике. М.: Химия, 1968. 624 с.
4. Костин Н. А., Кублановский В. С., Заблудовский В. А. Импульсный электролиз. Киев: Наукова думка, 1989. 168 с.
5. Феттер К. Электрохимическая кинетика. М.: Химия, 1967. 856 с.
6. Поветкин В. В., Ковенский И. М. Структура электролитических покрытий. М.: Металлургия, 1989. 136 с.



А. К. ЗУЕВ, д-р техн. наук, Ю. П. САВИНОВ, канд. техн. наук  
Новосибирская государственная академия водного транспорта

## Бесшумные зубчатые передачи

Существует значительное множество зубчатых передач: эвольвентная, циклоидальная, эпицентрическая, Новикова и др. Основная теорема зубчатого зацепления [1, 2] формулируется по-разному в разных источниках, а иногда вообще не упоминается. Это можно объяснить тем, что известные формулировки не охватывают (и не могут охватить) все разнообразие изобретенных передач. Авторы пытаются дать геометрическое обоснование зубчатых зацеплений, но геометрия даже известных зацеплений бесконечно разнообразна.

По этой причине все известные формулировки основной теоремы зубчатого зацепления грешат ограниченностью области их применения (как правило, только для прямозубых цилиндрических передач). При имеющемся разнообразии зубчатых передач возникает вопрос: что нам нужно от этих устройств? И все вынуждены будут согласиться, что в первую очередь нужна работоспособность зубчатой передачи. И еще один вопрос: мальтийский крест годится для передачи большой мощности? Ответ — нет, так как в этом случае он просто развалится.

Вот и вырисовывается главное требование: за время контакта пары зубьев передаточное отношение  $i = \omega_1/\omega_2$  должно оставаться постоянным. Может быть, есть смысл назвать это требование основной теоремой зубчатого зацепления? Ведь если это требование не выполняется, то любое зубчатое зацепление будет создавать шум и вибрацию, а вследствие изменения угловой скорости силы инерции маховых масс, расположенных на ведущем и ведомых звеньях, разрушат передачу. При такой новой формулировке основной теоремы зубчатого зацепления появляется возможность создать бесчисленное количество профилей зубьев.

В качестве примера рассмотрим случай, когда профиль зуба первого колеса выполнен любым. Положим на зуб второго колеса немного пластилина (см. рисунок) и "обкатаем" его при постоянных угловых скоростях  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . Передаточное отношение  $i = \omega_1/\omega_2$  будет постоянным. Зубчатая передача, изготовленная по описанной методике, будет работоспособной при межцентровом постоянном расстоянии  $O_1O_2$  при условии, что она выполнена из абсолютно твердых материалов.

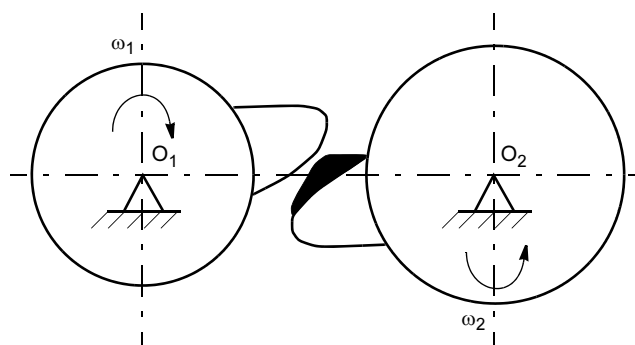
При изменяющемся за один оборот зубчатого колеса расстоянии  $O_1O_2$  (это происходит при не-

точном монтаже зубчатого венца на вал) зацепление, приведенное на рисунке, работать не будет, так как отношение  $\omega_1/\omega_2$  за время зацепления пары зубьев окажется переменным. Частота пульсаций угловой скорости ведомого колеса  $\omega_2$  будет равна произведению частоты вращения ведущего колеса  $\omega_1$  на число зубьев этого колеса. При большой частоте пульсаций угловые ускорения и силы (моменты сил) инерции будут создавать шум и вибрации и неизбежно приведут к разрушению такой передачи.

Избежать данных пульсаций не удастся в зубчатых передачах всех известных видов, кроме эвольвентной. В эвольвентной зубчатой передаче частота пульсаций в редукторах зависит только от частоты вращения  $\omega_1$  и  $\omega_2$ .

Избавиться полностью от высокой частоты пульсаций угловых скоростей ведомого звена  $\omega_2$  не удастся даже в эвольвентном зацеплении из-за изменения податливости при изгибе зуба за период времени зацепления одной пары зубьев. Зуб — консольная балка, и прогиб такой балки зависит от ее длины, а точка контакта пробегает практически по всей его высоте. Упругие колебания зубьев колес и валов могут совершаться со звуковыми и сверхзвуковыми частотами (ультразвук), разрушительными для механических передач.

Ближайшей целью в области дальнейшего совершенствования зубчатых передач является устранение упругих колебаний зубьев. С нашей точки зрения, есть смысл вернуться к рассмотрению преимуществ (и недостатков) цилиндрической однозубой шестерни. Идея зубчатой передачи с однозубой шестерней известна давно, но рассматривали



Пример зубчатого зацепления при постоянном межцентровом расстоянии

ее как интересное, но бесперспективное решение. Самыми серьезными недостатками считали большую длину (ширину) шестерни и колеса и значительное осевое усилие (из-за большого угла наклона зубьев). Известно, что в многоступенчатых механических передачах на самых быстроходных ступенях стремятся применять ременные передачи, так как зубчатые шумят и вибрируют (из-за колебания угловой скорости). Причем, чем больше нагружена передача, тем больше шум и вибрация. Причиной этого явления является переменная податливость (жесткость) пары зубьев, проходящих цикл зацепления. В ситуации, когда в зацеплении находятся две и более пар зубьев, механизм кинематически имеет избыточные связи (по формуле Малышева), а переменная податливость (жесткость) играет ту же отрицательную роль.

Вернемся к однозубой передаче. Точка контакта зубчатых колес одна и избыточных связей по формуле Малышева нет. Нет и пульсаций угловых скоростей. Даже если имеется неточность посадки зубчатого венца колес на вал, частота пульсаций угловых скоростей колес все равно не превышает их угловых скоростей. Другими словами, однозубая передача отличается бесшумностью червячной и имеет кпд цилиндрической или шевронной передачи.

Для изготовления таких передач не требуется новое зубофрезерное оборудование, а трудоем-

кость изготовления многократно уменьшается, так как нарезать надо только один зуб. При изготовлении традиционных зубчатых колес приходится снимать горы стружки дорогостоящей фрезой. Для чего это делается? Чтобы передаточное отношение можно было задавать любым, а при однозубой шестерне только 1, 2, 3, 4 и т. д. Конечно, при мелкосерийном производстве это может быть важно, но при массовом производстве двух-, трехступенчатых редукторов переводить металл в стружку неразумно. Следует иметь в виду, что при изготовлении крупномодульных колес их заготовки можно изготавливать из специального проката с винтовым выступом (для шестерни) и винтовыми впадинами (для колеса). При крупносерийном производстве изготавливать такие колеса можно вообще без применения зубофрезерного оборудования — с помощью специальных протяжек. При мелкосерийном производстве, если нет специального проката, можно обойтись современным кузнечно-прессовым и зубофрезерным оборудованием.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левитский Н. И., Левитская О. Н. Теория механизмов и машин. М.: Машиностроение, 1972.
2. Кожевников С. Н. Теория механизмов и машин. М.: Машиностроение, 1969.

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

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

#### **Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:**

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

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

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

К. А. БАГАЕВ, аспирант  
Санкт-Петербургский ГПУ

## Контроль геометрических параметров железнодорожного колеса

При изготовлении и эксплуатации подвижного состава железнодорожного транспорта к сохранению и контролю геометрических параметров железнодорожных колес предъявляются достаточно высокие требования. Незначительные их отклонения от номинальных ведут к снижению как хордовых и динамических характеристик локомотивов и вагонов, так и безопасности их эксплуатации.

У железнодорожных колес имеется около 30 геометрических параметров, значение которых необходимо контролировать. При этом ряд параметров требуется измерять с очень высокой точностью. Например, точность измерения максимального осевого коробления не должна превышать 0,1 мм. Поэтому существует необходимость создания высокоточных комплексов для измерения геометрических параметров железнодорожных колес. До настоящего времени измерение размеров и их отклонений от нормативов основывалось на применении контактных приборов, в первую очередь шаблонов. Шаблоны изготавливаются для измерения профиля катания, толщины гребня и т. д. Для измерения коробления используют обычно контрольную плиту или шаблон "паук". Дефектоскопист должен правильно приложить шаблон, а затем, используя щуп, определить максимальный зазор.

Эта идеология имеет существенные недостатки. Например, в депо имеются шаблоны для контроля поверхности катания согласно ГОСТ 9036—88. Если поступает директива протачивать колеса по несколько иной методике, к примеру, с так называемым скошенным гребнем, то станок для проточки легко перенастраивается, колеса изготавливают в соответствии с новой директивой, но тут же встает проблема контроля качества проточки: прежние шаблоны уже не подходят, а новые еще необходимо изготовить.

Возникает много проблем и при определении осевого коробления. Обычно колесо, масса которого 500 кг, кладут на контрольную плиту, а затем с помощью щупа определяют зазор между плитой и колесом по всей длине его окружности. В процессе эксплуатации на контрольной плите неминуемо появляются выщерблины. А значит, результат измерений зависит от того, как на такую плиту легло колесо.

Проблема точности измерений при использовании контактных методов состоит еще и в том, что

результат измерений во многом зависит от квалификации дефектоскописта, от того, насколько правильно он пользуется шаблонами, щупами и т. д.

Еще один существенный минус контактных методов — это время контроля. Для того, чтобы полностью промерить колесо, соблюдая все требования ГОСТ, опытному дефектоскописту требуется около 20 мин. Этот фактор существенно тормозит весь процесс производства. К примеру, в ОАО "Выксунский металлургический завод" производительность линии изготовления ж.-д. колес — 70 шт/ч. Время контроля одного колеса, необходимое для поддержания этой производительности, должно составлять 52 с. Разумеется, при использовании контактных приборов подобную производительность поддерживать нереально.

Таким образом, недостатками контактного метода измерений являются:

- длительность и трудоемкость процесса измерения и, как следствие, отсутствие реального контроля всех требуемых параметров;
- зависимость результатов измерений от так называемого "человеческого фактора";
- зависимость результатов измерений от деформации контактных приборов в процессе эксплуатации;
- невозможность перенастраивать контактные приборы в соответствии с изменениями требований к конечной продукции (в данном случае — к ж.-д. колесам).

Преодоление всех вышеизложенных недостатков возможно с использованием новой идеологии, основанной на бесконтактных методах контроля. В качестве средств измерения предлагается использовать лазерные датчики-дальномеры. В последние годы появилось несколько фирм, изготавливающих такие приборы. Наибольший интерес применительно к задаче контроля ж.-д. колес представляют растровые дальномеры. Такие датчики за одно сканирование снимают не одну точку, а профиль. Длина сканируемой поверхности может существенно колебаться в зависимости от мощности лазера и погрешности измерения. Например, лазерные датчики РФ620\* имеют диапазон измерения по оси X до

\*Описание лазерных сканеров серии РФ620 фирмы "Рифтек". Интернет-адрес российского представительства [http://www.sensorka.com](http://www.sensorika.com)

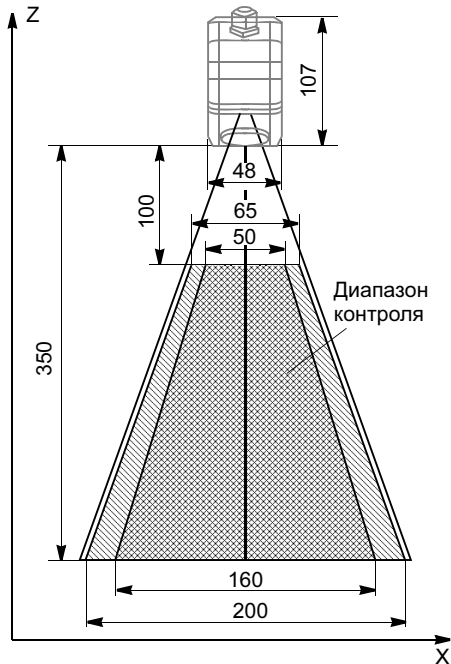


Рис. 1. Диапазон измерения растрового лазерного датчика РФ620

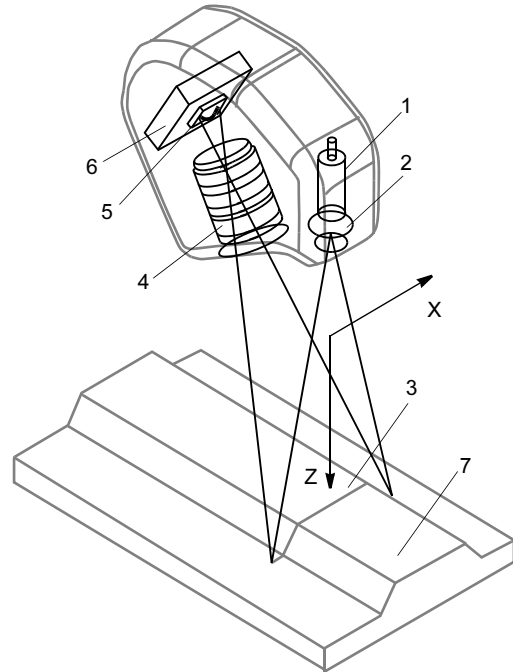


Рис. 2. Принцип работы растрового сканера-дальномера

150 мм (рис. 1). По высоте такие датчики охватывают диапазон от 100 до 350 мм. Чем меньше диапазон измерения прибора — тем выше его точность. Скорость сканирования таких датчиков весьма высока — порядка 100 сканов в 1 с. За одно сканирование датчик может получить до 1024 точек.

В основу работы растровых сканеров-дальномеров положен принцип оптической триангуляции (рис. 2).

Излучение полупроводникового лазера 1 формируется объективом 2 в виде линии 3 и проецируется на объект 7. Рассеянное на объекте излучение объективом 4 собирается на двумерной CMOS-матрице 5. Полученное изображение контура объекта анализируется сигнальным процессором 6, который рассчитывает расстояние до объекта (координата Z) для каждой из множества точек вдоль лазерной линии на объекте (координата X).

ЗАО "Виматек" (входит в ГП "Юнитест") разработало принципиально новый комплекс для измерения ж.-д. колес бесконтактным методом (рис. 3). В его основе лежит использование растровых лазерных датчиков. Установка была спроектирована так, чтобы избежать всех трудностей при контроле, описанных выше.

Механическая часть комплекса была предельно упрощена, что позволило существенно повысить надежность и износостойкость оборудования. Измерительная аппаратура легко интегрируется в существующую производственную линию. Колеса на пост контроля подаются непосредственно с конвейера завода. С помощью переключателя колесо уста-

навливается на специальную план-шайбу с прорезями. Осуществляется контроль. После этого колесо вновь возвращается на конвейер. Управление механической частью комплекса осуществляется при помощи контроллеров Siemens.

В состав комплекса входят семь растровых лазерных датчиков (рис. 4). Три датчика располагаются сверху, чтобы измерять внешнюю поверхность колеса, три — снизу, они снимают внутреннюю поверхность, а седьмой датчик сканирует поверхность катания. Диапазона трех датчиков хватает для того, чтобы полностью измерить профиль колеса по радиусу. В процессе контроля колесо вращается во-

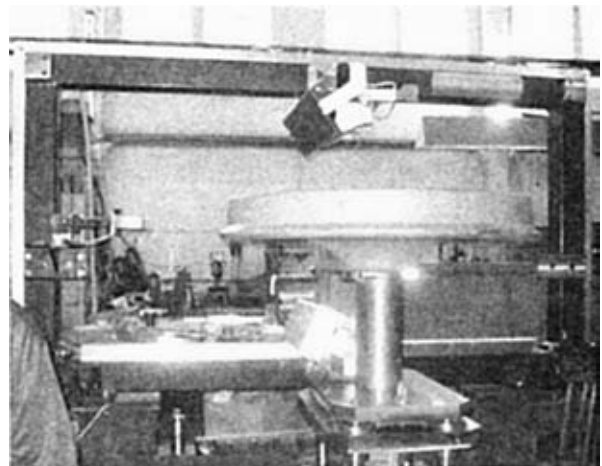


Рис. 3. Общий вид комплекса

круг оси установки, угол вращения измеряется с помощью высокоточного энкодера. Таким образом, результатом измерений является набор профилей колеса и соответствующий им угол поворота вокруг оси вращения. Этой информации достаточно, чтобы восстановить трехмерную картину колеса.

Лазерные датчики сведены в единую сеть, объединенную на основе интерфейса RS485, по которому данные поступают в компьютер. Угол с энкодера, команды управления и контроля состояния установки поступают в компьютер через интерфейс сетевой карты. В состав комплекса входит компьютерная программа, которая устанавливает связь с контроллером и датчиками. Она получает все измеренные данные, анализирует их и рассчитывает все требуемые характеристики колеса. По окончании расчета на экран выводится список измеренных параметров и их соответствие нормам ГОСТа. Результаты контроля по локальной сети передаются на сервер предприятия, где производится автоматическая архивация данных. По результатам измерения создается протокол контроля и выдается заключение о годности колеса. Весь измерительный цикл занимает 30 с.

Еще одним существенным достоинством комплекса является автоматическое сохранение результатов контроля в базе данных. Архивируются результаты контроля, номер колеса, ФИО дефектоскописта, номер смены и т. д. Имеется возможность осуществлять выборку из базы данных по фамилии дефектоскописта, дате, номеру смены и т. п.

Комплекс измеряет следующие параметры колеса:

- ширину обода колеса;
- вылет ступицы;
- максимальное осевое коробление;
- диаметр по кругу катания;
- эллиптичность круга катания;
- внутренний диаметр обода с внутренней стороны;
- внутренний диаметр обода с внешней стороны;

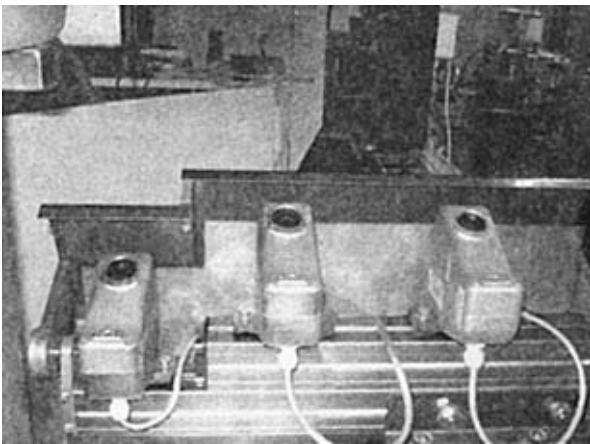


Рис. 4. Линейка лазерных датчиков

- толщину обода с внутренней стороны;
- толщину обода с внешней стороны;
- длину ступицы;
- наружный диаметр ступицы с наружной стороны;
- наружный диаметр ступицы с внутренней стороны;
- диаметр отверстия ступицы;
- толщину ступицы с внутренней и наружной сторон;
- разность ширины обода;
- разность внутренней толщины обода по периметру;
- разность наружной толщины обода по периметру;
- разность внутренней толщины ступицы (разностенность ступицы);
- разность диаметров внутренних поверхностей обода;
- эксцентриситет отверстия ступицы относительно круга катания;
- наибольший зазор между реальным и теоретическим профилем катания;
- параллельность торцовых поверхностей ступицы и боковой поверхности обода с внутренней стороны колеса;
- толщину диска (переход обод/диск; переход диск/ступица);
- максимальный развал или поднутрение;
- профиль катания, зазор в контрольных точках;
- разность толщины диска по периметру радиуса (переход обод/диск);
- разность толщины диска по периметру радиуса (переход диск/ступица).

Хочется особо остановиться на ряде важнейших нюансов, которые необходимо учесть при создании комплекса и программного обеспечения. Ввиду упрощения механической части комплекса колесо устанавливалось так, что его физический центр и центр вращения оси установки не совпадают. Более того, плоскость колеса может не быть перпендикулярной плоскости сканирования. Таким образом, все вычисления весьма сильно усложнились, так как пришлось иметь дело с данными в трехмерной системе координат. Например, если бы колесо было жестко центрировано и выровнено на плоскости план-шайбы, можно было бы обойтись двумя координатами с датчиков, энкодер был бы не нужен. Но в этом случае срок эксплуатации комплекса был бы меньше, а время контроля больше.

Для вычисления всех необходимых диаметров (по кругу катания, обода с внутренней и внешней сторон и т. д.) был применен метод наименьших квадратов. Координаты точек, лежащих на искомой окружности, переводятся из цилиндрической системы координат в декартову, затем проецируются на усредненную (также по методу наименьших квадра-

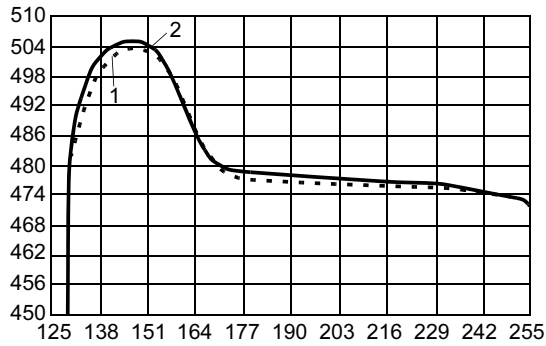


Рис. 5. Профиль катания колеса: 1 — измеренный; 2 — теоретический

тов) плоскость и подставляются в стандартный алгоритм аппроксимации эллипсом. Тем самым сразу вычисляется "средний" диаметр и эллиптичность.

Для вычисления отклонения поверхности катания от теоретического профиля была построена аналитическая функция, задающая профиль катания согласно ГОСТ 9036—88 (рис. 5). Затем, согласно тому же ГОСТу, функция программно совмещалась с боковой поверхностью обода с внутренней стороны и вычислялись зазоры по всему периметру профиля. Измеренный и теоретический профиль выводятся на монитор компьютера.

Другим очень важным аспектом является калибровка и юстировка оборудования. Для того чтобы получать корректные профили колеса от совокупности датчиков, необходимо правильно выставить эти датчики по периметру измерительной линейки. Лучи сканирования датчиков верхней и нижней линеек должны лежать в одной плоскости и иметь одинаковый наклон. Плоскость сканирования должна проходить через центр вращения установки. Эта задача была решена с помощью юстировочного лазера.

После выставления датчиков необходимо произвести калибровку, т. е. определить взаиморасположение систем координат каждого, а затем совместить начала систем координат всех датчиков с осью вращения. Для калибровки был разработан специальный высокоточный шаблон. Он представляет собой

линейку с эквидистантными насадками шириной и высотой 30 мм, расположенными на расстоянии 70 мм друг от друга. Шаблон был изготовлен с высокой точностью, все размеры были замерены с помощью штангенциркуля — прибора, чья точность выше точности используемых датчиков. Шаблон устанавливается на ось вращения вместо колеса и сканируется всеми датчиками. Таким образом, измерив шаблон, можно вычислить расстояния от всех датчиков до оси вращения, расстояние между линейками датчиков и взаиморасположение начал систем координат по оси Z.

Боковой датчик, который измеряет поверхность катания, может находиться в трех различных положениях — в зависимости от диаметра колеса. Для всех положений производится калибровка и сохраняется на компьютере. При переходе на другой типоразмер колеса достаточно загрузить файл с нужной калибровкой.

Еще одной важнейшей задачей является метрологическая аттестация установки. Так как комплекс является уникальным в своем роде, то как таковой методики для его аттестации не существует. Было принято решение произвести измерение всех параметров колеса с помощью высокоточного сертифицированного оборудования фирмы CimCore (США), а затем по результатам сравнения с данными комплекса сделать вывод о его точности. Данная процедура была успешно проведена. Стоит отметить, что измерение одного колеса с помощью американской установки заняло порядка 8 ч.

Итак, комплекс фирмы "Виматек" позволяет осуществить измерение геометрических параметров колеса за 30 с, при этом имеет очень высокую механическую надежность. Он является отличной альтернативой прежним методам контроля размеров колес. В данный момент проходят пуско-наладочные работы по размещению комплекса на Выксунском металлургическом заводе.

*"В мире неразрушающего контроля", 2007, № 3*

С. А. ПОПОУДИНА, инж.

(Белорусская ассоциация НК и технической диагностики),

А. В. МАРЦИНКЕВИЧ, инж.

(Межотраслевой институт повышения квалификации

и переподготовки кадров по менеджменту и развитию персонала БНТУ)

## Нормативное обеспечение проблемы измерения толщины ультразвуковым методом

Ультразвуковая толщинометрия (УЗТ) находит широкое применение во многих отраслях народного хозяйства.

УЗТ позволяет оценивать толщину изделий в процессе производства и эксплуатации, а также выявлять расслоения в материале изделий.

В настоящее время в связи с возросшими требованиями к точности проводимых измерений на смену аналоговым ультразвуковым толщиномерам приходит аппаратура на основе микропроцессоров [1] с представлением информации на дисплее в виде А-развертки и В-развертки, с дополнительной информацией о фазе отраженного сигнала. За последние десять лет в Республике Беларусь благодаря большой информационно-методической работе Белорусской ассоциации НК и технической диагностики (БАНК и ТД) и при ее содействии интенсивно идет замена морально и физически устаревших средств НК, в том числе и ультразвуковых толщиномеров.

Качество выполнения УЗТ зависит прежде всего от наличия и технического уровня технических нормативных правовых актов (ТНПА).

В странах СНГ в области УЗТ на сегодняшний день действуют ТНПА, которые разрабатывались более тридцати лет назад и не потеряли своей актуальности, а также разрабатываются новые документы и вводятся в качестве государственных международных и европейские стандарты. В общем случае применительно к УЗТ, так же как и ко всем методам НК, стандарты можно разделить на следующие группы.

### 1. Термины и определения:

— ГОСТ 23829—85. Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения.

— \*СТБ ЕН 1330-4—2004. Контроль неразрушающий. Часть 4. Термины, применяемые при ультразвуковом контроле.

\* СТБ — Государственный стандарт Республики Беларусь.

### 2. Технические требования к СНК и методам контроля (включая требования к точности измерений):

— ГОСТ 18353—79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.

— ГОСТ 20415—82. Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения.

— ГОСТ 28702—90. Контроль неразрушающий. Толщиномеры ультразвуковые. Общие технические требования.

— СТБ ЕН 583-2—2005. Контроль неразрушающий. Ультразвуковой метод. Часть 2. Настройка чувствительности и длительности развертки.

— СТБ ИСО/МЭК 17025—2001. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.

— ГОСТ 8.010—99. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения.

— СТБ ИСО 5725. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений, части 1—6.

### 3. Метрологическое обеспечение СНК:

— ПМГ 06—2001. Порядок признания результатов испытаний и утверждения типа, поверки, метрологической аттестации средств измерений.

— ГОСТ 8.495—83. Толщиномеры ультразвуковые контактные. Методы и средства поверки.

Кроме перечисленных ТНПА в странах СНГ действуют нормативные документы (РД, ОСТ, ВСН, СНиП) по УЗТ различных объектов [2, 3].

Опуская детальный анализ недостатков и взаимной несогласованности перечисленных ТНПА, остановимся на стандарте ЕН 14127 "Неразрушающий контроль. Ультразвуковые измерения толщины", который был введен в действие в августе 2004 г. С февраля 2005 г. в странах Евросоюза он действует как национальный.

Согласно стандарту ЕН 14127:2004, оценка точности измерений выражается в виде неопределенно-

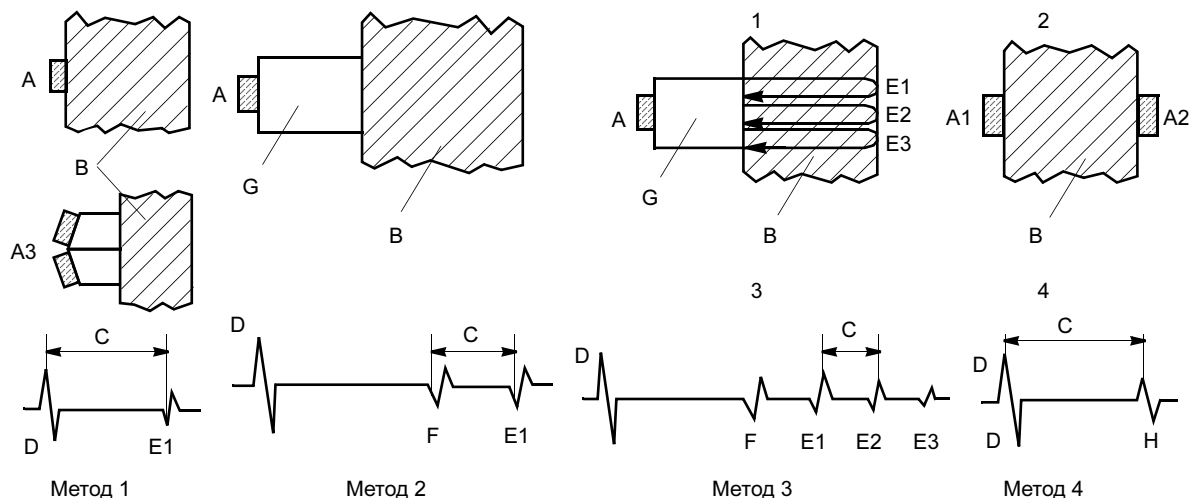
сти результата измерения. Оценка неопределенности измерений проводится в соответствии с ISO 14253-2 "Спецификации на геометрические параметры изделий (GPS) — инспекция путем измерения рабочих заготовок и измерительного оборудования. Часть 2. Руководство по оценке неопределенности при измерениях GPS, при калибровке измерительного инструмента, а также верификации продукции", положения которого позволяют определить, когда результат измерения можно считать соответствующим показанию прибора. Стандарт ISO 14253-2 представляет интерес при рассмотрении процедуры по планированию и использованию неопределенности и, конечно же, требует отдельного рассмотрения.

Стандарт EN 14127:2004 устанавливает:

- основные требования к ультразвуковому методу измерения толщины;
- методы проведения измерения толщины (см. рисунок);
- типы применяемой аппаратуры для проведения измерений;
- требования к квалификации персонала;
- факторы, влияющие на точность измерений (см. таблицу);
- выбор аппаратуры, порядок настройки аппаратуры с цифровой индикацией и имеющей экран с A-разверткой;
- порядок и особенности технологии проведения измерений;

Основные области		Параметр	Результат
Объект контроля	Материал	Химический состав	Ослабление, поглощение, рассеяние и местные вариации скорости
		Структура	
		Анизотропия	
	Состояние поверхности	Отсутствие загрязнений	Локальные изменения состояния поверхности ведут к местным вариациям скорости
		Шероховатость	
		Профиль поверхности	
	Покрытие	Покрытие	Скорость распространения ультразвука в покрытии отличается от скорости ультразвука в основном материале, что является результатом неточности
		Лакокрасочное	
		Обработка поверхности	
	Геометрические параметры	Непараллельность	Исчезновение отраженного сигнала или его искажение
Криволинейность		Снижение эффективности контактной смазки	
Измеряемый диапазон		Искажение, искривление отраженного сигнала вследствие ослабления	
Настройка для проведения измерений	Метод калибровки	Неопределенность метода калибровки	Неопределенность показаний прибора
	Reference блок или стандартный образец предприятия (СОП)	Неопределенность, связанная с толщиной и скоростью	Точность не может быть выше той, которая связана с неопределенностью Reference блока или СОП
Проведение измерений	Оборудование	Точность измерений	Точность выполненных измерений не может быть выше точности аппаратуры
		Длина кабеля	Излишняя длина кабеля — причина искажения сигналов
		Колебания параметров аппаратуры	Неточность показаний прибора
		Временной путь ультразвука	Точность выполненных измерений не может быть выше точности измерения временного пути ультразвука
		Линейность	Неточность показаний прибора
		Точка отсчета	То же
	Операция	V-образный путь	Неверные показания, имеющие связь с путем ультразвука в материале изделия и его толщиной
		Изменение фазы	Ошибочные показания
Повторяемость	Составные части	Метод	Неправильные действия
		Контактная смазка	Плохая контактная смазка способствует отсутствию стабильности показаний
		Подготовка специалиста	Ошибочное толкование
Прочее	Температура	Вариации скорости и ультразвука	То же





Методы проведения измерений толщины ультразвуковым методом

- оценку точности;
- составление отчета.

В стандарте EN 14127:2004 приводятся информативные приложения в виде таблиц и схем:

- возможные виды коррозии сосудов и трубопроводов;
- особенности настройки аппаратуры;
- учет параметров, влияющих на точность измерений;
- схемы проведения контроля с учетом особенностей при проведении измерений в процессе производства или эксплуатации с рекомендациями по выбору аппаратуры и др.

Исходя из содержания рассматриваемого стандарта, можно сказать о том, что он достаточно полно раскрывает особенности УЗТ и может служить в качестве основы для совершенствования и разработки ТНПА.

В соответствии с EN 14127:2004 специалист, выполняющий УЗТ, должен знать физические основы ультразвука, а также иметь теоретические и практические навыки измерения толщины ультразвуковым методом. Кроме того, оператор должен иметь информацию о конструкции объекта контроля и его материале, особенностях эксплуатации, возможном состоянии его обратной поверхности. В качестве подтверждения своей квалификации специалист должен иметь сертификат в соответствии со стандартом EN 473 или его эквивалентом.

Точность проведения измерений с помощью ультразвука — это тот важный момент, который выделяет УЗТ из области дефектоскопии и должен быть учтен при подготовке специалистов, проводящих ультразвуковые измерения толщины. Специалист должен знать, с какой точностью он должен выполнять измерения и как ее добиться при прове-

дении измерений. Практика показывает, что персонал, имеющий сертификат по ультразвуковой дефектоскопии, в курс обучения которого не входила углубленная подготовка по обеспечению точности проведения измерений ультразвуковым методом, не сможет качественно выполнить задачу, связанную с оценкой остаточной толщины изделия в процессе эксплуатации. Очевидно, что сертификация специалистов для этого направления весьма актуальна [4].

## ВЫВОДЫ

1. Ввести в качестве межгосударственного стандарта европейский стандарт EN 14127:2004. Эту работу мог бы взять на себя межгосударственный комитет по НК МТК 515 "Неразрушающий контроль".
2. Ввести сертификацию персонала по ультразвуковой толщинометрии, для чего разработать программы подготовки специалистов для целей сертификации, схемы сертификации, экзаменационные вопросы и т. д.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гиллер Г. А., Могильнер Л. Ю. Современные ультразвуковые толщинометры. Новые возможности // В мире НК. 1999. № 5. С. 6—9.
2. ПНАЭ Г 7-031—91. Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Ультразвуковой контроль. Ч. III. Измерение толщины монометаллов, биметаллов и антикоррозионных покрытий. М.: ЦНИИатоминформ, 1992.
3. РД РОСЭК 006—97. Машины грузоподъемные. Толщинометрия ультразвуковая. Основные положения. М.: Машиностроение, 1998.
4. Поповина С. А. Развитие системы сертификации персонала в области НК в Республике Беларусь // В мире НК. 2005. № 4. С. 54—55.

"В мире неразрушающего контроля", 2007, № 3

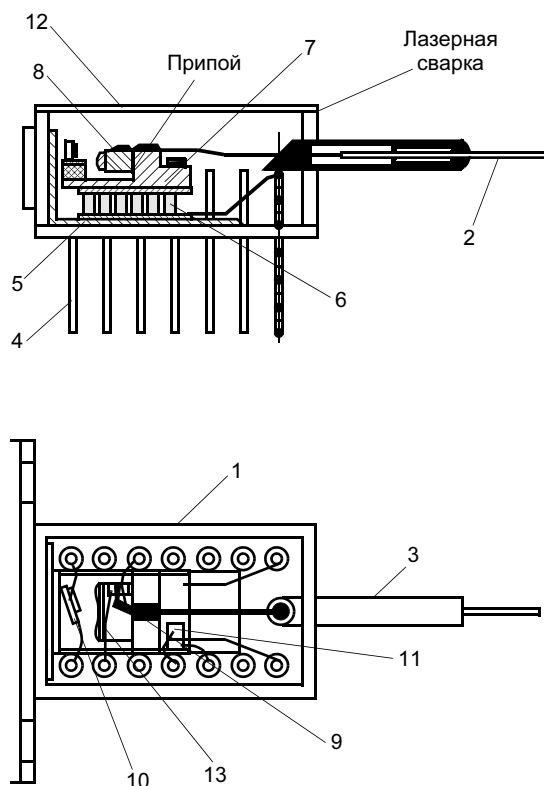
А. В. БАЖАНОВ, инж., Н. С. ПРОНИН, канд. техн. наук,  
С. А. ФЕДОРОВ, канд. техн. наук, В. А. ФРОЛОВ, д-р техн. наук  
"МАТИ" – РГТУ им К. Э. Циолковского

## Технологические особенности низкотемпературной пайки оптических модулей

В настоящее время при производстве радиоэлектронной аппаратуры широко применяют низкотемпературную пайку, в наибольшей степени удовлетворяющую предъявляемым техническим требованиям [1].

В данной работе рассмотрены технологические особенности низкотемпературной пайки оптических модулей, применяемых в качестве оптических датчиков различных измерительных приборов и комплексов.

