



ТЕХНОЛОГИЯ

МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:**

Гл. редактор

В. А. Казаков

Зам. гл. редактора

Н. В. Посметная

В. Н. Алфеев
Н. П. Бирюкова
Р. С. Голов
В. Д. Горбач
С. Н. Григорьев
Б. В. Гусев
А. В. Дуб
В. М. Ермаков
А. С. Зубченко
Е. А. Калашников
В. В. Капустин
А. Л. Карунин
И. П. Ксеневич
А. Е. Лигачев
А. А. Лозован
В. П. Лялякин
Е. А. Мачнев
Н. А. Паничев
В. Н. Семенов
О. С. Сироткин
Н. В. Смирнов
А. В. Телушкин
А. Н. Феофанов
К. В. Фролов
В. А. Фролов
В. К. Шелег
И. Н. Шиганов

Редакция:

*С. В. Богус,
Л. Т. Мартыненко,
Т. П. Маслик*

Компьютерная верстка:

Е. В. Конова

Дизайн обложки:

Е. С. Благовидов

Специальные
корреспонденты:

*А. Н. Иванов, А. В. Казаков,
Ан. А. Суслев*

Редактор-переводчик

Е. О. Егорова

Корректор

Т. В. Арбузова

**12 (66)
Декабрь
2007**

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр

"Технология машиностроения"

Журнал издается при содействии

Министерства промышленности

и энергетики РФ,

Министерства образования и науки РФ,

Российской инженерной академии,

Российского научно-технического

общества машиностроителей,

ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»

Адрес для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 01

Контактный тел.: (495) 796 2491

E-mail: tm@folium.ru

(с пометкой для журнала

"Технология машиностроения")

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

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

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-7779

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Хорев А. И. — Теория и практика создания современных титановых сплавов для перспективных конструкций . . . 5

ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Крушенко Г. Г., Буров А. Е. — Влияние литниково-питающей системы на механические свойства литых деталей транспортных средств 13

ТЕХНОЛОГИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

Иванов В. С., Зубков Н. Н., Иванов Д. В. — Параметрический синтез технологической схемы при получении целевых структур вращающимся лезвийным инструментом 16

Мальцев В. Г., Моргунов А. П. — Технологическое обеспечение высоких точностных требований к размерам и форме наружных цилиндрических поверхностей 20

Сергеев Л. Е., Ракомсин А. П., Сидоренко М. И., Бабич В. Е. — Финишная обработка деталей сферической формы с наложением магнитных полей 25

Ямников А. С., Артамонов В. Д. — Управление кинематикой процесса зубонарезания резцовыми головками по методу обкатывания. 27

СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Кирилин Ю. В. — Применение полимербетона для изготовления базовых деталей тяжелых фрезерных станков . . 32

Гуревич Ю. Г. — Инструмент из булатной стали. 35

МЕХАНОСБОРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Алпеева Т. В., Котельников А. А. — Программирование перемещений при роботизированной сварке трубчатых элементов 38

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Оголихин В. М., Шемелин С. Д. — Сварка взрывом тонколистовых заготовок с пакетным и рулонным расположением свариваемых элементов 43

Степанов Ю. А., Вахрушев О. В., Трофимова А. Н. — Влияние защитных покрытий на свойства сварных соединений 48

ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Гнюсов С. Ф., Дураков В. Г., Гнюсов К. С. — Электронно-лучевая наплавка карбидосталей. Ч. 1. Особенности технологии наплавки и подготовки композиционных наплавочных смесей 51

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ

Бабкин В. А., Лавров А. И., Ловырев П. Б., Трухан М. Н., Финогентов О. Г., Кораблев Н. В., Корольков П. М. — Объемная термическая обработка реактора способом внутреннего нагрева в условиях реконструкции действующего производства 56

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ, ИСПЫТАНИЯ

Гуменюк В. А., Казаков Н. А., Сульженко В. А. — Акустико-эмиссионный контроль процесса сварки корпуса глубоководного аппарата 58

АВТОМАТИЗАЦИЯ И КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Егоров П. Е. — Построение функции надежности автоматизированных технологических систем 64

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА

Глебов А. А., Хвастунов Р. М. — Способ актуализации технологических стандартов организаций 67

ЭКОНОМИКА МАШИНОСТРОЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Бром А. Е. — Динамическая модель потоковых процессов промышленного предприятия 70

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Потапова Г. С. — Содержание зарубежных журналов 78

ИНФОРМАЦИЯ

Иванов А. Н. — 12-я Международная специализированная выставка "Росупак — 2007" 83

Добринский Е. С. — Презентация программы "Российское качество" 89

Алфавитный указатель статей за 2007 г. 91



TEKHNLOGIYA

MASHINOSTROENIYA

REVIEW-ANALYTICAL, SCIENTIFIC-TECHNICAL
AND PRODUCTION JOURNAL

EDITORIAL BOARD:

V. A. Kazakov
Editor-in-Chief

N. V. Posmetnaya
Deputy Editor-in-Chief

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

Editorial staff:
S. V. Bogus,
L. T. Martynenko, T. P. Maslik

Computerized making-up:
E. V. Konova

Cover design:
E. S. Blagovidov

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

Editor-translator
E. O. Egorova

Proof-reader
T. V. Arbuzova

**12 (66)
December
2007**

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,
Russian Scientific-Technical Society
of Machine Builders,
TSNIITMASH, JSC

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

Tel.: (495) 796 2491

E-mail: tm@folium.ru
(marked for journal)

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

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

Registration certificate ПИ № 77-7779

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

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

Reference to "Tekhnologiya Mashinostroeniya"
at reprint is obligatory

CONTENTS

STRUCTURAL MATERIALS

- Khorev A. I.** — Modern structural titanium alloys 5

BLANK PRODUCTION

- Krushenko G. G., Burov A. Ye.** — Effect of the gate-feeding system on the mechanical properties of the vehicle moulded pieces 13

FORMING TECHNOLOGIES

- Ivanov V. S., Zubkov N. N., Ivanov D. V.** — Process flowsheet parametric synthesis at cutting slotted structures by the revolving edged tool 16
- Maltsev V. G., Morgunov A. P.** — Technological support for the external cylindrical surfaces dimensional and form high precision requirements 20
- Sergeyev L. Ye., Rakomsin A. P., Sidorenko M. I., Babich V. Ye.** — Magnetic field superposition finishing of spherical parts 25
- Yamnikov A. S., Artamonov V. D.** — Kinematics control of the tool head gear-cutting by the running-in method . . . 27

TOOLING PRODUCTION

- Kirilin Yu. V.** — Organic concrete use to produce base members for heavy millers 32
- Gourevich Yu. G.** — Damascus steel tool 35

MACHINING-AND-ASSEMBLY PRODUCTION

- Aliyeva T. V., Kotelnikov A. A.** — Displacement programming at robotized welding of tubular elements 38

PERMANENT JOINTS PRODUCTION TECHNOLOGY

- Ogolikhin V. M., Shemelin S. D.** — Explosion welding of thin sheet slugs: palletized or roll arrangement of the welded elements 43
- Stepanov Yu. A., Vakhrushev O. V., Trofimova A. N.** — Protective coatings effect on the welded joints properties . . . 48

MODIFEING PROCESSES OF MACHINE PARTS SURFACES

- Gnyusov S. F., Durakov V. G., Gnyusov K. S.** — Vacuum electron-beam welding deposition of the carbidic steels. Part 1: Characteristic properties of the weld deposition techniques and composite surfacing compound preparation . . . 51

SPECIAL TECHNOLOGIES

- Babkin V. A., Lavrov A. I., Lovyreb P. B., Trukhan M. N., Finoguentov O. G., Korabliov N. V., Korolkov P. M.** — A reactor 3D internal heat treatment under conditions of an operating plant reconstruction. 56

TECHNICAL DIAGNOSTICS, NONDESTRUCTIVE CHECK-AND-TESTING METHODS

- Goumenyuk V. A., Kazakov N. A., Sulzhenko V. A.** — Acoustical and emissive surveillance of a deep-diving submersible body welding. 58

PROCESSES AUTOMATION AND COMPUTERIZATION

- Yegorov P. Ye.** — Process system reliability function construction 64

STANDARDIZATION, CERTIFICATION, QUALITY SYSTEMS

- Glebov A. A., Khvastunov R. M.** — Plant technological standard actualization system 67

ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

- Brom A. Ye.** — Industrial enterprise streaming process behavioral pattern 70

FOREIGN EXPERIENCE

- Potapova G. S.** — Foreign journals contents 78

INFORMATION

- Ivanov A. N.** — The 12th International specialized exhibition "ROSUPAK—2007". 83
- Dobrinisky Ye. S.** — Presentation of the program "The Russian quality" 89

- Alphabetic** index of the articles published in 2007 91
-

А. И. ХОРЕВ, д-р техн. наук
ФГУП "ВИАМ" ГНЦ РФ

Теория и практика создания современных титановых сплавов для перспективных конструкций

Введение

Титановые сплавы являются современным символом создаваемых конструкций. По уровню прочности и надежности титановых сплавов, а также объему их применения в летательных аппаратах в значительной мере судят об их эффективности и весомом совершенстве. Конструкционные сплавы, из которых изготавливают различные полуфабрикаты, должны занять достойное место при создании современных самолетов, космических аппаратов и ракет. Они позволяют резко повысить коэффициент использования дорогостоящих титановых сплавов и снизить стоимость конструкций. Это наряду с повышением весовой эффективности, ресурса и надежности является важнейшей задачей [1—4].