Особенностью пайки оптического модуля (рис. 1) является обеспечение необходимого взаимного расположения контактной пластины и основания. Качество сборки определяется точностью юстировки активного элемента и оптоволоконной линзы.



**Рис. 1. Схематическое изображение оптического модуля:**  
1 — корпус; 2 — оптоволоконная линза; 3 — втулка; 4 — электровыводы; 5 — медная пластина; 6 — микротермохолодильник; 7 — контактная пластина; 8 — основание оптической системы; 9 — активный элемент — СЛД; 10 — контрольный фотодиод; 11 — терморезистор; 12 — крышка

В случае неудовлетворительной сборки, определяемой рассогласованием входного электрического сигнала, подаваемого на электровыводы, и выходного сигнала, снимаемого с оптоволоконной линзы, проводят перепайку узла.

Контактную пластину и основание оптического модуля выполняют из ковара 29НК (ГОСТ 10994—74) с нанесением технологического золотого покрытия толщиной 2,5 мкм. По применяемой технологии нагрев паяемых элементов выполняют с помощью терморезистора, предварительно припаянного к основанию.

Условия эксплуатации оптического модуля характеризуются резкими изменениями рабочей температуры со скоростью до 10 °С/с. Поэтому к паяному узлу предъявляют требования по работоспособности (прочность не менее 30 МПа) при изменении рабочей температуры в интервале от –55 до 85 °С.

Так как по условиям изготовления изделия температура пайки не должна превышать 120 °С, то пайку выполняют особолегкоплавкими припоями, в качестве которых используют сплавы эвтектического типа на основе висмута "РОЗЕ" и № 219. Отсутствие интервала кристаллизации у этих сплавов обеспечивает минимальные деформации конструкции в процессе пайки.

Припой данного типа характеризуются активным диффузионным взаимодействием с металлом покрытия, что приводит к растворению последнего, появлению в зоне спаивания интерметаллидов, изменению теплофизических свойств расплава припоя и, как следствие, ограничению числа перепаяек (не более трех—четырех) в случае неудовлетворительной юстировки элементов оптического модуля, а также увеличению уровня брака [2].

Для решения этой проблемы разработан новый многокомпонентный состав особолегкоплавких припоев эвтектического типа. Разработку композиций припоев и изучение особенностей диффузионного взаимодействия покрытия и металлов, входящих в состав особолегкоплавких припоев, проводили с помощью бинарных диаграмм состояния Au—Bi, Au—Sn, Au—Cd, Au—Pb [3—5].

Анализ этих диаграмм показал, что характер химического взаимодействия металла покрытия с элементами композиции во многом одинаков. Золото интенсивно растворяется во всех этих металлах,

образуя с ними легкоплавкие эвтектики. Кривые ликвидуса всех рассмотренных диаграмм состояния являются пологопадающими. Это вызывает необходимость ужесточения требований к обеспечению точности параметров режима, так как сравнительно небольшие колебания температуры пайки приводят к значительным изменениям химического состава припоя и, следовательно, его теплофизических свойств.

При разработке композиций припоев в качестве их основы рассматривали также такие металлы, как галлий и индий. При изучении их диаграмм состояния с золотом [3—7] установили, что для расплавов припоев характерно незначительное химическое взаимодействие с покрытием в температурном интервале пайки при большой крутизне линий ликвидуса.

Особенностью припоев на основе галлия является увеличение их объема при кристаллизации и охрупчивание паяного шва. Следовательно, использование галлия в качестве основы припоя при пайке оптического модуля проблематично.

Индий обладает хорошей смачивающей способностью по отношению к различным металлам [6]. Однако сплавы на его основе, например композиция  $\text{In—Cd—Zn}$ , не обеспечивают требуемых механических свойств паяного соединения. Согласно результатам работ [1, 6, 8], решение проблемы возможно путем легирования данной композиции висмутом и серебром. Поэтому исследовали композиции припоев на основе индия  $\text{In—Cd—Zn—Ag}$  и  $\text{In—Cd—Zn—Bi}$ .

Теплофизические свойства известных висмутовых припоев и предложенных индиевых сплавов определяли с помощью термического анализа, основанного на автоматическом фиксировании температуры вещества в процессе нагрева (охлаждения). Для этого разработали измерительный комплекс, включающий термопару, вольтметр с аналогово-цифровым преобразователем и ПЭВМ. Сигнал с термопары с интервалом 1 с передавался в оцифрованном виде в оперативную память компьютера, программное обеспечение которого позволяло по результатам измерений строить кривые нагрева (охлаждения). Наличие на термограммах точек перегиба и горизонтальных ступенек позволяло с достаточно высокой точностью определять температуры фазовых и структурных изменений, происходящих при нагреве (охлаждении) сплавов, а также величину температурного интервала кристаллизации.

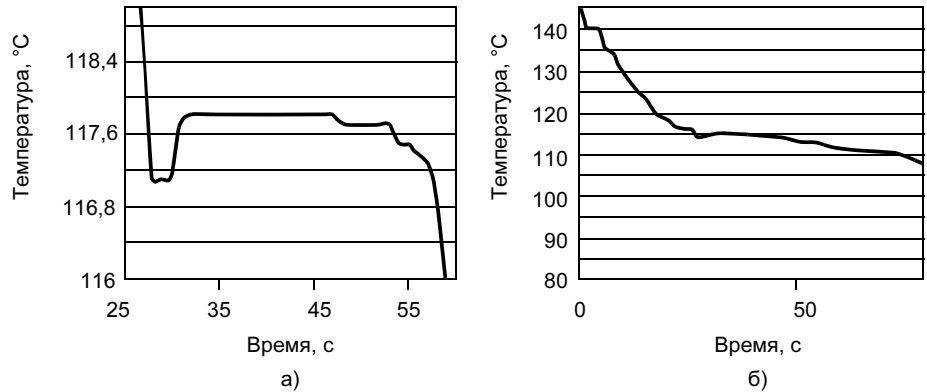


Рис. 2. Кривые охлаждения припоев на индиевой основе: а — система  $\text{In—Cd—Zn—Ag}$ ; б — система  $\text{In—Cd—Zn—Bi}$

Анализ полученных кривых охлаждения (рис. 2) показал, что известные висмутовые припои типа "РОЗЕ" и № 219 и предложенные композиции сплавов на основе индия относятся к сплавам эвтектического состава и температура их плавления не превышает 120 °С.

Пайку выполняли на натуральных образцах по двум схемам нагрева (рис. 3) на малогабаритной установке конструкции МАТИ с эллипсоидным фокусирующим отражателем и дуговой ксеноновой лампой мощностью 200 Вт [8]. Первая схема предусматривала пайку на специализированной установке с использованием электронагревательных элементов. По второй схеме выполняли бесконтактный нагрев паяемых образцов. Поверхности паяемых элементов предварительно облуживали навесками исследуемых припоев. Пайку проводили при температуре, превышающей температуру плавления каждого из припоев на 5 °С, при выдержке в течение 15 и 30 мин.

Микроструктуру паяных соединений исследовали на электронном микроскопе НЕОРНОТ 21, фотографии микроструктур паяных соединений приведены на рис. 4.

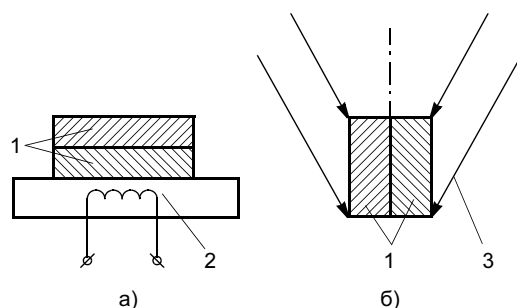


Рис. 3. Схемы процессов пайки оптического модуля при контактном (а) и бесконтактном (б) способах нагрева: 1 — паяемые детали; 2 — электронагревательное устройство; 3 — световой луч

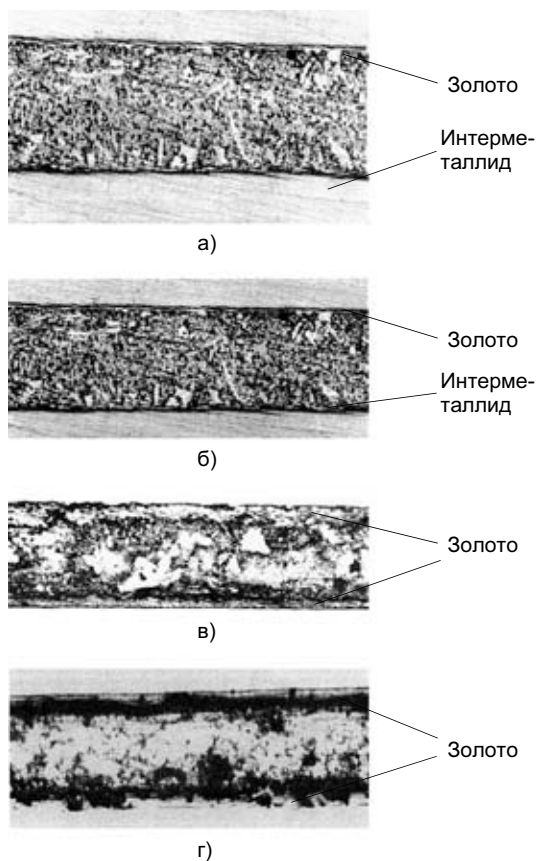


Рис. 4. Микроструктура ( $\times 400$ ) паяных соединений (время пайки 30 мин): а — припой "РОЗЕ"; б — № 219; в — система In—Cd—Zn—Ag; г — система In—Cd—Zn—Bi

Микроанализ показал, что в соединениях, полученных контактным способом нагрева и с использованием висмутовых припоев, при выдержке в течение 15 мин толщина покрытия золота уменьшается до 1—1,2 мкм, а при выдержке в течение 30 мин покрытие растворяется полностью с образованием сплошной интерметаллидной прослойки в зоне спая, непосредственно прилегающего к нагревательному элементу.

Причина отмеченного явления связана с тем, что при контактном способе нагрева паяемых элементов создается градиент температуры с максимумом со стороны нагревательного элемента.

Бесконтактный подвод энергии при пайке сфокусированным световым лучом обеспечивает условия равномерного нагрева паяемых деталей. К тому же при использовании припоев предложенных композиций обеспечивается сохранение целостности покрытия. Так, при пайке припоями на основе системы In—Cd—Zn—Bi толщина покрытия практически не изменяется. Однако, учитывая невысокие показатели микротвердости, использование припоев указанной системы не технологично. При пайке припоями системы In—Cd—Zn—Ag толщина покрытия достаточно большая и составляет при выдержке в течение 15 и 30 мин соответственно 1,6—1,8 и 1,4—1,6 мкм. Установлено также, что при неудовлетворительной юстировке оптического модуля число возможных перепаек увеличивается с 3—4 до 7.

## ВЫВОД

Низкотемпературная пайка оптического модуля с применением припоев системы In—Cd—Zn—Ag и бесконтактного нагрева световым лучом дуговых ксеноновых ламп удовлетворяет всем технологическим требованиям к изготовлению паяного узла.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лашко Н. Ф., Лашко С. В. Пайка металлов. М.: Машиностроение, 1967. С. 179—186.
2. Петрунин И. Е. Физико-химические процессы при пайке. М.: Высшая школа, 1972. С. 11—22, 217—228.
3. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов. М.: Государственное научно-техн. изд-во литературы по черной и цветной металлургии, 1962. С. 210—262.
4. Эллиот Р. П. Структуры двойных сплавов. М.: Металлургия, 1970. С. 108—133.
5. ASM Handbook Volume 3 Alloy Phase Diagrams. ASM International, 1992. P. 66—76.
6. Яценко С. П. Индий. Свойства и применение. М.: Наука, 1987. С. 97—191.
7. Разработка композиции осололеглоплавкого припоя для пайки элементов радиоэлектронной аппаратуры, имеющих барьерное золотое покрытие / А. В. Бажанов, В. А. Фролов, Н. С. Пронин, С. А. Федоров // Тез. докл. Всеросс. конф. "НТМ — 2004". М.: "МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского, 2004. С. 23, 24.
8. Особенности формирования соединений при светолучевой пайке изделий из меди и ее сплавов / Н. С. Пронин, В. А. Фролов, С. А. Федоров, А. В. Бажанов // Сварочное производство. 2003. № 11. С. 37—40.

Ф. А. ХРОМЧЕНКО, д-р техн. наук  
ОАО "ВТИ"

## Сварочные технологии ремонта элементов трубопроводных систем теплоэнергетики

### Ч. 1. Ремонт элементов трубопроводов I категории

Цель ремонта заключается в продлении срока службы сварных соединений и бесшовных деталей трубопроводов, эксплуатирующихся при различных параметрах рабочей среды (табл. 1).

Трудность в выборе оптимальных решений связана с отсутствием современной нормативно-технической документации по сварочной технологии ремонта. Действующие отдельные НТД, в том числе РД 34 17.310—96, РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с), РД 2730.940.102—92, не охватывают обширную номенклатуру повреждающихся элементов трубопроводов и, кроме того,

по отдельным позициям ремонтных технологий устарели и требуют уточнения или переработки.

Вместе с тем в научно-исследовательских, ремонтных и эксплуатационных организациях накоплен положительный опыт по разработке и применению оптимальных вариантов комплексной сварочной технологии ремонта для восстановления работоспособности элементов трубопроводов в теплоэнергетике и родственных отраслях промышленности.

Отдельные ремонтные технологии с применением сварки отражены в работах [1, 2]. В данной работе обобщены и рассмотрены основные положения и конкретные применяемые оптимальные варианты сварочно-ремонтных технологий.

**Основные организационно-технические требования**, связанные с подготовкой и проведением сварочно-ремонтных работ, заключаются в следующем:

- решение о выполнении сварочно-ремонтной технологии принимается с учетом организационно-технической возможности и экономической целесообразности со стороны предприятия — владельца (собственника) тепловой электростанции;
- предприятие, выполняющее сварочно-ремонтные операции, должно иметь лицензию (разрешение) на проведение этих работ. Кроме того, предприятие должно быть укомплектовано аттестованными инженерно-техническими работниками и рабочим персоналом (сварщиками, операторами-термистами, специалистами по неразрушающе-

му контролю), а также оснащено необходимым сварочно-термическим оборудованием, приборами, инструментом, материалами;

- сварочно-ремонтная технология, применяемая предприятием, должна пройти производственную аттестацию. Сварочная технология ремонта разрабатывается специализированной организацией (например научно-исследовательским институтом, имеющим право на выполнение таких работ) или ремонтным предприятием, после чего технология согласовывается со специализированной организацией;
- предприятие (ремонтная организация, тепловая электростанция) применяет сварочно-ремонтные технологии, обеспечивающие продление срока службы отремонтированных элементов на заданный остаточный ресурс;
- сварочно-ремонтные операции проводятся с выполнением требований безопасности: технической, электрической и пожарной.

Руководство выполнением сварочно-ремонтных работ возлагается на специалиста сварочного производства, аттестованного на II—IV уровни согласно ПБ 03-273—99. Конкретный уровень аттестации специалиста определяется ответственностью выполняемых сварочно-ремонтных операций, в которых принимаются во внимание условия эксплуатации трубопровода, характер и размеры повреждения, материал и типоразмер ремонтируемой дета-

Таблица 1

Категория трубопроводов ПБ 10-573-03	Группа	Рабочие параметры среды	
		Температура, °С	Давление, МПа
I	1	Свыше 560	Не ограничено
	2	Свыше 520 до 560	То же
	3	Свыше 450 до 520	— " —
	4	До 450	Более 8,0
II	1	Свыше 350 до 450	До 8,0
	2	До 350	Более 4,0 до 8,0
III	1	Свыше 250 до 350	До 4,0
	2	До 250	Более 1,6 до 4,0
IV	—	Свыше 115 до 250	Более 0,07 до 1,6

Примечание. Если значения параметров среды находятся в разных категориях, то трубопровод следует отнести к категории, соответствующей максимальному значению параметра среды.

ли, объем и условия выполнения ремонтных работ.

К выполнению сварочных операций допускаются сварщики, аттестованные на I уровень согласно ПБ 03-273—99 и имеющие опыт выполнения таких операций в условиях ремонта энергетического оборудования. Перед началом сварочно-ремонтных операций сварщик выполняет контрольное соединение типоразмера, аналогичного ремонтируемой детали трубопровода I—II категорий, при этом контрольное соединение сваривают в условиях, аналогичных производственным. Контрольное соединение при ремонте деталей трубопроводов III и IV категорий выполняется при необходимости.

Качество контрольного соединения оценивается по результатам визуального контроля с измерением, а также металлографического анализа макрошлифов поперечного сечения согласно РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с).

К проведению термической обработки (подогрева при сварке, термического отжига, высокого отпуска) допускаются термисты-операторы, имеющие право на выполнение операций по регистрации температурных режимов и регулированию параметров нагрева, ознакомленные со сварочно-термической технологией ремонта конкретной детали. К проведению термической обработки также допускаются квалифицированные электрики, слесари, газосварщики, имеющие положительный опыт выполнения операций по организации и обслуживанию постов электротермического и газотермического нагрева с размещением нагревательных устройств на ремонтируемых элементах трубопроводов.

К контролю качества основного металла и сварных соединений при ремонтных работах допускаются специалисты неразрушающего контроля, аттестованные согласно ПБ 03-440—02, а также специалисты металловеды по выполнению металлографического анализа и

контроля методом измерения твердости, имеющие право на проведение таких операций.

К операциям по удалению поврежденного металла, подготовке выборки (углублений) под сварку и обработке ремонтных швов и усиливающих наплавов механическим способом допускаются квалифицированные слесари, имеющие положительный опыт проведения таких операций в ремонтных условиях. Перед началом ремонтных работ слесари должны быть ознакомлены с особенностями вы-

полнения слесарных операций по конкретному ремонтируемому элементу трубопровода.

Основным способом выполнения подварочных швов и усиливающих наплавов в ремонтных условиях является ручная дуговая сварка покрытыми электродами. В отдельных случаях применяется ручная аргодуговая сварка вольфрамовым неплавящимся электродом с присадочной проволокой; ограниченное применение имеет ручная ацетиленокислородная сварка с присадочной проволокой.

Таблица 2

Сталь	Электрод			Режим прокалики	
	Тип	Вид покрытия	Марка	Температура, °С	Выдержка, ч
Ремонт элементов трубопроводов I категории ( $t_{\text{пара}} > 450 \text{ } ^\circ\text{C}$ )					
15X1M1Ф 12X1MФ 20XMФЛ 15X1M1ФЛ 12X1M1Ф-ЦЛ	Э-09X1MФ <sup>1</sup>	Б	ТМЛ-3У ЦЛ-45 ЦЛ-20 ЦЛ-39	340—380	2—2,5
15XM 12MX 12X1MФ	Э-09X1M <sup>1</sup>		ТМЛ-1У ЦЛ-38 ЦУ-2XM	340—380	2—2,5
12X1MФ 20XMФЛ 15X1M1ФЛ	Э-11X15H25M6AГ2		ЭА-395/9 НИАТ-5 ЦТ-10	200—240	1—1,5
	Э-08H60Г7M7T	ЦТ-36	200—240	1—1,5	
Ремонт сварных соединений трубопроводов I категории ( $t \leq 450 \text{ } ^\circ\text{C}$ )					
10, 20, 20Л, 15ГС, 16ГС	Э50А	Б	ТМУ-21 УОНИ-13/55 ЦУ-5	340—380	2—2,5
Ремонт сварных соединений трубопроводов II—IV категорий					
10, 20, 20Л, 15ГС, 16ГС, 17ГС, 09Г2С, 20ГСЛ, Ст3сп, Ст2пс	Э50А	Б	ТМУ-21 УОНИ-13/55 ЦУ-5	340—380	2—2,5
	Э42А	Б	УОНИ-13/45 ЦУ-6	150—190	1—1,5
	Э46	Р	АНО-4, МР-3, ОЗС-4 ОЗС-12		
		РЖ	ОЗС-6 АНО-18		
		АР	АНО-24		
Э42	АР	АНО-6М			
<sup>1</sup> Электроды также применяют при сварке сталей 12X1MФ и 15XM трубопроводов I категории (4-ой группы) и II—IV категорий.					
Обозначения. Вид покрытия: Б — основной (фтористо-кальциевый), Р — рутиловый, РЖ — рутиловый с железным порошком, АР — ильменитовое покрытие смешанного кислорутилового вида.					

Покрытые электроды перед сваркой подвергают следующим операциям:

- контроль по оценке химического состава наплавленного металла независимо от типа электродов и наличия сертификата. При отмене такого контроля возможны снижение трещиностойкости металла, ухудшение качества сварных швов в случаях применения бракованного по химическому составу сварочного материала;
- контроль сварочно-технологических свойств электродов (плавление во всех пространственных положениях, возможность полного удаления шлака из швов-наплавки и др.). Сварочно-технологические свойства электродов проверяют согласно РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с);
- прокатке (за 4—6 ч до начала сварочных операций) при температурных режимах и выдержке в зависимости от типа и марки электродов (табл. 2). Хранение покрытых электродов обеспечивается согласно требованиям РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с).

При аргонодуговой сварке применяют аргон высшего качества и вольфрамовые электроды (стержни) ЭВЛ, ЭВЧ, ЭВИ-1, ЭВТ-15 и др.; при ручной ацетиленокислородной сварке применяют ацетилен и кислород высшего качества согласно РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с).

При проведении слесарных операций по удалению поврежденного металла, подготовке выборок (углублений) и обработке швов-наплавки применяется механический способ с помощью абразивного инструмента (шлифовальных машинок) и сверления. Не рекомендуется использовать ударный инструмент при удалении трещин. Не допускается удалять поврежденный металл с помощью огневой резки (ацетиленокислородной, в том числе с газом — заменителем

Таблица 3

Форма угольного (графитового) электрода	Площадь поперечного сечения электрода, мм <sup>2</sup>	Рекомендуемый ток, А
Круглый стержень	50	(280—320)/ (360—400)*
	80	(350—400)/ (400—450)*
Прямоугольный стержень	100	450—500
	140	500—700
	196	600—900

\* В числителе приведены значения для неомедненных электродов, в знаменателе — для омедненных.

ацетилена; электрической дугой плавящимся электродом).

Для этих целей возможно применение резки плазменной дугой; также допускается воздушно-дуговая строжка (табл. 3). Удаление поврежденного металла с применением этих способов резки сопровождается подогревом ремонтируемой детали. Поверхность выборки подлежит последующей обработке абразивным инструментом на глубину 2—3 мм для удаления закаленного (и науглероженного металла при воздушно-дуговой строжке) поверхностного слоя металла.

Сварочно-термическое оборудование при ремонтных работах применяется согласно рекомендациям РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с).

**Основные положения сварочно-ремонтной технологии** включают следующие требования:

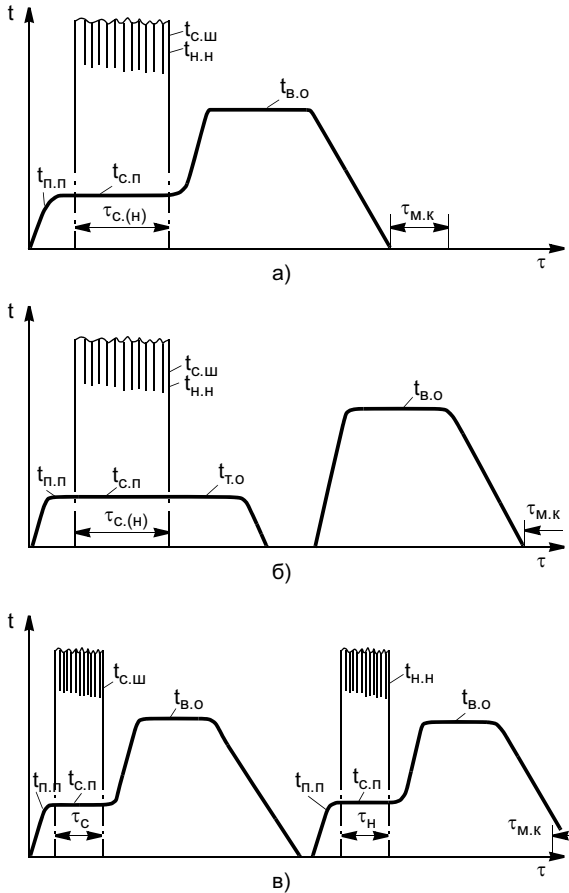
- подлежащий ремонту элемент трубопровода подвергают обследованию с анализом характера повреждения для установления причин отказа детали. Такой анализ является необходимой мерой для принятия решения о возможности и целесообразности проведения ремонта или замене поврежденного элемента;
- поврежденный металл удаляют механическим способом (абразивным инструментом, свер-

лением). Допускается применение способов резки плазменной дугой или воздушно-дуговой строжкой (с подогревом ремонтируемой детали) с последующей обработкой поверхности выборок абразивным инструментом;

- подготовленную поверхность выборок подвергают контролю неразрушающими методами дефектоскопии для подтверждения соответствия качества, формы и размера выборки требованиям сварочно-ремонтной технологии;
- подварочный (ремонтный) шов и усиливающую наплавку выполняют многослойным способом на заданных токовых режимах сварки (погонной энергии) и преимущественно с подогревом и послесварочной термической обработкой согласно сварочно-ремонтной технологии;
- контроль качества подварочного (ремонтного) шва и усиливающей наплавки проводят неразрушающими методами дефектоскопии (и измерением твердости при необходимости). Контроль подвергается поверхность наплавленного металла (шва, наплавки) с прилегающими участками шириной не менее 30 мм основного металла после обработки механическим способом (абразивным инструментом);
- эксплуатационный контроль (методы, объемы, периодичность) проводят в течение назначенного остаточного срока службы отремонтированных элементов (сварных соединений, бесшовных деталей).

Последовательность выполнения сварочно-ремонтных операций по восстановлению работоспособности отремонтированных элементов трубопроводов I категории приведена на рис. 1.

Ниже приведены отдельные требования основных положений



**Рис. 1. Последовательность проведения технологических операций при ремонте элементов трубопроводов I категории из теплоустойчивых хромомолибденованадиевых сталей:** а — при непрерывном выполнении сварочно-термических операций; б — при перерыве во времени между операциями сварки и термической обработки (высокий отпуск); в — при перерыве во времени между операциями выполнения подварочного шва и усиливающей наплавки ( $\tau_{с.н}$  — продолжительность сварки (наплавки);  $\tau_{с.н}$  — продолжительность механической обработки и контроля;  $t_{п.п}$ ,  $t_{с.п}$  — соответственно температура предварительного и сопутствующего подогрева;  $t_{т.о}$  — температура термического отдыха;  $t_{с.ш}$  — температура сварки;  $t_{н.н}$  — температура наплавки;  $t_{в.о}$  — температура высокого отпуска)

сварочно-ремонтной технологии элементов трубопроводов.

**Анализ характера повреждения** включает определение размера, места расположения, ориентации и вида трещин или определение степени микрповрежденности металла (от ползучести, графитизации) или утонения стенки трубных элементов (толщины швов) от истирания, коррозии. Фактическое состояние поврежденного металла оценивают по результатам визуального контроля, а также, при необходимости, по результатам металлографических исследований, ультразвукового контроля и/или

магнитопорошковой дефектоскопии.

При проведении анализа учитывают условия эксплуатации (температуру, давление, активность рабочей среды, длительность наработки при стационарном режиме и числе циклических нагрузок). Обязательной является техническая информация по типоразмерам и материалу поврежденных элементов, результатам их эксплуатационного контроля.

При необходимости дополнительно проводят контроль поврежденного элемента с определением фактических размеров (толщины стенки, наружного диаметра,

радиусов перехода в местах сопряжения разнотолщинных деталей), химического состава и кратковременных свойств металла. В отдельных случаях для уточнения причин повреждения проводят специальные испытания образцов с оценкой остаточной жаропрочности, критической температуры хрупкости и др.

По результатам комплексного анализа полученной информации устанавливают механизм и причины повреждения элементов трубопровода. Причины повреждения обусловлены технологическими, конструкционными и эксплуатационными факторами. Важным и необходимым является определение основной (главной) причины отказа надежности элемента, поскольку остальные рассматриваются как сопутствующие причины повреждения. Первоочередной задачей является устранение основной причины повреждения для исключения ее негативного влияния на работоспособность отремонтированных элементов трубопроводов.

При повреждении структуры металла (от ползучести или графитизации) принимают решение о проведении восстановительной термической обработки отдельных элементов или трубопровода в целом [1] или об их замене. При недопустимом утонении стенки элементов или трубопровода (вследствие коррозии) принимают решение об их замене при соблюдении условия  $S_f < [S] = S_R + C_2$ , где  $S_f$  — фактическая толщина утоненной стенки;  $[S]$  — допустимая согласно РД 10-249—98 толщина стенки труб;  $S_R$  — расчетная толщина стенки;  $C_2$  — эксплуатационная прибавка.

**Форма и размер выборки (углублений)** при ремонте сварных соединений зависят от температурных условий эксплуатации и материала трубопровода (рис. 2). В любом варианте (при ремонте сварного соединения и бесшовной детали) выборка должна иметь U-образную форму с уг-



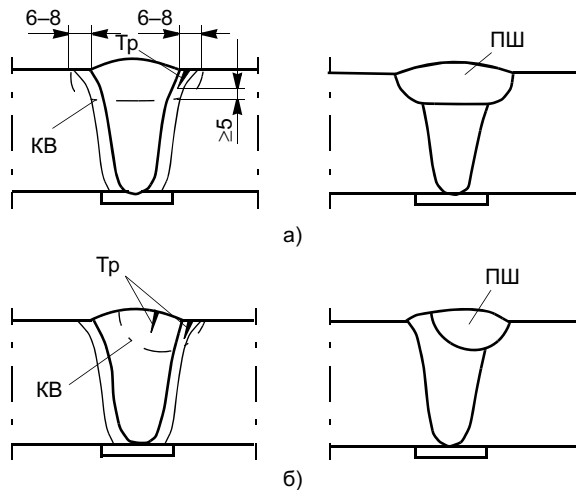


Рис. 2. Рекомендуемые формы выборок (после удаления поврежденного металла) и формы подварочных швов при ремонте сварных соединений паропроводов из теплоустойчивых хромомолибденованадиевых сталей для температуры эксплуатации согласно РД 34.17.310—96 (Тр — трещина; КВ — контур выборки; ПШ — подварочный шов): а — 510 °С и выше; б — ниже 510 °С

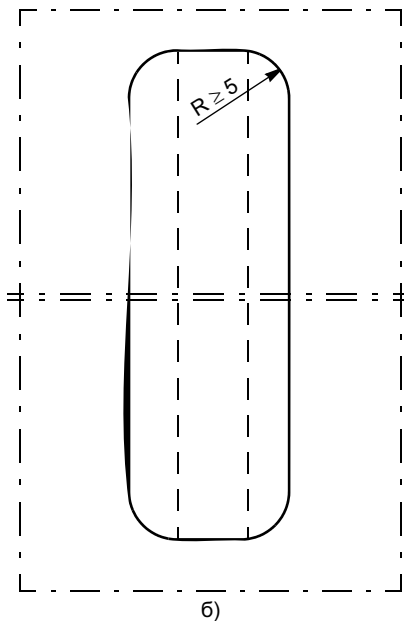
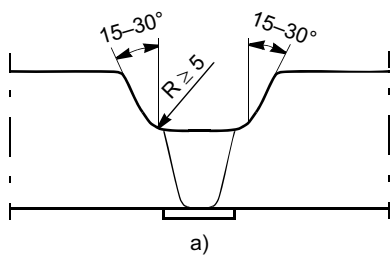


Рис. 3. Рекомендуемая форма выборки (углубления) после удаления поврежденного металла: а — поперечное сечение ремонтируемого элемента; б — план контура выборки

лом скоса кромки 15—30° и шириной донной части не менее 10 мм с переходом к скошенной кромке с радиусом сопряжения  $R \geq 5$  мм (рис. 3). Поверхность выборки и прилегающие участки основного металла шириной не менее 30 мм очищают абразивным инструментом до металлического блеска. После проведения контроля (методами магнитно-порошковой дефектоскопии и/или металлографическим анализом с реплик) поверхность металла вновь очищают механическим способом (абразивным инструментом) и обезжиривают.

**Подварочные (ремонтные) швы и усиливающие наплавки** выполняют многослойным способом валиками ограниченного сечения (высотой 5—8 мм и шириной 12—20 мм). При ручной дуговой сварке используют покрытые электроды диаметром 2,5—4 мм. Сварку перлитными электродами выполняют на умеренных токовых режимах:  $I = (30 \div 35)d_3$ , где  $d_3$  — диаметр электрода (стального стержня), мм; при использовании аустенитных электродов величину тока снижают примерно на 15 % из расчета по формуле  $I = (25 \div 30)d_3$ .

Необходимость в предварительном и сопутствующем подогреве ремонтируемого элемента

устанавливают с учетом материала и размеров (толщины стенки, наружного диаметра) ремонтируемого элемента. Подогрев при сварке (наплавке) необходим для снижения остаточных сварочных напряжений, повышения пластичности металла в прилегающих к зоне сварки участках металла и эвакуации (удаления) атомарного водорода.

**Термическая обработка после сварки (наплавки)** включает операции термического отдыха и высокого отпуска. Термический отдых проводят с выдержкой в течение не менее 1 ч (при температуре, равной температуре подогрева при сварке — наплавке) для эвакуации (удаления) атомарного водорода из металла с целью повышения хладостойкости отремонтированной детали.

Высокий отпуск выполняют при 560—765 °С с выдержкой в течение 1—5 ч в зависимости от материала и толщины стенки ремонтируемого элемента (сварного соединения, бесшовной детали). Его проводят с целью релаксации остаточных сварочных напряжений, обеспечения необходимых структурных превращений и повышения пластичности металла в зонах высокотемпературного нагрева при сварке (наплавке).

При тепловой обработке металла (подогреве при сварке — наплавке, последующем термическом отдыхе и высоком отпуске) применяют следующие способы нагрева: индукционный токами промышленной и средней частоты, радиационный электронагревателями сопротивления и газопламенный с помощью газовых горелок. При индукционном нагреве используют гибкие медные индукторы: неохлаждаемые и водоохлаждаемые нагреватели.

Температурные режимы нагрева регистрируются от хромель-алюмелевых термопар типа ТХА с помощью самопишущих приборов; при ремонте элементов трубопроводов II—IV категорий допускается

определять температуру нагрева с помощью термокарандашей.

**Ремонт сварных соединений трубопроводов I категории** из углеродистых и низколегированных сталей выполняют с помощью ручной дуговой сварки преимущественно с подогревом (при сварке—наплавке) и последующей термической обработкой (табл. 4).

**Ремонт сварных соединений паропроводов из теплоустой-**

**чивых хромомолибденованадиевых сталей** проводят с учетом следующих особенностей и требований:

- выполнения основных положений сварочной технологии ремонта, рассмотренных выше, и технологических требований по ремонту сварных деталей согласно РД 34.17.310—96;
- подготовки механическим способом (абразивным инст-

рументом) выборок поврежденного металла необходимой чашеобразной формы (см. рис. 3).

Сварные стыковые соединения труб могут быть оставлены без нанесения ремонтных заварок, если выполняется условие прочности (рис. 4):

$$(S_f)_{\min} > [S] = S_R + C_2,$$

где  $(S_f)_{\min}$  — фактическая минимальная толщина стенки (утоненная выборкой);  $[S]$  — допустимая толщина стенки согласно РД 10-249—98;  $S_R$  — расчетная толщина стенки, равная  $\rho D_H / (2\varphi_\omega [\sigma] + \rho)$  ( $[\sigma]$  — допускаемое напряжение на сталь для срока наработки с остаточным ресурсом,  $\varphi_\omega = 1$ );  $C_2$  — эксплуатационная прибавка, равная 0,5 мм;

- качество поверхности выборки и прилегающих участков основного металла шириной не менее 30 мм (после механической обработки) контролируют неразрушающими методами (ВК с измерением; МПД или ЦД; в отдельных случаях — также методом металлографического анализа с реплик); при необходимости дополнительно проводят УЗК контроль качества основного металла на участке ремонта для выявления возможных трещин. Результаты контроля оценивают по нормативным требованиям РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с) и СО 153-34.17.470—2003;
- ремонтные заварки выполняют многослойным способом ва-

Таблица 4

Тип сварного соединения	Сталь	Наплавляемый металл	Подогрев при сварке		Высокий отпуск	
			S, мм	t <sub>п</sub> , °C	S, мм	t <sub>п</sub> , °C (τ, ч)
ССС, СССР <sub>ртэ</sub> , СССР <sub>кп</sub> , СССР <sub>д</sub>	12X1MФ	09X1MФ	10—30 >30	200—250 250—300	<20 <60	720—750 (1) 720—750 (2)
	15X1M1Ф, сочетание с 12X1MФ		>10	300—350	>60	720—750 (5)
	15X1M1ФЛ, сочетание с 12X1MФ и 15X1M1Ф		>10	300—350	<20 <45 >45	720—750 (2) 730—760 (3) 730—760 (5)
ТСС, ШСС, ШСК	12X1MФ	09X1MФ	>10	250—300	<20	720—750 (2)
	15X1M1Ф, сочетание с 12X1MФ		>10	300—350	<45 >45	730—760 (3) 730—760 (5)
ШСС кол-лекторов	12X1MФ	09X1M	<20*	200—250	<20*	Без высокого отпуска
		11X15H25M6AG2 08H60G7M7T	<20*	Без подогрева	<20*	
ССС	12X1MФ	09X1M	10—20	200—250	<20**	
Все типы сварных соединений	15XM 12MX	09X1M	10—30 >30	150—200 200—250	<20 <45	700—730 (1) 700—730 (2)
	20XMЛ и сочетание с 15XM и 12MX	09X1M	10—30 >30	200—250 250—300	≤45 >45	700—730 (2) 700—730 (3)
	20, 20Л, 25Л	Э50А	>30 ≥60	100—150	>30 ≥60	560—590 (1) 560—590 (2)

\* Толщина штуцеров диаметром D<sub>H</sub> ≤ 219 мм.