На диаграмме титан— β -стабилизаторы приведены разработанные конструкционные титановые сплавы (рис. 1, а), представленные в эквивалентных молибдену величинах. Чтобы определить место каждого сплава при изготовлении современных конструкций следует установить общие закономерности изменения основных механических, технологических и экономических характеристик в зависимости от легирования сплава и его фазового состава.

Установлено, что с увеличением количества β -стабилизаторов (Mo + V + Cr + Fe) в сплавах:

- стоимость шихтовых материалов для выплавки слитков при увеличении количества β -стабилизаторов на величину, эквивалентную 1 % молибдена, возрастает на 5 %;

- увеличивается неоднородность химического состава слитка, обусловленная дендритной и зональной ликвацией, которая в большей мере возрастает у слитков большего диаметра;

- снижается температура ($\alpha \leftrightarrow \beta$)-превращения и уменьшается технологичность деформации, особенно в ($\alpha + \beta$)-области;

- повышается плотность сплава, так как все легирующие элементы имеют большую плотность, чем титан;

- увеличивается химическая неоднородность в металле шва сварного соединения, связанная с дендритной ликвацией, особенно при сварке больших толщин;

- увеличивается энергоемкость и трудоемкость термической обработки из-за повышения стабильности β -фазы, требующей более сложной и длительной термической обработки;

- требуется более сложное и дорогостоящее термическое оборудование;

- ухудшается обрабатываемость резанием из-за увеличения количества вязкой β -фазы и налипания сплава на режущую кромку;

- увеличивается дисперсия механических свойств, обусловленная химической неоднородностью и неоднородностью распада метастабильных фаз;

- увеличивается трудоемкость изготовления деталей;

- уменьшается температурный интервал применения сплавов от α -сплава ВТ5-1 (от -253°C) и псевдо- α -сплавов ВТ18у, ВТ38 (до 600°C), к ($\alpha + \beta$)-сплавам ВТ6ч (-196 — 450°C), ВТ23, ВТ23м, ВТ43 (-196 — 400°C), к β -сплавам Ti-10-2-3 (-50 — 300°C), ВТ19, ВТ19-1 (-50 — 250°C), ВТ15, ВТ15-1 (-40 — 150°C) [7].

На диаграмме состояния титан— β -стабилизирующие элементы (рис. 1, б) приведены кривые изменения механических свойств сварных соединений в зависимости от количества β -стабилизирующих элементов в сплавах, содержащих 3 % алюминия.

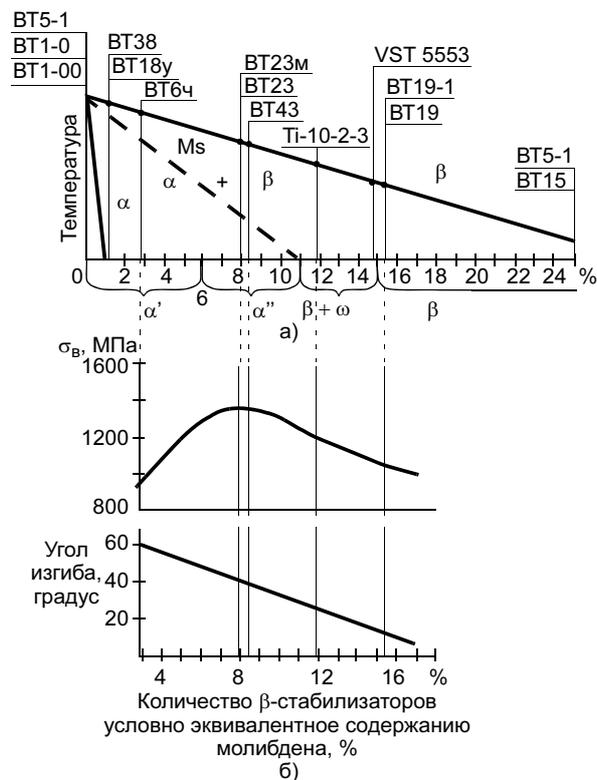


Рис. 1. Влияние комплексного легирования на фазовый состав сплавов (а) и механические свойства сварных соединений титановых сплавов в термически упрочненном состоянии (б)

Таблица 1

Сплав	Механические характеристики			
	σ_{100}^{500}	σ_{100}^{600}	$\sigma_{0,2/100}^{500}$	$\sigma_{0,2/100}^{600}$
BT38	600	240	290	60
BT18y	580	190	270	40
BT20	480	95	160	10

В термически упрочненном состоянии пластичность сварных соединений, оцениваемая углом изгиба при радиусе изгиба, равном толщине листа ($r = t$), с увеличением содержания β -стабилизирующих элементов непрерывно снижается, а предел прочности сварного соединения проходит через максимум, соответствующий сплаву Ti—3Al—1,8Mo—3,4V—0,8Cr—0,6Fe (типа BT23). Этот сплав, содержащий β -стабилизирующие элементы в количестве, эквивалентном 7—8 % Mo, при высокой прочности сварного соединения (1380 МПа), обладает удовлетворительной пластичностью металла шва и зоны термического влияния, оцениваемой по углу изгиба и равному 40° . Этому содержанию соответствуют максимальные эффект увеличения прочности от применяемой высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО), уровень прочности, а также значение K_{1C} .

С увеличением степени легирования в сплавах, охлажденных с высоких температур, после окончания деформации полуфабрикатов фиксируются α' -, α'' -, ($\beta + \omega$)- и β -фазы (см. рис. 1, а). В области сплавов, в которых наряду с β -фазой фиксируется хрупкая ω -фаза, возможно растрескивание полуфабриката в процессе охлаждения, что потребовало принятия специальных мер при изготовлении экспериментальных листов. Сплавы, находящиеся в области фиксации пластичной α'' -фазы (типа BT23), сохраняют высокую пластичность независимо от условий охлаждения, что очень важно при изготовлении полуфабрикатов и деталей.

На основе исследований трех-, четырех- и шестикомпонентных систем легирования разработаны конструкционные (листовые) свариваемые титановые сплавы с псевдо- α - (BT38y, BT38), ($\alpha + \beta$)- (BT6ч, BT23, BT23м, BT43) и β - (BT19) структурой, композиционные материалы (КМ) на основе титановых сплавов, многостадийные технологии обработки сплавов давлением и технологии применения сплавов в монолитных, сварных и паяных конструкциях.

Конструкционные псевдо- α -сплавы BT18y и BT38. На основе разработанной теории легирования титановых сплавов и предложенного многофакторного механизма упрочнения (твердорастворный + дисперсионный + интерметаллидный + упрочнение химическими соединениями) разработаны конструкционные листовые титановые сплавы BT18y и BT38 высокотемпературного применения.

В сплаве BT38 достигнуто предельное легирование α -твердого раствора и регламентированное распределение интерметаллидных фаз (α_2) и химических соединений (силицидов и др.) путем микролегирования с целью модифицирования структуры редкоземельным элементом гадолинием (0,05—0,20 %).

Применены новые термомеханические режимы изготовления полуфабрикатов и ВТМО, предельно сокращающие высокотемпературный нагрев, что обеспечивает более дисперсное распределение ин-

терметаллидных, химических и твердорастворных дисперсных фаз.

Разработан новый процесс изготовления листов толщиной 0,8—1,2 мм из сплавов BT18y и BT38 высокотемпературного применения и процессы преобразования структуры, обеспечивающие повышение жаропрочности. Тонкие листы из сплава BT38 обладают высокими жаропрочными характеристиками ($\sigma_{100}^{600} = 240$ МПа, $\sigma_{0,2/100}^{600} = 60$ МПа), что при 600 °С в 3—6 раз более, чем у сплава BT20 (табл. 1).

Сплав BT38 при 20 °С имеет следующие механические свойства: $\sigma_B = 970$ МПа; $\delta_5 = 8$ %; $MЦУ^{20} = 350$ МПа (при $N = 2 \cdot 10^5$ циклов и $K_f = 2,6$). По своим механическим характеристикам при 500 и 600 °С он на 40—50 % превосходит все лучшие листовые зарубежные сплавы, при этом может быть получена толщина листов 0,8 мм вместо 3,0 мм, что позволяет повысить весовую эффективность конструкций. Сплав BT38 целесообразно применять при температуре до 600 °С в конструкциях носовых обтекателей, обшивки двигателей, рулях управления ракет и космических аппаратов, в композиционных материалах и конструкциях.

Конструкционный ($\alpha + \beta$)-сплав BT6ч, закаливающийся на α -фазу. Изучены структурно-фазовые состояния зон сварных соединений листов из сплава BT6ч, полученных автоматической аргонодуговой сваркой (ААрДЭС), и плит — электронно-лучевой сваркой (ЭЛС). Установлено, что для достижения однородного структурно-фазового состояния в зонах сварных соединений (шов, ЗТВ, основной металл), выполненных ЭЛС, и устранения структурных (внутренних) концентраторов напряжений необходимо проводить отжиг при 850 °С, т. е. на 100 °С выше, чем для сварных соединений, выполненных ААрДЭС. Сплав BT6ч широко применяют в конструкции сверхзвукового пассажирского самолета Ту-144 для изготовления балок, кронштейнов и других силовых деталей и узлов. Сплав BT6ч рекомендован для применения в новом самолете "Супер Джек" фирмы "Гражданские самолеты Сухого".

Конструкционные ($\alpha + \beta$)-сплавы BT23, BT23м, BT43, закаливающиеся на α -фазу. Разработана теория комплексного легирования титановых сплавов и комплексно-легированный ($\alpha + \beta$)-сплав BT23 универсального применения [1, 2].

Основные принципы комплексного легирования сводятся к следующему:

— повышение прочности α - и β -твердых растворов и уменьшение разности в их прочности;

— легирование β -стабилизирующими элементами противоположного распределения при дендритной ликвации для обеспечения постоянства суммарного количества β -стабилизирующих элементов в разных зонах дендритов;

— легирование изоморфными и эвтектоидобразующими элементами в соотношении от 2:1 до 1:1 (выраженном в эквивалентных молибдену величинах).

Область и состав легирования сплава ВТ23 определили максимальные прочность сварных соединений, эффективность ВТМО, характеристика K_{1C} основного материала и сварных соединений, сравнительно невысокая стоимость, пониженная энергоемкость, высокая технологичность при сварке и термической обработке.

Из сплава ВТ23 изготавливают все виды полуфабрикатов с гарантированно высоким уровнем механических свойств: фольгу и ленту (0,08—1,0 мм), плиты ковано-катаные (11—160 мм), штамповки (до 1,5 т), поковки (до 3,5 т), прутки катаные (диаметром 25—150 мм), профили, горячекатаные и холоднокатаные трубы.

Из сплава ВТ23 могут быть изготовлены все конструкции самолета: от сотовых паяных панелей из фольги и обшивки из листов до балок, лонжеронов, шпангоутов из плит, поволоков и штамповок. Поэтому его следует рассматривать как универсальный свариваемый сплав широкого применения. Он технологичен при обработке резанием и давлением, энергетически малоемкий и имеет сравнительно невысокую стоимость.

В процессе охлаждения полуфабрикатов при металлургическом производстве в ($\alpha + \beta$)-сплавах ВТ23, ВТ23м и ВТ43 образуется пластичная α'' -фаза. Наличие в сплаве пластичного мартенсита α'' делает его работоспособным, даже если не проводится заключительная термическая обработка. Эта категория титановых сплавов менее чувствительна к нарушениям технологических процессов при изготовлении полуфабрикатов и конструкций.

Сплав ВТ23 после ВТМО (горячей прокатки и ковки) и старения обладает высоким уровнем прочности и трещиностойкости основного материала ($\sigma_B \geq 1080$ МПа, $K_{1C} = 93 \div 120$ МПа \cdot м^{1/2}) и сварных соединений ($\sigma_B \geq 970$ МПа, $K_{1C} = 86 \div 93$ МПа \cdot м^{1/2}). Его применяют в конструкциях ракетной, космической и авиационной техники, для изготовления днищ, лонжеронов, балок, шпангоутов и других силовых деталей, включая шаровые баллоны, работающие при высоком внутреннем газовом давлении с пределом прочности $\sigma_B \geq 1300$ МПа, что является максимальным реализованным в мире уровнем прочности.

Поковки и штамповки из сплава ВТ23 массой до 3,5 т широко применяли при создании конструкций ракет, определивших баланс сил в ядерном соревновании. Данный сплав отличается широким интервалом рабочих температур (−196—400 °С), его успешно применяют в космосе при −130 °С, а также в сосудах высокого давления при −196 °С.

Сплав ВТ23 применен в конструкциях космических аппаратов, длительно работающих при температуре до 400 °С и кратковременно — при 500—600 °С. Он может быть рассмотрен для изготовления лопаток и других деталей вентилятора двигателя, особенно при создании пустотелых и композиционных лопаток.

Важнейшим достижением, безусловно, следует считать создание из сплава ВТ23 гетерогенной брони для бронезилетов, спасшей жизнь тысячам наших военнослужащих в горячих точках планеты.

Разработан свариваемый сплав ВТ23м с более узким пределом легирования (в диапазоне легирования сплава ВТ23), который должен обладать еще большей, чем сплав ВТ23, стабильностью механических свойств.

При создании маневренных самолетов нового поколения возникла необходимость значительного повышения весовой эффективности используемых материалов. Было предложено вместо листов из сплава ОТ4-1 ($\sigma_{B.O.M} = 590$ МПа, $\sigma_{B.CB.C} = 530$ МПа), применяемого для изготовления обшивки и люков самолета Су-27, применять листы из сплава ВТ23м ($\sigma_{B.O.M} = 1100$ МПа, $\sigma_{B.CB.C} = 990$ МПа). Разработанная технология продольно-поперечной прокатки листов обеспечила получение базисной текстуры листов из сплава ВТ23м, что в свою очередь повысило технологическую пластичность при их штамповке. Прочность основного металла и сварных соединений листов из сплава ВТ23м по сравнению со сплавом ОТ4-1 увеличена на 80 %.

Вместо поволоков, плит и штамповок из сплава ВТ20 ($\sigma_B \geq 880$ МПа, $K_{1C} \geq 70$ МПа \cdot м^{1/2}), применяемого в маневренных самолетах (Су-27), был предложен также сплав ВТ23м ($\sigma_B \geq 1100$ МПа, $K_{1C} \geq 90$ МПа \cdot м^{1/2}) с уровнем прочности на 25 % более высоким при большем (на 30 %) значении K_{1C} .

Сплавы ВТ23 и ВТ23м внесены в чертежно-конструкторскую документацию как основные сплавы для изготовления перспективного маневренного самолета, при этом масса всех конструкций из этих сплавов будет составлять более 20 %. Эти сплавы рекомендованы также для применения в ближне-среднемагистральном самолете.

Разработан новый комплексно-легированный свариваемый ($\alpha + \beta$)-титановый сплав ВТ43 на основе предложенной теории комплексного легирования.

Сплав ВТ43 содержит легирующие элементы с коэффициентом распределения при дендритной ликвации больше и меньше единицы. Суммарное количество β -стабилизаторов в осях и межосных

объемах постоянно, что обеспечивает однородное упрочнение основного металла и металла шва.

Прочность и микротвердость α - и β -твердых растворов также близки, что является важным фактором комплексного легирования.

Благодаря комплексному легированию ($\alpha + \beta$)-сплава с включением в его состав дополнительных легирующих элементов, повышающих прочность и жаропрочность, достигнуты служебные характеристики, превосходящие все лучшие зарубежные и отечественные аналоги. Сварные соединения при $\sigma_{\text{в св.с}} \geq 1150$ МПа ($\sigma_{\text{в св.с}}/\sigma_{\text{в о.м}} = 0,95$) имеют высокие значения характеристик трещиностойкости — $K_{1C} \geq 70$ МПа \cdot м^{1/2}.