\*\* Наружный диаметр труб D<sub>H</sub> ≤ 219 мм.

Примечания: 1. При перерыве во времени между окончанием сварки ремонтных перлитных швов-наплавки (с подогревом) и высоким отпуском должен проводиться термический отдых при температуре подогрева (см. рис. 1, б). Длительность термического отдыха составляет 1—3 ч в зависимости от толщины стенки трубных элементов S из хромомолибденовой стали (τ<sub>т.о</sub> = 1 ч для S ≤ 30 мм; τ<sub>т.о</sub> = 3 ч для S > 30 мм и h<sub>р.ш</sub> ≥ 0,5S, где h<sub>р.ш</sub> — высота ремонтного шва в поперечном сечении). 2. Термический отдых и высокий отпуск не проводятся в случаях применения аустенитных электродов при сварочно-ремонтной технологии.

Обозначения: СССР, СССР<sub>ртэ</sub>, СССР<sub>кп</sub>, СССР<sub>д</sub> — стыковые сварные соединения труб одинакового типоразмера, разнотолщинных трубных элементов, с коническими переходами, донышка с коллектором соответственно. ТСС, ШСС — тройниковые и штуцерные сварные соединения соответственно. ШСК — штампосварное колено.

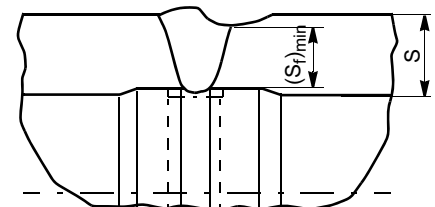


Рис. 4. Допускаемый вариант технологии ремонта поврежденных стыковых сварных соединений без ремонтных заварок выборок при выполнении условия прочности  $(S_f)_{\min} > [S] = S_R + C_2$

ликами высотой 5—8 мм и шириной 12—20 мм при сварке перлитными электродами диаметром 2,5—3 мм (токовые режимы соответственно 75—90 и 90—110 А); электроды диаметром 4 мм дополнительно применяют при больших объемах наплавки (ток сварки 120—160 А). При использовании аустенитных электродов режимы сварочного тока снижают на 15—20 %, а ширину наплавляемых валиков следует сужать до 12—16 мм при высоте 5—8 мм.

Последовательность выполнения многослойных ремонтных заварок (подварочных швов) приведена на рис. 5. Рекомендуется предварительно наносить на поверхность выборки двухслойную облицовку, при этом валики первого слоя наносят с использованием электродов диаметром 2,5—3 мм, а второго слоя — электродами диаметром 4 мм (для создания эффекта самоотпуска околошовной зоны);

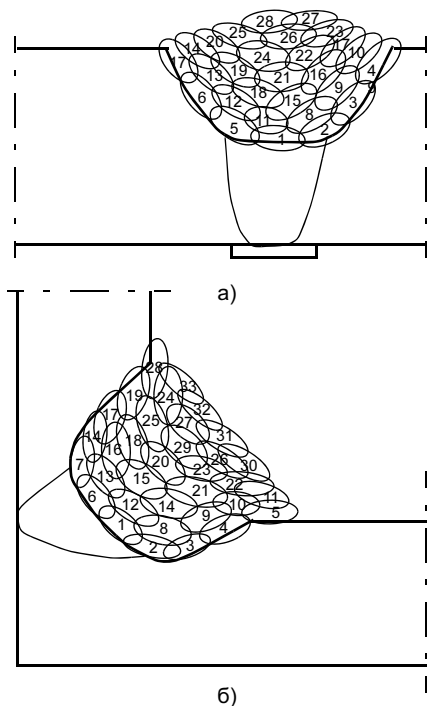


Рис. 5. Рекомендуемая последовательность выполнения многослойных подварочных швов (поперечное сечение) при ремонте стыковых (а) и тройниковых и штуцерных (б) сварных соединений

при последующем заполнении выборки используют электроды диаметром 3—4 мм (рис. 6).

Вариант сварочной технологии с нанесением двухслойной облицовки может применяться только для широких и глубоких выборок (в поперечном сечении) и доступности к месту ремонта; выбор такого варианта технологии определяется в каждом конкретном случае;

- выполнение ремонтных заварок (при сварке перлитными электродами) сопровождается предварительным и сопутствующим подогревом ремонтируемой детали (см. рис. 1). Температуру подогрева назначают с учетом типоразмера и материала ремонтируемых сварных соединений, она составляет 150—350 °С (см. табл. 4).

Ширина кольцевой зоны равномерного подогрева по всему периметру ремонтируемой детали не менее 150 мм (с выборкой в центре) для большей толщины стенки одного из сопрягаемых трубных элементов  $S \leq 30$  мм и не менее 200 мм при  $S > 30$  мм. Подогрев не применяется при сварке аустенитными электродами;

- по окончании сварочных операций сразу проводят высокий отпуск при 720—760 °С с выдержкой в течение 1—5 ч в зависимости от типоразмера и материала ремонтируемой детали с перлитным подварочным швом 09Х1МФ (см. табл. 4, рис. 1, а). Ширину кольцевой (по всему периметру детали) зоны равномерного нагрева  $L_{p.н}$  выбирают максимальной из двух значений

$$L_{p.н \max} = \{1,3 \sqrt{(D_H - S)S}; 4S\}.$$

В отдельных конкретных случаях ширина кольцевой зоны нагрева может превышать регламентированную величину согласно РД 153-34.1.003—01 (РТМ-1с) в зависимости от особенности ремонтируемой сварной детали и ширины ремонтной заварки;

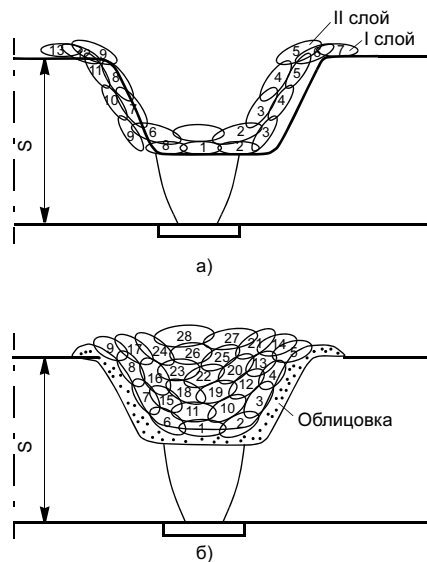


Рис. 6. Рекомендуемая последовательность выполнения многослойной ремонтной заварки для широких и глубоких выборок: а — нанесение двухслойной облицовки (I этап выполнения ремонтной заварки); б — заполнение оставшейся части выборки (II этап)

- в случае вынужденного перерыва во времени между окончанием сварочного процесса и началом высокого отпуска должен быть проведен термический отдых ремонтируемой сварной детали с перлитным подварочным швом (09Х1МФ) и после перерыва во времени (после термического отдыха) — высокий отпуск (см. рис. 1, б).

Термический отдых проводят при температуре подогрева с выдержкой в течение 1 ч для ремонтируемой сварной детали толщиной  $S < 30$  мм и не менее 3 ч при  $S > 30$  мм;

- усиливающие наплавки выполняют в случаях недостаточной конструкционной прочности сварных соединений всех типов (при  $S_f/S_R = 1 \div 1,2$ ) и дополнительно для соединений типов ТСС и ШСС (при  $d_o/(D_H - 2S_f) > 0,75$  и/или  $0,95 > \beta^k/\beta^w > 1,05$ , где  $\beta^k \geq D_H^k/D_{вн}^k$  и  $\beta^w \geq d_H^w/d_{вн}^w$ ).

Наплавку проводят многослойным способом по всему периметру трубного элемента с перекрытием, при необходимости ремонтной заварки ее ширина определяется типоразмером сварной детали (элемента) согласно РД 34.17.310—96. Схема укрепления сварных соединений усиливающей наплавкой приведена на рис. 7.

Наплавку выполняют по технологии (сварочные режимы, операции подогрева, термического отдыха, высокого отпуска), типичной для выполнения ремонтных заварок (см. табл. 4, рис. 1, в);

- промежуточными операциями являются операции механической обработки поверхности подварочных швов — ремонтных заварок (усиливающих наплавок) с помощью абразивного инструмента и операции контроля качества неразрушающими методами: визуальным методом с измерением, МПД

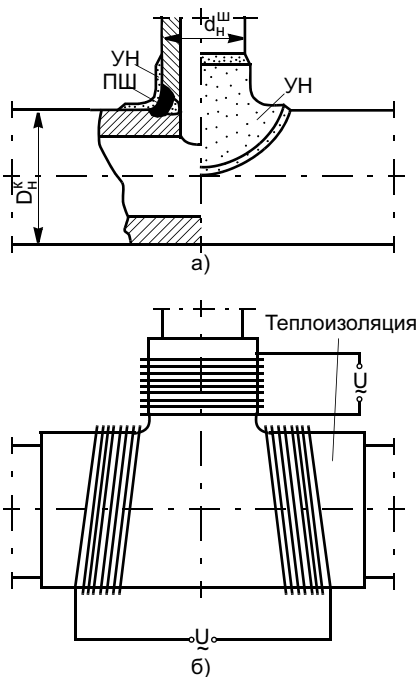


Рис. 7. Рекомендуемая схема сварочной технологии ремонта сварного тройника  $\varnothing 245 \times 45 / \varnothing 159 \times 30$  мм (сталь 15X1M1Ф, металл шва 09X1M1Ф): а — расположение подварочного шва (ПШ) и усиливающей наплавки воротникового типа (УН); б — размещение нагревательных устройств при проведении высокого отпуска

(ЦД), УЗК и, кроме того, измерением твердости металла подварочного шва, усиливающей наплавки.

По результатам контроля усатанавливают соответствие качества и свойств зон ремонта нормативным требованиям.

**Пример 1.** Выбрать вариант ремонта стыкового сварного соединения паропроводных труб  $\varnothing 273 \times 36$  мм после  $\tau_H = 210$  тыс. ч эксплуатации. Кольцевая трещина глубиной 3,5—4 мм и длиной около 30 мм в зоне ЗТВ<sub>рп</sub> на наружной поверхности соединения. Сталь 12X1M1Ф, металл шва — 09X1M1Ф. Назначаемый остаточный ресурс  $t_{o,p} = 40$  тыс. ч.

Исходные данные:  $t = 545$  °С;  $\rho = 14$  МПа;  $\tau_H = 2,1 \cdot 10^5$  ч;  $\tau_{o,p} = 0,4 \cdot 10^5$  ч;  $\tau_{и,p} = \tau_H + \tau_{o,p} = 2,5 \cdot 10^5$  ч; глубина выборки после удаления трещины  $h_B = 5$  мм;  $[\sigma] = 57$  МПа для индивидуального ресурса  $\tau_{и,p} = 2,5 \cdot 10^5$  ч;  $C_2 = 0,5$  мм.

Поставленная задача решается в три этапа:

— на первом этапе определяют расчетную толщину стенки паропроводных труб, которая при расчете по формуле  $S_R = \rho D_H / (2[\sigma] + \rho)$  составляет  $S_R = 29,9$  мм;

— на втором этапе оценивают фактическую минимальную толщину стенки трубного элемента в зоне выборки:  $(S_f)_{min} = S - h_B = 31$  мм;

— на третьем этапе определяют выполнение условия прочности, которое удовлетворяется, поскольку  $(S_f)_{min} = 31$  мм  $>$   $S_R + C_2 = 30,4$  мм.

Из этого следует, что выборку можно не подваривать.

Таким образом, обоснован выбор варианта технологии ремонта сварного стыкового соединения на остаточный ресурс 40 тыс. ч. Технология ремонта заключается в полном удалении трещины (с помощью абразивного инструмента) без последующего выполнения подварочного шва (ремонтной заварки) в выборку глубиной до 5 мм.

**Пример 2.** Разработать сварочную технологию ремонта поврежденного сварного тройника

$\varnothing 245 \times 45 / \varnothing 159 \times 30$  мм с металлом шва 09X1M1Ф (материал паропровода — сталь 15X1M1Ф).

Исходные данные:  $t = 545$  °С;  $\rho = 25$  МПа;  $\tau_H = 1,5 \cdot 10^5$  ч;  $\tau_{o,p} = 0,5 \cdot 10^5$  ч;  $\tau_{и,p} = \tau_H + \tau_{o,p} = 2 \cdot 10^5$  ч;  $[\sigma] = 66$  МПа для  $\tau_{и,p} = 2 \cdot 10^5$  ч; кольцевые трещины со стороны корпуса и штуцера в ЗТВ<sub>рп</sub> на наружной поверхности сварного соединения с угловым швом; глубина трещин  $a = 7 \div 8$  мм, протяженность —  $L = 50 \div 80$  мм; глубина кольцевой выборки после удаления трещин  $h_B \approx 10$  мм;  $D_H^K = 245$  мм;  $D_{ВН}^K = 155$  мм;  $d_H^W = 159$  мм;  $d_{ВН}^W = 99$  мм; по результатам УЗТ  $S^K = S_f^K = 45$  мм и  $S^W = S_f^W = 30,0$  мм в пришовных зонах тройника;  $C_2 = 0,5$  мм;  $\beta^K = D_H^K / D_{ВН}^K = 1,58$ ;  $\beta^W = d_H^W / d_{ВН}^W = 1,61$ .

Поставленная задача решается в несколько этапов:

— на первом этапе оценивают расчетную толщину стенки штуцера и корпуса тройника  $S_R^W = 25,3$  мм,

$S_R^K = 39,0$  мм;

— на втором этапе оценивают фактическую минимальную толщину стенки трубных элементов в зоне общей выборки. Искомые значения составили  $(S_f^K)_{min} = S - h_B = 35$  мм для корпуса тройника и  $(S_f^W)_{min} = 20$  мм для штуцера;

— на третьем этапе определяют выполнение условия прочности, которое не удовлетворяется, поскольку  $(S_f^K)_{min} = 35$  мм  $<$   $S_R + C_2 = 39,5$  мм для корпуса тройника и  $(S_f^W)_{min} = 20$  мм  $<$   $S_R + C_2 = 25,8$  мм для штуцера.

Из этого следует, что выборку необходимо подваривать;

— на четвертом этапе определяют необходимость нанесения

усиливающей наплавки в районе углового шва тройника по результатам проверки его конструкционной прочности. Установлено, что запас толщины стенки пришовной зоны штуцера и корпуса тройника является недостаточным  $S_f^w/S_R^w = 1,19$  и  $S_f^k/S_R^k = 1,15$ : оптимальные значения  $S/S_R \geq 1,4$ .

Следовательно, необходимо сварной тройник укреплять усиливающей наплавкой воротникового типа (см. рис. 7, а).

По остальным параметрам сварной тройник удовлетворяет требованиям конструкционной прочности, поскольку  $\beta^k/\beta^w = 0,98$  (в пределах рекомендуемого значения  $1 \pm 0,05$ ) и  $d_o/(D_H^k - 2S_f) = 0,64 < [0,75]$ ;

— на пятом этапе оценивают толщину усиливающей наплавки для условия  $S^*/S_R = 1,4$ . В этом случае  $S^*$  представляет суммарную толщину стенки трубного элемента с усиливающей наплавкой ( $S^* = S_f + h_{y,n}$ ). Расчетное значение  $S^*$  для корпуса тройника составляет  $S^{*k} = 1,4 S_R^k = 54,6$  мм и для штуцера  $S^{*w} = 1,4 S_R^w = 35,4$  мм. Толщина усиливающей наплавки (при расчете из равенства  $S^* = S_f + h_{y,n}$ ) составляет для корпуса тройника  $h_{y,n}^k = 9,6$  мм и для штуцера  $h_{y,n}^w = 5,4$  мм. Принимаем  $h_{y,n}^k = 10 \div 12$  мм и  $h_{y,n}^w = 6 \div 8$  мм (после обработки усиливающей наплавки абразивным инструментом).

Ширина усиливающей наплавки в данном случае составляет  $L_{y,n} = L_{п.ш} + L_k + L_{ш}$ , где  $L_{п.ш}$  — ширина подварочного шва;  $L_k$  — ширина кольцевой зоны со стороны корпуса тройника ( $L_k \geq 50$  мм);  $L_{ш}$  — ширина кольцевой зоны со стороны штуцера ( $L_{ш} \geq 50$  мм) согласно РД 34.17.310—96;

— на шестом этапе принимают технологию выполнения подварочного шва и усиливающей наплавки воротникового типа. Основные положения технологии, последовательность проведения технологических операций и режимы подогрева с послесварочной термической обработкой приведены выше, включая данные табл. 4 и рис. 1, в. Качество отремонтированной детали оценивают по результатам неразрушающего контроля (ВК, МПД, УЗК, также измерением твердости металла наплавки и основного металла).

Таким образом, разработана сварочная технология ремонта поврежденного сварного тройника  $\varnothing 245 \times 45/\varnothing 159 \times 30$  мм с металлом шва 09X1MФ (материал паропровода — сталь 15X1M1Ф) с учетом результатов расчетной оценки конструкционной прочности ремонтируемой детали и определением размеров усиливающей наплавки.

Технология включает выполнение подварочного шва с усиливающей наплавкой воротникового типа. Сварочно-наплавочные операции сопровождаются подогревом ремонтируемой детали; после сварки проводят термический отдых и высокий отпуск.

Данная технология обеспечивает продление срока службы отремонтированного сварного тройника на 50 тыс. ч до индивидуального ресурса 200 тыс. ч для параметров пара 545 °С и 25 МПа. Необходимыми мерами продления ресурса отремонтированного тройника являются его периодический контроль и обеспечение эксплуатации паропровода в проектных условиях.

**Пример 3.** Разработать технологию ремонта поврежденного стыкового сварного соединения СССР<sub>ртз</sub>  $\varnothing 290 \times 50/\varnothing 273 \times 32$  мм с металлом шва 09X1MФ (материал трубных элементов — стали 15X1M1ФЛ и 12X1MФ).

Исходные данные:  $t = 545$  °С;  $p = 14$  МПа;  $\tau_H = 2 \cdot 10^5$  ч;  $\tau_{o,p} =$

$= 0,5 \cdot 10^5$  ч;  $\tau_{и,р} = \tau_H + \tau_{o,p} = 2,5 \times 10^5$  ч;  $[\sigma] = 57$  МПа для  $\tau_{и,р} = 2,5 \cdot 10^5$  ч;  $C_2 = 0,5$  мм; кольцевая трещина выявлена со стороны трубы  $\varnothing 273 \times 32$  мм в ЗТВ<sub>рп</sub> на наружной поверхности сварного соединения; глубина трещины  $a = 7 \div 8$  мм, протяженность —  $L = 70 \div 80$  мм; глубина кольцевой выборки после удаления трещины  $h_B \approx 10$  мм. Для трубы  $\varnothing 273 \times 32$  мм:  $D_H = 273$  мм; расчетная толщина стенки  $S_R = p D_H / (2[\sigma] + p) = 29,9$  мм; фактическая толщина стенки в пришовной зоне (по результатам УЗТ)  $S_f = 28,4$  мм  $= 0,95 S_R$ .

Поставленная задача решается в пять этапов:

— на первом этапе оценивают фактическую минимальную толщину стенки трубы в районе выборки:  $(S_f)_{\min} = S_f - h_B = 18,4$  мм;

— на втором этапе определяют выполнение условия прочности, которое не удовлетворяется, поскольку  $(S_f)_{\min} = 18,4$  мм  $< S_R + C_2 = 30,4$  мм.

Из этого следует, что выборку необходимо подваривать;

— на третьем этапе определяют необходимость нанесения усиливающей наплавки по результатам проверки конструкционной прочности стыкового соединения. Установлено, что запас толщины стенки пришовной зоны трубного элемента  $\varnothing 273 \times 32$  мм отсутствует, поскольку  $S_f/S_R = 0,95$ . Оптимальные значения составляют  $S/S_R \geq 1,4$ .

Следовательно, стыковое сварное соединение необходимо укрепить со стороны трубы  $\varnothing 273 \times 32$  мм усиливающей наплавкой цилиндрического типа (рис. 8);

— на четвертом этапе оценивают толщину усиливающей наплавки из условия  $S^*/S_R = 1,4$ . Суммарная толщина стенки в пришовной зоне трубного элемента с усиливающей наплавкой определяется из равенства  $S^* = S_f + h_{y,n}$  и составляет  $1,4 S_R = 41,9$  мм. Толщина усиливающей наплавки (при расчете из равенства  $S^* = S_f + h_{y,n}$ ) составила  $h_{y,n}^k = 13,5$  мм. Приня-

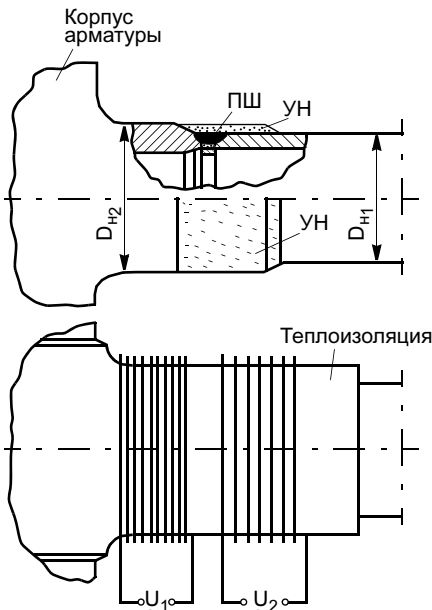


Рис. 8. Рекомендуемая схема сварочной технологии ремонта стыкового сварного соединения разнотолщинных трубных элементов  $\varnothing 290 \times 50$  мм/ $\varnothing 273 \times 32$  мм (сталь соответственно 15X1M1ФЛ/12X1MФ, металл шва 09X1MФ): а, б — см. рис. 7

то значение  $h_{y,н} = 14 \div 15$  мм (после обработки усиливающей наплавки абразивным инструментом).

Ширину усиливающей наплавки определяют по формуле  $L_{y,н} = L_{п,ш} + L_{тр} + L_{т,э}$ , где  $L_{п,ш}$  — ширина подварочного шва;  $L_{тр}$  — ширина кольцевой зоны со стороны трубы ( $L_{тр} \geq 50$  мм);  $L_{т,э}$  — ширина кольцевой зоны со стороны толстостенного элемента ( $L_{т,э} = 10 \div 15$  мм с последующим удалением наплывов металла абразивным инструментом);

— на пятом этапе принимают технологию выполнения подварочного шва и усиливающей наплавки цилиндрического типа. Основные положения технологии, последовательность проведения технологических операций и режимы подогрева с послесварочной термической обработкой приведены выше, включая данные табл. 4 и рис. 1, в. Качество отремонтированной детали оценивают по результатам неразрушающего контроля (ВК, МПД, УЗК, также изме-

рением твердости металла наплавки и основного металла).

Таким образом, разработана сварочная технология ремонта поврежденного стыкового сварного соединения  $ССС_{ртэ} \varnothing 290 \times 50 / \varnothing 273 \times 32$  мм с металлом шва 09X1MФ (материал трубных элементов — стали 15X1M1ФЛ и 12X1MФ) с учетом результатов расчетной оценки конструкционной прочности ремонтируемого элемента и установлением размеров усиливающей наплавки.

Технология включает выполнение подварочного шва с усиливающей наплавкой цилиндрического типа. Сварочно-наплавочные операции сопровождаются подогревом ремонтируемой детали, после сварки проводят термический отдых и высокий отпуск.

Данная технология обеспечивает продление срока службы отремонтированного сварного соединения на 50 тыс. ч до индивидуального ресурса 250 тыс. ч для параметров пара 545 °С и 14 МПа. Необходимыми мерами продления ресурса отремонтированного сварного соединения являются его периодический контроль и обеспечение эксплуатации в проектных условиях.

**Ремонт сварных соединений паропроводов из теплоустойчивых хромомолибденовых сталей** проводят с учетом следующих особенностей и требований:

- выполнение основных положений сварочной технологии ремонта, рассмотренных выше;
- при разработке технологии ремонта необходимым является проведение расчетных процедур по оценке конструкционной прочности поврежденных сварных соединений с обоснованием выбора технологии ремонта (без применения сварочных операций или с их применением), а также с обоснованием необходимости выполнения усиливающих наплавочных (и определением их размеров)

после сварки подварочного шва (см. примеры 1—3);

- выполнение сварочной технологии ремонта с применением сварочных материалов (электродов) типа Э-09X1M, подогрева при сварке — наплавке при температуре 150—300 °С, термического отдыха (при необходимости) при температуре подогрева и высокого отпуска при 700—730 °С с выдержкой в течение 1—3 ч в зависимости от типоразмера ремонтируемых деталей (см. табл. 4);
  - расположение выборки для выполнения подварочного шва допускается ограничивать локальной зоной повреждения сварных соединений (см. рис. 2, б);
  - проведение сварочно-термических операций и контроля с оценкой качества ремонтных заварок (наплавочных) по технологии ремонта сварных деталей из сталей 12X1MФ, 15X1M1Ф и им подобных (см. рис. 1—8).
- Ремонт сварных соединений трубопроводов I категории (группы 4) из углеродистых и кремнемарганцовистых сталей** проводят с учетом следующих особенностей и требований:
- выполнение основных положений сварочной технологии ремонта, рассмотренных выше;
  - выполнение сварочной технологии ремонта с применением сварочных материалов (электродов) типа Э50А, подогрева при сварке — наплавке при 100—150 °С и высокого отпуска при 560—590 °С с выдержкой в течение 1—2 ч при толщине стенки трубных элементов более 30 мм (см. табл. 4);
  - расположение выборки для выполнения подварочного шва допускается ограничивать локальной зоной повреждения сварных соединений (см. рис. 2, б);
  - проведение сварочно-термических операций и контроля с оценкой качества ремонтных заварок (подварочных швов) по технологии ремонта свар-

ных деталей из сталей перлитного класса (см. рис. 2—6).

**Сварочная технология ремонта бесшовных деталей трубопроводов I категории.** К бесшовным элементам, ремонт которых проводится с помощью сварки, относятся фасонные литые детали (колена, корпуса арматуры) и прямые трубы, включая коллекторы. По сварочной технологии не допускается ремонтировать гнутые элементы (гибы) трубопроводов.

Основные трудности при ремонте фасонных литых деталей из углеродистых и низколегированных сталей связаны с выполнением подогрева в процессе сварки и послесварочной термической обработки. В связи с этим применяют два варианта сварочно-ремонтной технологии:

- основной вариант технологии, при котором ремонтные заварки выполняют перлитными электродами с применением при сварке подогрева и последующей термической обработки: термического отдыха, высокого отпуска (см. табл. 4). При такой технологии обеспечивается получение оптимального качества ремонтных соединений, однако сварочно-термические операции характеризуются большой трудоемкостью;
- резервный вариант технологии, при котором ремонтные заварки выполняют аустенитными электродами без подогрева при сварке и без послесварочной термической обработки. В этом случае с целью снижения (релаксации) остаточных сварочных напряжений рекомендуется проводить при сварке прочеканку (начиная с третьего слоя) наплавляемого металла с помощью ударного инструмента с притупленным бойком с радиусом притупления 3—4 мм.

При сварочной технологии ремонта аустенитными электродами не обеспечивается необходимая работоспособность ремонт-

ных соединений, однако такая технология является менее трудоемкой по сравнению с предыдущим (основным) вариантом.

**Ремонт бесшовных литых деталей,** проводимый с учетом особенностей сварочной технологии сварных соединений трубопроводов I категории, включает следующие операции:

- удаление поврежденного металла механическим способом (абразивным инструментом) с засверловкой концов магистральной трещины диаметром 10—14 мм с последующей подготовкой выборки чашеобразной формы (рис. 9, а). Прилегающая поверхность основного металла шириной не менее 50 мм подлежит очистке

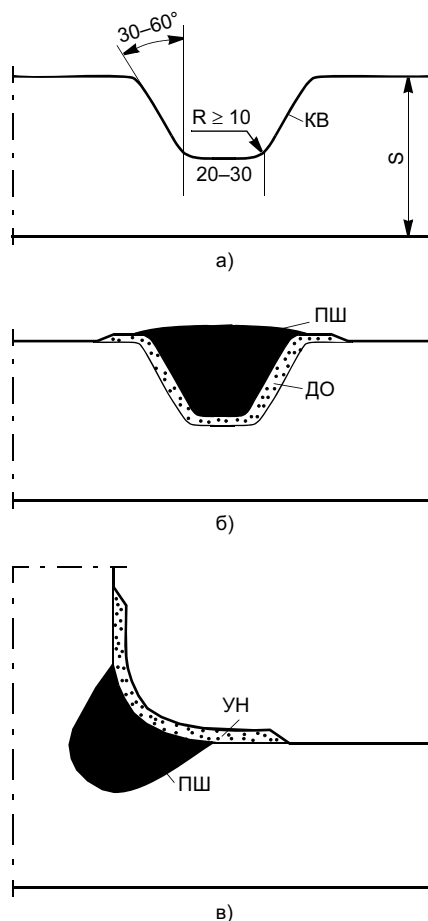


Рис. 9. Рекомендуемая форма выборки (а) и ремонтных заварок для стыкового (б) и углового (в) швов при ремонте литых корпусных деталей трубопроводов I категории (КВ — контур выборки; ДО — двухслойная облицовка)

до металлического блеска. Качество поверхности выборки и прилегающих участков контролируют неразрушающими методами (ВК, МПД или ЦД). Качество основного металла в районе выборки рекомендуется контролировать УЗК для выявления возможных литейных дефектов недопустимых размеров;

- выполнение подварочного шва многослойным способом продольными валиками (вдоль выборки) высотой 5—8 мм и шириной 15—25 мм до полного заполнения ремонтируемого углубления с выпуклостью шва 3—5 мм. Рекомендуется выполнять подварочный шов с предварительным нанесением двухслойной облицовки на поверхность выборки (рис. 9, б). Первый слой облицовки выполняют электродами диаметром 2,5 и/или 3 мм, второй — электродами диаметром 4 мм. Выборки глубиной до 5 мм можно оставлять без выполнения подварочного шва;
- выполнение усиливающей наплавки, перекрывающей подварочный шов в местах концентрации рабочих напряжений (рис. 9, в). Высота усиливающей наплавки составляет 10—15 мм и определяется в каждом конкретном случае в зависимости от типоразмера и особенности геометрической неоднородности ремонтируемой детали. Подварочный шов и усиливающую наплавку выполняют с применением электродов одного типа;
- сварка постоянным током обратной полярности на соответствующих режимах в зависимости от типа и диаметра электродов, а также положения свариваемого шва в пространстве (табл. 5, 6) для фасонных литых деталей;
- сварка перлитными электродами с подогревом и проведением послесварочного высокого

Таблица 5

Сталь	Тип электрода*	Подогрев при сварке (наплавке)		Режим высокого отпуска		
		S, мм	t <sub>п</sub> , °C	S, мм	t <sub>в. о.</sub> , °C	τ, ч
Перлитный металл ремонтной заварки (основной вариант технологии)						
20Л 25Л 20ГСЛ	Э50А	>30	150—200	30—60	560—590	1
	Э42А			>60	560—590	2
20ХМЛ	Э50А**	10—30	200—250	10—20	700—730	1
	Э-09Х1М	>30	250—300	20—45 >45	700—730	2 3
20ХМФЛ 15Х1М1ФЛ	Э-09Х1МФ	>10	300—350	10—20	720—750	1
				20—60		3
				>60		5
Аустенитный металл ремонтной заварки (резервный вариант технологии)						
20Л 25Л 20ГСЛ	Э-11Х15Н25М6АГ2 Э-08Х14Н65М15В4Г2 (ЦТ-28)	>30	—	>30	—	—
20ХМЛ	Э-11Х15Н25М6АГ2 Э-08Х14Н65М15В4Г2*** (ЦТ-28)	>10	—	>10	—	—
20ХМФЛ 15Х1М1ФЛ	Э-11Х15Н25М6АГ2 Э-08Х14Н65М15В4Г2*** (ЦТ-28) Э-08Н60Г7М7Т***	>10	—	>10	—	—
* Марки каждого типа электродов приведены в табл. 2. ** Для заварки выборки глубиной не более 0,2S. *** Только для нанесения облицовки на поверхность выборки.						
Примечание. Высоконикелевые аустенитные электроды применяют при заварке выборки глубиной не более 20 % толщины стенки (≤0,2S) фасонной литой детали в зоне ремонта.						

Таблица 6

Тип электрода	Номер слоя шва	d <sub>э</sub> , мм	Ток, А, при положении шва в пространстве		
			нижнем	вертикальном	потолочном
Углеродистый и низколегированный наплавляемый металл					
Э42А, Э50А, Э-09Х1М, Э-09Х1МФ	1	2,5	80—95	75—90	75—90
	1	3	100—120	90—110	90—110
	1	4	140—160	130—150	130—140
	2	4	160—170	140—160	140—150
	≥3	4	160—180	160—170	150—160
Высоконикелевый аустенитный наплавляемый металл					
Э-11Х15Н25М6АГ2, Э-08Х14Н65М15В4Г2, Э-08Н60Г7М7Т	≥1	3	80—100	70—90	60—80
	≥1	4	110—140	100—120	90—110

отпуска (см. табл. 4). При вынужденных перерывах в процессе сварки подварочного шва (или между сваркой шва и нанесением усиливающей наплавки) должен проводиться термический отдых при температуре подогрева длительно-стью 1 или 3 ч при ремонте деталей толщиной соответственно до 30 мм и более.

Подогрев при сварке и термическую обработку после сварки проводят с помощью индукционных нагревателей или электронагревателей сопротивления на режимах согласно РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с).

Местному прогреву (на всю толщину стенки) подлежит кольцевая зона требуемой ширины (по периметру ремонтируемой детали) с подварочным швом в центре.

Определение ширины зоны равномерного нагрева L<sub>р.н</sub> рассмотрено в технологии ремонта сварных соединений.

Газопламенный способ с местным нагревом при высоком отпуске применять не допускается.

Оптимальным является общий нагрев фасонных литых деталей (с ремонтными швами) путем проведения термической обработки в камерных электрических или газовых печах. В этом случае необходим временный демонтаж ремонтируемой детали из трассы паропровода на период проведения сварочно-термических операций;

- оценку качества ремонтных заварок по результатам неразрушающих методов контроля ВК, МПД или ЦД, УЗК (для перлитного наплавленного и основного металла) и ВК, ЦД (для аустенитного ремонтного шва в сочетании с перлитным основным металлом).

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Хромченко Ф. А. Ресурс сварных соединений паропроводов. М.: Машиностроение, 2002. 352 с.
2. Хромченко Ф. А. Сварочные технологии при ремонтных работах: Справочник. М.: Интермет Инжиниринг, 2005. 368 с.



Ю. Г. ЛЮДМИРСКИЙ, д-р техн. наук, М. В. СОЛТОВЕЦ, канд. техн. наук  
Донской ГТУ (Ростов-на-Дону)

## Опыт реализации принципов организационно-технологического проектирования роботизированных комплексов для дуговой сварки

Целесообразность применения роботов для дуговой сварки конструкций, точность и жесткость которых достаточно высоки, не вызывает сомнений. Однако для многих отраслей машиностроения типичны крупногабаритные, объемные, нежесткие конструкции с большим количеством коротких угловых швов, различно расположенных в пространстве. Большие размеры деталей, а значит, и допуски на их изготовление, значительные временные перемещения и остаточные деформации затрудняют выполнение с помощью неадаптивных роботов качественной сварки и обеспечение требуемой точности конструкций. Одним из эффективных решений этой проблемы является применение роботизированных технологических комплексов (РТК), включающих помимо сварочных роботов сборочно-сварочную оснастку, манипуляторы изделия и другое вспомогательное оборудование. К сожалению, многие конструкции спроектированы без учета специфики роботизированной сварки, что обуславливает необходимость на всех стадиях разработки РТК для дуговой сварки параллельно решать комплекс взаимосвязанных проблем. С этой целью разработан процесс организационно-технологического проектирования (ОТП), предполагающий одновременное рассмотрение различных аспектов создания РТК и выполнение следующих работ:

- адаптацию конструкции изделия под роботизированную сварку;
- разработку нескольких альтернативных вариантов технологического процесса сборки и сварки изделия;
- выбор и обоснование схем базирования сборочных единиц;
- выбор компоновки РТК;
- оценку возможности качественной сборки и получения сварных соединений, отвечающих требованиям технической документации;
- выбор приемов, уменьшающих сварочные деформации до уровня, обеспечивающего получение качественных соединений и требуемой точности изделия;
- оценку производительности РТК и себестоимости изделия;
- обоснование системы технического обслуживания РТК;

— выбор наилучшего из рассмотренных вариантов. Результаты этого проектирования служат исходными данными при разработке технического задания на создание РТК. В процессе ОТП к рассмотрению приведенных вопросов приходится возвращаться неоднократно, в том числе и на стадиях отладки и ввода РТК в эксплуатацию. Алгоритм процесса ОТП представлен на рис. 1. Инструментами, необходимыми для многократного решения проблем, возникающих на разных стадиях создания РТК, являются модели оценки качества сварных соединений (модель 1), производительности РТК (модель 2) и себестоимости изготовления изделия (модель 3) [1—5]. Модели представлены в алгоритме в виде шестигранных блоков. В данной работе основное внимание уделено следующим основным техническим аспектам процесса ОТП.

1. Рациональное расчленение конструкции на технологические сборочные единицы, обеспечивающее:

- доступность и досягаемость горелкой сварных швов;

- возможность поэтапной сборки изделия методом последовательного наращивания;
- требуемое качество сварных соединений и конструкции в целом;
- рациональную последовательность выполнения сварных швов;
- возможность снижения объема наплавленного металла, не вызывающего в целом искажения формы конструкции;
- возможность сварки без кантовки в удобном для сварки положении;
- возможность сварки в напряженном состоянии, при котором уменьшаются остаточные сварочные деформации.

2. Назначение системы базирования собираемых элементов, обеспечивающей максимальную точность расположения свариваемых кромок, а именно:

- введение дополнительных баз при сборке длинномерных нежестких деталей или деталей с большим разбросом размеров и формы;
- оптимальное расположение баз и возможность их регулирования в направлении, компенсирующем сварочные деформации;
- уменьшение при базировании количества деталей, определяющих размеры и форму изделия;

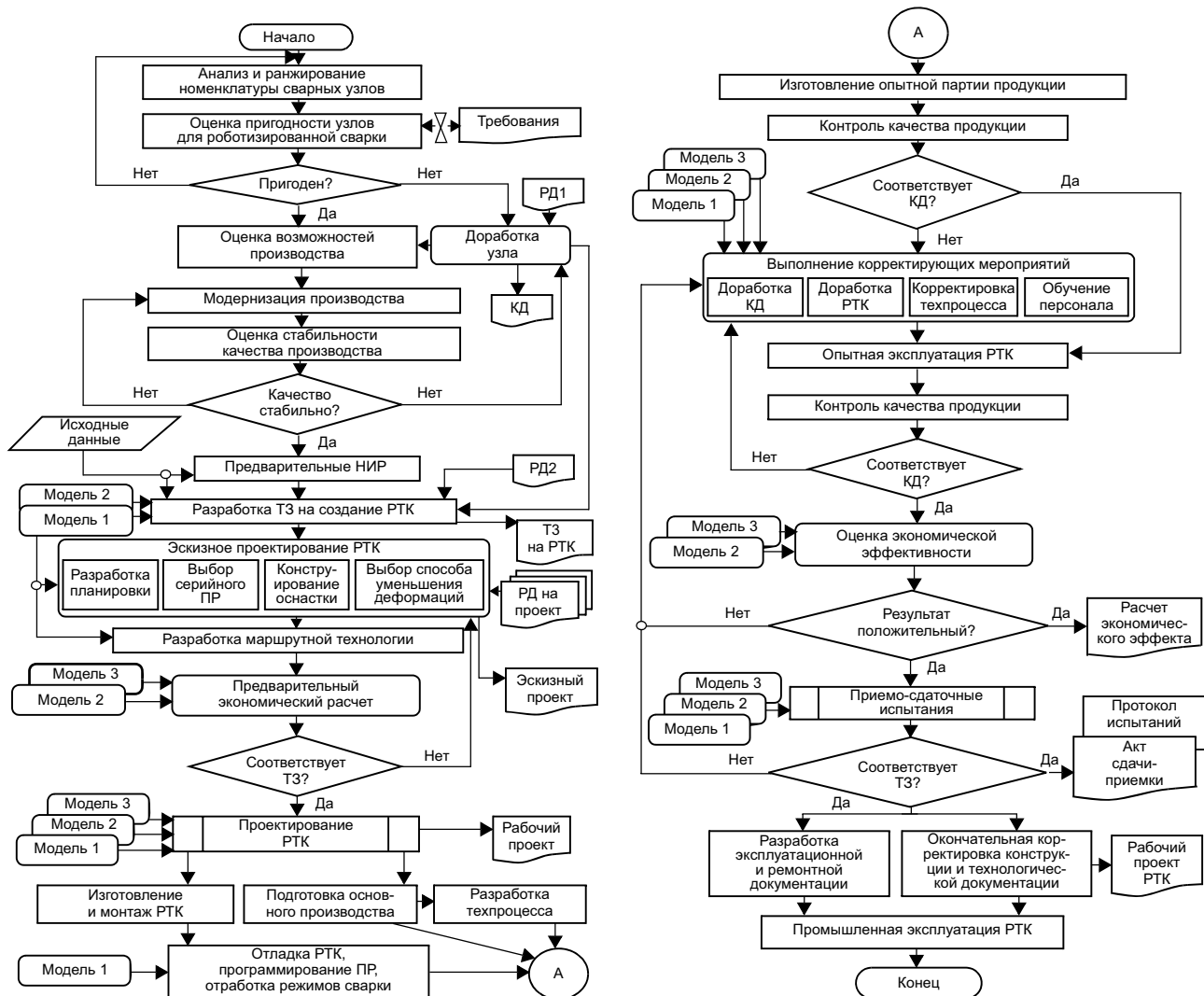


Рис. 1. Алгоритм процесса организационно-технологического проектирования РТК

- назначение базовых поверхностей оснастки, совпадающих с базовыми поверхностями деталей;
  - придание нежестким элементам конструкции требуемой формы в сборочно-сварочной оснастке путем их закрепления в жестком приспособлении;
  - использование приема так называемой установки деталей, обеспечивающего точное расположение стыка в пространстве и величину зазора в стыке, равную толщине ножа;
  - использование приема смены баз, устраняющего влияние временных и остаточных деформаций на качество сварных соединений;
  - использование соединений и установочных элементов, типа пазов, отверстий и выступов, обеспечивающих самоустановку собираемых деталей, их надежную и стабильную фиксацию друг относительно друга.
3. Использование приемов конструирования сварных соединений, позволяющих минимизировать и рационально распределить объем наплавленного ме-

- талла с целью уменьшения сварочных деформаций, а именно:
- учет фактической глубины проплавления, равной катету шва, при расчете прочности тавровых и нахлесточных соединений, выполняемых тонкими проволоками (диаметром 1,0 или 1,2 мм) на повышенных плотностях тока;
  - выполнение сварных угловых швов расчетных размеров с минусовыми допусками;
  - назначение переменных, минимально необходимых объемов наплавленного металла по длине швов с учетом характера распределения напряжений в соединениях;
  - назначение типов сварных соединений, обеспечивающих максимальную технологичность их выполнения при роботизированной сварке;
  - замена в тавровых соединениях двусторонних угловых швов на односторонние при условии полного проплавления стенки, что уменьшает объем наплавленного металла, трудоемкость изготовления и

существенно упрощает конструкцию сборочно-сварочной оснастки;

- замена нахлесточных и тавровых соединений с двусторонними угловыми швами на прорезные или проплавные с целью уменьшения угловых деформаций и трудоемкости изготовления;

- замена нахлесточных соединений с двумя лобовыми швами на соединения с одним прорезным и одним лобовым швами с их выполнением в последовательности, обеспечивающей сварку с одной стороны, повышение прочности и уменьшение деформаций;

- использование при сварке стыковых швов поперечных колебаний электрода с целью снижения требований к точности его позиционирования;

- проектирование конструкций с уравниванием сил и моментов, создаваемых усадкой швов;

- назначение размеров заготовок с учетом последующей сварочной усадки;

- проектирование с возможностью правки конструкции после сварки.

4. Использование технологических приемов, уменьшающих сварочные деформации, а именно:

- назначение режимов сварки с минимальной погонной энергией;

- использование жесткой сборочной оснастки;

- смещение швов на толстостенные, жесткие элементы в соединениях деталей разной толщины;

- предварительное пластическое деформирование деталей, создающее перемещения, противоположные ожидаемым при сварке;

- принудительное охлаждение сварных соединений, уменьшающее зону пластических деформаций;

- сборка с учетом возможных сварочных деформаций;

- создание в зоне сварки напряжений, обратных сварочным по величине и знаку;

- приложение к изделию активных сил, вызывающих в элементах конструкции деформации, обратные сварочным;

- сварка тавровых соединений "на спуск" или в симметричную лодочку, позволяющая получать нормальные или вогнутые швы;

- сварка в несимметричную лодочку, позволяющая регулировать соотношение катетов, получать наибольшую глубину проплавления, совпадающую с расчетным сечением шва.

Использование этих принципов проектирования позволило разработать и проверить на практике ряд конструктивных и технологических приемов, обеспечивающих требуемое качество изделий в сочетании с достаточной эффективностью эксплуатации РТК. Следует отметить, что многие из них были предложены ранее, но применялись для других целей.

В качестве примера использования принципов ОТП и приемов уменьшения влияния сварочных деформаций на точность сварной конструкции рассмотрим разработку сварочного участка для изготовления барабанов роторной жатки ЖР-3500 ком-

байна "Дон-680" с помощью неадаптивных дуговых роботов. Конструкция жатки и входящие в ее состав сварные барабаны приведены на рис. 2. При изготовлении одного барабана диаметром 1800 мм выполняют 356 коротких швов общей длиной 21 м, при этом наплавляется 3,8 кг сварочной проволоки. К геометрии барабана предъявляют жесткие требования: радиальное и торцевое биения после сварки не должны превышать 2 мм.

Широко распространенным технологическим приемом снижения сварочных деформаций является предварительная сборка на прихватках конструкции в целом, обеспечивающая ее максимальную жесткость, и только затем ее сварка [6, 7]. В данном случае традиционный прием оказался неприемлемым, поскольку деформации от сварки всех соединений суммируются, увеличивая биения барабана. Кроме того, становится невозможной сварка роботом всех его внутренних сварных швов.

В связи с этим в соответствии с положениями п. 1 конструкцию барабана расчленили на три технологических узла, как показано на рис. 3. Барабан изготавливали на трех роботизированных сборочно-сварочных комплексах РТК-1, РТК-2 и РТК-3, объединенных в технологически самостоятельный участок. Сварку узлов Т-1 и Т-2 выполняли на РТК-1, остов (узел Т-3) — на РТК-2, сборку и сварку барабана — на РТК-3.

На РТК-1 приспособления размещены попарно на двух столах, которые обслуживает сварочный ро-



а)



б)

Рис. 2. Роторная жатка ЖР-3500 комбайна "Дон-680": а — общий вид; б — конструкция барабана жатки

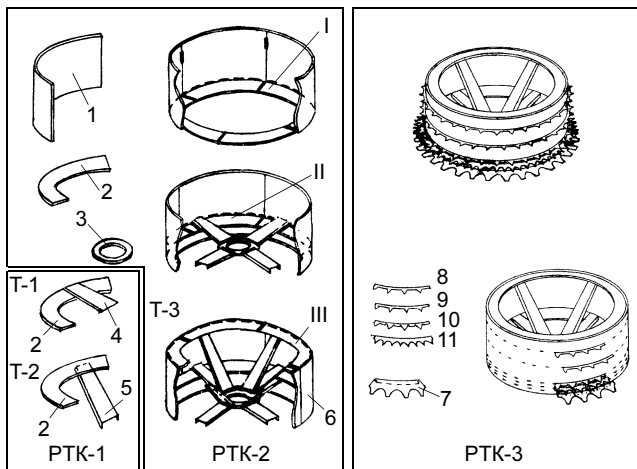


Рис. 3. Схема конструктивно-технологического расчленения барабана на сборочные единицы

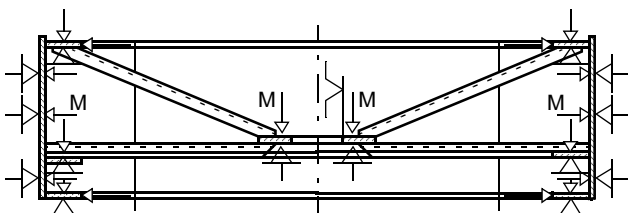


Рис. 4. Схема базирования остова барабана на PTK-2

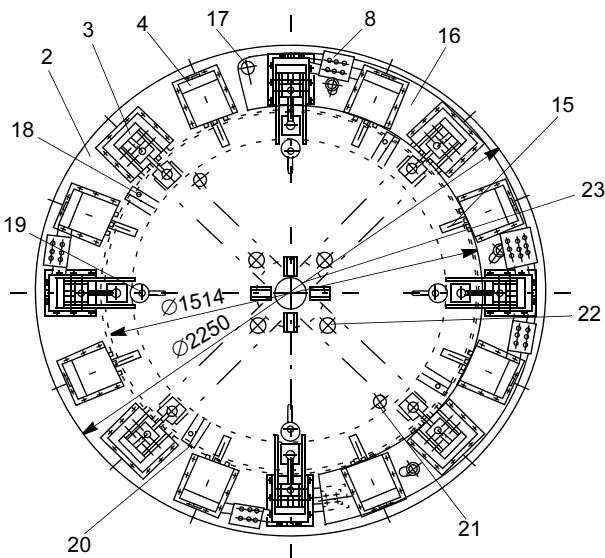
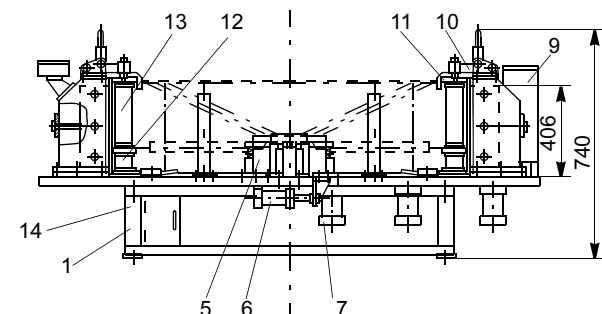


Рис. 5. Кондуктор для сборки и сварки остова барабана

бот типа IR-161/15. Каждое рабочее место имеет отдельный пульт управления. Оператор РТК и робот поочередно собирают и сваривают пару узлов Т-1 и Т-2 на разных рабочих столах. Для уменьшения деформаций, изменяющих радиус сегментов, к ним прикладывают активную растягивающую нагрузку (п. 4).

Поскольку проектная точность барабана реализуется в основном на РТК-2, рассмотрим выполняемые на нем операции более детально. Схема базирования деталей остова барабана, реализованная в кондукторе РТК-2, приведена на рис. 4, конструкция кондуктора — на рис. 5. Стенки барабана (см. рис. 4) установлены внешней поверхностью по базам 16 управляемых постоянных магнитов М 3 и 4 (см. рис. 5). Точность цилиндрической поверхности обеспечивается регулировкой положения этих магнитов. Принцип их работы описан в работе [8]. Базовые поверхности магнитов образуют проектную цилиндрическую поверхность. В соответствии с принятыми положениями п. 2 это позволяет не только правильно установить и фиксировать детали в пространстве, но и, учитывая их малую жесткость, придать им требуемую форму. Такое решение продиктовано значительной вариацией размеров и формы реальных деталей. Фланец устанавливают в проектное положение на цилиндрическую оправку 23 и фиксируют с помощью четырех магнитов 5. Positionирование остальных элементов остова осуществляется с помощью системы баз 12, 13, 22 и механических прижимов 10, 19.

Угловые сварные швы с катетом 5 мм получаются качественными, если отклонение электрода от линии сопряжения деталей не превышает 1,4 мм, а зазор между ними — 1,6 мм [4]. Расчет размерных цепей и опыт эксплуатации РТК показали, что кондуктор обеспечивает указанную точность позиционирования свариваемых кромок.

Остов барабана изготовляют в три этапа методом последовательного наращивания, который обеспечивает свободный доступ горелки к местам сварки (см. рис. 3). На этапе I устанавливают стенки 1, образующие обечайку 6, и сегменты 2 нижнего пояса; на этапе II — узлы Т-1 и фланец 3, на этапе III — узлы Т-2. На каждом этапе в первую очередь приваривают сегменты к стенкам. В этом случае поперечная усадка швов не вызывает отрыв стенок от магнитов. Затем сваривают сегменты между собой, что значительно уменьшает влияние усадочных сил на форму остова и положение фланца относительно стенок. В последнюю очередь сваривают нахлесточные соединения, прикрепляющие спицы 4 и связи 5 к фланцу, что практически исключает воздействие сварочных деформаций ранее сваренных швов на радиальное и торцевое биения остова барабана. В соответствии с принципом п. 1 швы, соединяющие фланец со спицами, выполняют в диаметрально противоположных местах и без остановки робота. В противном случае усадка швов приводит к появлению биения остова барабана, превышающего допустимое значе-

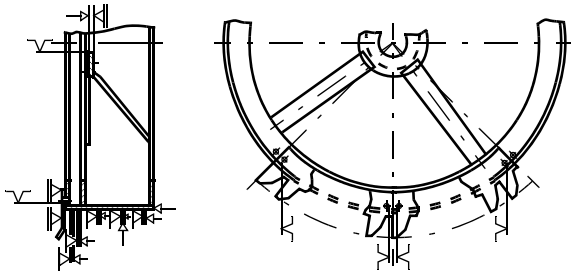


Рис. 6. Схема базирования барабана в кондукторе-позиционере на РТК-3

ние. При сварке роботом выполнение назначенного порядка швов, обеспечение требуемых скорости сварки и размеров швов гарантировано, что обеспечивает стабильность качества швов и геометрию изделия. С целью повышения технологичности остова барабана угловые соединения в верхнем поясе сегментов заменили тавровыми (п. 3).

Качество сварных тавровых соединений зависит в основном от величины смещения проволоки от реального положения линии стыка и зазора в соединении. Допустимые значения смещений для сельскохозяйственного машиностроения ограничивают областями качества, полученными для катетов шва 3—6 мм [4]. Вероятность получения качественных сварных соединений в остова барабана оценивали с помощью имитационной модели. Эта вероятность характеризует расположение совокупности экспериментальных точек относительно области качества и позволяет оценить правильность принятых конструктивно-технологических решений. Используя данную методику, установили, что вероятность получения качественных сварных соединений фланца с узлами Т-1 и Т-2 составляет 0,99, для остальных тавровых соединений — 0,96.

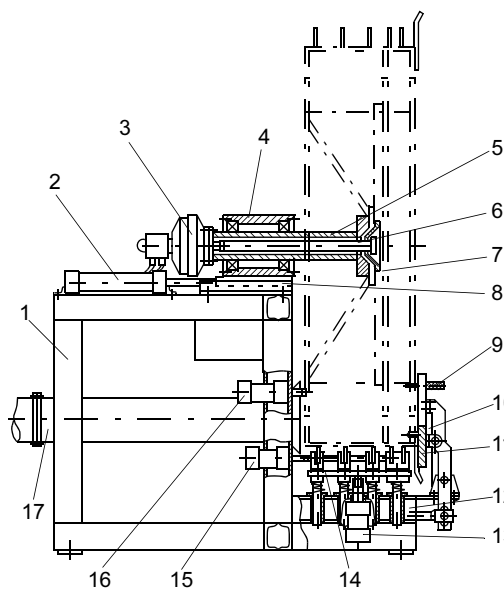


Рис. 7. Кондуктор-позиционер для сборки и сварки барабана

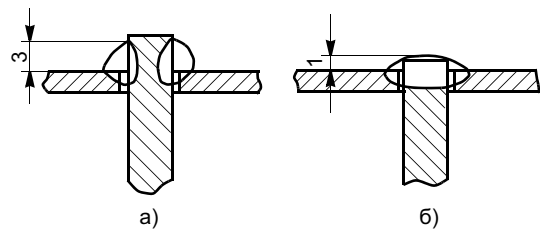
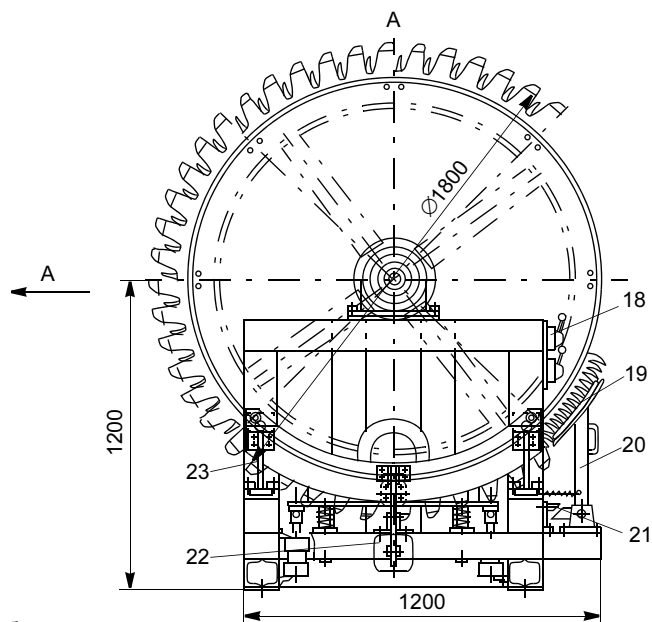


Рис. 8. Конструкция сварного соединения гребенки со стенкой барабана: а — по проекту; б — реализованная

В соответствии с принятой разбивкой на технологические узлы (см. рис. 3) для завершения изготовления барабана на РТК-3 к его остову Т-3 приваривают четыре пояса гребенок 8—11 и по торцу — пояс съемников 7. При этом требования к точности геометрии барабана остаются жесткими. В соответствии с чертежом основной базовой поверхностью узла является плоскость, образованная восемью секциями съемника, прилегающими к нижнему торцу остова. В конечном счете все допуски на биения барабана заданы относительно этой плоскости, параллельно которой располагаются фланец, пояса гребенок, а также вращающийся ротор жатки.

Схема базирования барабана в кондукторе приведена на рис. 6, а его конструкция — на рис. 7. Из 150 сварных соединений две трети составляли прорезные, двусторонние, тавровые соединения гребенок с остова. Уменьшив высоту выступа, входящего в прорез стенки, удалось заменить два угловых шва на один стыковой (п. 3.6) (рис. 8). По прочности такое соединение не уступает проектному, при этом угловые деформации практически отсутствуют. Расположение прорезей на четырех стенках остова идентично, поэтому сварку выполняют при четырехкратном позиционировании узла с поворотом его на 90° (п. 1). Оказа-



лось, что формирование швов, расположенных на наклонных (до 40°) частях стенки, остается удовлетворительным при их сварке "на спуск" (п. 4). Для увеличения ширины шва и снижения требований к точности позиционирования электрода сварку выполняли с поперечными колебаниями горелки с амплитудой 3,5 мм (п. 3). Все три описанных РТК объединены в отдельный участок роботизированной сварки барабанов.

Схема размещения оборудования на участке приведена на рис. 9. Технологические узлы Т-1 и Т-2, сваренные на РТК-1, складироваются в стеллажах 1 и 2 отдельно для левого и правого барабанов. Перед сборкой остовов на РТК-2 входящие в них стенки подвергаются 100 %-ному контролю формы на приспособлении 3. Сваренные на РТК-2 остовы барабанов вначале попадают в стеллаж 4, а затем поступают на позицию 5, где контролируются их торцевое и радиальное биения. С помощью тельфера 8 через складские места 6 остовы барабанов попадают на РТК-3, где производится окончательная сварка барабанов. Каждый сваренный барабан поступает на место контроля 7, где за один оборот барабана в автоматическом режиме измеряются радиальное и торцевое биения зубьев относительно фланца, на который устанавливается барабан в составе жатки. На этом же рабочем месте контролируют сварные соединения и при необходимости с помощью полуавтомата 11 подваривают швы. Про-

контролируемые барабаны с помощью конвейера 9 передаются на склад готовой продукции 10.

Таким образом, многолетний опыт разработки и внедрения РТК для сварки маложестких, крупногабаритных конструкций подтвердил эффективность использования принципов ОТП. На всех стадиях разработки и внедрения РТК следует проводить анализ технологичности изделий. Особое значение имеет расчленение изделия на технологические узлы и анализ условий, обеспечивающих качество сварных соединений.

Основными требованиями при разработке технологического оборудования и оснастки, входящих в состав РТК, являются:

- обеспечение точности и стабильности позиционирования деталей, достаточных для получения качественных сварных соединений;

- реализация в оборудовании конструктивно-технологических решений, позволяющих исключить или учесть влияние временных и остаточных сварочных деформаций на обеспечение заданных пределов отклонений размеров и геометрической формы свариваемого изделия;

- возможность регулирования и надежная фиксация базовых элементов оборудования;

- обеспечение усилия прижатия деталей, достаточного для исключения влияния на точность позиционирования отклонений их формы и размеров от проектных значений;

- применение оборудования, контролирующего форму и размеры как отдельных сборочных единиц, так и готового изделия, систему обслуживания РТК, позволяющую фиксировать, проводить статистическую обработку полученных результатов и оперативно воздействовать на систему РТК — изделие — оператор, обеспечивая требуемое качество.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методика* определения допустимого отклонения линии соединения от заданного положения при сварке / В. А. Тимченко, С. В. Дубовицкий, П. Ф. Федотов, К. П. Гурский // Автоматическая сварка. 1988. № 4. С. 32—35.
2. Куркин Н. С., Дриккер В. Е. Оценка предельных отклонений при дуговой роботизированной сварке тавровых соединений // Сварочное производство. 1989. № 2. С. 8—10.
3. Мусеев И. М., Корнилов В. А., Князев В. М. Допустимые геометрические отклонения системы робот — свариваемые детали при дуговой сварке рам мотоциклов // Сварочное производство. 1989. № 2. С. 10—12.
4. Людмирский Ю. Г., Солтовец М. В., Юрова С. А. Условия обеспечения качественных сварных соединений при дуговой сварке неадаптивными роботами // Сварные конструкции и технология их изготовления. Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 1998. С. 55—67.
5. Людмирский Ю. Г. Роботизация производства маложестких сварных конструкций. Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 2002. 139 с.
6. Николаев Г. А., Куркин С. А., Винокуров В. А. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций. М.: Высшая школа, 1971. 760 с.
7. Окерблом Н. О., Демянцевич В. П., Байкова И. П. Проектирование технологии изготовления сварных конструкций. Л.: Судпромгиз, 1963.
8. Опыт разработки и эксплуатации сварочных РТК в сельхозмашиностроении / Ю. Г. Людмирский, А. Д. Юров, А. М. Харсеев, А. И. Грицина // Современные проблемы сварочной науки и техники. Ростов-на-Дону, 1993. С. 165—166.

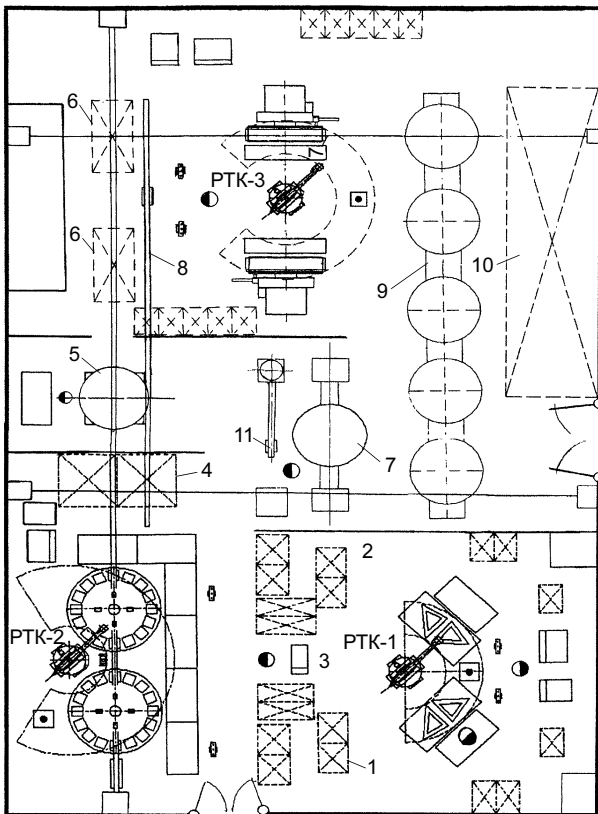


Рис. 9. Схема участка роботизированной сварки барабана жатки

А. С. АНАНЬЕВ, канд. техн. наук, В. П. СЕРОВ, магистр  
Волгоградский государственный технический университет

## Математическая модель процесса нарезания резьбы метчиком

Эффективное решение проблемы гарантированного получения внутренней резьбы высокой точности труднодостижимо без глубокого теоретического анализа закономерностей, присущих процессу работы метчика.

Современное развитие компьютерных технологий позволяет широко применять для исследования процесса его идеализированную математическую модель, наделяя ее ограниченным числом характеристик, позволяющих с достаточной степенью достоверности соотносить ее с действительностью. Для решения задачи анализа генераторной схемы и построения ее модели написана программа на языке инструментальной системы автоматизированного проектирования СПРУТ v1.9. Основным критерием при выборе данной программной среды послужила возможность работы непосредственно с объектами векторной графики, что позволило отказаться от необходимости громоздкого аналитического описания геометрических объектов и трудоемкого решения геометрических задач, к которым сводится в данном случае все исследование идеализированной модели процесса.

При создании модели приняты следующие основные условия:

- внешняя технологическая система не вносит погрешностей в процесс;
- метчик абсолютно жесткое, недеформируемое тело;
- траектория движения инструмента соответствует идеальной;
- погрешности изготовления метчика не учитываются;
- метчик имеет возможность самоцентрироваться в отверстии.

Указанные условия позволяют рассмотреть генераторную схему резания, дистанцируясь от погрешностей, вносимых технологической системой, неточностями при изготовлении самого инструмента и др. Тем самым появляется возможность установить predeterminedенные самой схемой факторы, приводящие к неточностям при изготовлении резьбы, оценить уровень воздействия этих факторов на процесс, спрогнозировать последствия воздействий и наметить пути снижения отрицательного влияния или полного его устранения.

Основными исходными данными при создании силовой модели процесса резания заборной частью метчика являются данные о численных значениях возникающих при этом сил резания и характеристики опорной способности обрабатываемого материала, определяющие величину критической нагрузки, приводящей к внедрению режущего лезвия в обрабатываемый материал. Общий алгоритм программы приведен на рис. 1. На начальном этапе выполнения алгоритма {1—2} производится ввод в диалоговом режиме исходных параметров нарезаемой резьбы: наружного диаметра  $D$  и шага резьбы  $p$ . Затем пользователь определяет параметры метчика {2—3}: число перьев  $z$  и величину угла заборного конуса метчика  $\varphi$ .

На основе введенных данных программа вычисляет основные характеристики нарезаемой резьбы и процесса резания {3—4}.

Геометрическое построение профиля впадины образуемой резьбы {4—5} производится исходя из значений введенных и вы-

численных параметров. На этом же этапе определяется площадь профиля впадины резьбы  $f$  и рассчитываются суммарные составляющие силы резания  $P_{ос}^{\Sigma}$ ,  $P_T^{\Sigma}$ ,  $P_p^{\Sigma}$ , определяются коэффициенты резания  $K_{ос}$ ,  $K_T$ ,  $K_p$ .

Геометрическое построение схемы резания заборного конуса метчика {5—6} осуществляется в несколько шагов. Первым шагом является прорисовка профилей резьбового отверстия по числу



Рис. 1. Общий алгоритм программы

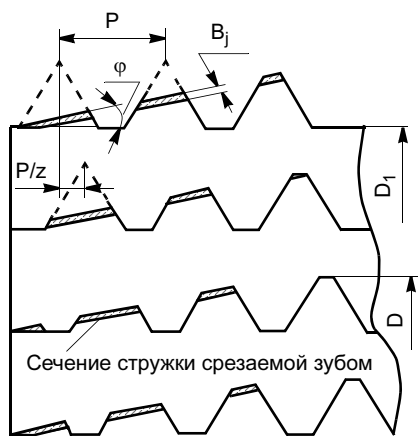


Рис. 2. Схема срезания материала заборным конусом метчика

перьев метчика  $z$ , причем каждый профиль смещен относительно предыдущего в осевом направлении на величину  $P/z$ . Построение производится на основе определенного ранее контура впадины резьбы. Вторым шагом является построение линии переднего торца метчика и проведение через точки пересечения этой линии с линиями внутреннего диаметра резьбы прямых под углом  $\phi$ . Эти прямые являются очертанием контура заборного конуса. В ходе следующего шага производится прорисовка линий вершин зубьев предыдущего пера, которые определяют следы резов, осуществленные зубьями, расположенными ближе к началу рабочей части метчика. Четвертый, заключительный, шаг состоит в построении контуров сечений срезаемых слоев и выделении отрезков опорных кромок, воспринимающих осевые и радиальные нагрузки (рис. 2).

Построенная схема резания сохраняется в векторном формате в графическом файле {6—7}. В дальнейшем возможно обращение к этому файлу для проверки правильности работы программы, уточнения некоторых параметров, определения геометрических характеристик и др. Эмуляция процесса резания заборным конусом метчика {7—8} является главной частью алгоритма программы. Именно в ходе него определяются силовые зависимости. На рис. 3. приведен развернутый алгоритм выполнения этого шага программы.

Определение значения длины режущей части метчика производится из построенной ранее схемы резания, приведенной на рис. 2. Число контрольных сечений  $n$  по умолчанию задается равным 90. С уменьшением его количество контрольных точек, в которых определяются интересующие параметры, уменьшается, соответственно с увеличением этого числа количество контрольных точек возрастает.

Однако увеличение числа контрольных сечений имеет смысл лишь до некоторого предела, чрезмерный рост приводит к значительному повышению трудоемкости анализа полученных данных без особых выгод в точности

В ходе дальнейшего выполнения программы осуществляется работа в цикле. Число проходов равно количеству контрольных сечений (рис. 4). Первым в цикле производится определение линии контрольного сечения, которая представляет собой описание положения торца отверстия. С каждым новым проходом цикла линия

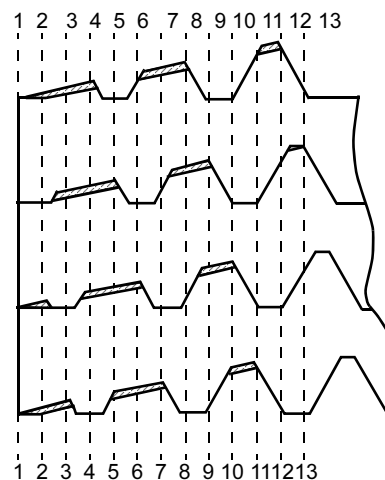


Рис. 4. Схема расположения контрольных сечений на длине режущей части метчика ( $n = 13$ )

контрольного сечения перемещается на величину расстояния между контрольными сечениями, равного отношению длины режущей части метчика к числу контрольных сечений  $n$ .

Затем производится определение площадей слоев  $f_j$ , срезаемых каждым пером, путем суммирования величин площадей  $f_{ij}$  поперечных сечений стружек, удаляемых зубьями этого пера, находящегося до линии контрольного сечения. Произведение значения  $f_j$  на коэффициенты резания  $K_{ос}$ ,  $K_T$ ,  $K_p$  позволяет вычислить составляющие силы резания  $P_p$ ,  $P_T$ ,  $P_{ос}$ .

Определение длин опорных кромок  $B_j$  осуществляется аналогично срезаемым площадям  $f_j$ . Завершающим этапом выполнения программы является вывод результатов моделирования в файл, по которым затем возможно построение зависимостей, сопоставление возникающих силовых факторов и несущих способностей кромок, определение наиболее опасных с точки зрения возможности подрезания профиля резьбы сечений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов: Учебник для машиностроительных и приборостроительных специальностей вузов. М.: Высшая школа, 1985. 304 с.
2. Матвеев В. В. Нарезание точных резьб. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1978. 86 с.

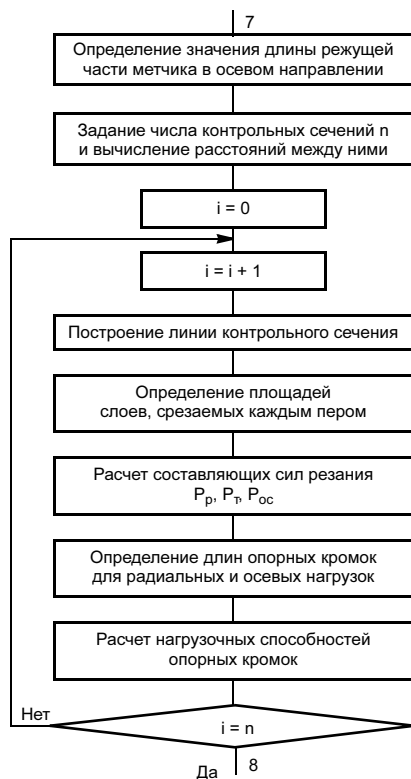


Рис. 3. Алгоритм эмуляции процесса резания заборным конусом метчика



# СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

О. А. ВОЛКОВА, аспирант  
"МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского

## Внедрение в систему менеджмента качества новых технологических процессов

Управлению качеством всегда отводилось важное место в общей системе менеджмента предприятия. Благодаря стандартам ISO серии 9000 и их отечественным аналогам ГОСТ Р ИСО 9001 система менеджмента качества (СМК) проявляется как наиболее полно регламентированная подсистема управления предприятием.