По сравнению со сплавом Ti-10-2-3 (США, $\sigma_{\text{в св.с}} = 940$ МПа, $\sigma_{\text{в св.с}}/\sigma_{\text{в о.м}} = 0,82$, $K_{1C} = 50$ МПа \cdot м^{1/2}) аналогичного применения сплав ВТ43 обладает большими на 22 % прочностью сварных соединений, на 40 % — трещиностойкостью и на 25 % — удельной прочностью сварных соединений.

Плотность сплава ВТ43 (4540 кг/м³) значительно ниже, чем у сплава Ti-10-2-3 (4650 кг/м³), что очень важно для достижения более высокой удельной прочности и большей весовой эффективности конструкции.

Сплав ВТ43 по сравнению со сплавом Ti-10-2-3 (США) отличается:

- на 20—30 % меньшей стоимостью за счет меньшего в 2,5 раза содержания дорогостоящего и дефицитного ванадия и меньшего брака благодаря большей структурной однородности, обусловленной большей химической однородностью и меньшей дисперсией температуры полиморфного превращения;
- на 30 % меньшей трудоемкостью обработки давлением, так как имеет высокую температуру полиморфного превращения ($T_{\text{пп}} = 920$ °С), на 130 °С более высокую, чем у сплава Ti-10-2-3, что уменьшает сопротивление деформации, особенно при деформации в ($\alpha + \beta$)-области;
- на 40 % меньшим расходом электроэнергии при упрочняющей термической обработке за счет меньшей стабильности β -фазы и за счет возможности исключить высокотемпературный нагрев под закалку при проведении ВТМО, рекомендуемой для сплава ВТ43.

Сплав ВТ43 является универсальным, его можно применять в отожженном состоянии ($\sigma_{\text{в}} \geq 1100$ МПа), после обработки по схеме ВТМО (горячедеформированное состояние + старение) в сечении до 150 мм ($\sigma_{\text{в}} \geq 1100$ МПа), в закаленном на воздухе или в воде (после черновой механической обработки) состоянии и последующем старении ($\sigma_{\text{в}} \geq 1200$ МПа и $\sigma_{\text{в}} \geq 1300$ МПа), в малых сечениях для кратковременного ресурса эксплуатации при закалке в воде и низкотемпературном старении, обеспечивающем

многофазное упрочнение [9] ($\sigma_{\text{в}} \geq 1500$ МПа), сплав может быть упрочнен до $\sigma_{\text{в}} \geq 2000$ МПа.

Сплав ВТ43 рекомендуется для изготовления гидроаккумуляторов и силовых конструкций самолетов, космических аппаратов и ракет, введен в чертечно-конструкторскую документацию БСМС.

Конструкционные титановые β -сплавы. К β -сплавам относятся сплавы, фиксирующие на микроструктуре 100 %-ные β -фазы (ω -фаза на микроструктуре не обнаруживается). Это сплавы, легированные β -стабилизирующими элементами в количестве больше критического ($C_{\text{кр}}$). Этот класс сплавов можно разделить по фазовому составу при закалке из β -области на ($\beta + \omega$)- и β -сплавы, что является теоретически обоснованным диаграммами метастабильных состояний.

На первом этапе работы были созданы β -титановые сплавы, содержащие β -стабилизирующие элементы в количестве, эквивалентном 25 % молибдена (ВТ15, ВТ15-1, ТС6). В ВИАМе разработан ряд уникальных цилиндрических конструкций из β -сплавов (ВТ15, ТС6) с использованием поперечной прокатки, которые успешно прошли испытания в конструкциях ракетной техники.

На втором этапе работ по β -сплавам был проведен большой объем системных исследований по макро- и микролегированию (исследованы основной материал и сварные соединения более 300 β -сплавов), термической и термомеханической обработке. К сожалению, применить в конструкциях этот, безусловно, интересный класс материалов, не удалось.

Были предложены следующие направления улучшения механических свойств β -сплавов, которые должны были определить выбор оптимального β -сплава, более успешного в применении. Механические свойства, технологичность, стоимость и физические характеристики зависят от следующего:

— эффекта комплексного легирования — установлено, что увеличение легирования β -сплавов от одного до двух и четырех β -стабилизаторов повысило прочность от 1150 до 1250 и 1400 МПа соответственно при сохранении пластичности ($\delta = 7 \div 8$ %);

— эффекта микролегирования, проявляющегося при введении циркония, гафния и РЗМ (оптимальный результат достигнут при введении 1 % Zr) (рис. 2);

— эффекта низкотемпературной термомеханической обработки (НТМО) — исследование различных систем сплавов показало, что максимальные прочность и эффект $\Delta\sigma = [(\sigma_{\text{в(НТМО)}} - \sigma_{\text{в(УТО)}})/\sigma_{\text{в(УТО)}}]100$ % достигнут у β -сплавов, содержащих β -стабилизаторы в количестве, эквивалентном 15 % Мо (рис. 3);

— эффекта отсутствия хрупкой ω -фазы — фазовый анализ показал, что при содержании β -стабилизаторов в количестве больше количества, эквивалентного 15 % Мо, хрупкая ω -фаза, соответствующая резкой потере пластичности и вязкости при

термических и других циклах производства полуфабрикатов и конструкций, отсутствует (см. рис. 1, а);

— эффекта пластификации (отсутствие распада метастабильной β -фазы) при медленном охлаждении в вакуумных печах при изготовлении полуфабрикатов и конструкций, чему соответствуют сплавы, содержащие β -стабилизаторы в количестве, больше количества, эквивалентного 15 % Мо;

— сплав должен быть менее легированным, менее энергоемким и значительно дешевле сплава ВТ15.

В результате исследования основного материала и сварных соединений установлено, что максимальный совокупный эффект улучшения механических свойств установлен у β -сплава ВТ19, содержащего β -стабилизирующие элементы в количестве, эквивалентном 15—16 % Мо и 1 % Zr [1—2]. Исследовали влияние различных режимов УТО и НТМО на механические свойства образцов при осевом растяжении (σ_B) и двухосном растяжении (σ_{BK}) цилиндрических емкостей, подвергнутых испытанию на внутреннее давление до разрушения. Сплав ВТ19 показал наибольшее упрочнение при НТМО, о чем свидетельствуют результаты испытания цилиндрических емкостей ($\sigma_{BK} = 1450$ МПа) (рис. 4).

Для дальнейшего улучшения механических свойств было предложено вместо закалки из β -области проводить закалку из $(\alpha + \beta)$ -области от температуры ($T_{пп} - 20$ °С) [1, 2]. Наличие первичной α -фазы обеспечивает более однородный распад при старении, а более стабильной β -фазы — дополнительные гарантии предотвращения образования хрупкой ω -фазы. Из β -сплава ВТ19 были изготовлены цилиндрические тонкостенные емкости путем холодной поперечной прокатки кольцевых заготовок, тарельчатые пружины — холодной штамповкой из листов. Сплавы с β -структурой рекомендуются для применения в конструкциях преимущественно листовых или оболочковых, в которых холодная деформируемость играет решающее значение. Применение β -сплавов в поковках и штамповках неэффективно и нецелесообразно. Анализ титановых β -сплавов дает основание считать, что комплексно-легированный сплав ВТ19 является оптимальным как по механическим, так и экономическим характеристикам.

Содержание в сплаве Ti-10-2-3 2 % Fe приводит к неоднородному распределению его в литой структуре металла шва: 1,4—1,6 % в осях дендритов и 2,4—2,6 % в межосных объемах. Значительно большая химическая неоднородность легирующих элементов, особенно железа, наблюдается в слитках. Это приводит в свою очередь к различной температуре полиморфного превращения разных зон, неоднородному их упрочнению и большой неоднородности механических свойств сплава Ti-10-2-3 и более низкому их уровню, чем у сплава ВТ19.

Легирование β -сплавов железом даже в небольшом (до 0,5 %) количестве приводит к тому, что в приграничных зонах концентрация его может быть в 3—4 раза больше, чем средняя концентрация, что способствует резкому снижению эксплуатационных свойств, особенно сварных соединений.