СМК на предприятиях создается, как это декларируется стандартом ISO 9000:2000, на базе внедрения в его деятельность принципа процессного подхода при разработке, внедрении и улучшении результативности СМК с целью повышения удовлетворенности потребителей посредством выполнения их требований. Высокое качество и конкурентоспособность продукции в современных условиях, особенно в сфере оборонно-промышленного комплекса (ОПК), является материальной основой эффективности деятельности предприятия. Повышение конкурентоспособности и качества выпускаемых изделий невозможно реализовать без внедрения на предприятии в эффективно функционирующую СМК новых технологических процессов.

Наиболее полно и методически правильно термин "процесс" сформулирован в рекомендациях по стандартизации Р 50.1.028—2001: "Процесс — совокупность последовательно или/и параллельно выполняемых операций, преобразующих материальные или/и информационные потоки с другими свойствами. Процесс протекает в соответствии с управляющими директивами, вырабатываемыми на основе целей деятельности. В ходе процесса потребляются финансовые, энергетические, трудовые и материальные ресурсы и выполняются ограничения со стороны других процессов и внешней среды".

Типовая схема процесса, соответствующая данному определению, приведена на рис. 1.

Выделив и описав конкретный процесс, необходимо организовать его менеджмент. Базовая концепция всеобщей системы менеджмента качества TQM, касающаяся менеджмента процессов в системе ме-

неджмента качества, сводится к следующим основным положениям:

— необходимо влиять на процесс, а не на результаты процесса. Нельзя ожидать конечного результата, а затем исправлять ошибки, необходимо воздействовать на сам процесс, чтобы не допускать ошибок;

— необходимо контролировать этапы преобразования в процессе, сравнивая измеренные значения параметров качества на этих этапах с требованиями стандартов и в случае несоответствия с помощью обратной связи корректировать ход выполнения операций процесса;

— главное требование к системе управления процессом — предупреждение несоответствий, а не контроль конечного результата процесса;

Производство — это совокупность процессов, и управлять необходимо процессами.

Постоянное улучшение, которое стало элементом политики руководства предприятия в области качества, может быть, в первую очередь, распространено на продукцию, процессы, СМК. Улучшение продукции, в частности, связано с улучшением показателей процессов. Улучшение процессов может достигаться посредством внедрения (изменения) технологии, повышения технологической дисциплины, совершенствования приемов работы и оптимизации объема контроля операций технологического процесса и т. д.

На предприятиях, выпускающих наукоемкие высокотехнологические изделия, в целях постоянного

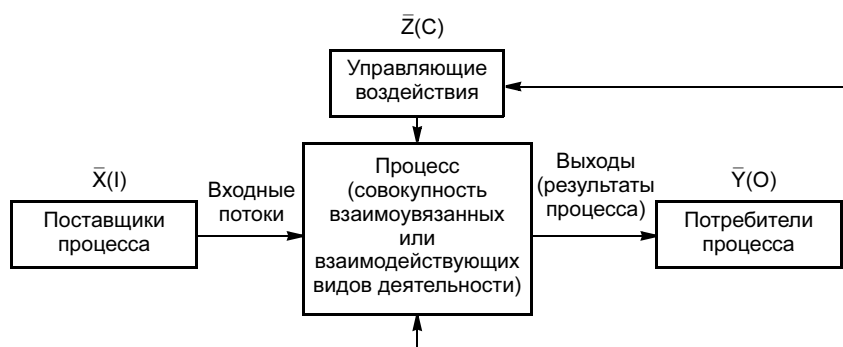


Рис. 1. Графическое изображение модели процесса:  $\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$ ,  $\bar{Z}$  — векторы входных ( $I$ ), выходных ( $O$ ), и управляющих ( $C$ ) величин

улучшения качества продукции предприятия ведут разработку новых технологических процессов, т. е. внедряют новые инновации. Их внедрение в существующую на предприятии СМК также требует системного подхода. Рассмотрим эту процедуру на примере внедрения нового процесса сварки емкости, работающей под давлением, к которой предъявляют высокие требования по обеспечению герметичности.

На рис. 2 приведена упрощенная модель СМК предприятия и ее влияние на отдельно взятый технологический процесс. Суть этой модели заключается в том, что на всем протяжении жизненного цикла изделия осуществляется управляющее воздействие на качество процесса сварки, а, следовательно, и сварной конструкции на каждом этапе, начиная от технического задания, разработки конструкторской документации, технологической документации, изготовления опытного образца и заканчивая сдачей готовой сварной конструкции.

Технологическая последовательность процесса сварки включает основные функции, реализованные и контролируемые в соответствии с требованиями документированных процедур СМК. Определяющим воздействием является удовлетворенность потребителя.

Для сложных технологических процессов универсальными являются квазидинамические модели регрессии:

$$\bar{Y}(t) - \bar{\mu}_y(T) = [B(\tau_{ij}, T, z)](\bar{X}(t, \tau_{ij}, T) - \bar{\mu}_x(\tau_{ij}, T)),$$

где  $\bar{Y}$ ,  $\bar{X}$ ,  $\bar{\mu}_x$ ,  $\bar{\mu}_y$  соответственно векторы откликов, факторов и их математические ожидания;  $T$  — интервал наблюдений (выборки);  $\pi$  — время запаздывания значений  $i$ -го отклика относительно  $j$ -х факторов (в роли фактора может использоваться комбинация входных величин);  $[B]$  — матрица подлежащих определению коэффициентов регрессии;  $z$  — вектор управляющих воздействий.

В случае, когда в пределах допустимых значений величин факторов и откликов, процесс можно

считать близким к линейному, используются динамические модели

$$y_i(t) = y_{i0} + \sum_{j=1}^n \int_0^{\tau} k_{ij}(t - \tau_{ij} - \tau) x_j(\tau) d\tau, \quad t - \tau_{ij} - \tau \geq 0,$$

где  $k_{ij}$  — импульсная переходная функция, которая для простейшей инерционной модели имеет вид

$$k_{ij}(\eta) = \sum_{l=1}^n \alpha_{lij} \exp\left(-\frac{\eta - \tau_{ij}}{T_{lij}}\right) / T_{lij} (\alpha_{lij}, T_{lij}, \tau_{ij} — постоянные, определяемые, например методом наименьших квадратов, по результатам выборки).$$

Наличие модели процесса позволяет находить оперативные материальные и энергетические балансы, что позволяет анализировать эффективность использования ресурсов непосредственно в технологическом процессе и выявлять истинное состояние ресурсо-энергосбережения, а также судить об адекватности моделей технологических процессов.

Процесс, как правило, должен начинаться с маркетинговых исследований рынка. Для продукции ОПК этот процесс начинается с технического задания (ТЗ) заказчика. Наилучших результатов в создании и выпуске конкурентоспособной продукции добиваются предприятия, обладающие исчерпывающими сведениями о состоянии и возможностях производственных процессов, а также своевременно вырабатывающие управляющие воздействия по их совершенствованию.

По мнению отечественных и зарубежных специалистов, качество продукции закладывается в конструкторской и технологической документации; и та, и другая должны соответствующим образом подвергаться экспертизе главного технолога, главного метролога, нормоконтролера и др.

Функция маркетинга должна играть ведущую роль в определении требований, предъявляемых к качеству продукции. По результатам маркетинговых исследований должны быть четко сформулированы требования потребителя (заказчика), на основе спроса рынка или ТЗ заказчика.

Функции СМК при проектировании и разработке технологии процесса сварки и изготовления сварной конструкции:

- обеспечение создания проекта, отвечающего требованиям потребителя и мировому уровню;
- разработка комплекса мероприятий, направленных на исключение ошибок при проектировании, испытаниях и измерении параметров продукции на различных этапах проектирования;

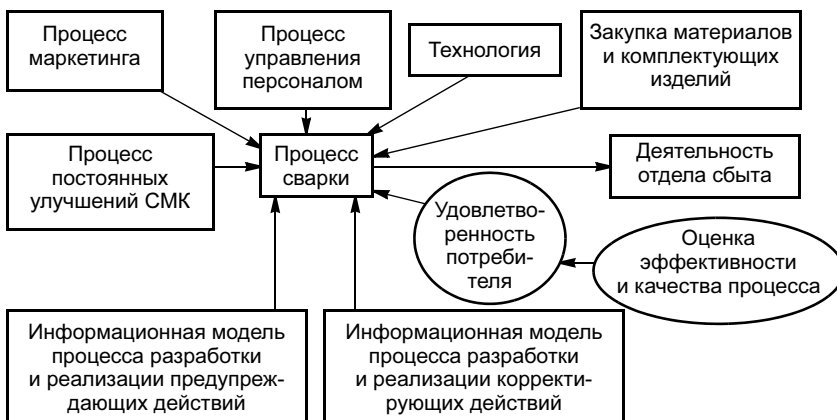


Рис. 2. Упрощенная модель СМК предприятия

- контроль соответствия технологии требованиям технического задания и нормативных документов;
- контроль за изменениями в технологии;
- повторные оценки проекта.

Подготовка производства должна давать уверенность в обеспечении изготовления продукции в соответствии с требованиями технической и технологической документации. Особое внимание должно быть уделено производственным процессам, формирующим качество сварных конструкций.

Обязательным элементом системы должен стать контроль процесса производства и испытаний готовой продукции, а также оценка качества на основе проверки конструкций, осуществляемой ОТК и представителем заказчика (для продукции ОПК). На основе анализа выявленных в сварных швах дефектов разрабатываются корректирующие мероприятия с участием персонала при его стимулировании на направленное на повышение качества изготовление продукции.

Для анализа причин возникновения в технологическом процессе сварки, особенно при его отработке, различного рода дефектов, ошибок и разработки корректирующих действий по их исключению и для обеспечения отработки конструктивно-технологических решений при производстве изделий необходимо получать информацию в реальном масштабе времени.

Функции СМК при закупке материалов, инструментов и комплектующих изделий:

- предприятие несет ответственность за качество конечной продукции в целом независимо от качества приобретенных материалов и комплектующих изделий;
- разработка требований к исходным материалам;
- ведение регистрации данных о качестве покупной продукции;
- составление реестра поставщиков и др.

СМК в послепроизводственных процессах обеспечивает качество продукции при погрузочно-разгрузочных работах, хранении, транспортировании, монтаже и предусматривает обеспечение ресурсами, выполнение условий и мероприятий, предотвращающих появление дефектов.

Непрерывное улучшение СМК предприятие проводит, чтобы доказать заказчикам (потребителям), что существует действующий план ее непрерывного совершенствования и что все случаи появления несоответствующего изделия исследуются, а причины их появления устраняются. Предприятие также должно выявлять и устранять потенциальные причины несоответствий прежде, чем они появятся, эти действия вносят свой вклад в непрерывное совершенствование качества.

Непрерывное совершенствование СМК — процесс постоянного поиска способов ее улучшения, исследования и устранения причин несоответствий в изделиях в любой точке процесса производства.

Предприятие должно добиваться того, чтобы процесс улучшения был самоподдерживающимся. Ключевым фактором являются усилия самих работников. Комплексные проблемы должны решаться компетентными и в действительности мотивированными работниками. Высшее руководство должно выстроить систему управления процессом таким образом, чтобы последовательно реализовывались мотив, возможность и средства. Таким образом, постоянное улучшение качества продукции непосредственно связано с улучшением качества технологических процессов.

Высшее руководство организации должно постоянно доказывать, что все усилия, направленные на выполнение требований заказчика, имеют результатом удовлетворенность потребителя, а также то, что разработан план действий, позволяющий найти и использовать информацию, которая отражает степень удовлетворения требований заказчиков.

## **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. М. ХАНОВ, д-р техн. наук, О. А. ОНОРИН, инж.  
(Институт технической химии Уральского отделения РАН),  
М. Н. ИГНАТОВ, канд. техн. наук  
(Пермский государственный технический университет)

## Динамические характеристики ультрафиолетового излучения и сварочной пыли при сварке

Дуговой сварке сопутствуют вредные воздействия от сварочной пыли, газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{O}_3$ ), а также ультрафиолетового излучения и шума. Для определения степени их влияния на работающий персонал разработаны специальные способы. Однако оценить степень воздействия ультрафиолетового излучения, что позволило бы определить дозу облучения в процессе сварки, довольно трудно. Кроме того, с помощью существующего способа оценки концентрации сварочной пыли весовым методом по валовому выделению<sup>1</sup> можно определить только санитарно-гигиенические характеристики сварочных материалов, но не оперативно оценить экологическую обстановку в рабочей зоне сварщика.

В работе оценивали ультрафиолетовое излучение и концентрацию сварочной пыли в рабочей зоне сварщика путем измерения оптических характеристик светового потока дуги в процессе сварки. Ультрафиолетовое излучение оценивали по значению эффективной иррадиации  $E_{\text{эфф}}$  видимого спектра излучения дуги, измеряемого люксметром.

Схема измерения оптических характеристик сварочной дуги состоит из электрода, изделия и фотодатчика люксметра. Сварку производили в нижнем положении встык. Фотодатчик люксметра Ю-116 с набором насадок светофильтров устанавливали на расстоянии 0,3 м от дуги под углом  $45^\circ$ . В качестве основного металла использовали стали Ст3 и 12Х18Н10Т. Сварку осуществляли покрытыми электродами МР-3 и ОЗЛ-8 диаметром 4 мм, дуговую сварку в аргоне плавящимся электродом — сварочной проволокой Св-12Х18Н10Т диаметром 2 мм, а неплавящимся без присадочной проволоки — вольфрамовым электродом диаметром 4 мм. Ток сварки изменяли от 50 до 400 А.

Измеренные значения эффективной иррадиации для указанных условий сварки приведены на рис. 1. Прямая 1 расположена ниже прямой 2, что объясняется условиями сварки коррозионно-стойкой стали короткой дугой, а прямая 4 — значительно выше прямой 3, что обусловлено более высокими значе-

ниями тока и разной конструкцией сварочных горелок, влияющей на длину дуги (при сварке плавящимся электродом она выше). Кроме того, на  $E_{\text{эфф}}$  влияет дымообразование и характер оплавления покрытия электрода. Это видно из сравнения  $E_{\text{эфф}}$  при сварке покрытым и неплавящимся электродами. Анализ полученных результатов показывает, что  $E_{\text{эфф}}$  при дуговой сварке покрытым электродом составляет 0,3—3,0 Вт/м<sup>2</sup>, а неплавящимся электродом — 20—80 Вт/м<sup>2</sup> и пропорциональна сварочному току.

В целом  $E_{\text{эфф}}$  при аргонодуговой сварке значительно выше, чем при сварке покрытым электродом, что обусловлено наличием сварочной пыли и дыма.

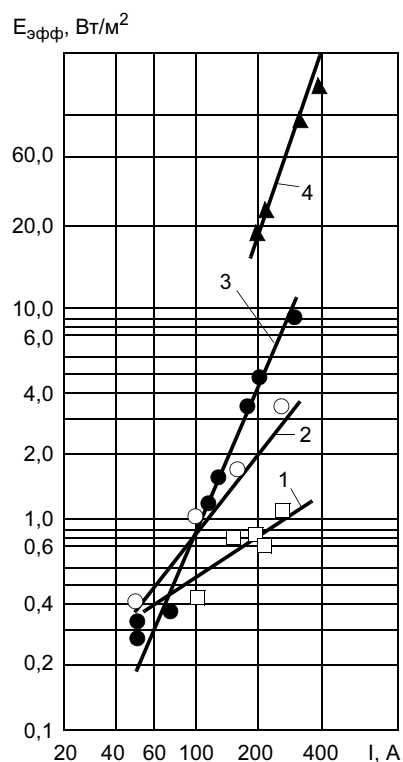


Рис. 1. Зависимость эффективной иррадиации на расстоянии 1 м от дуги от тока: 1, 3, 4 — при сварке коррозионно-стойкой стали покрытым, неплавящимся электродом и плавящимся электродом в аргоне соответственно; 2 — при сварке углеродистой стали покрытым электродом

<sup>1</sup> Методы оценки производственной среды промышленных предприятий / В. И. Киреев и др. М.: Медицина, 1980.

Учитывая, что сварочная пыль образуется в основном непосредственно вблизи дуги и иррадиация ультрафиолетового излучения зависит от расстояния до источника излучения, построили номограмму (рис. 2), позволяющую определить допустимое время облучения при дуговой сварке. При построении использовали зависимости эффективной иррадиации при сварке покрытыми электродами и плавящимся электродом в аргоне (см. рис. 1) и нормативную номограмму, представленную в верхней части рис. 2.

С учетом полученных данных рассчитали максимальное время облучения за рабочий день  $t_{\max} = \frac{30}{E_{\text{эфф}}}$  (в числителе дана допустимая доза облучения за рабочий день, Дж/м<sup>2</sup>).

Номограмму максимального времени облучения  $t_{\max}$  за рабочий день строили в зависимости от расстояния дуги, равного 0,3 м (расстояние от дуги до головы сварщика) и 4 м (расстояние до цехового прохода или возможных посторонних лиц), для тока 50, 150, 200 А при сварке покрытым электродом и 200, 300, 400 А — плавящимся электродом в аргоне. При этом  $t_{\max}$  при дуговой сварке покрытым электродом на расстоянии 0,3 м от дуги составило 9, 2, 3 и 1,3 с, а на расстоянии 4,0 м от дуги при тех же условиях сварки — 26, 6, 9 и 3,8 мин. При сварке плавящимся электродом в аргоне на расстоянии 0,3 м  $t_{\max}$  равно бесконечно малой величине, а на расстоянии 4,0 м от дуги — 30, 12 и 6 с. Таким образом, даже при малом токе, сварщик, работая без средств защиты, уже за несколько секунд может получить предельную дозу облучения. Лица, находящиеся на расстоянии 4,0 м от дуги, при низком токе подвергаются малому риску, однако при больших его значениях они находятся в определенной опасности.

Как было отмечено выше, сварочная пыль изменяет оптические свойства светового потока дуги. Исходя из этого построили зависимость концентрации сварочной пыли  $C$  от эффективной иррадиации (рис. 3). Значения последней измеряли на расстоянии, равном 0,3, 0,6, 0,9, 1,2 и 1,5 м от дуги, по оси свободного факела при сварке стали Ст3 электродами УОНИ-13/45 диаметром 4 мм при токе 200 А. В этих же точках определяли концентрацию сварочной пыли с помощью кониметра (принцип действия которого основан на осаждении взвешенных частиц на прозрачную поверхность с последующим подсчетом их количества с помощью микроскопа). С учетом полученных значений поправки на естественную освещенность в световой период работы и условий производственных цехов построили зависимость  $C$  от  $E_{\text{эфф}}$ . В результате проведенных исследований установили, что при сварке в цеховых условиях электродами УОНИ-13/45 концентра-

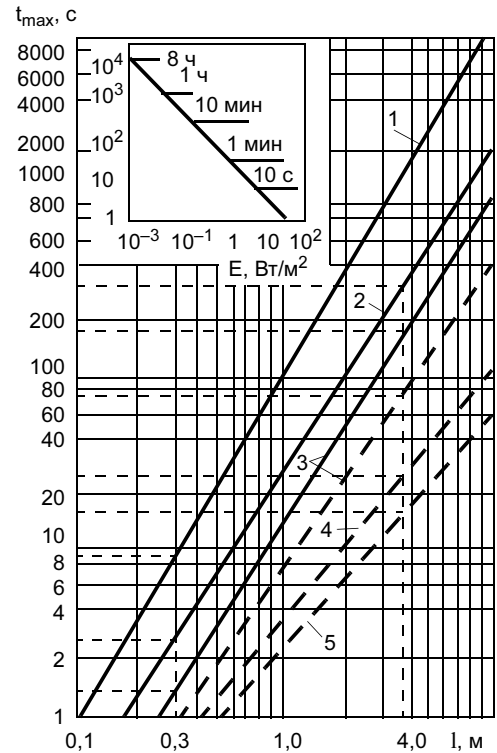


Рис. 2. Зависимость максимального времени облучения за рабочий день от расстояния до дуги (сплошная линия — ручная дуговая сварка покрытым электродом, штриховая — автоматическая сварка плавящимся электродом в аргоне): 1—5 —  $I$  равен 50, 150, 200, 300 и 400 А соответственно

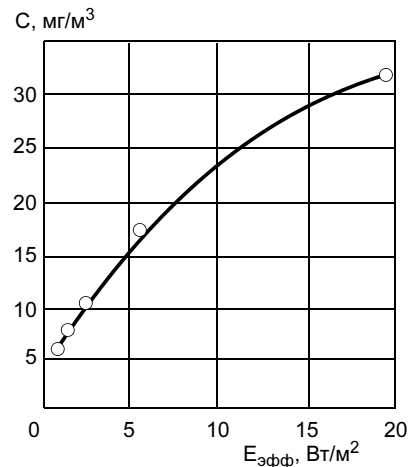


Рис. 3. Зависимость концентрации сварочной аэрозоли и пыли от эффективной иррадиации

ция сварочной пыли на расстоянии 0,3 м (расстояние от дуги до головы сварщика) составляет 32 мг/м<sup>3</sup>, что в 3 раза превышает предельно допустимую концентрацию. Для оценки концентрации сварочной пыли при использовании покрытых электродов достаточно ограничиться измерением эффективной иррадиации ультрафиолетового излучения.

Ю. В. БУДКИН, д-р техн. наук  
"МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского

## Модель управления инновационными процессами в сварочном производстве

Научно обоснованное формирование модели управления организационными системами в инновационных процессах — актуальная задача современного этапа управления в социально-экономических системах. За последние годы накоплен опыт в создании условий инновационного развития [1]. На федеральном и региональном уровнях государственные органы осуществляют поддержку инновационных предприятий. Основы политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 г. и дальнейшую перспективу, утвержденные Президентом России, определяют приоритеты инновационного пути развития экономики страны, основанной на знаниях [2].

Постановка задач инновационного развития экономики неразрывно связана с созданием организационных, экономических и правовых условий, способствующих вовлечению в хозяйственный оборот результатов научно-технической деятельности и развития на их базе производства конкурентоспособной наукоемкой продукции (услуг). Концепция инновационной политики Российской Федерации содержит определения, положенные в основу построения модели управления инновационными процессами в сварочном производстве:

— государственная инновационная политика — определение органами государственной власти Российской Федерации и субъектов Российской Федерации целей инновационной стратегии и механизмов поддержки приоритетных инновационных программ и проектов;

— инновационный потенциал (государства, региона, отрасли, организации) — совокупность ресурсов различных видов. К ресурсам отнесены материальные, финансовые, интеллектуальные, научно-технические и иные, необходимые для осуществления инновационных процессов.

В названии статьи приведены термины "модель", "управление", "инновационные процессы", "сварочное производство". В работе определены эти названия.

Термин "сварочное производство" является ключевым и используется в различных контекстах. Сварочное производство — совокупность организаций, использующих специальные процессы и осуществляющих действия по созданию, освоению в произ-

водстве и (или) практическому применению новой или усовершенствованной продукции, нового или усовершенствованного технологического процесса. В определении используется понятие организации. Организация сварочного производства — совокупность специальных процессов или действий, ведущих к образованию и совершенствованию взаимосвязей между частями целого. В определении "сварочное производство" и "организация сварочного производства" процессы названы специальными. Согласно требованиям международной системы менеджмента качества, изложенной в ГОСТ Р ИСО 9000—2001, сварка относится к специальным процессам производства. Отличительная особенность специальных процессов состоит в результате воздействия на объект производства, поэтому им уделяют особое внимание в рыночных отношениях, жестко регламентируя требования ко всем составляющим производственного цикла: подготовке персонала, применяемому оборудованию и оснастке, основному и вспомогательному материалам, производственной среде, ведению контроля на всех стадиях производства. Организации, применяющие специальные процессы, обладают свойствами, определяющими особенности организационного управления. Управление — воздействие на управляемую систему с целью обеспечения требуемого поведения. Следовательно "организация сварочного производства" является организационной системой, ее развитие — специальным процессом организации, а организационное управление — управление специальным процессом организации в организационной системе. Основной аппарат исследования в настоящей работе состоит в построении и анализе модели управления специальным процессом организации в организационной системе. Модель — образ некоторой системы, схема определенного фрагмента природной или социальной реальности [3].

В работе инновационные процессы в сварочном производстве рассмотрены с трех позиций: средство стратегического преимущества организаций, для которых собственно инновации не являются основным видом деятельности; вид деятельности, результатом которого являются конкретные научные, научно-технические, профессионально-педагогиче-

ские и иные результаты; расширение доли рынка усовершенствованных технологий.

В работе выражена гипотеза о влиянии инновационных процессов на процессуальные компоненты, свойственные любой деятельности: потребности—мотив—цель—задача—технология—действие—результат в целом. Это воздействие направлено на расширение доли рынка усовершенствованных технологий [3]. Другое понимание инновационного процесса состоит в определении средства стратегического преимущества [1] и вида деятельности [2], где в большей степени затрагиваются производственные процессы.

В построении модели управления инновационными процессами предложен "процессно-целевой подход", что позволяет:

- определить и решить управленческие задачи при осуществлении инвестиционно-инновационной политики;
- определить внешние и внутренние направления инновационных программ;
- разработать целевые показатели, характеризующие степень и уровень выполнения поставленных задач;
- классифицировать инновационные программы по типам взаимодействия хозяйствующих субъектов, необходимых для определения способов привлечения финансовых ресурсов и осуществления контроля над их использованием.

Управление многочисленными взаимосвязанными производственными процессами, использующими ресурсы и преобразующими обязанности по разработке и внедрению инновационной технологии посредством инновационных программ, может рассматриваться как устойчивый процесс [4]. "Процессно-целевой" подход заключается в систематическом выполнении этапов инновационного развития, их идентификации и позитивном взаимодействии, обеспечении непрерывности управления, осуществляемого на стыке отдельных процессов в рамках социально-экономической системы отрасли разработчиков и производителей сварочной продукции.

Управление инвестиционно-инновационной политикой — часть общей системы административного управления, включающей методы, процедуры, программы и ресурсы, необходимые для разработки, внедрения, реализации, анализа и поддержания интенсифицирующих инновационные процессы социальных условий [1]. Таким образом, достигаются цели расширенного воспроизводства субъекта инновационного процесса, обеспечивающие расширение доли усовершенствованных технологий на рынке, преемственность в развитии инновационного процесса, поддерживается бесконфликтное существование общества как интегрированной социально-экономической системы.

Инновационные процессы выражают внутреннюю, предметную логику нововведения. Вместе с тем нововведение следует рассматривать со стороны его взаимодействия с окружающей средой. С этой точки зрения нововведение характеризуется динамическими параметрами, выражающими его взаимодействие с окружающей средой и обратное влияние на нововведение.

В соответствии с данными статистических исследований инновационных процессов в промышленности затраты на технологические инновации в 2004 г. были распределены по видам инновационной деятельности (табл. 1).

Сварочное производство относится к подотрасли, действующей внутри различных отраслей промышленности. Отношение затрат по видам экономической деятельности к общему объему отгруженной продукции организаций промышленности, осуществляющих технологические инновации в 2004 г., приведены в табл. 2.

Для определения уровня технологических инноваций в Российской Федерации в работе рассмотрен удельный вес организаций, осуществляющих технологические инновации, в общем числе организаций промышленности (табл. 3).

Невысокий уровень инновационной активности организаций промышленности в России обусловлен факторами, препятствующими интенсификации инновационных процессов. Конечно, процеду-

Таблица 1

Вид затрат на технологические инновации организаций промышленности по видам инновационной деятельности	Удельный вес, %
Приобретение машин, оборудования и прочих основных фондов	55,6
Исследования и разработки	16,4
Производственные проектно-конструкторские работы	7,1
Приобретение новых технологий	2,7
Приобретение программных средств	1,6
Обучение и подготовка персонала	0,5
Маркетинговые исследования	0,5
Прочие затраты	15,6
Итого	100

Примечание. Общие затраты на технологические инновации по видам инновационной деятельности в 2004 г. составили 122 850,5 млн руб.

Таблица 2

Вид экономической деятельности	Удельный вес затрат, %
Металлургическое производство и производство готовых металлических изделий	3,8
Производство машин и оборудования	5,2
Производство транспортных средств и оборудования	3,7
Производство судов, летательных аппаратов, космических аппаратов и прочих транспортных средств	3,5

ра определения этих факторов носит комплексный и многоплановый характер, поэтому ограничимся частью, непосредственно связанной с интенсификацией экономики. Существует тенденция усиления ограничений на инновационные процессы. Важнейшим ограничением в экономической науке является высокая степень вовлечения в экономический оборот первичных ресурсов — как трудовых, так и материальных. Прежде всего, это относится к трудовым ресурсам. Положение осложняется тем, что государственная поддержка подготовки специалистов в области технологии сварочных процессов ниже, чем специалистов, осуществляющих контроль в области сертификации и стандартизации технологических процессов.

Таблица 3

Страна	Удельный вес, %
Россия	10,5
Австралия	59,9
Австрия	52,7
Бельгия	58,7
Германия	65,8
Дания	52,3
Исландия	54,2
Испания	37,3
Италия	40,0
Канада	67,4
Корея	43,2
Люксембург	49,2
Нидерланды	54,6
Новая Зеландия	44,0
Норвегия	39,3
Португалия	44,7
Финляндия	48,6
Франция	45,5
Швеция	47,2
Япония	33,0

Таблица 4

Вид организационных и инноваций	Удельный вес, %
Реализация новой или значительно измененной корпоративной стратегии	8,4
Внедрение современных методов управления на основе информационных технологий	12,7
Внедрение новых или значительно измененных организационных структур	11,9
Нововведения в использовании сменного режима рабочего времени	6,5
Применение современных систем контроля и качества сертификации продукции	18,8
Разработка новых или значительно измененных методов и приемов организации труда	7,8
Внедрение современных систем логистики и поставок сырья, материалов, комплектующих	5,5
Создание специализированных подразделений по проведению исследований и разработок, практической реализации научно-технических достижений	2,2
Организация маркетинговой службы	14,5
Прочие организационно-управленческие изменения	0,3

Существенно ухудшается ситуация с материальными ресурсами в сварочном производстве. Возникает потребность в разработке ресурсосберегающих технологий. С обострением проблемы окружающей среды значительно возрастают капитальные вложения на природоохранную деятельность.

Все это ведет к увеличению фондоемкости и снижению фондоотдачи. Инновационные процессы организаций промышленности по приобретению оборудования без существенного улучшения технологии процесса и подготовки специалистов только усиливают эту тенденцию. Таковы основные объективные условия или предпосылки интенсификации инновационных процессов в сварочном производстве. При определении уровня интенсификации инновационных процессов необходимо учитывать совокупную эффективность использования живого и овеществленного труда в соответствии с принятыми ограничениями. Эффективность обеспечивается в условиях ресурсосберегающего типа расширенного воспроизводства. Ресурсосберегающий тип расширенного воспроизводства создается путем качественных преобразований не только техники и технологии, но и методами, применяемыми в управлении инновационными процессами в сварочном производстве.

Структура организаций промышленности по видам организационных инноваций приведена в табл. 4.

Для реализации инвестиционно-инновационной политики в работе предложена модель решения управленческих задач, основанная на процессно-целевом подходе (см. рисунок).

Настоящая модель системы управления соответствует требованиям динамического циклического процесса "планирование—внедрение—функционирование—оценка—анализ". Решение управленческих задач при реализации инвестиционно-инновационной политики — непрерывный процесс, состоящий из следующих этапов:

- планирование — определение инвестиционно-инновационной политики;
- разработка инновационных программ и показателей;
- определение функций управления, формирование процедур, выбор показателей;
- внедрение — создание функциональной единицы для управления инновационными программами;
- функционирование — реализация инновационных программ;
- оценка — мониторинг выполнения функций и процедур, доведение до сведения заинтересованных сторон результатов инновационных программ в доле рынка усовершенствованной технологии;
- анализ — принятие управленческого решения; постоянное улучшение инвестиционно-инновационной политики.



В работе рассмотрены основные этапы модели управления.

Инвестиционно-инновационная политика — заявление организации о своих намерениях и принципах, связанных с ее общей инновационной результативностью, являющееся основанием для установления целевых и плановых инновационных показателей.

Целевым инновационным показателем называется общий целевой показатель состояния инновационного уровня, которого организация стремится достичь и который выражается количественно, если это возможно. Плановый инновационный показатель — детализированное требование в отношении эффективности, выраженное количественно, если это возможно, предъявляемое организации и вытекающее из ее целевых показателей, устанавливаемое и выполняемое для достижения целевых показателей.

При установлении целевых показателей организация должна учитывать требования законодательства, научно-технологические и производственные аспекты, инвестиционные возможности, потребности субъектов инновационного процесса и точку зрения заинтересованных сторон.

Задачи инвестиционно-инновационной политики состоят в определении основных направлений научно-технологической, производственной, социально-экономической и экологической деятельности, направленной на устойчивое воспроизводство интенсивного типа и развитие рынка усовершенствованных технологий, обеспечение удовлетворения жизненных потребностей сотрудников, повышение уровня и совершенствование качества жизни.

Определение приоритетов инвестиционно-инновационной политики состоит в следующем:

- определить воздействие организации на развитие инновационных процессов и заинтересованные стороны в соответствии с законодательством и международными стандартами;

- определить влияние, которое оказывают тенденции в области развития инновационных процессов, риски и возможности на перспективы организации (воздействие на перспективы организации).

Инвестиционно-инновационная политика отражает обязательства руководства соблюдать законодательные нормы и постоянно улучшать систему управления инновационными процессами. Она должна быть ясной, чтобы ее могли понять внешние и внутренние заинтересованные стороны. Необходимо



Модель управления инновационными процессами в сварочном производстве

подвергать анализу инвестиционно-инновационную политику и пересматривать приоритетные направления, чтобы соответствовать изменившимся условиям и информации.

Формирование инвестиционно-инновационной политики состоит из следующих действий:

- определение цели инвестиционно-инновационной политики;
- определение инновационных аспектов, вытекающих из прошлых, настоящих и планируемых производственных процессов;
- организация работы в соответствии с законодательными актами и регламентными нормами;
- установление приоритетов и соответствующих целевых и плановых показателей инновационных процессов;
- разработка организационной схемы и программы для реализации политики и достижения целевых и плановых инновационных показателей;
- осуществление планирования, контроля, наблюдения, корректирования, аудита и анализа с целью обеспечения соответствия инвестиционно-инновационной политике целям управления инновационными процессами.

Результат принятой инвестиционно-инновационной политики направлен на расширение доли рынка усовершенствованных технологий. Принятие управленческого решения определяет выбор оптимальных вариантов инвестиционно-инновационного развития, обеспечивающих расширение доли рынка усовершенствованных технологий, эффективность

использования ресурсов и максимальное значение уровня социальной защищенности.

Таким образом, процессно-целевой подход к управлению инновационной деятельности в сварочном производстве решает задачу выбора оптимальных вариантов в принятии решения на основе изменения инвестиционно-инновационной политики, корректировки целевых и плановых показателей; определения и уточнения ограничений в инвестиционно-инновационной деятельности предприятия; изменения и дополнения в функциональные задачи структур управления; принятия технических регламентов и стандартов в области экономики, социологии, экологии.

## ВЫВОД

Определение функции управления организационными структурами и создание функциональных единиц для управления инновационными програм-

мами в сварочном производстве необходимо осуществлять с учетом следующих особенностей:

— инновационная деятельность — средство стратегического преимущества организаций, для которых собственно инновации не являются основным видом деятельности;

— инновационная деятельность — вид деятельности, результатом которого являются конкретные научные, научно-технические, профессионально-педагогические и иные результаты.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старовойтов М. К., Фомин П. А. Практический инструмент организации управления промышленным предприятием. М.: Высшая школа, 2002. 387 с.
2. Основы политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 г. и дальнейшую перспективу (<http://www.kremlin.ru/text/docs/2002/03/30293.shtml>)
3. Шеремет В. В., Павлюченко В. М. Управление инвестициями: В 2 т. М.: Высшая школа, 1998. Т. 1. 416 с.
4. Управление инновациями / Под ред. Ю. В. Шленова. М.: Высшая школа, 2003. Т. 1. 252 с.; Т. 2. 295 с.; Т. 3. 240 с.

**А. В. МЕДАРЬ, д-р техн. наук  
НПО "Техномаш"**

## Методология технологического синтеза

Как и в других областях прикладных наук в технологическом проектировании аксиоматические теории, основанные на элегантно идеализации эмпирических факторов, уступают место системному подходу. Его использование в технологическом синтезе обуславливает последовательное формирование технологического объекта (технологических процессов, средств технологического оснащения) в условиях ограничений, связанных с главной целью его функционирования. Цель — системное рассмотрение точностных взаимосвязей объекта изделие—технология—оборудование, основная задача — технологическое обеспечение заданных выходных параметров точности (ВПТ) изделия, ограничения — временные и материальные затраты производства. Поэтапная оптимизация результатов технологического синтеза осуществляется в соответствии с целевой функцией, которая в общем виде выглядит следующим образом:

$$E = f(x_j) \rightarrow \max(\min) \quad (1)$$

с учетом ограничений  $g_i(x_j) \leq b_i$  и граничных условий  $d_j \leq x_j \leq D_j$ .

При обеспечении заданных количественных норм точности изделий специального машиностроения

с возможно меньшими трудовыми и материальными затратами выделяются две задачи, постановка которых в аналитическом виде конкретизирует общую форму записи целевой функции (1):

— разработка технологий и средств технологического оснащения (СТО), обеспечивающих уменьшение численных значений ВПТ изделия при заданных характеристиках допусков на входные параметры точности;

— разработка технологий и СТО, обеспечивающих оптимизацию технико-экономических показателей производства (стоимости, трудоемкости, времени цикла и др.) при заданных характеристиках допусков на ВПТ изделия.

В первом варианте при заданных допусках на входные параметры точности (технологические погрешности изготовления и сборки составляющих элементов и изделия в целом) необходимо минимизировать ВПТ изделия. Данный вариант подразумевает синтез рациональной технологии и СТО в условиях заданных точностных возможностей оборудования (имеющегося на предприятии или которое можно создать), квалификации персонала, заданных свойств материалов, характеристик комплектующих и т. п.

Во втором варианте при заданных ограничениях на ВПТ изделий необходимо оптимизировать технологию с целью синтеза наиболее дешевого и наименее трудоемкого варианта, а для этого максимально возможно расширить допуски на входные параметры точности.

В аналитическом виде решение

для первого варианта:

$$E = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ij} a_{ij} x_{ij} \rightarrow \min;$$

$$d_j \leq x_j \leq D_j \quad i = (\overline{1, m}) \quad i = (\overline{1, n});$$

для второго варианта (2)

$$E = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m a_{ij} x_j \rightarrow \max;$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ij} x_j \leq b_i \quad i = (\overline{1, m}) \quad j = (\overline{1, n}),$$

где  $c_{ij}$  — коэффициент влияния  $j$ -го входного параметра на  $i$ -й выходной параметр точности;  $a_{ij}$  — количество  $j$ -х входных параметров точности, формирующих  $i$ -й выходной параметр;  $x_j$  — входной параметр точности;  $d_j, D_j$  — минимальное и максимальное значения  $j$ -го входного параметра точности;  $b_i$  — предельное значение  $i$ -го ВПТ.

Общая методология технологического синтеза заключается в том, что в соответствии с определенной целевой функцией (2) и учетом основных принципов (определенности, резервирования, совмещения и ограниченности) [1, 2] в ходе его проведения последовательно разрабатываются технологии, функциональные и физические структуры реализующих их СТО, а также рабочая документация для их изготовления (рис. 1). При этом во всех конкретных случаях технологического проектирования принимаемые решения основываются на результатах точностного анализа конкретной технологической ситуации в системе изделие—технология—оборудование [2, 3].

Наиболее ответственным этапом технологического синтеза в сборочном производстве изделий машиностроения является разработка СТО, поскольку именно посредством последних реализуются технологии непосредственно сборки и контрольно-измерительных работ, обеспечиваются точностные параметры изделия, формируются и контролируются ВПТ. Несмотря на неоднозначность процесса и множество его интерпретаций, проектирование (разработка) СТО — единый творческий процесс, который включает сложный анализ, множество расчетов, графические работы, оформление результатов в удобной форме. Процесс проектирования

определяет приблизительно 75 % стоимости и качества СТО, в то время как стоимость самого процесса проектирования составляет лишь 25 % затрат на разработку самого СТО. При разработке СТО единичного и мелкосерийного производства время, затрачиваемое на проектирование, может составлять от 45 до 60 % общего времени разработки [1—3].

Процесс проектирования СТО включает два органически связанных периода. Во время первого из них зарождается идея конструкции и производится ее неформальный творческий синтез. Ограничениями на этом этапе являются только возможности современной технологии вообще и конкретного предприятия (изготовителя, заказчика СТО) в частности, а также промежуточные результаты точностного анализа и основные принципы технологического синтеза. После принципиального решения конструкции и разработки общего вида СТО начинается второй период — детализирование и выполнение чертежей, а также сопутствующей конструкторской документации. Суть проектирования деталей заключается в правильном на основе точностного анализа выборе их конструктивных параметров (формы, размеров, материала, предельных отклонений размеров и др.) и увязке между собой взаимного расположения (или сопряжения) их поверхностей с требуемой точностью.

Укрупненно, с точки зрения новизны и сложности, в проектировании СТО сборочного производства существуют две группы конструкторских работ. К первой группе относится проектирование сборочных единиц с введением значительных технических и принципиальных изменений отдельных составляющих частей прототипа с новыми размерными параметрами, часто предусматривающее применение принципиально новых технологических процессов и методов работы, создание уникального оборудования, не имеющего аналогов в отечественной и зарубежной практике. Проектирование новых конст-

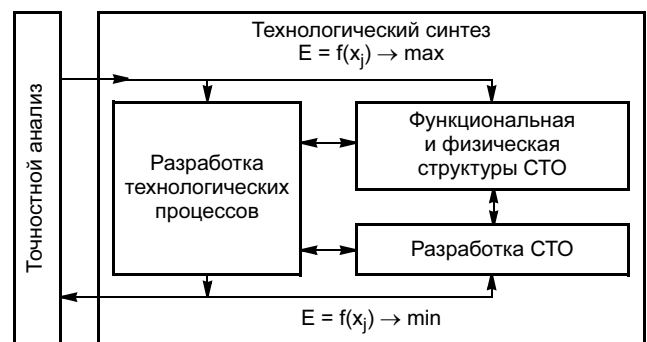


Рис. 1. Структурные связи технологического синтеза

рукций, составляющее существо работ данной группы, базируется на новых принципах, научных концепциях и инженерных решениях. Вторую группу конструкторских работ представляет стандартное проектирование с использованием известных принципов, создающее конструкции из уже известного ряда типоразмеров по имеющимся образцам существующих моделей без значительных конструктивных и размерных изменений. Стандартное проектирование реализуется, как правило, с использованием унифицированных элементов, а также включает модернизацию существующих образцов СТО с изменением размерных параметров при применении большого количества заимствованных составных частей.

Для работ по проектированию СТО сборочных и контрольно-измерительных технологий в производстве изделий машиностроения проектирование новых конструкций составляет 25—35 %, стандартное проектирование — 65—75 % общего объема работ. Продолжительность и эффективность периодов проектирования, а также группа конструкторских работ окончательно определяются в соответствии с общими принципами и методологией проведения технологического синтеза.

Второй задачей, относящейся непосредственно к процессу проектирования (первая задача — повышение качества проектов), является сокращение его сроков в 1,5—2 раза. Данная проблема в рамках технологического синтеза решается путем автоматизации проектирования, основой которого являются программно-математическое обеспечение и реализующие его средства и методы.

Неформальный синтез (первый период проектирования) требует наибольших творческих усилий, являющихся одной из форм интеллектуальной деятельности человека, которую невозможно реализовать с помощью компьютерной техники на данном этапе развития. Здесь компьютер (ПК) может только помочь человеку, но не заменить его. Компьютерная техника в принятии решений на различных этапах проектирования может только выработать совокупность различных решений и оформить в надлежащем виде решение, выбранное оператором. В связи с этим для первого вида проектирования используются автоматизированные системы, в которых ПК рассматривается как вспомогательное средство. Такой подход основан на взаимном использовании достоинств человека (умение принимать решения, непосредственность восприятия, интуиция, способность к обучению) и преимущества ПК (точность, быстрое действие вычислительных операций, большой объем памяти). Основными функциями таких систем являются автоматическое построение конструктор-

Группа работ	Периоды процесса проектирования	
	Проектирование новых конструкций (25—35 %)	Неформальный синтез конструкции
Компоненты автоматизации		
Проектные расчеты Точностный анализ СТО		Автоматизированное проектирование деталей Автоматическое проектирование стандартных элементов
Информационно-справочное обеспечение		
Стандартное проектирование (75—65 %)	Компоненты автоматизации	
	Автоматизированное проектирование сборочных единиц СТО Проектные расчеты	Автоматическое проектирование деталей и стандартных элементов
	Информационно-справочное обеспечение	

ской и составление технологической документации [4, 5].

Автоматизация второго периода проектирования, связанная с автоматическим проектированием деталей машин, получила более широкое распространение. Основным условием работы таких систем являются полное задание процесса проектирования и фиксация (неизменность) алгоритмов.

При автоматизации проектирования конструкторских работ первой группы используют компьютерную технику для проведения проектных расчетов и перебора в диалоговом режиме информационно-справочных материалов. Для второй группы конструкторских работ объектами автоматизации являются выбор рационального типа конструкции, поиск оптимальных параметров и выпуск конструкторской документации.

С учетом особенностей проектирования СТО, связанных с наличием указанных периодов проектирования и групп конструкторских работ, распределение решаемых в автоматизированном режиме проектных задач приведено в таблице.

На рис. 2 приведены структурные взаимосвязи точностного анализа системы изделие—технология—оборудование и технологического синтеза СТО сборочного производства изделий специального машиностроения. Формирование функциональных характеристик и принципов физической реализации технологического процесса, функциональных и физических структур, конструктивно-компоновочных схем СТО, проектирование конструктивных элемен-

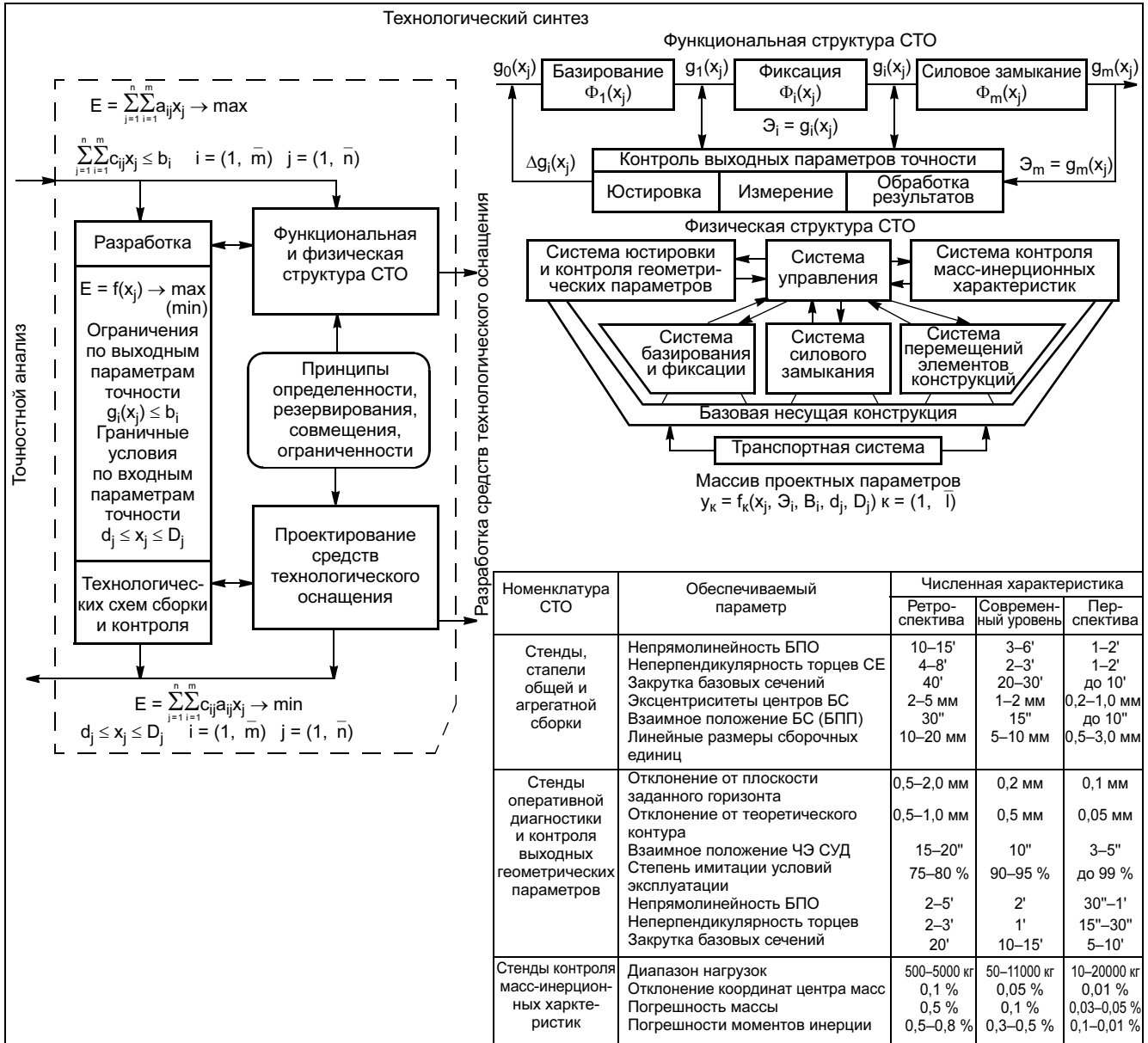


Рис. 2. Технологический синтез в сборочном производстве изделий специального машиностроения

тов оборудования и другие проектные задачи производятся в автоматизированном режиме. При этом технологическое обеспечение приведенных численных значений ВПТ изделия производится путем оптимизации конструктивных параметров структурных единиц СТО и функциональных характеристик (технологических параметров) реализуемого данным оборудованием технологического процесса. Основное методологическое требование — во всех конкретных случаях технологического проектирования принимаемые технические решения должны быть основаны на результатах точностного анализа технологической ситуации и с учетом принципов технологического синтеза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Медарь А. В. Направления развития теории проектирования средств технологического оснащения сборочного производства // Технология производства. Сер. XIII. 1987. Вып. 3. С. 179—182.
- Медарь А. В. Обеспечение качества изделий в сборочном производстве. М.: ГОНТИ-2, 1988. 58 с.
- Медарь А. В. Средства технологического оснащения сборки, сварки и испытаний // Технология производства. Сер. XIII. 1987. Вып. 8. С. 5—12.
- Есаков С. А., Медарь А. В. Задачи автоматизации проектирования технологических процессов сборки изделий // Технология производства. Сер. XIII. 1984. Вып. 6. С. 55—60.
- Медарь А. В. Автоматизация проектирования средств технологического оснащения сборочного производства // Технология производства. Сер. XIII. 1987. Вып. 10. С. 213—218.

**Е. П. ИЛЯСОВ, С. В. ЛИСИЧКИН**

**Межрегиональный координационно-аналитический центр по проблемам трудоустройства и адаптации к рынку труда выпускников учреждений профессионального образования МГТУ им. Н. Э. Баумана**

## **О методе оценки эффективности работы центров содействия занятости учащейся молодежи и трудоустройству выпускников вузов**

В настоящее время одной из важнейших социальных проблем, связанных с изменениями на рынке труда, является угроза безработицы для молодых специалистов, окончивших вузы, техникумы, училища. Выпускники учебных заведений оказываются одной из самых слабо защищенных в этом отношении категорией населения. С отменой обязательного распределения выпускников, существовавшего в условиях плановой экономики и обеспечивавшего постоянное рабочее место и необходимый минимум социальных гарантий, молодой специалист стал беззащитным перед угрозой безработицы.

Сегодня 60 % выпускников вузов, 30 % выпускников ПТУ и 70 % выпускников техникумов не работают по специальности. Работа на промышленных и сельхозпредприятиях вообще перестала привлекать молодых людей, а наибольший интерес вызывают торговля, финансы, менеджмент и система общественного питания.

Причина высокой безработицы среди молодежи — в низкой конкурентоспособности на рынке труда, неподготовленности к новым экономическим отношениям, несоответствии профессиональной подготовки потребностям рынка труда, недостаточной мотивации к труду.

Все это препятствует нормальному развитию общества и его трудового потенциала. В связи с этим представляется весьма актуальным решение проблем, связанных с синтезом двух составляющих процесса преобразования общества — профессионального образования и рынка труда.

В этом направлении в последнее время были получены определенные результаты. Минобрнауки России и Рособразование придают особое значение этому вопросу. Ежегодно на коллегиях этих ведомств ставится вопрос о содействии трудоустройству и временной занятости выпускников учреждений профессионального образования. С этой целью в Рособразовании ведется работа по созданию

системы содействия трудоустройству выпускников профессиональных образовательных учреждений и адаптации их к рынку труда. Основу этой системы составляют центры содействия занятости учащейся молодежи и трудоустройству выпускников учреждений профессионального образования (далее центры), работающие в каждом учреждении профессионального образования. Они являются связующим звеном между рынком образовательных услуг и рынком труда.

Каждый такой центр должен решать задачи не только непосредственного трудоустройства своих выпускников, но и предоставления информации о спросе и предложении на рынке труда по профильным специальностям, переподготовке и непрерывному профессиональному обучению незанятых выпускников, а также стратегические задачи содействия трудоустройству.

За 2000—2005 гг. почти в 80 % вузов, подведомственных Рособразованию, созданы центры. Информация о создании центров, их количественных и качественных характеристиках, направлениях работы, статистике трудоустройства выпускников поступает в Межрегиональный координационно-аналитический центр по проблемам трудоустройства и адаптации к рынку труда выпускников учреждений профессионального образования (далее МЦПТ) МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Анализируя опыт работы центров, можно выделить общие тенденции направлений их деятельности и, как результат, общие критерии, по которым можно оценивать эффективность работы по содействию трудоустройству выпускников вузов и учащейся молодежи.

Критерий определяется задачами, решаемыми центрами:

- организация временной занятости студентов;
- организация стажировок и практик, предусмотренных учебным планом;

- содействие трудоустройству выпускников;
- предоставление выпускникам и работодателям информации о спросе и предложении на рынке труда посредством создания информационной системы;
- организация работы со студентами по вопросам их адаптации на рабочем месте;
- взаимодействие с предприятиями и организациями, оказывающими влияние на рынок труда: проведение ярмарок вакансий, презентаций професий, создание долговременных программ сотрудничества;
- анализ российской практики в области содействия занятости студентов и трудоустройству выпускников;
- проведение маркетинговых исследований рынков труда и образовательных услуг;
- внесение предложений по корректировке учебных планов, номенклатуре специальностей и структуре выпуска учреждений профессионального образования в соответствии с текущими и планируемыми потребностями экономики региона;
- разработка программ дополнительного профессионального образования для незанятых выпускников учреждений профессионального образования с учетом регионального рейтинга профессии, содействие в организации повышения квалификации и профессиональной переподготовки выпускников учреждений профессионального образования;
- обучение сотрудников учреждений профессионального образования данного региона, ответственных за трудоустройство выпускников;
- анализ сложившихся в регионе механизмов партнерства образовательное учреждение—регион;
- планирование, организация и проведение социологических, психологических и других исследований;
- обобщение и распространение наиболее эффективных программ работы центров;
- взаимодействие с территориальными органами занятости населения.

Для оценки эффективности работы центров по направлениям вводятся соответствующие показатели  $k_1, k_2, \dots, k_{15}$ .

Критериальные значения всех вышеперечисленных показателей определяются по трехуровневой системе:

- работа по данному направлению не ведется — 0,9;
  - работа по данному направлению только начата, нет практических результатов — 1;
  - работа по данному направлению ведется давно, есть практические результаты — 1,1.
- Критерий оценки эффективности работы центра

$$K_{\Sigma} = \prod_{i=1}^{15} k_i,$$

где  $k_i$  — показатель работы центра по каждой из задач ( $i = 1, 2, \dots, 15$ ).

Сбор данных, необходимых для определения значений показателей, осуществляется посредством анкетирования центров. Вопросы анкеты созвучны задачам, решаемым центром. Анкеты рассылаются в центры по электронной или обычной почте, а также размещаются на сайте МЦПТ (<http://cszum.bmstu.ru>).

Результаты анкетирования обрабатываются посредством метода экспертных оценок. Рабочая группа экспертов формируется на базе МЦПТ МГТУ им. Н. Э. Баумана из числа работников центров занятости и профильных отделов Минобрнауки и Рособразования. Процедура определения коэффициентов, соответствующих вопросам анкеты, проводится в несколько этапов. На первом этапе каждый эксперт на основании имеющихся данных и собственного опыта определяет предварительные значения коэффициентов. Далее проводится совещание рабочей группы экспертов, на котором рассматриваются обоснования предварительных результатов каждого эксперта. При необходимости предварительные результаты корректируются и принимается итоговое решение в определении окончательного значения коэффициента.

Данные, полученные в результате экспертной оценки, записываются в базу данных. Ввод информации в базу данных осуществляется специалистами центра при помощи веб-формы. Веб-форма содержит перечень коэффициентов и возможных вариантов их значений. Данные из формы передаются в программу, которая вычисляет на их основе критерий эффективности и заносит его в базу данных для хранения, дальнейшей обработки и последующей Интернет-публикации на сайте МЦПТ в виде рейтинга центров.

## Содержание зарубежных журналов<sup>1</sup>

**American Machinist (N 8, 2007, США)**

**Bates Ch.** Организация работы металлообрабатывающего предприятия, с. 46, ил. 1.

Описывается опыт организации работы и оформления заказов на металлообрабатывающем предприятии с использованием компьютера и программного продукта 82 RFQ. Рассматривается технология обработки деталей из пластика, алюминия, коррозионно-стойкой и конструкционной сталей, меди и латуни с отклонениями линейных размеров  $\pm 0,008$  мм и твердостью обработанной поверхности 32 HRC.

**Снятие внутренних напряжений**, с. 47, ил. 1.

Описывается опыт фирмы Metalonica по использованию установок MetaLax фирмы Bonal Technologies для снятия внутренних напряжений в деталях после механической обработки без применения нагрева. Снятие напряжений осуществляется в процессе вибрации детали с частотой ниже частоты собственных колебаний, в результате которой перераспределяются зоны концентрации высоких напряжений. Обработке можно подвергать детали из любого металла. Внедрение такой технологии позволило увеличить производительность на 15—20 %.

**(N 10, 2007, США)**

**Практические рекомендации**, с. 14, ил. 1

Приводятся практические рекомендации для использования их в производстве, например, рассматривается капельное охлаждение при обработке алюминия твердосплавными инструментами с покрытием и с соответствующими режимами резания, которое уменьшает расход СОЖ и образование дыма и масляного тумана. Описано приспособление для предотвращения скалывания кромок деталей при нарезании резьбы в виде накладки длиной 101 мм с V-образным продольным пазом.

**Benes J.** Режущие инструменты и зажимные устройства, с. 16, 18—19, ил. 6.

Представлен обзор современных инструментов и оснастки, в числе которых цельнотвердосплавные миниатюрные концевые фрезы Jarbo Mini диаметром от 0,1 до 2,0 мм фирмы Seco Tools, изготавливаемые из мелкозернистого твердого сплава. Они имеют покрытие, наносимое по новой технологии, и предназначены для обработки закаленной инструментальной стали твердостью 65 HRC (серия JM100) и алюминия и меди (серия JM400). Расточные головки EWP UP фирмы BIG Kaiser Precision Tooling имеют регулировку диаметра обработки с точностью до 0,025 мм. Концевые фрезы Z-Carb-MD фирмы SGS Tool с фирменным покрытием Ti-NAMITE-A (AlTiN) обеспечивают обработку закаленной стали твердостью до 62 HRC при существенном уменьшении вибрации за счет уникальной конструкции винтовых режущих зубьев. Тиски XL8-in фирмы Kurt Manufacturing предназначены для закрепления крупных деталей размером до 533 мм при тяжелых условиях обработки; магнитный патрон EEPM фирмы Earth-Chain с вы-

двигающимся полярным элементом — для закрепления тонко- и толстостенных деталей практически любой формы.

**Benes J.** Обслуживание металлорежущих станков, с. 44—47, ил. 2.

Своевременное и качественное обслуживание станка — неперемное условие и ресурс повышения эффективности станка за счет увеличения машинного времени и сокращения простоя оборудования. Однако часто на производстве не уделяют должного внимания проблемам обслуживания, что приводит к значительным потерям рабочего времени из-за преждевременных поломок оборудования и снижению точности обработки. Рассматриваются наиболее существенные факторы оптимизации обслуживания оборудования.

**(N 11, 2007, США)**

**Benes J.** Торцовые фрезы, с. 11—12, ил. 1.

Описываются конструкция и применение насадных торцовых фрез с круглыми режущими пластинами. Круглые пластины за счет большего числа режущих кромок обеспечивают двукратное увеличение съема обрабатываемого материала по сравнению с типовыми квадратными пластинами. При оптимальных условиях фрезерования, в том числе и при небольшой глубине резания, имеют место небольшие радиальные силы, равномерное распределение сил и действие большей части радиальной силы в осевом направлении. Это в свою очередь уменьшает вибрации, увеличивает стойкость инструмента и повышает качество обработанной поверхности.

**Новости промышленности**, с. 64—76, ил. 19.

Описаны разные операции механической обработки, в числе которых обработка алюминиевых деталей на четырех горизонтальных многоцелевых станках с ЧПУ Makino A55, загружаемых и разгружаемых с помощью робота с шестью степенями свободы. Промывка обработанных деталей в резервуаре с горячей мыльной водой, который вибрирует со звуковой частотой, позволяет обходиться без токсичных химикатов. Удаление заусенцев выполняется с помощью специального инструмента фирмы 2Linc длиной от 50,8 до 152,4 мм с диаметром хвостовика от 3,4 до 12,7 мм, работающим с глубиной резания 0,25 мм при частоте вращения 55 000 мин<sup>-1</sup>. Прецизионные измерения, регулировка положения станка, калибровка и другие операции с помощью лазерного устройства 2D Microgage фирмы Pinpoint Laser Systems позволяют повысить точность изготовления деталей.

**Cutting Tool Engineering**

**(N 2, Vol. 59, 2007, США)**

**Сверла**, с. 13.

Фирма M. A. Ford предлагает сверла Twister XD диаметром от 0,5 до 20,0 мм с внутренними каналами для СОЖ и без них. Сверла имеют геометрию режущей части типа ActiveCut, вершину, обеспечивающую небольшое осевое усилие при сверлении, и спиральные стружечные канавки различной длины (короткие, стандартные и длинные).

**Спиральные сверла**, с. 38, ил. 1.

<sup>1</sup> Раздел подготовлен инж. Г. С. Потаповой (по вопросам получения материалов обращаться по тел./факсу: (495) 611 2137, e-mail: stankoinform@mail.ru).



Описаны новые спиральные сверла различных фирм со сменными режущими вершинами и внутренними каналами для подвода СОЖ непосредственно в зону резания. Фирма Ingersoll Cutting Tools предлагает сверла диаметром до 26 мм для сверления отверстий глубиной до восьми диаметров; фирма Iscar Metals — сверла диаметром 7,5—25,8 мм для сверления отверстий глубиной трех-пяти диаметров.

**Режущие пластины**, с. 76, ил. 1.

Описаны токарные режущие пластины фирмы ATI Stellram, изготовляемые из нового микрзернистого твердого сплава SP0819. Режущие пластины имеют покрытие TiAlN, наносимое методом PVD. Супертвердое покрытие и микрзернистый субстрат обеспечивают износостойкость при токарной обработке жаропрочных сплавов.

**Сверление** глубоких отверстий, с. 77, ил. 1.

Компанией Iscar Metals предложена модульная система сверления при соотношении глубина/диаметр более чем 10:1. Диапазон диаметров от 8 до 240 мм, а максимальная глубина сверления возможна до 300 диаметров.

**Шлифовальные** круги, с. 78, ил. 1.

Фирма Saint-Gobain Abrasives предлагает суперабразивные гибридные полиамидные шлифовальные круги Univel G-Force, отличающиеся механизмом фиксации режущих зерен и износостойкой связкой. Профиль круга можно восстанавливать непосредственно на станке с помощью устройства для правки MixTORQ-BPR, работающего при частоте вращения 12 000 мин<sup>-1</sup>.

**Расточные** инструменты, с. 79, ил. 1.

Фирма Wohlhaupter расширила номенклатуру предлагаемых инструментов CombiLine для чернового и чистового растачивания отверстий за один проход. В настоящее время максимальный диаметр инструмента увеличен до 1020 мм. Первая режущая пластина инструмента осуществляет черновую обработку, а вторая пластина — чистовую. Это обеспечивается за счет регулировки положения пластин в радиальном направлении.

**Зажимное** устройство, с. 79, ил. 1.

Фирма 2L Inc. предлагает зажимное устройство Vac-Vise, которое можно одновременно использовать как вакуумный патрон или многопозиционное устройство для закрепления деталей различных формы и размеров. В качестве источника вакуума используется портативный электрический вакуумный насос.

**MAN (Modern Application News)**

(N 1, Vol. 41, 2007, США)

**Снятие** напряжений на алюминиевых деталях, с. 32, 34, 35, ил. 2.

Фирма Mooney Industries Precision Machining, Inc. (США) специализируется на мелкосерийном производстве высокоточных деталей для космических кораблей и станций, а также изделий оборонной отрасли страны. Когда в производство поступили детали из алюминия 7075 и меди возникли серьезные проблемы из-за их деформирования. Для ее решения приобрели установку Black Magic® у компании Bonal Technologies Inc. (США). В установке используются субгармонические колебания, при этом величина наведенной энергии определяется массой объектов. Если предполагается возникновение деформаций в процессе

обработки, рекомендуется предварительно применять "снятие" напряжений перед каждой стадией технологического процесса (резанием, шлифованием, электроэрозионной обработкой, закалкой, сваркой, термической обработкой и отрезкой). Это позволило сократить длительность стадий, повысить производительность и уменьшить расходы. Исключены некоторые чистовые технологические переходы и полирование после основных станочных операций (раньше требовались от 2 до 3 ч на доделку изделий). После снятия напряжений и обработки на станках получили плоскостность в пределах 0,025 мм, а деформации уменьшились на 80 %.

**Maschinenmarkt**

(N 1/2, 2007, Германия)

**Профильная** обработка филигранных микродеталей, с. 28, ил. 1.

Представлен электроэрозионный станок AP1L фирмы Sodick для изготовления деталей медицинской, авиационной и космической техники массой до 25 кг. Система автоматизации и применение шестиосевого робота, устанавливающего детали с точностью до 0,02 мм, а также наличие в магазине до 40 электродов с рабочей длиной до 51 мм позволило ускорить обработку деталей и снизить себестоимость процесса обработки.

(N 13, 2007, Германия)

**Kuttkat B.** Фрезерование деталей малых и средних размеров, с. 60, ил. 3.

Сообщается о возможности эффективного трех-шестистороннего фрезерования малых и средних по размеру деталей на оборудовании с ЧПУ типа CNC. Изложены технологические сведения о процессах обработки, приведены примеры обработки с указанием размеров и массы деталей, данные о системах управления процессами фрезерования.

**Technische Rundschau**

(N 12, Vol. 99, 2007, Швейцария)

**Heydt F.** Тенденции развития ленточно- и круглопильных станков, с. 34—36, ил. 3.

Общими тенденциями для станков таких типов является применение пильных полотен с зубьями из твердых сплавов и меньшим шагом зубьев, износостойких покрытий типа AlTiN (вместо прежних из TiN) с твердостью до 3800 HV (в качестве альтернативы разрабатываются керамические покрытия). Сохраняется устойчивый спрос на ленточно-пильные станки небольших типоразмеров с пильными полотнами 27,0 × 0,9 или 34,0 × 1,1 мм.

**Kummetz J.** Управление при пятикоординатной обработке, с. 38, 39, ил. 3.

По ряду объективных причин в промышленности растет применение центров для пятикоординатной обработки, обеспечивающих экономичное производство деталей сложной геометрии, что заставляет обратить особое внимание на управление такими центрами, особенно на управление движением рабочих элементов во избежание их столкновений. Фирма Heidenhain AG (Швейцария) предлагает для этого систему iTNC 530, оснащенную также специальными фильтрами для подавления вибраций.

**Werkstatt und Betrieb**  
(N 10, Vol. 140, 2007, Германия)

**Автоматизация** мелкосерийного производства, с. 16—17, ил. 2.

Приведен пример экономически эффективной автоматизации обработки сложных деталей массой до 130 кг при размере партии от 10 до 100 деталей за счет использования многоцелевых станков с обработкой по пяти осям, индивидуальных поддонов и роботов Erowa Robot System и Erowa Robot Easy с механическими захватами.

**Автоматизация** крупносерийного производства, с. 18—22, ил. 7.

Проблемы автоматизации крупносерийного производства рассматриваются на примере обработки корпусов запорных вентилях 38 различных типоразмеров от 12,7 до 406,4 мм. Ежегодный объем производства составляет 85 000 корпусов. Отмечается, что эффективность автоматизации зависит от правильного выбора не только металлообрабатывающего оборудования (многоцелевых станков), но и целого ряда дополнительных устройств и систем, например, грузоподъемного и транспортного оборудования, гидрофицированных цепных устройств для закрепления заготовки корпуса и устройств с направляющей втулкой для раскатки.

**Abele E.** Безопасность современных высокоскоростных режущих инструментов, с. 38, 40, 42—43, ил. 5.

Предложен аналитический метод расчета предельно допустимой частоты вращения фрезы, который призван стать простой и экономически целесообразной альтернативой методу определения этой частоты на основании экспериментального определения центробежной силы. Приведены кривые зависимости критической частоты вращения инструмента от его диаметра.

**Klingauf W.** Балансировка режущих инструментов, с. 44—47, ил. 6.

Указывается на важность балансировки инструментов, особенно инструментов, работающих с большой частотой вращения. Описывается новая версия установки Tool Dynamic Autodrive фирмы Haimer для балансировки как собственно режущего инструмента, так и инструмента с патроном. Возможна балансировка насадных инструментов с отверстием.

**Контроль** состояния металлорежущего станка, с. 48—49, ил. 2.

Постоянный контроль состояния станка необходим не только для предупреждения производственного брака или аварии, но и для постоянной оптимизации процесса обработки. Описывается методика Machine Condition Indicator (MCI), содержащая базовые положения контроля состояния и технического обслуживания станка, увязанная с конкретными технологией обработки и условиями работы.

**Koib M.** Обработка водной струей, с. 61—63, ил. 5.

Отмечается, что экономическая эффективность обработки водной струей при резании выше, чем при фрезеровании, когда к качеству поверхности и точности размеров не предъявляются слишком жесткие требования. Водяной струей можно вырезать различные по форме детали, что позволяет отказаться от покупки заранее нарезанных заготовок. Приведены примеры практического применения обработки водной струей.

(N 11, Vol. 140, 2007, Германия)

**Hobohm M.** Обработка глубоких проточек, с. 52—55, ил. 5.

Описывается опыт фирмы Flottweg, выпускающей сепараторы и центрифуги, по применению инструментальной системы S229 для обработки проточек глубиной до 18 мм. Система S229 включает многогранные режущие пластины фирмы Tübinger Werkzeugspezialist шириной 3—10 мм. В процессе экспериментальной проверки лучшие результаты показали пластины с геометрией 5, изготовленные из тонкозернистых твердых сплавов P20 и K10.

**Abele E. et al.** Обработка резанием в тяжелых условиях, с. 56—61, ил. 5.

Обработка в тяжелых условиях, например срезание ковок поковки или проката, относительно мало изучена. Примером эффективной обработки может служить обработка кулачкового вала из улучшенной стали 100Cr6, в процессе которой за 7 мин срезают 22 кг материала, обработка 200 литых чугунных головок блока цилиндров в 1 ч с глубиной резания 6 мм, а также обработка колесной пары из стали прочностью 800—1200 МПа, осуществляемая режущими пластинами из твердого сплава P10 и P25 с многослойным покрытием со скоростью резания 110 и 140 м/мин и подачей 0,8—1,6 мм/об.

**Крупный** многоцелевой станок, с. 62, ил. 1.

Фирма Burkhardt + Weber Fertigungssysteme выпускает станки MCX 1400 для обработки крупных и тяжелых деталей с четырех сторон. Мощность и вращающий момент на главном шпинделе составляют 60 кВт и 3500 Н·м; скорость перемещения по трем осям — 45 м/мин; длина перемещения по осям X, Y и Z соответственно 3200, 2200 и 2100 мм.

**Новые** режущие инструменты, с. 64—65, ил. 2.

Описываются инструменты, специально разработанные для обработки титана. Речь идет о фрезах с многогранными режущими пластинами CTP5240 фирмы Ceratizit Austria, изготавливаемыми из сверхжаропрочного твердого сплава и имеющими покрытие на основе титана, отличающееся стойкостью против химической реакции (окисления и диффузии) с обрабатываемым материалом.

**Hobohm M.** Тяжелое фрезерование, с. 66—69, ил. 5.

Описана технология обработки корпусов газовых и паровых турбин фрезами фирмы Seco Tools, в числе которых насадные фрезы с многогранными пластинами толщиной 7,35 мм, работающие с глубиной резания до 20 мм и подачей до 1,5 мм/зуб и дисковые фрезы диаметром 250—900 мм, работающие с глубиной резания от 9 до 50 мм.

**Новые** режущие пластины, с. 70—72, ил. 4.

Фирма Tungaloy Europe освоила производство новых пластин золотистого цвета из твердого сплава трех сортов T5105, T5115 и T5125. Комбинация субстрата, покрытия толщиной 16 мкм, наносимого методом MT-CVD, и стружкоформирующих элементов типа CF, CM или CN делает эти пластины эффективными при черновой и чистовой обработке.