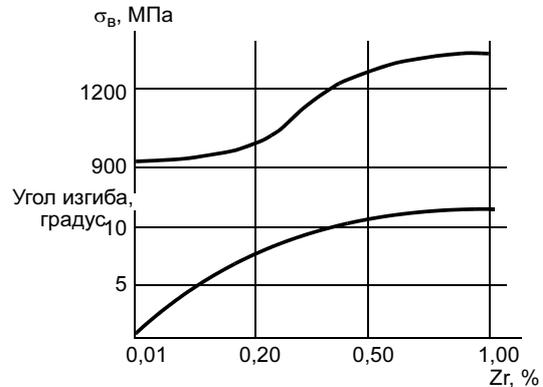


Рис. 2. Влияние легирования цирконием на предел прочности и угол изгиба (при $r = t$) сварного соединения сплава ВТ19

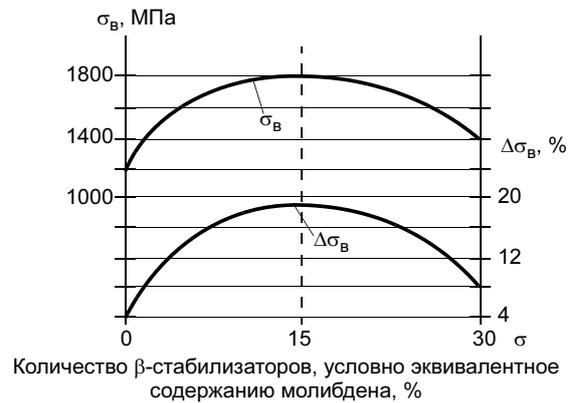


Рис. 3. Влияние легирования на предел прочности σ_B титановых сплавов после НТМО и эффективность повышения прочности $\Delta\sigma_B$ при НТМО по сравнению с УТО

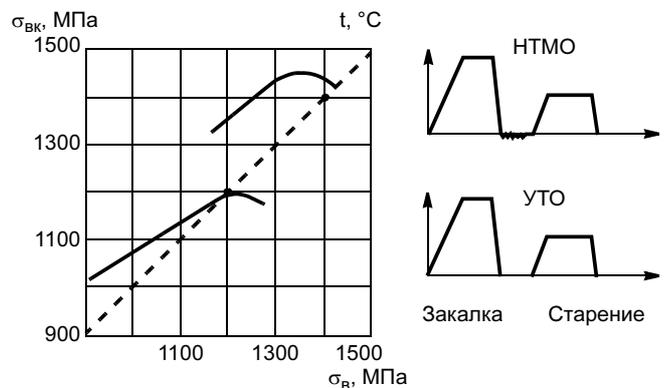


Рис. 4. Зависимость конструкционной прочности σ_{BK} цилиндрических емкостей из сплава ВТ19 от предела прочности при осевом растяжении σ_B после различных режимов НТМО и УТО

Сплав β -VST5553 (являющийся фактически сплавом VT19, разработан на 30 лет раньше [1, 2] и содержит β -стабилизаторы, эквивалентные 14,7 % Mo), легированный 1 % Zr, как и сплав VT19 (содержащий β -стабилизирующие элементы, эквивалентные 15,5 % Mo), легированный 1 % Zr, также имеет преимущество перед сплавом Ti-10-2-3 (США).

Композиционные материалы на основе титана.

Созданы теоретические и практические основы разработки перспективных композиционных материалов (КМ) на основе титановых сплавов: осуществлен всесторонний подход к рассматриваемой проблеме, включающий создание конструктивных титановых сплавов, разработку технологии производства полуфабрикатов и конструкций КМ, а также процессов изготовления КМ.

Разработана многослойная композиция, состоящая из четырех слоев сплава VT23 и пяти слоев сплава OT4, отличающаяся большей конструкционной прочностью σ_{BK} , большим увеличением прочности при двухосном растяжении по сравнению с осевым (σ_{BK}/σ_B), меньшей чувствительностью к надрезу, о чем свидетельствуют высокие значения характеристик σ_{BK}^H , σ_{BK}^H/σ_B , а также большими значениями характеристик трещиностойкости (КСТ) и ударной вязкости (КСУ), чем монолитный сплав VT23 (табл. 2).

Исследованы композиционные материалы с внутренним армированием, состоящие из слоев фольги толщиной 0,08 мм, разработанных сплавов VT23, VT16, VT6с и VT1-0 и слоев волокон SiC и B + SiC. Фольга из сплава VT23 ($\sigma_B = 1100$ МПа) является в настоящее время самой прочной фольгой. Максимальный уровень жаропрочности получен для разработанного композиционного материала, состоящего из фольги сплава VT23 (80 %) и волокон SiC (20 %): $\sigma_B^{500} = 720$ МПа, модуль упругости $E = 185$ ГПа,

плотность $\gamma = 4100$ кг/м³ и $\sigma_B^{20} = 980$ МПа. Разработан композиционный материал, состоящий из фольги сплава VT23 (80 %) и волокон B + SiC (20 %), имеющий следующие характеристики: $\sigma_B^{20} = 990$ МПа, $\sigma_B^{500} = 610$ МПа, $E = 195$ ГПа, $\gamma = 3600$ кг/м³.

Разработан композиционный материал (конструкция), состоящий из термически упрочненной цилиндрической емкости из сплава VT23 ($\sigma_{BK} = 1400$ МПа), оплетенной волокнами различных типов. Максимальный уровень конструкционной прочности получен у композиционной конструкции цилиндрической емкости из сплава VT23, внешне армированной пластиком внивлонном. Такая композиционная конструкция показала рекордно высокую конструкционную прочность $\sigma_{BK} = 2160 \div 2250$ МПа (по титану) и удельную прочность $\sigma_{BK}/\gamma = 48 \div 50$ км.

Многостадийная обработка конструктивных титановых сплавов давлением. Для сплавов VT23, VT23М, VT43, VT6ч и др. предложена многостадийная температурно-деформационная обработка давлением титановых сплавов, включающая:

- две стадии нагрева в β -области и последующие всесторонние деформации с изменением направления деформирования, что обеспечивает заваривание различно ориентированных дефектов в виде раковин, пор и др., усреднение химического состава и уменьшение величины β -зерна;
- две фазовые перекристаллизации, заключающиеся в горячей деформации при температуре ($\alpha + \beta$)-области и дальнейшем нагреве в β -области с последующей деформацией, что обеспечивает получение однородной мелкозернистой β -структуры;
- регламентированная деформация в ($\alpha + \beta$)-области без последующих нагревов, что обеспечивает сохранение эффекта ВТМО, улучшение состояния границ зерен и внутривзеренной структуры.

Сплавы VT23, VT23М, VT43 и VT6ч и др., обработанные давлением по данной технологии, имеют высокую прочность и трещиностойкость при высокой стабильности механических свойств. По результатам исследований разработаны инструкции по производству и применению титановых сплавов VT23, VT23М (ПИ1.2.107—2006) и VT43 (ПИ.1.2.744—2006). Следует особо отметить, что при нагреве перед правкой в области температур, близких к температуре полиморфного превращения, происходит огрубление структуры и исключается положительный эффект ВТМО. Это приводит к резкому снижению эксплуатационных характеристик, особенно тех, которые достигаются только при проведении ВТМО. Деформация слитка в одном направлении (без всесторонних ковок) приводит к большой химической и структурно-фазовой неоднородности, а также

Таблица 2

Материал	Вид термической обработки	σ_B , МПа	σ_{BK}/σ_B	σ_{BK}^H , МПа	σ_{BK}^H/σ_B	КСТ		КСУ	
						МДж/м ²			
Монолитный лист (1,8 мм) из сплава VT23	Отжиг	1250	1,14	1114	0,88	0,22	0,37		
	Закалка + старение	1375	1,1	1017	0,74	0,18	0,23		
VT23 (0,34 мм × 4 слоя) + OT4 (0,1 мм × 5 слоев)	Отжиг	1290	1,27	1219	0,94	0,32	0,47		
	Закалка + старение	1570	1,21	1360	0,87	0,27	0,38		

неоднородности механических свойств по длине полуфабриката при их значительной анизотропии. В этом случае механические свойства образцов, взятых из одной зоны, будут характеризовать свойства лишь данной зоны, а не всего полуфабриката.

Если эффект улучшения структуры и механических свойств при первых всесторонней ковке и фазовой перекристаллизации принять за 100 %, то при последующих второй (повторной) стадии проведения данного процесса эффект улучшения будет составлять около 80 % первой, при третьей — 60 %, четвертой — 40 %.

Исключение одной операции всестороннейковки и одной операции фазовой перекристаллизации уменьшит стоимость полуфабриката на 5 % и стоимость детали на 0,5—1,0 %, при этом ресурс работы конструкций снизится в 2 раза, а возможно, приведет к преждевременному разрушению. Поэтому следует воздержаться от шагов по снижению трудоемкости изготовления полуфабрикатов путем исключения отдельных стадий обработки сплавов давлением. ВИАМ может предложить рекомендации, направленные на дальнейшее повышение однородности химического состава, структурно-фазового состояния и механических свойств титановых сплавов в процессе обработки их давлением, а также на снижение энергоемкости процессов изготовления полуфабрикатов и их термической и термомеханической обработок.

Применение титановых сплавов в авиационной, космической и ракетной технике. Титановые сплавы, разработанные на основе теории легирования термической и термомеханической обработок, а также текстурного упрочнения, успешно применены более чем в 70 конструкциях летательных аппаратов [5—7]. Конструкционный комплексно-легированный титановый сплав ВТ23 применен при создании ракетно-космического комплекса "Энергия — Буран". Общая масса деталей, изготовленных из сплава ВТ23 после ВТМО, составляет 6 т ("Буран") и 14 т ("Энергия"). Из данного сплава изготовлены сотовые панели (фольга), обшивка (листы), шпангоуты, балки, лонжероны и стыковочные узлы (плиты поковок и штамповок) [6].

В космическом корабле "Астрон" сплав ВТ23 использовали для изготовления шаровых баллонов с помощью сверхпластической деформации (СПД), сварки и термического упрочнения. Шаровые баллоны обладают высокой конструкционной прочностью ($\sigma_{\text{вк}} \geq 1250$ МПа) [8]. Баллоны такого типа могут быть изготовлены также с внешним армированием.

В сверхзвуковом пассажирском самолете Ту-144 сплав ВТ6ч использован при изготовлении монолитных и сварных конструкций. Общая масса деталей, изготовленных из конструкционных титановых сплавов, составляет 7,5 т (балки, кронштейны, перегородки и др.).

В маневренном самолете Су-21 монолитные и сварные силовые конструкции изготовлены из сплава ВТ20. Для изготовления люков и обшивки применен сплав ОТ4-1. Подвески ракет специального назначения сделаны из сплава ВТ14 в термически упрочненном состоянии, при этом масса узлов ракет, выполненных из сплава ВТ14, составляет 90 % общей массы.

В гидросамолете Бе-200 эффективно используется ряд титановых сплавов, в том числе и сплав ВТ23, в сварных конструкциях.

Сплав ВТ23 применен при высокой весовой эффективности для изготовления шасси спортивного самолета Су-29, а также шасси Су-26, Су-31, Су-31м, Су-31ск, Як-54 и Як-55. Из данного сплава с применением высокоскоростной закалки и старения изготовлены шасси рессорного типа ($\sigma_{\text{в}} \geq 1250$ МПа), а также изготовлены хвостовые шасси и закладные элементы для композиционных конструкций.

Сплавы ВТ14 и ВТ6с в термически упрочненном состоянии применены в космическом аппарате "Луна" и спускаемом аппарате "Луна", что обеспечило снижение массы на 40 кг. При создании космических и спускаемого аппаратов "Марс" использовали сплавы ВТ14, ВТ16, ВТ6с при высокотемпературной термомеханической обработке, местном отжиге сварных соединений, находящихся в утолщенных зонах, что позволило снизить массу аппарата на 300 кг.

Для изготовления космических и спускаемого аппаратов "Венера" применены сплавы ВТ14 и ВТ6с, а также присадочная проволока для сварки ВТ2св и различные методы упрочняющей термической и термомеханической обработки, что обеспечило снижение массы аппарата на 250 кг. В спускаемом аппарате "Венера" масса титановых конструкций составляет 96 %, что является максимальным при использовании титановых сплавов в конструкциях.

Таким образом, в процессе научной и практической работы по проблеме "Конструкционные и специальные титановые сплавы" сотрудниками ВИАМа под руководством автора статьи решены следующие задачи и разработаны:

- теория комплексного макро- и микролегирования титановых сплавов;
- серия комплексно-легированных высокопрочных свариваемых титановых сплавов универсального применения;
- теория легирования присадочных материалов для сварки титановых сплавов;
- серия присадочных материалов, обеспечивших высокую прочность сварных соединений;
- основы термической обработки конструкционных титановых сплавов и созданы новые процессы двух-, трех- и четырехстадийной упрочняющей термической обработки с использованием высокоскоростной и градиентной закалки;

— теория термомеханической обработки титановых сплавов и различные технологические схемы и способы осуществления ТМО;

— технологические процессы низкотемпературной, высокотемпературной, предварительной и комбинированной, термомеханической обработки, обеспечивающие повышение конструкционной прочности и трещиностойкости на 20—40 %;

— теория текстурного упрочнения титановых сплавов, практическая реализация которой обеспечила повышение коэффициента запаса конструкционной прочности и надежности работы конструкций;

— новые процессы изготовления полуфабрикатов, обеспечивающие заданную кристаллографическую текстуру и повышение прочности при двухосном растяжении на 15—40 %;

— перспективные направления создания композиционных материалов на основе титана и достигнута удельная прочность $\sigma_{Вк}/\gamma = 48\div 50$ км;

— теория создания слоистых композиционных материалов на основе титана и достигнута ее практическая реализация при изготовлении малочувствительных к поверхностным дефектам материалов;

— создание заданной кристаллографической текстуры, субструктуры, макро- и микроструктуры, что обеспечило заданный уровень механических свойств и эксплуатационных характеристик сплавов ВТ23 ($\sigma_B \geq 1100$ МПа), ВТ23М ($\sigma_B \geq 1150$ МПа) и ВТ43 ($\sigma_B \geq 1250$ МПа), а также сплавов ВТ5-1, ВТ6, ВТ14, ВТ15, ВТ19, ВТ18У, ВТ38 и др.;

— определены служебные характеристики конструктивных титановых сплавов ВТ23, ВТ23М, ВТ43, ВТ19, ВТ19-1, ВТ18У, ВТ38 и др.;

— разработаны технологические процессы производства монолитных и сварных конструкций из сплавов ВТ23, ВТ23М, ВТ43, ВТ19, ВТ19-1, ВТ18У, ВТ33 и др.

Приведенные примеры применения разработанных сплавов и процессов в самолетах, космических аппаратах и ракетах свидетельствуют о снижении на 20—30 % массы конструкций, повышении их ресурса работы в 3—5 раз и на 25—35 % эксплуатационной надежности, а также снижении стоимости конструкций на 15—20 %.

Заключение. Направление создания новых титановых сплавов путем применения комплексного макро- и микролегирования в настоящее время является доминирующим, так как обеспечивает получение высоких эксплуатационных свойств основного материала и сварных соединений в конструкциях при температуре от -253 до 600 °С. Сочетанием комплексного макролегирования с микролегированием основного материала и присадочной проволоки можно достичь значительного эффекта при разработке сплавов и сварных конструкций из них. Исследования различных систем сплавов в широком диапазоне легирования по пластической деформации,

термической и термомеханической обработке, текстурному упрочнению, технологии штамповки, в том числе и в условиях сверхпластичности, открыли перспективу более рационального использования титановых сплавов в конструкциях. Эффект улучшения механических свойств обусловлен уменьшением размеров первичных β -зерен, улучшением состояния границ, существенным измельчением внутризеренной структуры, дисперсным равномерным распадом при старении, изменением характера распределения примесей и легирующих элементов, повышением плотности дислокации и уменьшением областей когерентного рассеивания. Наиболее эффективны способы упрочнения, при которых дисперсное упрочнение превалирует над упрочнением фазовым наклепом. Для получения конструктивных титановых сплавов высокой удельной прочности при комнатной и повышенной температуре необходимо сочетание металлургических и технологических факторов воздействия на структуру, специального для титановых сплавов конструирования и технологии изготовления изделий. Такой всесторонний подход может обеспечить более успешное и более широкое применение данных сплавов в современных конструкциях авиакосмической и ракетной техники.

В настоящее время проводятся работы по созданию специальных титановых сплавов для криогенной техники, негорючих и особо высокой коррозионной стойкости. Титановые сплавы ВТ5-1, ВТ5-1кт, ВТ6, ВТ23, ВТ23м можно применять в узлах и деталях, работающих при криогенных температурах.