**Зажимные** устройства для токарных станков, с. 74—78, ил. 6.

Описывается конструкция зажимных устройств, применяемых вместо кулачковых патронов для закрепления различных обрабатываемых деталей на крупных токарных станках. Речь идет о планшайбах диаметром до 3000 мм с индивидуально перемещающимися по радиусу прижимами, самофиксирующимися в обоих направлениях.

## IV Специализированная выставка нанотехнологий и материалов "NTMEX — 2007"

С 5 по 7 декабря 2007 г. в Москве при поддержке Департамента науки и промышленной политики Москвы прошла IV Специализированная выставка нанотехнологий и материалов "NTMEX — 2007", организованная ООО "Компания МКМ ПРОФ". В работе выставки приняли участие более 70 научных организаций РАН, вузов, промышленных предприятий, фирм и компаний.

Ниже приведены организации и их новые разработки и инновационные проекты.

**ФГУП "ВНИИМ им. акад. А. А. Бочвара"** (Москва):

— новый класс наноструктурных электротехнических  $Cu-Nb$ -проводов сверхвысокой прочности и электропроводности круглого и прямоугольного поперечных сечений. Области применения: микропровода — в устройствах резонансной передачи электроэнергии; индукторы — для магнитоимпульсных штамповки и сварки; фольга — в электронике для гибких печатных плат и проводов; крупные магнитные системы;

— нанокристаллические высокоемкие конденсаторные порошки тантала для изготовления высоконадежных танталовых конденсаторов для электронной аппаратуры. Впервые в России разработана технология получения данных порошков;

— производство (первое в России) нанокристаллических магнитотвердых материалов широкого назначения для радиоэлектроники, авиационной и автомобильной промышленности, атомной энергетики и др. Основные преимущества: управляемые прочностные характеристики,

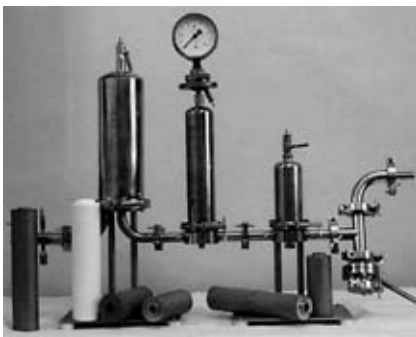


Рис. 1. Микрофильтрационная система

повышенная коррозионная стойкость, высокая точность геометрических размеров и др.;

— нанофильтрационное оборудование нового поколения на основе наноструктурированных пористых металлов и сплавов для атомной, аэрокосмической, медицинской, биологической, пищевой, химической промышленности, в частности, фильтроэлементы патронные и трубчатые из пористых коррозионно-стойких стали, титана, циркония и других сплавов, мембранные фильтры высокой производительности и эффективной фильтрации до 99,9995 %, сепарирующие трубки с тонкими капиллярно-пористыми стенками (рис. 1).

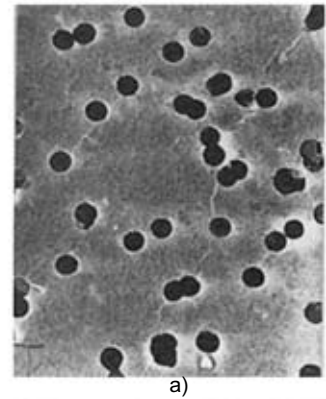
**Институт кристаллографии РАН им. А. В. Шубникова** (Москва):

— получение одномерных нанокристаллов, размер которых в поперечном направлении определяется размером канала одностенных углеродных нанотрубок (ОСНТ) и составляет одну-две элементарные ячейки. Такие нанокристаллы существенно отличаются по свойствам от традиционных объемных кристаллических материалов;

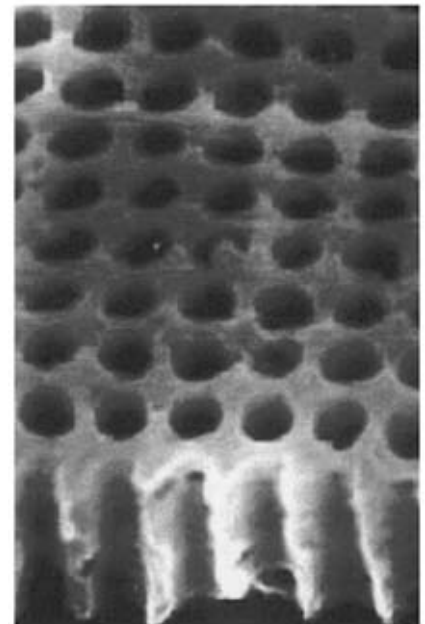
— трековые наномембраны (тонкие, пористые пленки), получаемые в результате облучения исходных (непористых) полимерных пленок высокоэнергетическими частицами с последующим травлением их треков до образования сквозных пор (рис. 2). Диапазон размеров пор от 20 до 200 нм. Толщина мембран 5—50 мкм. Количество пор на  $1\text{ см}^2$  от  $10^5$  до  $10^{10}$ . Разброс размеров пор не выше 10 %. Область применения: очистка кристаллизационных растворов в производстве водорастворимых кристаллов; системы газодиффузионной очистки воздуха от пылевых, радиоактивных, бактериальных и вирусных частиц и др. Трековые мембраны с асимметричной структурой пор отличаются повышенной в 3—7 раз производительностью по сравнению с традиционными трековыми мембранами.

**Институт проблем химической физики РАН** (Черноголовка Московской обл.) — фотокаталитический очиститель воздуха "Нанолюкс" для очистки воздуха в жилых и общественных помещениях от органических

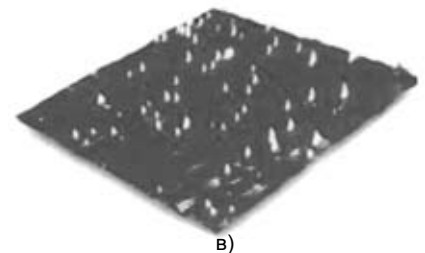
загрязнений бытового, промышленного и биологического происхождения. Работа прибора основана на фотокаталитическом окислении органических



а)



б)



в)

Рис. 2. Трековая наномембрана: а, б — поверхность обычной и регулярной трековой мембраны соответственно; в — нанострия на поверхности лейкосапфира, облученного высокоэнергетическими тяжелыми ионами

примесей на поверхности нанокристаллического диоксида титана под воздействием ультрафиолетового излучения.

Производительность по воздуху 30 м<sup>3</sup>/ч, потребляемая мощность 40 Вт, габаритные размеры 122 × 122 × 600 мм.

Прибор "Нанолукс" награжден серебряной медалью на Международном салоне изобретений в Женеве в 2005 г.

**Вятский государственный университет** (г. Киров):

— виброшумопоглощающий высокотехнологичный наноструктурированный сплав на основе цинка—алюминия (сплав ЦА-26), который по своим параметрам (демпфирующей способности, прочности, плотности, пластичности и др.) превосходит лучшие зарубежные аналоги;

— лазерно-плазменное наноструктурирование поверхностных слоев материалов — лазерное воздействие на материалы с формированием приповерхностной плазмы от излучения лазера при атмосферных условиях. Применение данной технологии позволяет повысить механические, триботехнические свойства поверхностных слоев, а также управлять их электрическими, магнитными, оптическими характеристиками, что повышает ресурс изделий в целом;

— технология устранения негерметичности радиаторов методом лазерной сварки-пайки. Для этого используется импульсный режим генерации лазерного излучения. Телевизионная система наблюдения позволяет точно наводить луч лазера на место дефекта, а волоконно-оптическая — производить легкий и быстрый переход с одного дефекта на другой. Высокая точность дозировки лазерной энергии (импульса) исключает образование прожогов (рис. 3).

**Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина** — нанодисперсные магнитные жидкости — уникальный искусственно синтезированный материал, обладающий одновременно текучестью и магнитными свойствами.

Сочетание этих свойств обеспечило создание новых технологических устройств и технологий в различных областях науки, техники и производства. Область применения: магнитожидкостные уплотнения, очистка водных поверхностей, очистка нефтепродуктов, магнитоуправляемая смазка в узлах трения деталей машин и механизмов, тонкое разделение и сепарация материалов с различной плотностью. Разработки университета отмечены премией Правительства РФ в области науки и техники.

**Казанский государственный технологический университет:**

— технология получения композиционных наноструктурированных металлических и металло-оксидных порошков на основе элементного железа и его композиций с другими металлами (бинарные или более сложные системы), которые обладают особыми повышенными прочностными свойствами. На основе этой технологии методами порошковой металлургии можно создавать новые композиционные материалы и сплавы для различных отраслей промышленности (фильтры для очистки горючих и смазочных материалов, газов, катализаторы и др.);

— нанотехнология получения электропроводной полимерной композиции на основе полисульфидных олигомеров (высокомолекулярных соединений, например, многих смол, смазочных масел и др.), удельное сопротивление которой может изменяться в широких пределах (от диэлектриков до полупроводников). Температурная зависимость удельного объемного

сопротивления материала носит ярко выраженный "металлический" характер, температурный коэффициент сопротивления больше, чем у металлов. Эти свойства полимерных композиций могут быть использованы при разработке проводящих покрытий, температурных датчиков, тепловыделяющих элементов. Саженополненные композиции на основе полисульфидных олигомеров могут служить основой для создания материала греющего элемента.

Тепловыделяющий материал заполняет пространство между двумя токоведущими электродами. При приложении электрического напряжения каждый элемент объема материала выделяет теплоту. Одновременно в зависимости от температуры и условий теплоотдачи поверхность элемента рассеивает некоторое количество теплоты в окружающую среду. Материал нагревается и достигается тепловой баланс. Область применения: саморегулирующиеся тепловыделяющие элементы в виде покрытий или кабеля для поддержания рабочего температурного режима технологического оборудования.

**Инженерно-медицинский центр (ИМЦ) "МАТИ-Медтех" "МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского** (Москва) —

разработки новых биологически и механически совместимых с тканями человека материалов функционального назначения и спецматериалов для медицинского инструмента, в том числе наноструктурных материалов (имплантов, эндопротезов различного назначения, фиксаторов саморегулирующихся, полуфабрикатов из никелида титана, эндоскопических инструментов для хирургии и др.) (рис. 4).

**ЗАО "Институт прикладной нанотехнологии"** (Москва—Зеленоград):

— наноматериалы для повышения экологических, энергосберегаю-

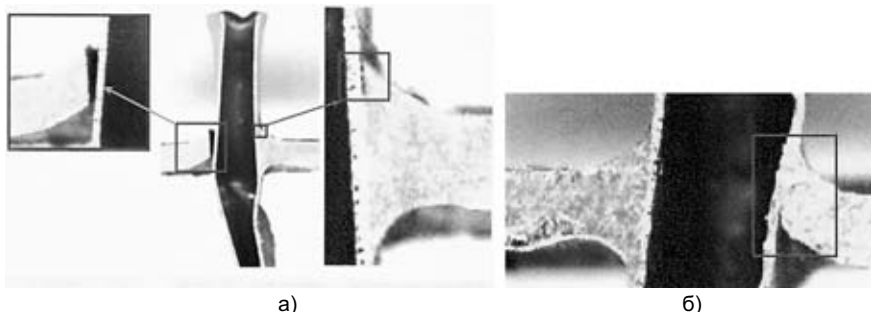


Рис. 3. Технология устранения негерметичности радиаторов методом лазерной сварки-пайки: а — поперечное сечение непролая радиаторной трубки; б — шлиф места дефекта, обработанного в режиме лазерной сварки-пайки



Рис. 4. Фиксатор саморегулирующийся для укрепления связочно-хрящевых структур суставов части руки человека

щих и эксплуатационных свойств моторных топлив (добавки к маслам и смазкам, которые повышают несущую способность масляной пленки, формируют на поверхности трения детали тонкие защитные (противоизносные и антифрикционные) наноструктурированные слои;

— технология и организация производства получения экологически чистых наноконструктивных красок и покрытий, обеспечивающих высокие бактерицидные, антикоррозионные и ресурсные свойства различных изделий.

**Научно-исследовательский институт точного машиностроения — НИИТМ** (Москва—Зеленоград) — технологическое оборудование в области нанотехнологий: "Наномагна" — вакуумная установка магнетронного нанесения каталитических слоев наноструктур, "Наноалмаз" — вакуумная установка плазмохимического осаждения наноструктур, "Наноплазма" — вакуумная установка ионно-плазменного травления наноструктур, "Отжиг" — электропечь для обработки наноматериалов в водороде. Данное оборудование применяется для производства наноприборов.

**ЦНИИ конструкционных материалов "ПРОМЕТЕЙ"** (Санкт-Петербург):

— разработка и организация производства прогрессивных металлических, неметаллических, композиционных и функциональных наноструктурированных материалов для различных отраслей науки, техники и промышленного производства (судостроения, машиностроения, атомной энергетики, медицины и др.);

— сварочные материалы (электроды, проволока, флюсы) и технологии (лазерного упрочнения, упрочнения методом комплексной ионно-плазменной обработки и др.), а также оборудование для сварки и нанесения защитных покрытий.

**ФГУП "Горно-химический комбинат"** (Железногорск, Красноярский край) — инвестиционный проект "Развитие производства полупроводникового кремния" реализуется в рамках конверсии оборонного производства и имеет федеральное значение. Ввод в эксплуатацию — II кв. 2008 г. Объем готовой продукции — поликристаллического кремния (ПКК) — составит 200 т/г.

**ФГУП "Сибирский химический комбинат"** (ЗАТО "Северск" Томской обл.):

— технология изготовления керамических изделий из диборида

циркония  $ZrB_2$ . Синтез порошка осуществляется с использованием полученного на комбинате плазмохимического порошка диоксида циркония. Керамические изделия получают методом порошковой металлургии (горячим прессованием);

— плазмохимическая технология получения порошков простых и сложных оксидов, в том числе оксидных порошков с нанокристаллической структурой. Применение плазменных нанопорошков позволяет улучшить потребительские свойства изделий, создаваемых с использованием порошковых и керамических технологий. На комбинате имеются соответствующие установки для выпуска порошков более 20 т в год. Получаемые порошки обладают нанокристаллической структурой: оксиды  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ , модифицированные различными добавками (V, Se, Ca, Mg), ферриты различных составов, литированные оксиды и др. с широким спектром размерных характеристик частиц порошков от 12 до 800 нм. Область применения: керамические изделия, магнитопроводы, катоды, добавки к шихтовым смесям, защитные покрытия и др.

**ФГУП "Уральский электрохимический комбинат"** (Новоуральск Свердловской обл.):

— разработка новейших технологий в области электрохимии, порошковой металлургии, катализа (катализатор топливных элементов, катализатор для нейтрализации выхлопных газов);

— инновационный проект "Совершенствование нейтрализаторов выхлопных газов — снижение содержания драгметаллов за счет внедрения нанотехнологий";

— разработка энергоустановок с использованием нанотехнологий: электрохимический генератор тока на водород-кислородных (воздушных) топливных элементах (электрохимический генератор "Фотон-МВК" и "Фотон-МВВ" соответственно для автомобиля "Нива" ВАЗ-2131 и ВАЗ-2111. На рис. 5 приведен электрохимический генератор "Фотон-МВВ" для автомобиля ВАЗ-2111. Характеристики: мощность 45 кВт, напряжение 240 В, реагенты — водород, кислород, давление 0,4 МПа, масса 145 кг.

**ООО "НЬЮМЕРИКАЛ ВИЖИОН"** (Москва):

— производство интерференционных датчиков перемещения IDS-4-LD (пороговая чувствительность 0,05 нм, скорость перемещения образца до 1 мм/с, автоматическая настройка, малые габаритные размеры) (рис. 6).



Рис. 5. Электрохимический генератор "Фотон-МВВ" для автомобиля ВАЗ-2111

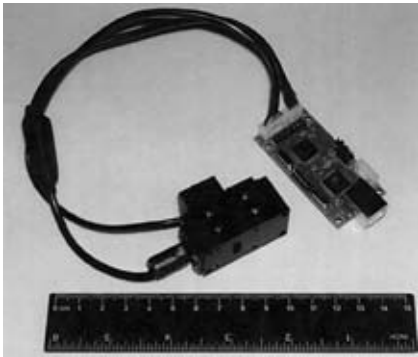


Рис. 6. Малогабаритный датчик нанопемещения IDS-4-LD

Область применения: измерение размеров нанообъектов в исследовательских целях, точное позиционирование инструмента в нанотехнологических установках, высокоточное измерение температуры, давления, массы, ускорения, скорости и др.;

— безлинзовый цифровой голографический микроскоп IDHM-4 (разрешение по высоте 3 нм, работа в отраженном свете, размер поля до 200 × 200 мкм, малые габаритные размеры). Область применения: измерение высоты объектов с нанометровым разрешением, контроль состояния биочипов, контроль толщины напыления или глубины канавок и др. В отличие от классического оптического микроскопа цифровой голографический микроскоп IDHM-4 не содержит объективов, имеет возможность дополнительного распределения фазы волны в плоскости объекта и реконструкции по полученной фазе распределения высоты.

**ООО "НПП "Нанокompакт" (Томск):**

— технология изготовления функциональных, конструкционных изделий заданных формы и размеров без дополнительной обработки порошков (керамических, композитных, металлических), в том числе из нанопорошков для получения наноструктурированных материалов. Область применения: электроника, автомобильная, атомная, нефтегазовая промышленность и др.

Стадия разработки: лабораторный уровень (производительность до 30 кг изделий в месяц). Проект создания опытно-промышленного производства производительностью до 10 т изделий в год. Для организации опытного производства требуются инвестиции в объеме до 25 млн руб. Разработка защищена патентами РФ, США, Украины, а также Евразийским патентом.

**Компания "Нанотехнология — МДТ" (Москва—Зеленоград):**

— оборудование для нанотехнологических исследований: "ИНТЕГРА Спектра" — объединение сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) и конфокальной (имеющей общий фокус) микроскопии (спектроскопии), что позволяет одновременно проводить исследования физических и химических свойств поверхности;

— сверхвысоковакуумная модульная нанотехнологическая платформа "НАНОФАБ-100" для проведения исследований, разработки и производства различного рода наноструктур, нанозаготовок и устройств на их основе.

На выставке широко были представлены научные центры по проблемам в области nanoиндустрии: **Центр нанотехнологий и наноматериалов Федерального агентства по атомной энергии, ОАО "НИЦВП"** (стандартизация "Нанотехнологии и наноматериалы"), **Научно-образовательный центр "Нанотехнологии" Южного федерального университета (Таганрог), РХТУ им. Д. И. Менделеева, ООО "РПСЛ"** — Совет молодых ученых и специалистов Зеленограда, **Информационно-аналитический центр "Наноматериалы и нанотехнологии" МИСиС, Томский политехнический университет, НП "Нижегородский региональный центр nanoиндустрии", Наноцентр МЭИ (ТУ) и др.**

**ООО "РПСЛ" (МИЭТ, Зеленоград)** представило учебно-исследователь-

скую установку роста углеродных нанотрубок CVDomna, предназначенную для обучения студентов технических университетов общим основам нанотехнологии и наноматериалов (рис. 7).

Необходимо отметить коллективную экспозицию **Регионального центра nanoиндустрии Удмуртской Республики (Ижевск)**.

**Институт прикладной механики УрО РАН** демонстрировал термомеханическую обработку металлических изделий с формированием наноструктуры рабочего слоя для производства деталей машин и инструмента с новыми физико-механическими свойствами, повышающими их эксплуатационную стойкость. Разработка основана на совмещенных процессах термической и деформационной обработки в одном технологическом цикле с регламентированными температурно-временными и деформационными режимами, позволяющими управлять формированием наноструктуры металла по сечению изделия. Требуемые инвестиции для завершения проекта — 50 млн руб.

**ОАО "ЭЛЕКОНД" (Сарапул)** демонстрировало суперконденсатор (ионистор) для гибридной энергетической установки автотранспорта нового поколения. Суперконденсаторы (ионисторы) относятся к классу конденсаторов, использующих энергию заряда, сосредоточенного в двойном электрическом поле. Напряжение одного суперконденсатора составляет 1,8—3,0 В,



Рис. 7. Учебно-исследовательская установка роста углеродных нанотрубок CVDomna



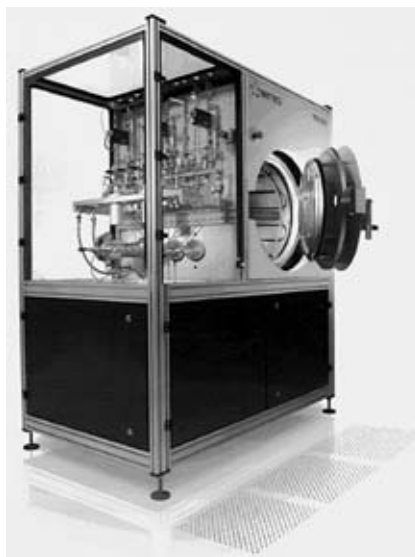
номинальная емкость до 5000 Ф, масса до 1 кг, габаритные размеры 61 × 61 × 160 мм. Энергия, запасаемая ионисторами, достигает 50—60 Дж/г, мощность — 10 кВт/кг и выше. Стадия разработки — лабораторный образец.

**Физико-технический институт УрО РАН, ОАО "Научно-исследовательский институт металлургической технологии"** представили перспективные наноконпозиционные материалы на основе инновационных металлургических процессов и технологий.

Основные виды продукции — стали и сплавы с высоким содержанием азота; стали и сплавы, модифицированные наноразмерными частицами; стали и сплавы, обладающие памятью формы, получаемые методом интенсивной пластической деформации; металллокерамические материалы; наномодифицированный высокопрочный чугун; нанобетонные примеси. Область применения: машиностроение, судостроительная, энергетическая, нефтегазовая, медицинская, электронная и другие отрасли промышленности. Требуемые инвестиции для завершения проекта — 220 млн руб.

**Компания "ВИСКЕР"** (Москва) продемонстрировала зонды нового поколения для сканирующих зондовых микроскопов, специального инструмента для проведения исследований в области нанотехнологий.

**ООО "Системы для микроскопии и анализа"** (Москва) — авторизованное агентство американской фирмы FEI Company в России, СНГ и Балтии — представило современное оборудование в области оптической и электронной микроскопии (на на-



**Рис. 8. Лабораторно-промышленная система TFS500 для формирования тонких пленок на основе ALD-технологий**

ноуровне) и рентгенофлуоресцентного анализа.

**ООО "НПО "КвинтТех"** (Москва) — официальный представитель фирмы BENEQ (Финляндия) — продемонстрировало лабораторное и промышленное оборудование и технологии для синтеза функциональных покрытий на основе технологии осаждения слоя из горячего аэрозоля на стекло и керамику и технологии послойного атомарного осаждения в виде тонких пленок на материалы (рис. 8).

**Сеть иранских нанотехнологических компаний — СИНК** (Россия—Иран):

— наноматериалы различного функционального назначения (наночастицы серебра, нанокремнезем, нанокислотостойкий оксид титана, наномедь, нановолокна, нанополимеры и др.);

— композиты и разнообразные добавки (наноземельные добавки в бензин для экономии топлива, нанодобавки в моторные масла для уменьшения трения в двигателе), наночастицы, полимерные наноконпозиции и др.;

— электронные микроскопы (торговое название "Намо");

— программное обеспечение, связанное с нанотехнологией.

**Компания "НАНО-ВИТА"** (торговое представительство СИНК в РФ) — новые проекты в производстве нанопроductов: световые технологии, очистка воды, солнечные батареи, продление срока сохранения бетона, улучшение основы асфальта, упаковка сельскохозяйственных продуктов.

В рамках выставки состоялась насыщенная деловая программа — семь круглых столов, презентационная сессия молодежных инновационных проектов в области нанотехнологий, награждение участников выставки (по вопросам применения нанотехнологий и наноматериалов в различных областях науки, техники и промышленного производства), обзор состояния и перспектив в области развития нанотехнологий как в России, так и за рубежом с участием ведущих ученых, представителей органов государственной власти и промышленных предприятий Москвы и др.

**Ан. А. СУСЛОВ,**  
канд. техн. наук

## 10-я Международная выставка "Intertool—2007"

С 30 октября по 2 ноября 2007 г. в Москве, на территории выставочного комплекса "Экспоцентр" на Красной Пресне проходила 10-я Международная выставка новейших достижений мировой промышленности в области производства инструментов "Intertool—2007". В выставке приняли участие более 600 компаний из 22 стран, среди которых были и российские. Ниже приведено краткое описание некоторых экспонатов, демонстрировавшихся на выставке, предложения предприятий-разработчиков, а также

торгующих организаций, вызвавших наибольший интерес у специалистов.

**Промышленно-производственная компания "Калибр"** продемонстрировала на выставке и предложила потребителям различный инструмент и оборудование для машиностроения.

*Электроинструмент:*

— полировальная машина УПМ-180Е мощностью 1,2 кВт с частотой вращения полировального круга на холостом ходу 600—3000 мин<sup>-1</sup>, диаметр круга 180 мм. Габаритные разме-

ры машины 460 × 200 × 175 мм, масса до 4,3 кг;

— электродрель ДЭ-650ЕРУ мощностью 650 Вт с быстрозажимным патроном, частота вращения рабочего органа на холостом ходу до 2600 мин<sup>-1</sup>, максимальный диаметр сверления дерева — 10 мм, металла — 10 мм, бетона — 13 мм. Габаритные размеры электродрели 280 × 70 × 223 мм, масса 2 кг;

— дрель-миксер ЭРМ-1000/2Е (рис. 1) с электронной регулировкой скорости. Дрель оснащена фиксато-



Рис. 1. Дрель-миксер ЭРМ-1000/2Е



Рис. 2. Перфоратор ЭП-1000/40

ром кнопки выключения и двойной изоляцией; вращение рабочего органа реверсивное. Мощность дрели 1 кВт, частота вращения рабочего органа на холостом ходу: первая скорость — до 460 мин<sup>-1</sup>, вторая — до 580 мин<sup>-1</sup>. Габаритные размеры дрели 540 × 220 × 300 мм, масса 5,8 кг;

— перфоратор ЭП-1000/40 (рис. 2) со сверлильно-ударным режимом работы, регулировка скорости электронная. Мощность перфоратора 1 кВт, число ударов до 2500 в минуту, частота вращения 450 мин<sup>-1</sup>, энергия удара 4,5 Дж, максимальный диаметр сверления 105 мм. Габаритные размеры перфоратора 455 × 180 × 133 мм, масса 6,4 кг;

— эксцентриковая шлифовальная машина ЭШМ-420Р для сухой шлифовки, зачистки, полировки и обработки древесины, пластмасс, металлов и окрашенных поверхностей. Машина оснащена пылесборником, смена шлифовальных и полировальных насадок очень удобна. Частота вращения рабочего диска диаметром 125 мм регулируемая, имеется пылеотвод. Мощность машины 420 Вт, габаритные размеры 290 × 155 × 195 мм, масса 2 кг;

— электрическая комбинированная пила ПТЭ-1600/255К с двойной изоляцией, оснащенная фиксатором кнопки выключателя, защищающего от непроизвольного включения пилы в рабочий режим. Мощность, потребляемая пилой, 1,6 кВт, диаметр рабочего диска 255 мм, его частота вращения 4600 мин<sup>-1</sup>. Максимальный пропи-

при работе 70 × 127 мм, угол наклона пилы до 45°. Габаритные размеры пилы 560 × 540 × 390 мм, масса 23 кг. Пила оснащена пылеотводом;

— электрический фрезер ФЗ-1800Е с электронной регулировкой скорости, имеющий двойную изоляцию и пылеотвод. Мощность, потребляемая фрезером 1,8 кВт, ход рабочей головки 50 мм. Габаритные размеры фрезера 405 × 175 × 340 мм, масса 4,7 кг.

*Аккумуляторный инструмент:*

— аккумуляторная ударная дрель ДАУ-24/2+ с частотой вращения рабочего органа на холостом ходу до 550 мин<sup>-1</sup> — первая скорость и до 1400 мин<sup>-1</sup> — вторая. Питающее напряжение дрели 18 В от аккумулятора типа NiCd. Число ударов: первая скорость — до 8000 в 1 мин, вторая — до 22 400. Максимальный диаметр сверления металла — 13 мм, дерева — 20 мм, кирпича — 10 мм. Габаритные размеры дрели 410 × 125 × 310 мм, масса 2,3 кг.

*Станки различного назначения:*

— электрическое точило ТЭУ 150/150/250 для обточки, шлифовки и полировки заготовок, оснащенное предохранительными щитками, асинхронным двигателем мощностью 250 Вт, пылезащитным выключателем и ванночкой для замачивания точильного камня. Частота вращения точильного круга при сухой заточке 2950 мин<sup>-1</sup>, при заточке с охлаждением — 134 мин<sup>-1</sup>. Габаритные размеры точила 385 × 235 × 245 мм, масса 8,1 кг;

— сверлильный электрический станок СС-16 В для выполнения сверлильных работ по металлу, дереву и пластмассе. Особенности станка: ступенчатая регулировка частоты вращения шпинделя 300 × 2580 мин<sup>-1</sup>; установка необходимой глубины сверления; возможность сверления под углом. Питающее напряжение станка 220 В, мощность 400 Вт, максимальный диаметр сверления 16 мм, число регулируемых скоростей 16. Габаритные размеры станка 805 × 470 × 255 мм, масса 49 кг;

— токарный металлообрабатывающий станок СТМ-150, станина которого изготовлена из чугуна. Станок имеет два диапазона плавного изменения частоты вращения шпинделя; левое и правое вращение шпинделя для нарезания резьбы; реверсивный механизм для двухсторонней подачи; заднюю бабку с регулировкой смещения для обточки конусов; низкий уровень шума; возможность подключения к бытовой сети напряжением 220 В;

потребляемая мощность 150 Вт; длина обточки 250 мм. На станке можно нарезать метрическую резьбу 0,5—1,25 мм и дюймовую — 16—24 ниток на 1". Габаритные размеры станка 670 × 360 × 185 мм, масса 26,1 кг;

— многофункциональный деревообрабатывающий станок "Рейсмус" СЭДМ-2000+Р для строгания, снятия фаски, рейсмусования, пазования, пиления, торцевания и калевки, сверления, долбления, зенкования, фрезерования, вырезания шипа, изготовления проушин, фальцевания и т. п. На станке также можно производить заточку пильных дисков и ножей рубанка. Питающее напряжение станка 220 В, потребляемая мощность 2,2 кВт. Максимальные диаметр пильного диска 250 мм, глубина пропила 70 мм, диаметр сверла 13 мм. Габаритные размеры станка 120 × 610 × 423 мм, масса 110 кг.

*Сварочное оборудование:*

— сварочный аппарат СВА-250-5В для ручной сварки, резки и наплавки металлов переменным током. Питающее напряжение аппарата 220 или 380 В, ток сварки 65—250 А, потребляемая мощность 4,2 кВт, максимальная мощность 14 кВт, диаметр электрода 2,5—5,0 мм. Габаритные размеры аппарата 483 × 270 × 310 мм, масса 21,2 кг. Особенности: компактность, мобильность, плавное регулирование сварочного тока. Аппарат оснащен системой защиты от перегрева и принудительным охлаждением;

— сварочный аппарат СВА-90 А/комбо для ручной сварки в защитных газах. Питающее напряжение аппарата 220 В, ток сварки 30—90 А, потребляемая мощность 0,9 кВт, максимальная 3 кВт, ПВ = 20 %, диаметр проволоки 0,6—0,9 мм. Габаритные размеры аппарата в упаковке 600 × 300 × 440 мм, масса 24,6 кг;

— аппарат СВА-1,5АК (рис. 3) для точечной сварки металлов. Питаю-



Рис. 3. Аппарат СВА-1,5АК для точечной сварки металлов



щее напряжение аппарата 220 В, потребляемая мощность 2,4 кВт, максимальная 8 кВт, число сварочных точек — 3 шт., ПВ = 30 %. Толщина свариваемых листов (1,5 + 1,5) мм. Габаритные размеры аппарата в упаковке 520 × 140 × 245 мм, масса 14,6 кг;

— инверторный сварочный аппарат СВА-125. Особенности аппарата — применение в его схеме преобразователя инверторного типа на входе питания резко сокращает габаритные размеры и массу трансформатора и выпрямительного блока с одновременным улучшением технических характеристик и удобства при работе. Питающее напряжение аппарата 220 В, ток сварки 5—125 А, потребляемая мощность 3,7 кВт, ПВ = 15 %, диаметр электрода 1,6—3,2 мм;

— сварочный трансформатор СВА-160АП для ручной сварки, резки и наплавки металлов переменным током 160 А. Питающее напряжение аппарата 220 В, потребляемая мощность 7,7 кВт, ПВ = 10 %, диаметр электрода 1,6—4,0 мм. Габаритные размеры трансформатора 460 × 240 × 390 мм, масса 13,5 кг.

*Компрессорное оборудование:*

— коаксиальный масляный компрессор КМК-1500/24 для получения сжатого воздуха. Мощность двигателя компрессора 1,5 кВт, его производительность по всасыванию 206 л/мин, габаритные размеры 585 × 247 × 575 мм, масса 23,3 кг.

*Электрические тельферы:*

— электрический тельфер ЭТФ-400 (рис. 4), применяемый как самостоятельный грузоподъемный механизм или как часть подъемного крана. Питающее напряжение тельфера 220 В, мощность 980 кВт. Максимальная масса перемещаемого груза до 400 кг, высота подъема до 12 м, скорость



Рис. 4. Электрический тельфер ЭТФ-400

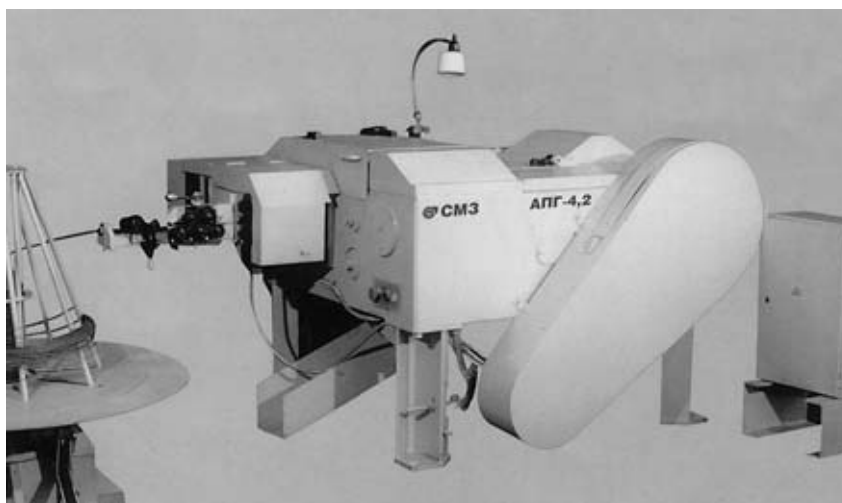


Рис. 5. Автомат АПГ-4,2 для изготовления гвоздей

подъема 5—10 м/мин, длина троса 12 м с диаметром 3,8 мм. Тельфер осуществляет два варианта подъема груза и обеспечивает безопасность выполнения грузоподъемных работ.

**Савеловский машиностроительный завод** предложил потребителям свою продукцию. Приведем лишь краткое описание некоторых предложений.

*Высокоскоростной пятикоординатный обрабатывающий центр МЦ-1 с ЧПУ* для механической обработки торцовыми и концевыми фрезами деталей со сложными поверхностями одинарной и двойной кривизны. На центре можно производить фрезерование, растачивание, сверление, зенкерование, развертывание, нарезание резьбы на деталях из сталей и легких сплавов. В конструкции центра применены рамная траверса повышенной жесткости; высокоточные комбинированные направляющие; высокоточные шариковые винтовые пары; высокоскоростной шпиндель с электроприводом на прецизионных опорах качения; централизованная смазка; устройство автоматической смены инструмента; система подачи СОЖ в зону резания; цифровые частотные синхронные приводы с SERCOS — интерфейсом для регулирования скоростей шпинделя и подачи. Применение высокоскоростных режимов обработки на центре позволяет значительно повысить производительность, точность и качество обрабатываемых деталей. Размер рабочей поверхности стола: длина — 1250 мм, ширина — 630 мм. Максимальное перемещение по координате X — 1500 мм, по координате Y — 900 мм, по координате Z — 600 мм. Частота вращения электрошпинделя

1—20 000 мин<sup>-1</sup>. Число инструментов в магазине 16 шт., наибольший диаметр инструмента 100 мм, его масса до 10 кг. Параметр шероховатости при фрезеровании  $Ra = 1,25 \pm 2,5$  мкм. Суммарная мощность электродвигателей, установленных на обрабатываемом центре, 55,5 кВт. Габаритные размеры центра 4170 × 2970 × 4350 мм, масса 8,8 т.

*Автомат АПГ-4,2* (рис. 5) для изготовления гвоздей из проволоки: стальной, светлой, низкоуглеродистой, термически не обработанной с  $\sigma_B = 800$  МПа в бухтах или катушках массой до 1 т. Автомат изготавливает гвозди строительные, толевые, кровельные, отделочные, тарные из проволоки круглого, квадратного и винтового сечения. Режим работы выбирается в зависимости от площади поперечного сечения гвоздя, его длины и вида сечения. Диаметр изготавливаемых гвоздей: круглого сечения — 2—4,2 мм, квадратного — 2 × (2—4) × 4 мм, винтового — 3,5—4,5 мм при длине 13—120 мм. Номинальное усилие высадки 120 кН, число ходов высадочного ползуна 350 или 525 ходов в 1 мин, мощность двигателя 5,5 кВт, производительность автомата 350 или 525 шт./мин. Габаритные размеры 1448 × 2173 × 1160 мм, масса 3 т.

*Токарно-винторезный станок ТВ-530/3000Р* для выполнения разнообразных токарных работ: точения, сверления, а также нарезания метрической, дюймовой, модульной и питчевой резьб. На станке можно обрабатывать детали из стали, чугуна, цветных металлов и сплавов. Станок оснащен трехкулачковым патроном и задней бабкой. Наибольший диаметр уста-

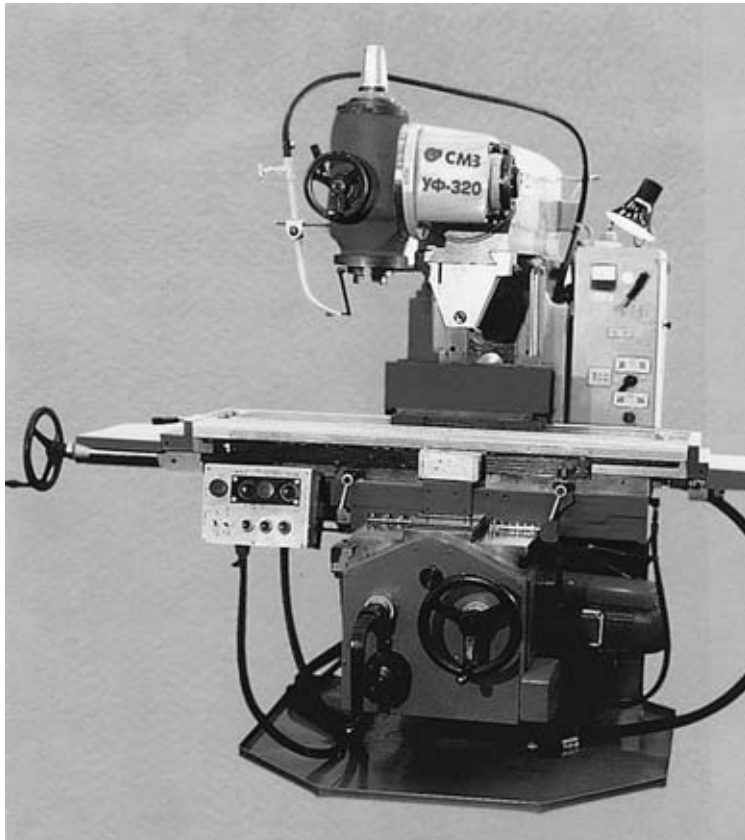


Рис. 6. Многофункциональный специализированный фрезерный станок УФ-200

навливаемого изделия над станиной 554 мм, над суппортом — 370 мм, в выемке станины — 830 мм. Наибольшие диаметр устанавливаемого прутка 90 мм; перемещение суппорта: продольное — 3000 мм, поперечное — 300 мм. Пределы шагов нарезаемых резьб: метрических — 0,2—14,0 мм, дюймовых — 84—2 ниток на 1", модульных — 0,2—3,5 модулей, питчевых — 8—72 питчей. Мощность привода главного движения 11 кВт. Скорость вращения шпинделя 18—1400 мин<sup>-1</sup>. Наибольшее усилие резания 4000 кН. Число инструментов, устанавливаемых на станке, 4 шт. Достижимый параметр шероховатости обрабатываемых поверхностей  $Ra = 1,25$  мкм. Габаритные размеры станка 3045 × 1500 × 1700 мм, масса 3,6 т.

Многофункциональный специализированный фрезерный станок УФ-320 (рис. 6) для индивидуального и серийного производства. На станке возможна обработка плоских и фасонных поверхностей цилиндрическими, торцовыми и концевыми фрезами. Обрабатываются заготовки из стали, чугуна, цветных металлов с примене-

нием быстрорежущего и твердосплавного инструмента. Наличие вертикального поворотного шпинделя, возможность использования горизонтальной фрезерной насадки и горизонтального шпинделя значительно расширяют технологические возможности станка. Смазка станка осуществляется от централизованной систем. Станок оснащен рабочим столом размером 1250 × 320 мм, его наибольшие перемещения: продольное — 900 мм, поперечное — 320 мм, вертикальное — 400 мм. Максимальное перемещение вертикального шпинделя 80 мм. Наибольший крутящий момент на горизонтальном шпинделе 0,85 кН · м; на вертикальном — 0,18 кН · м. Суммарная мощность двигателей станка 10,33 кВт. Габаритные размеры станка 2275 × 2240 × 2015 мм, масса 3,25 т.

Раскройно-планировочный двухшпиндельный станок ФП-9-2 НЦ для производства заготовок и деталей методом планирования, выравнивания прокатного металла, раскроя листа на заготовки сложных контуров из стали, алюминиевых и титановых сплавов. На станке можно производить фрезерование, сверление, зенкерование и

растачивание отверстий поочередно каждой фрезерной головкой как вертикальным шпинделем, так и горизонтальной насадкой. Размеры рабочей поверхности стола на станке 7000 × 1600 мм. Наибольшая масса устанавливаемых заготовок 10 т. Мощность приводов главного движения 37 кВт. Максимальный крутящий момент на шпинделе 1250 Н · м. Скорости рабочих перемещений по координатам X, Y, V — до 10 000 мм/мин, Z, W — до 5000 мм/мин. Число одновременно управляемых координат — 3 шт. Стабильность позиционирования по координатам X, Y, V, Z, W составляет 0,04 мм. Габаритные размеры станка 17 800 × 6140 × 5500 мм, масса 78 т.

Устройство числового программного управления FLEX NC (рис. 7) — отечественная разработка с использованием современной зарубежной элементной базы с открытой архитектурой класса "PC-based". Это устройство программного управления технологическим оборудованием в трех-, четырех- и пятикоординатном исполнении, разработанное на базе контроллера движения. Применение ПК, работающего с операционной системой Windows, существенно увеличивает объем памяти. Контроллер РМАС управляет движением до 32 осей и электроавтоматикой до 2048 входов/выходов, время сервоцикла 5 мкс на одну ось. Максимальная скорость выполнения технологической программы 2000 кадров в 1 с.



Рис. 7. Устройство числового программного управления FLEX NC



Рис. 8. Плоскогубцы для зачистки проводов



Рис. 9. Ручной зажим

ООО "Унисервис-Про" продемонстрировало ручной инструмент, произведенный в Швейцарии. Приведем краткое описание лишь некоторых образцов.

*Плоскогубцы с удлиненными губками* из  $S_2$ -V-стали, имеющие микрополированную поверхность, рукоятки с изоляцией из желтой пластмассы, покрытые шероховатой резиной, тонкие полукруглые губки с мелкой насечкой рабочей поверхности. Удлиненные ручки позволяют работать на большом расстоянии от детали и уменьшать усилие на сжатие. Размер плоскогубцев 280 мм.

*Плоскогубцы для зачистки проводов* (рис. 8) из Cr-V-стали с оксидированным покрытием поверхности. Их рукоятки двухкомпонентные с возвратной пружиной. Регулировочный винт со стопорной гайкой позволяет устанавливать и фиксировать толщину обрабатываемых проводов диаметром до 5 мм. Размер плоскогубцев 160 мм.

*Ручной зажим* (рис. 9) может быть использован как плоскогубцы, разводной ключ и струбцина. Величина его захвата регулируется в пределах 125—250 мм. Специальный пружинный механизм позволяет осуществлять быстрое освобождение детали.

ООО "МАГИМЭКС" предложило на российский рынок широкий ассортимент пневмоинструмента, в том числе:

— *торцевой винтовёрт ASDK 01110* для вкручивания и выкручивания винтов, болтов, шурупов диаметром до 8 мм. Его посадочный размер 6,3 мм, момент затяжки 2,3—5,2 Н·м;

— *прямой гайковерт AIW 13410* ударного действия для сборки и разборки резьбовых соединений с реверсом, оснащенный регулятором момента затяжки — четыре положения (момент затяжки 320 Н·м), расход воздуха при работе 130 л/мин, его масса 2,2 кг;

— *угловой гайковерт AIW 07490* для сложных работ в труднодоступных местах. Момент затяжки гайковерта

120 Н·м. Расход воздуха при работе 150 л/мин, его масса 2 кг. Гайковерт не имеет ударного механизма. Рифленая ручка препятствует скольжению;

— *аппарат АСО-40Э* для очистки и обезжиривания любых поверхностей, имеет небольшие габаритные размеры. Расход воздуха при работе 0,6—0,9 м<sup>3</sup>/мин, его масса 30 кг;

— *гидравлический заклепочник ARR06080* для вытяжной клепки (вытягивает сердечник из заклепки с усилием 140 кН). Заклепочник предназначен для клепания алюминиевых заклепок со стальным сердечником. Применяя такой инструмент, можно во много раз сократить время сборки. Если при работе ручного клепателя тратится 10—15 с, то гидравлический заклепочник сокращает это время в несколько раз, так как пневматический заклепочник выдергивает сердечник короткой заклепки за один раз. Диаметры применяемых заклепок 2,4, 3,2, 4,0, 6,0 и 6,4 мм. Масса заклепочника 1,8 кг.

В рамках выставки состоялся международный семинар "Современные инструменты и технологии металлообработки на станках с ЧПУ, ОЦ и ГПМ", организованный компаниями "ITM International" и "ВНИИинструмент".

А. Н. ИВАНОВ, инж.

## Международный промышленный форум—2007

С 13 по 16 ноября 2007 г. в КВЦ "Сокольники" (Москва) проходил Международный промышленный форум, объединивший пять специализированных выставок "Металлообрабатывающее оборудование", "Машкомп", "Ретекмаш", "Подшипники", "Подъемно-транспортное оборудование". Экспонаты, представленные на выставке востребованы многими предприятиями машиностроительной промышленности и получили высокую оценку специалистов. Ниже приведены краткое описание некоторых предприятий и их предложения.

**Научно-производственный центр "Редуктор"** (С.-Петербург) демонстрировал насосы и колодочные тормоза различного назначения.

*Центробежные консольные одноступенчатые насосы типа БМ* с гори-

зонтальным расположением вала и осевым подводом жидкости для перекачивания массы концентрацией до 8 % и температурой до 100 °С. Проточная часть насосов изготовлена из коррозионно-стойкой стали, стойкой в кислых и щелочных средах. Напорный патрубок насосов выведен на ось и направлен вверх. Форма отвода спиральная. Рабочее колесо насосов закрытого или открытого типа с отбойными лопатками. Уплотнение вала — мягкий сальник. Привод насоса от электродвигателя через втулочно-пальцевую муфту.

*Вакуумные водокольцевые насосы типа ВВН* с сальниковым уплотнением вала для откачки не агрессивных по отношению к чугуну паров и газов с целью создания вакуума в технологических установках.

*Колодочный тормоз ТКП-100* с электромагнитным приводом для шкивов диаметром 100—300 мм, состоящий из электромагнита и механической части. Колодочный тормоз имеет пружинное замыкание. Оно автоматически замыкается при включении привода и устанавливается на быстрходных валах механизмов, оборудованных тормозными шкивами. При выключенном электромагните под действием сжатой главной пружины рычаги прижимают колодки к поверхности тормозного шкива. При выключении электромагнита его якорь, прижимаясь к сердечнику, перемещает конец штока, который сжимает главную пружину. Рычаги, освободившись от действия пружины, расходятся, растормаживая шкив. Изменяя установочную длину пружины, можно из-

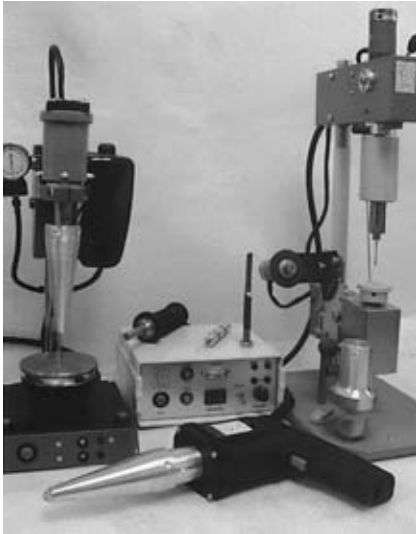


Рис. 1. Ручная ультразвуковая установка МЭФ331

менять тормозной момент, тип электромагнита МП-101. Питающее напряжение колодочного тормоза 110 или 220 В, масса 16 кг.

**ООО "МЭЛФИЗ-ультразвук"** (Москва) предложило ручную ультразвуковую установку МЭФ331 (рис. 1), обеспечивающую сварку жестких пластмасс, прессовку металлических изделий в термопластичные материалы, развальцовку термопластичных заклепок, сварку синтетических нетканых материалов и т. п. По сравнению с другими методами такая технология позволяет отказаться от вредных для человека органических растворителей. Фасонные детали на поверхностях соединений нагреваются и пластифицируются преимущественно без присадочного материала под воздействием ультразвука и давления. Площадь рабочей зоны установки до 650 мм<sup>2</sup>, коммутируемая мощность 600 Вт, режим непрерывной работы 8 ч, ПВ = 50 %, питающее напряжение установки 220 В. Длина ручного инструмента 280 мм, масса 1,2 кг. Такая ручная ультразвуковая установка по габаритным размерам и массе в 2—3 раза меньше зарубежных аналогов. Акустическая система выполнена на пьезоэлектрических кольцах, генератор установки — на транзисторах и оснащен органами управления индикации, защитой, регулировкой и стабилизацией амплитуды, автоматической подстройкой частоты, сетевым фильтром.

**Завод "Элион"** (Москва) показал свою продукцию и новые технологические разработки.

*Плазменный комплекс "Плазма 2007"* для сварки, пайки, пайкосварки, разделительной, поверхностной и копьевой резки, плавления, локального нагрева черных и цветных металлов и других материалов, нанесения узоров на металлические поверхности и керамику, резки и оплавления краев стеклоткани. Комплекс работает плазменной струей с температурой 6500 °С, полученной в результате использования водяного пара в качестве плазмообразующей среды, что является преимуществом перед аналогичными продуктами на рынке сварочного оборудования. Комплекс может резать любой электропроводный и неэлектропроводный материал толщиной до 7 мм, в том числе углеродистую и коррозионно-стойкую сталь, а также любые сплавы алюминия и меди. При этом ширина реза достигает 1,0—1,5 мм, а зона, где металл изменяет структуру, не превышает ширины реза, линия реза может быть произвольной. Питающее напряжение комплекса 280—300 В, пределы регулирования тока 4—8 А. Время непрерывной работы горелки не менее 25 мин. Рабочая жидкость для резки — дистиллированная вода, для сварки и пайки — раствор этилового спирта в дистиллированной воде. Наибольший объем рабочей жидкости, заправляемой в горелку, 80 мл. Мощность потребляемая комплексом, не более 1,8 кВт. Габаритные размеры горелки комплекса 60 × 190 × 190 мм, масса 0,7 кг.

*Цинкование* для защиты металлических изделий от коррозии. Защитные свойства цинковых покрытий сохраняются независимо от толщины слоя. Для усиления защитного эффекта цинковые покрытия обычно хромируют. Желто-радужные хроматные пленки в 5—10 раз повышают стойкость цинковых покрытий. Цинкование можно производить в ручном или автоматическом режиме. Максимальный размер обрабатываемых деталей 750 × 500 × 50 мм.

**ОАО "РИКОС"** (Ростов-на-Дону) — ведущее предприятие по производству смазочных материалов — предложило машиностроителям свою продукцию:

*ЛКС-2* для тяжело нагруженных подшипников качения шпиндельных узлов металлорежущих станков, работающих с высокими скоростями ( $6 \cdot 10^5$  мин<sup>-1</sup>) и нагрузках до 2,5 ГПа. Рабочий диапазон температур -50—150 °С.

*Рубин* для узлов трения машин и механизмов, работающих в условиях повышенных нагрузок. Рабочий диапазон температур -50—180 °С при непрерывной подаче смазки до 200 °С.

*Эмульцид РИКОС-2* для приготовления 3—5 %-ных водных эмульсий, применяемых на операциях резания, сверления и других видов обработки металлов, сталей и чугунов. Эмульцид имеет в своем составе бактерицидную присадку, что обеспечивает необходимую точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей. Использование такой СОЖ уменьшает интенсивность износа режущего инструмента на 15—20 %. Входящие в состав ПАВ улучшают смываемость стружки, а присутствие антикоррозионной и бактерицидной присадок продлевают срок службы технологической эмульсии и защищает детали от коррозии.

**Группа компаний "Росцвет"** (Нижний Новгород) показала различные распылители, изготовленные за рубежом.

*Электростатический распылитель EZ35* (рис. 2), позволяющий окрасивать поверхность площадью до 4 м<sup>2</sup> без пополнения бункера. Он оснащен системой псевдооживления, обеспечивающей эффективный заряд порошков всех типов, что облегчает работу с такими красками, как металлики и антики. Отсутствие контрольной панели, бункера-питателя и соединительных проводов обеспечивает портативность распылителя. Питающее напряжение 220 В, мощность 10 Вт. Вместимость бункера до 0,5 кг. Масса распылителя 670 г.

*Профессиональный распылитель "Метеор"*, работающий в автоматическом режиме. Корпус распылителя изготовлен из армированного пластика, что обеспечивает более длительный срок службы. В рукоятке распылителя отсутствуют электрические и



Рис. 2. Электростатический распылитель EZ35

электронные компоненты, что делает прибор электробезопасным. Большой ассортимент стеклонеполнительных и керамических насадок позволяет получить факел с программируемым отпечатком. Наряду с традиционными контурами производится плоско-струйное окрашивание сложноподольных изделий. Специальная насадка позволяет производить напыление внутренних поверхностей. Распылитель снабжен блоком управления, позволяющим регулировать толщину слоя и осуществлять настройку на требуемый режим, не включая высоковольтный блок. Питающее напряжение распылителя 220 В, мощность 25 Вт. Давление сжатого воздуха, подаваемого на вход пульта управления, 0,2—0,4 МПа. Вместимость бункера 20 кг. Производительность распылителя 3 м<sup>2</sup>/мин. Габаритные размеры пистолета-распылителя 430 × 190 × 35 мм, пульта управления — 280 × 250 × 105 мм. Масса распылителя 0,4 кг, пульта управления — 2 кг.

**ЗАО "Промкомплект"** (С.-Петербург) — крупнейший в России поставщик технологического оборудования для нанесения лакокрасочных и гальванических покрытий, уделяющее большое внимание вопросам предварительной подготовки поверхности — предложило потребителям новые разработки.

*Бесфосфатную подготовку поверхности препаратом Bonderite NT-1* — новый экологически чистый процесс подготовки стали, алюминия и оцинкованной стали под окраску. В процессе обработки образуется тонкий нанокерамический слой, обеспечивающий адгезию и хорошую защиту от коррозии. Защитные противокоррозионные свойства такого покрытия более высокие, чем у железофосфатного покрытия и сопоставимы со свойствами толстослойного железофосфатного покрытия с пассивацией. Такой процесс выигрывает по затратам на обработку сточков, энергозатратам, обслуживанию оборудования и изготовление агрегата подготовки поверхности за счет более короткого времени обработки. Схема процесса бесфосфатной подготовки: обезжиривание, промывка, промывка деминерализованной водой, обработка препаратом Bonderite NT-1, промывка деминерализованной водой.

*Автоматическую окрасочную систему PRIMATECH*, точно контролирующую все заданные параметры окрашивания. Количество подаваемого

порошка, величина факела и степень зарядки порошка регулируются для каждого пистолета в отдельности.

*Автоматический манипулятор EBA-1* с мощностью двигателя 0,75 кВт для простого порошкового окрашивания.

*Манипулятор KHG 350* с коротким ходом каретки для применения в компактных камерах и камерах с быстрым переходом с цвета на цвет.

*Устройство Novo-Curve* со специально разработанной оптикой для измерения блеска на изогнутых поверхностях и изделиях с маленькой площадью под углом 60°. Особенности устройства: минимальная площадка для измерений 2 × 2 мм; память устройства на 999 измерений; полная статистика измерений. Имеется возможность передачи данных на ПК для анализа с использованием программного обеспечения Novo-Soft или MS Excel.

*Толщиномер Quanix RS-232*, подключаемый к ПК, что позволяет тестировать результаты измерений с помощью специальных компьютерных программ. Диапазон измерений 0—5000 мкм.

**ООО "Альфа полимер"** (Москва) показало толщиномеры и установку ручного напыления.

*Магнитный толщиномер Posi Pen Model A* (рис. 3) для измерения немагнитных покрытий, таких как краска, эмаль, покрытие металлом. Толщиномер с высокой точностью можно поставить в любое место измеряемой детали, которое недоступно датчику другого прибора. Прибор оснащен очень маленьким уникальным магнитом, поэтому с его помощью можно

проводить измерения на очень маленьких деталях, выступах и впадинах. Диапазон измерений 5—500 мкм, погрешность ±10 %.

*Толщиномер Posi Tect DFI Combo*, измеряющий толщину краски на любых металлах, включая сталь и алюминий. Прибор в автоматическом режиме распознает подложку и проводит измерения. Диапазон измерений 0—1000 мкм, точность измерений ±2 мкм. Габаритные размеры толщиномеромера 100 × 38 × 23 мм, масса 70 г. Датчик прибора оснащен рубиновым наконечником.

**Компания "Вебер Ко Механикс"** предложила потребителям различное оборудование и технологии, разработанные в различных странах мира.

*Портальную машину серии AquaCut* (Словакия) для гидроабразивной резки многих материалов, включая те, которые не могут подвергаться тепловым воздействиям. Раскрой обрабатываемого материала осуществляется чистой водой или смесью воды и абразива. Гидроабразивная резка применяется при обработке металла, камня, стекла, керамики. Особенностью данной технологии является образование кромок без окалин. Точность позиционирования машины 0,1 мм, скорость позиционирования 22 000 мм/мин, точность повторения 0,025 мм, толщина резки до 300 мм. При работе в машине используется до четырех режущих головок различного назначения; имеется возможность установки ротационной гидроабразивной головки и создания комбинации с плазменной режущей головкой или системой сверления, а также установки датчика контроля высоты при резке металлов. Ротационная головка обладает пятью степенями подвижности и позволяет производить прямолинейные и косые резы. Вращение головки относительно оси OZ позволяет осуществлять сложные косые резы, выполнять скос кромок на заготовках сложной формы. Головка оснащена датчиком контроля наличия металла в зоне резки.

*Горизонтальный токарно-револьверный станок GA-2600* (США), оснащенный 12-позиционной револьверной головкой с приводом на каждый инструмент. Наклонная компоновка обеспечивает жесткость основания, удобство удаления стружки и облегчает доступ оператора, что позволяет уменьшить время установки-снятия детали. Максимальные диаметр устанавливаемой заготовки 580 мм, диа-



Рис. 3. Магнитный толщиномер Posi Pen Model A

метр точения 350 мм, длина точения до 1200 мм. Диаметр прутковой заготовки 65 мм. Пиковая рабочая мощность станка 18,5 кВт. Диапазон частот вращения шпинделя 40—4000 мин<sup>-1</sup>. Станок оснащен системой ЧПУ Fanuc Oi-TB. Точность позиционирования (повторяемость) ±0,003 мм. Масса станка 4,6 т.

*Трубогибочный станок DB-39—90°* (Тайвань), представляющий двухголовочный трубогиб для одновременной (с двух сторон) гибки труб и другого профиля. Труба (одна или несколько) устанавливается на станок и две гибочные головки, расположенные на расстоянии друг от друга, одновременно производят гибку труб по заданной программе. Станок можно использовать для производства симметричных деталей, таких как рамки, скобы, рамы столов и др. Синхронный поворот гибочных головок обеспечивает высокую точность и симметрию деталей, а регулировка расстояния между гибочными головками позволяет добиться гибкости и универсальности в производстве. Высокая производительность достигается "пакетной гибкой", позволяющей производить одновременную гибку нескольких труб. Максимальный размер обрабатываемых труб из углеродистой стали 38,1 × 1,8 мм; коррозионно-стойкой стали 32 × 2 мм. Пакетная гибка (диаметр трубы × число труб) — 25 мм × 3 шт. Габаритные размеры станка 2800 × 1350 × 1480 мм, масса 1,5 т. Режим работы станка автоматический и пошаговый.

*Инверторный источник питания RAINBOW-150* (Италия) (рис. 4) для сварки покрытым электродом (ММА). Такой однофазный сварочный источник хорошо переносит перепады напряжения в сети (5—20 %), имеет высокий класс защиты IP23 и может работать на открытых рабочих площадках. Источник питания также может работать с удлинителем от аппарата до сети питания без потери мощности и служит для сварки низкоуглеродистых, среднеуглеродистых, коррозионно-стойких сталей и чугуна. Он предназначен не только для сварки покрытым электродом (ММА), но и неплавящимся электродом в аргоне (TIG) при контактном возбуждении дуги; плавное регулирование сварочного тока. Система термостатической защиты от перегрузки, принудительная система охлаждения источника "Туннельный эффект", функция "Antistick" предотвращают залипание электрода. Функция "горячий старт" обеспе-



Рис. 4. Инверторный источник питания RAINBOW-150

чивает легкое возбуждение сварочной дуги, функция "форсирования дуги" — стабильность ее горения. Питание напряжение источника питания 230 В, потребляемая мощность 3,7 кВт, плавкий предохранитель на 16 А, диаметр электродов 1,6—4,0 мм. Габаритные размеры источника 340 × 115 × 260 мм, масса 4,2 кг.

*Машину для контактной стыковой сварки оплавлением AS15* (Германия) для сварки профиля встык, втавр и под углом при изготовлении различных каркасов. Сварку осуществляют в автоматическом режиме, включая предварительный нагрев, оплавление и осадку. Прочность получаемого сварного соединения выше 90 % исходного материала. Сварной шов обрабатывается так же, как и основной материал. Машина отличается высокой точностью регулирования

величины осадки свариваемых деталей и контролирует параметры сварки. Удаление грата происходит автоматически. Свариваемое сечение низкоуглеродистой стали 15—400 мм<sup>2</sup>, алюминия — 100 мм<sup>2</sup>. Максимальная сила осадки 15 кН. Номинальная мощность трансформатора 30 кВт.

*Машину LBS 045/040/1,0* (Германия) для дуговой и плазменной стыковой сварки полосового проката из черных и цветных металлов толщиной от 0,2 мм. Машина оснащена прецизионными пневматическими ножницами с двойным резом для одновременной резки без заусенцев кромок обеих свариваемых полос с прижимами для каждой из них. Установка вспомогательных пластин к краям будущего шва для зажигания и гашения дуги очень проста. Пневмоприжимы убираются вверх, что обеспечивает точное позиционирование свариваемых полос относительно друг друга. Сервопривод с ЧПУ позволяет выбирать оптимальную скорость и ход сварочной головки. Ролики со специальным покрытием для правки сварного шва имеют автоматический привод и регулируются установочными упорами. Рабочие органы машины установлены по направлению движения штрипса под углом 15°.

*Координатный промышленный робот (ПР) CSR 302* (рис. 5) для точечной и рельефной сварки в кондукторах для производства плоских и объемных сварных конструкций из проволоки и листового металла — коррози-

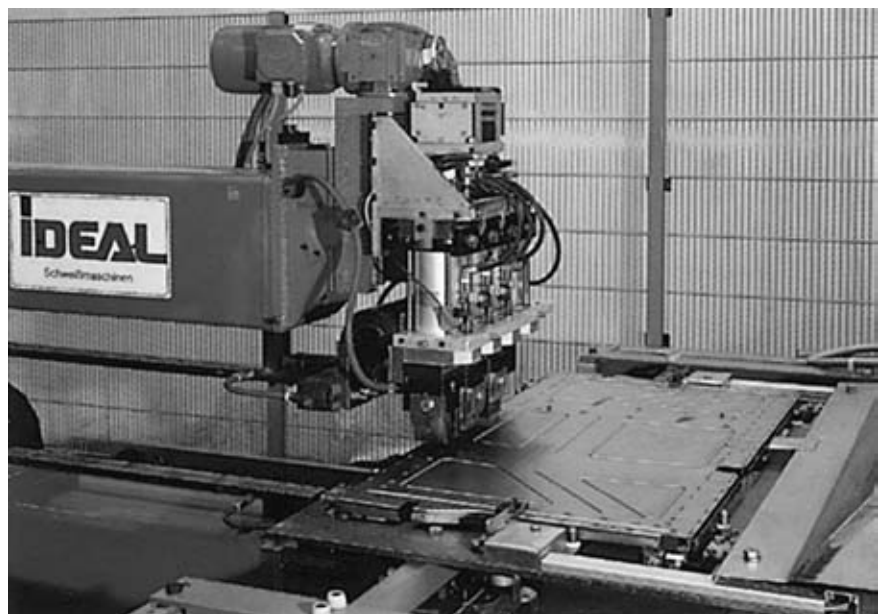


Рис. 5. Координатный промышленный робот CSR 302

онно-стойкой стали и алюминиевых сплавов. Поворотный стол обеспечивает непрерывность сварочных работ за счет одновременно осуществляемых операций сварки на одной стороне стола и укладки заготовок в кондуктор — на другой. Модульная конструкция ПР позволяет легко адаптировать его под новые задачи. ПР работает по заданной программе и сохраняет до 512 сварочных программ. ЧПУ на базе 32-битного чипа обеспечивает перемещение сварочной головки, что обеспечивает точность координатного перемещения сварочной головки  $\pm 0,2$  мм. Максимальные высота трехмерного изделия 400 мм, длина 2000 мм, ширина 1000 мм. Число сварочных цилиндров 3 шт. Угол поворота сварочной головки  $\pm 90^\circ$ . Максимальный сварочный ток 45 кА (ПВ = 15 %). Сварочное усилие пневмоцилиндра 5 кН.

*Комплекс лазерного раскроя Axel-S* (Бельгия), оснащенный сменным челночным столом для операций загрузки (разгрузки) в процессе резания и линейным приводом. Скорость резания комплекса до 40 м/мин в зависимости от толщины разрезаемого материала. Комплекс оборудован двумя резонаторами мощностью 4 кВт. Максимальный размер разрезаемого листа  $3000 \times 1500$  мм при точности позиционирования  $\pm 0,05$  мм. Габаритные размеры комплекса  $12\ 845 \times 5800 \times 2300$  мм, масса 24 т.

*Высокоточный гидравлический листогибочный пресс PPEC 220/40* (Бельгия) для гибки листового металла. Усилие пресса 2200 кН, он имеет пять рабочих осей, включая V-ось — антипрогиб стола, управляемых системой ЧПУ CADMAN EXPRESS по заданной программе с точностью до 0,01 мм. Пресс оборудован сервоприводами с высокой скоростью и точностью перемещения и пропорциональными гидравлическими клапанами, обеспечивающими регулирование рабочей скорости и давления с панели управления. Датчики положения гибочной балки расположены на двух сторонах подвижной балки и связаны с системой ЧПУ станка, что гарантирует синхронную работу обоих гидроцилиндров и высокую точность положения гибочной балки. Пресс обеспечивает графическое изображение инструмента и детали, автоматический расчет глубины проникновения и усилия балки, встроенный алгоритм расчета длины развертки, автоматический выбор инструмента на основе выбранного материала, легкий метод ввода угла и



Рис. 6. Зиговочная машина S250/50M

коррекции. Пресс имеет счетчик деталей. Рабочая длина пресса 4270 мм, расстояние между стойками 3820 мм, рабочая скорость пресса 9,6 мм/с, скорость возврата 113 мм/с, мощность привода пресса 22 кВт.

**Промышленная группа "ДЮКОН"** предложила листообрабатывающее оборудование и оборудование для резки и сварки.

*Электромеханические гильотинные ножницы MLS 20/20*, имеющие сварную станину. Станок оборудован автоматически опускающимся обрезиненным прижимом листа. Положение рабочих ножей регулируется, что обеспечивает получение точного реза. Линия реза подсвечивается, что дает хорошую возможность обзора при работе. При работе ножницы имеют низкий уровень шума и высокую скорость. Длина обрабатываемого листа (длина реза) 2020 мм. Максимальная толщина обрабатываемого листа 2 мм. Угол наклона ножей  $175^\circ$ . Число резов в минуту 38. Мощность двигателя ножниц 3 кВт. Ширина рабочего стола 930 мм, высота — 870 мм. Габаритные размеры ножниц  $2185 \times 1070 \times 1530$  мм, масса 1 т.

*Зиговочную машину S250/50M* (рис. 6) с электроприводом для зиговки, гибки, отбортовки, рифления, прямой и круговой резки листового материала. Машина применяется для прокатки соединительных загибов для

скрепления круглых воздуховодов между собой, а также кольцевых выпуклостей-зигов. Зиговочная машина оснащена прокатными роликами. Фасонный профиль каждой пары роликов предназначен для выполнения прокатки бортика, выкатки валика жесткости, отгибания кругового бортика под закатку проволоки, закатки проволоки, уплотнения фальцев, гофрирования конца обечайки. Машина состоит из чугунной свободностоящей станины со столом, рабочего механизма, вращаемого электродвигателем с педальным включением, верхнего и нижнего сменных рабочих роликов и регулировочной рукоятки. Толщина обрабатываемого материала 1 мм, мощность двигателя 0,37 кВт, масса машины 22 кг.

*Портативную машину IK-72T* (рис. 7), работающую в автоматическом режиме, применяемую для газовой резки во всех пространственных положениях от плоских до многогранных поверхностей. Машина осуществляет вырезку стальных деталей различной формы, в том числе криволинейных пластин, швеллеров, многогранных стальных деталей. Она укомплектована тремя видами рельсов: одномерный рельс — плоская алюминиевая поверхность длиной 1,5 м, массой 10 кг с магнитами; двухмерный резиновый рельс — в двух плоскостях длиной 1 м, массой 6,5 кг с маг-





Рис. 7. Портативная машина ИК-72Т



Рис. 8. Цифровой профиломер поверхности ELCOMETER 223



Рис. 9. Инфракрасный цифровой термометр ELCOMETER 214

нитями; трехмерный резиновый рельс с магнитами длиной 1 м, массой 6,5 кг. Машина изготовлена из алюминиевого сплава; скос кромок обеспечивается специальной градуированной втулкой (достаточно выставить требуемый угол). Подъем рычага сцепления освобождает боковые ролики, и машина плавно трогается с места. Конструкция формы рельса и направляющих роликов обеспечивает мягкое и стабильное перемещение. Для изготовления рельсов использован твердый резиновый компаунд, что позволяет изгибать рельсы в двух и трех плоскостях. В центре рельса вмонтирована гибкая стальная трубка. Эта трубка предотвращает внезапное разрушение, характерное для гибких рельсов. Толщина разрезаемых листов 5—50 мм, скорость резки 150—700 мм/мин, радиус кривизны рельса: 3D-рельс — 2000 мм, 2D-рельс — 2500 мм. Форма кромки реза — прямоугольная и со скосом до 45°. Питающее напряжение машины 220 В, масса 4,5 кг.

**ЗАО "Оборудование для неразрушающего контроля"** демонстрировало различные приборы, разработанные и изготовленные в Великобритании.

*Цифровой профиломер поверхности ELCOMETER 223* (рис. 8), работающий от батарейки и используемый для измерения высоты неровностей поверхности с дополнительной функцией прямого вывода данных на цифровой дисплей. Вывод данных осуществляется через порт RS 232 для передачи показаний на ПК. Профиломер оснащен регистратором данных для их вывода на принтер, что обеспечивает сохранение копии отчета о результатах измерений. Диапазон измерений прибора 0—1000 мм, питающее напряжение 3 В, габаритные размеры 105 × 55 × 25 мм, масса 365 г.

*Инфракрасный цифровой термометр ELCOMETER 214L* с лазерным указателем (рис. 9), дисплеем с подсветкой и функцией автоматического выключения. Лазерный индикатор позволяет точно установить точку измерения температуры. Диапазон измеряемых температур —20—270 °С с погрешностью ±2 °С. Масса термометра без батарейки 180 г.

*Прибор Elcometer 1620/4* для оценки эластичности покрытий, нанесенных на металлические пластины толщиной до 1,2 мм, при вытяжке. Прибор оснащен пресс-формой диаметром 27 мм, изготовленной из закаленной стали, и штампом диаметром 20 мм. При помощи угловой рукоятки и редукторного привода штамп постепенно вдавливаются в образец. Прибор может быть оборудован электроприводом, заменяющим угловую рукоятку. Это обеспечивает отличную воспроизводимость с постоянной скоростью вдавливания 200 мкм/с. Он оснащен дисплеем с подсветкой. Прибор обеспечивает точное измерение (10 мкм) глубины вдавливания, отображаемое на дисплее и возможность осмотра изломов, трещин и разрывов покрытия.

В рамках форума были проведены научно-практическая конференция по машиностроительным технологиям и презентации фирм, а также круглые столы "Новые инновационные технологические решения: сварка проплавленным лазерным лучом и сварка лазерным лучом с присадкой на роботизированных комплексах" и "Автоматизированная электроконтактная технология восстановления и упрочнения деталей".

**А. Н. ИВАНОВ**, инж.

Издательский центр "Технология машиностроения"

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 31.01.2008. Подписано в печать 18.03.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 13,96. Заказ 04/08.

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"