По научному направлению "Конструкционные и специальные титановые сплавы" под руководством автора статьи разработаны 24 промышленных и 6 опытно-промышленных титановых сплавов, 7 композиционных материалов на основе титана и 230 технологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорев А. И. Комплексное легирование и термомеханическая обработка титановых сплавов. М.: Машиностроение, 1979. 228 с.
2. Хорев А. И. Современные методы повышения конструкционной прочности титановых сплавов. М.: Воениздат, 1979. 256 с.
3. Хорев А. И. Опыт применения титановых сплавов в народном хозяйстве. М.: ЦНИИТЭМС, 1977. 37 с.
4. *Металловедение титана и его сплавов* / С. П. Белов, А. И. Хорев, М. А. Хорев и др. М.: Металлургия, 1992. 352 с.
5. Хорев А. И. Титановые сплавы для авиакосмической техники и перспективы их развития // *Авиационные материалы и технологии*. 2002. С. 11—32.
6. Хорев А. И. Титан — это авиация больших скоростей и космонавтика // *Технологии легких сплавов*. М.: Изд-во ВИЛС, 2002. № 4. С. 92—97.
7. Хорев А. И. Механические свойства сварных соединений ($\alpha + \beta$)- и β -титановых сплавов // *Цветные металлы*. 2006. № 1. С. 77—83.
8. Хорев А. И. Титановый сплав ВТ23 и его сравнение с лучшими зарубежными сплавами // *Титан*. 2006. № 1 (18). С. 47—52.
9. Хорев М. А. Структурно-фазовое состояние и надежность сварных соединений титановых сплавов. М.: НПО "ВИАМ". 1991. 107 с.

Г. Г. КРУШЕНКО, д-р техн. наук, А. Е. БУРОВ, канд. техн. наук
Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск)

Влияние литниково-питающей системы на механические свойства литых деталей транспортных средств¹

При получении литых деталей двигателей в случае невозможности оценки уровня их механических свойств на "прилитых" или вырезанных из тела отливок образцах эти испытания проводят на отлитых одновременно с заливаемой деталью испытательных образцах-свидетелях. Однако на одних предприятиях для получения таких образцов используют горизонтальную заливку, на других — вертикальную, причем такое отличие предусмотрено соответствующей заводской технической документацией. В настоящей работе представлены результаты исследований влияния устройства литниково-питающей системы на уровень механических свойств литых изделий, изготовленных из различных сплавов.

Исследования влияния положения испытательных образцов в металлической форме (кокиле) на механические свойства широко распространенного в двигателестроении конструкционного алюминий-кремниевый сплав АК7ч проводили на стандартных поплавоочных образцах с диаметром рабочей части 12 мм. Образцы обоих типов испытывали без обточки поверхности за исключением места отрезки питателей.

В результате испытаний установлено, что временное сопротивление σ_B вертикально отлитых образцов (в термообработанном состоянии по режиму T5) в среднем составляет 225 МПа, а горизонтально отлитых — 238 МПа, относительное удлинение δ также больше у горизонтальных образцов — соответственно 3,3 и 6,2 %. Твер-

дость по Бринеллю, измеренная в одиннадцати точках по всей длине образцов, оказалась постоянной, но в случае вертикально отлитых она составила 688 МПа, тогда как горизонтально отлитых — 724 МПа. Более высокий уровень механических свойств горизонтально отлитых образцов объясняется спецификой заполнения полости литейной формы и лучшими условиями питания в процессе кристаллизации металла, что подтверждается более высокими значениями плотности.

Плотность образцов, вырезанных из обеих головок горизонтальных образцов, практически одинаковая по всей длине, а для вертикального варианта она на 0,31 % больше у образцов из нижних головок. В работе [1] установлено, что плотность алюминиевых сплавов той же системы, что и сплав АК7ч (Al—Si) отражает наличие в отливках несплошностей газового, усадочного и газово-усадочного происхождения, и ее величина коррелирует с уровнем механических свойств, что и имеет место в данном случае. Так, изучение продольного осевого сечения испытательных образцов диаметром 12 мм выявило наличие в верхней головке вертикально отлитых образцов концентрированную усадочную раковину глубиной 10,5 мм, на 7,0 мм ниже которой располагается зона усадочной рассеянной пористости. В целом верхняя головка поражена усадочными дефектами на глубину до 30 мм, что составляет 21,4 % высоты головки (до механической обработки). В рабочей части образца усадочные и другие дефекты отсутствовали.

Изучение конструкции литниково-питающих систем (ЛПС) кокилей обоих типов показало их существенное различие (рис. 1). Так, в горизонтальном кокиле распола-

гается один образец массой 0,125 кг, заливка образца и его питание в период кристаллизации осуществляются с помощью конической прибыли массой 0,675 кг с подводом металла в каждую головку вертикальным щелевидным питателем с площадью сечения, равной $7,57 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ (суммарная площадь $15,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$), а также в рабочую часть питателем с площадью сечения $4,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. В вертикальном кокиле располагаются два образца, каждый массой 0,165 кг. Металл подводится к обеим головкам с помощью щелевидных вертикальных питателей с площадью сечения каждого $2,52 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ (суммарная площадь $5,04 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$) от двух щелевидных вертикальных металлопроводов. Масса ЛПС составляет 0,85 кг. Длина горизонтальных образцов 200 мм, что соответствует требуемому конечно-

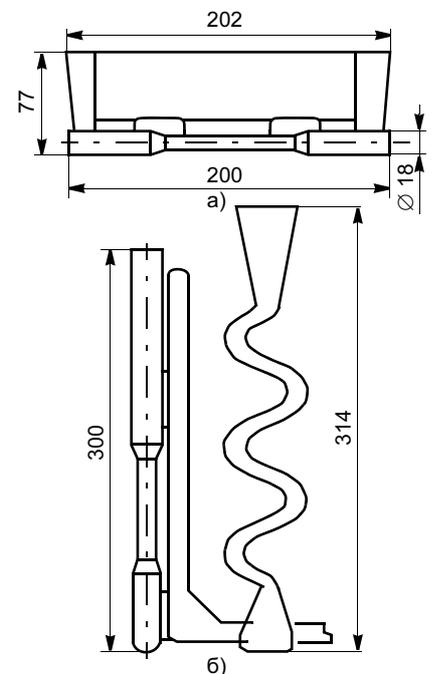


Рис. 1. Горизонтально (а) и вертикально (б) отлитые в кокиль образцы для испытания механических свойств

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН "Разработка методов получения новых химических веществ и создание новых материалов" (проект 8.23) и РФФИ (№ 06-08-00477).

му размеру, длина вертикального 300 мм за счет большей длины верхней головки, обеспечивающей питание кристаллизующегося образца.

Таким образом, при использовании вертикально отлитых образцов уровень механических свойств сплава снижается, что может привести к выбраковке всей партии деталей. Влияние ЛПС на качество отливок подтвердилось при литье поршней из сплава АК9М2.

При массовом производстве на автозаводах поршни обычно получают литьем в кокиль с вертикальным разъемом при расположении детали донным концом вниз. Внутренняя поверхность поршня обычно оформляется разъемным выемным стержнем. Заливка и питание отливки в процессе кристаллизации осуществляются с помощью вертикальной щелевой ЛПС при подводе металла по боковой цилиндрической поверхности стенки поршня. Причем масса ЛПС доходит до 50 % массы отливки (рис. 2). Исследование было проведено на поршнях одной из модификаций автомобиля "Икарус" (высота поршня 60 мм, диаметр 76,5 мм, толщина донны 6,3 мм).

В отличие от описанной выше общепринятой ЛПС в разработанной технологии ЛПС практически отсутствует. Металл заливают через стояк, расположенный на "юбке" поршня (рис. 3). Песчаный стержень для оформления внутренней полости поршня изготовили из химико-твердеющей смеси. Термическую обработку отливок производили по режиму Т6. Измеренная по доннышке твердость НВ в среднем составила 1210 МПа, что на 27 % превышает требования

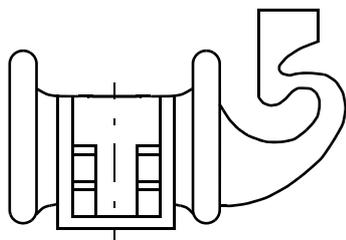


Рис. 2. Типичная щелевая литниково-питающая система, применяемая при литье поршней

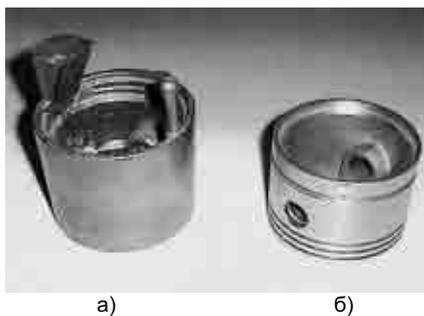


Рис. 3. Отливка поршня (а) и готовый поршень (б)

ГОСТ 1583—89. Ввиду невозможности изготовления из поршней разрывных образцов по методике работы [2] рассчитали σ_B (248 МПа), что также на 27 % выше требуемый указанный ГОСТа. При этом черновая масса литого поршня вместе с ЛПС, литейными допусками и припусками на механическую обработку (0,13 кг) всего на 11 % превышает массу детали в механически обработанном состоянии (0,28 кг). Кроме того, исключение щелевого подвода металла существенно уменьшает трудоемкость механической обработки (исключается операция отрезания щелевого подвода с одной стороны поршня и такой же щели с его противоположной стороны) отливки.

При исследовании обработанных поверхностей и микроструктуры поршней установлено полное отсутствие газовой пористости. Известно, что при поражении отливок из алюминиевых сплавов пористостью снижаются механические свойства, а в случае работы под давлением и герметичность. Излом стенки и доннышки поршня показал картину вязкого разрушения, а угол изгиба фрагмента стенки поршня до его разрушения составил 65° , что свидетельствует о высокой вязкости разрушения и пластичности, связанными с высокой степенью измельчения эвтектики (подтверждено в процессе исследования микроструктуры).

Влияние конструкции ЛПС было изучено и при литье из труднообрабатываемых жаропрочных сплавов типа ЖС и ЭИ детали типа диск, которая представляет высокоточную деталь сложной геомет-

рии, сочетающую массивный (обод) и тончайшие (лопатки) элементы сложной геометрии. В связи с тем, что эти детали работают в условиях высоких силовых и тепловых нагрузок к их качеству предъявляются повышенные требования (практически полное отсутствие любых литейных дефектов), которые могут быть выполнены при их изготовлении единственным возможным для этого случая способом — литьем по выплавляемым моделям.

В связи с этим была проведена следующая работа. Известно, что на качество литых изделий влияет значительное количество факторов и одним из эффективных способов количественной оценки этого влияния является метод экспертных оценок [3], основанный на априорном выявлении влияния отдельных факторов на возникновение того или иного дефекта. С этой целью была разработана анкета экспертных оценок [4], в которой приведены выявляемые на детали дефекты, принятые за функции — суммарный брак по ним достигал почти 100 %. В качестве независимых факторов, являющихся возможными причинами появления этих дефектов, были взяты отмеченные в технологии параметры литья. Все число экспертов было разделено на пять групп по служебному признаку: каждый эксперт, полагаясь на свой опыт, внес в анкету соответствующие числовые ранги в графах, показывающих с его точки зрения связь рассматриваемого фактора с каким-либо дефектом. При заполнении анкет не допускалось повторение числовых рангов по виду дефекта, за исключением случаев, когда группа факторов присваивался соответствующий средний ранг, который вычислялся как среднее арифметическое группы:

$$\bar{a}_i = \frac{\sum_{n=x_k}^{x_p} a_n}{(x_p - x_k - 1)}$$

В результате проведения соответствующей математической

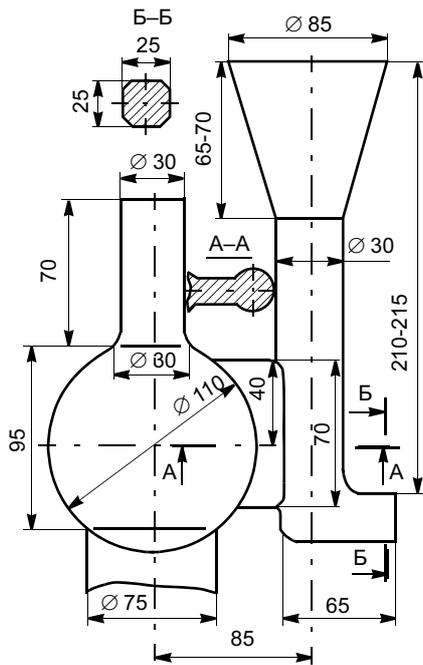


Рис. 4. Разработанная литниково-питающая система для литья детали типа диск

обработки анкет было установлено, что большую часть дефектов эксперты отнесли на счет конструкции ЛПС. После чего были изменены некоторые элементы (рис. 4), и последующее ее применение (рис. 5) обеспечило 100 %-ную годность отливок как по рентгеновскому просвечиванию, так и результатам других методов (пять видов) контроля. Кроме того, в результате уменьшения размеров ЛПС расход дорогостоящих сплавов уменьшился на 20—25 %.



Рис. 5. Отливка детали типа диск

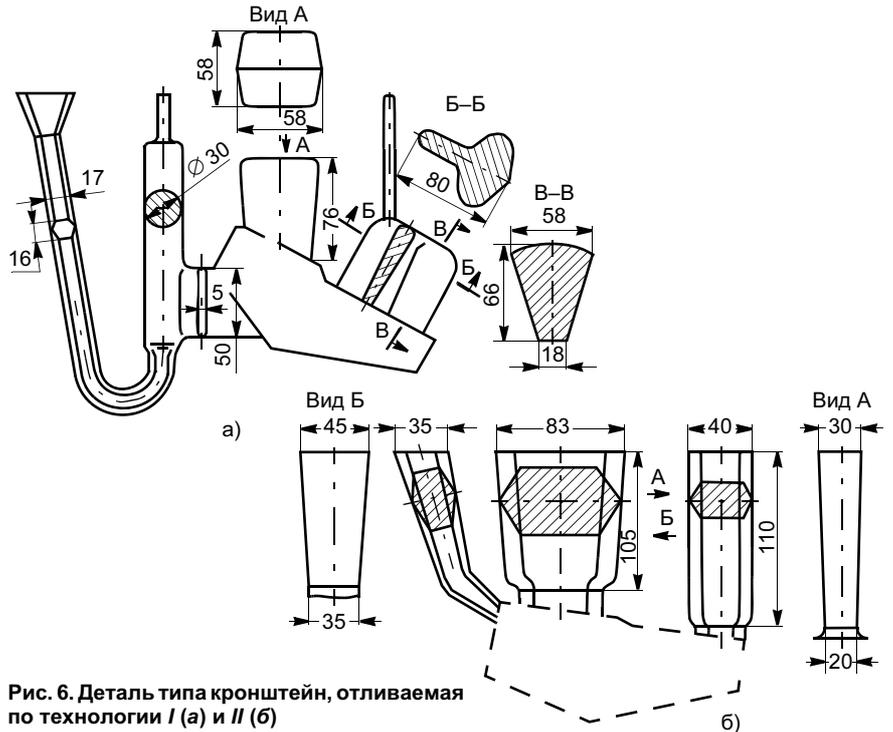


Рис. 6. Деталь типа кронштейн, отливаемая по технологии I (а) и II (б)

Наконец, еще в одном случае подтвердилось существенное влияние ЛПС на качество ответственной отливки транспортного средства — детали типа кронштейн, отливаемой на двух разных предприятиях из сплава АК7 в кокиль (рис. 6). По условной технологии литья I была принята щелевая ЛПС с подводом металла через наклонный стояк в вертикальный цилиндрический металлоприемник в нижнюю часть отливки вертикальной щелью. Кокиль в процессе заливки находился в стационарном состоянии. При литье детали по технологии II кокиль кантовали на 30—45° и заливку производили в стояк, подводящий металл в верхнюю часть отливки. В обоих случаях массивные узлы отливки подпитывали прибылями. Испытание механических свойств отливок производили после термической обработки по режиму Т6 на вырезанных из них образцах (по 100 шт. от деталей, отлитых по разным технологиям). Результаты испытаний показали, что детали, отлитые по технологии II, имеют более высокий уровень механических свойств. Так, если $\sigma_{\text{ср}}$ деталей, отлитых по технологии I, составляет 275 МПа,

то по технологии II — 305 МПа (больше на 10,9 %), соответственно $\delta_{\text{ср}}$ составляет 2,5 и 5,5 % (больше в 2,2 раза).

Изучение всех факторов, которые могли бы влиять на механические свойства отлитых деталей, показало, что главным из них является устройство ЛПС: по технологии II осуществляется направленная кристаллизация металла с хорошей подпиткой затвердевающих слоев от массивных прибылей, что обеспечивает получение отливок с меньшим количеством усадочных дефектов, а соответственно лучшими механическими свойствами литых деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крушенко Г. Г., Василенко З. А. Плотность и механические свойства силуминов, термически обработанных в жидком состоянии // Расплавы. 1988. Т. 2. № 6. С. 67—69.
2. Мишин А. С., Крушенко Г. Г., Хачатрян Н. В. Технология производства литых алюминиевых поршней // Технология машиностроения. 2002. № 4. С. 6—9.
3. Элти Дж., Кумбс М. Экспертные системы: концепции и примеры. М.: Финансы и статистика. 1987. 191 с.
4. Анализ дефектов отливок методом экспертных оценок / И. И. Кокшаров, Г. Г. Крушенко, С. И. Торшилова, С. Г. Крушенко // Заводская лаборатория. 2000. Т. 66. № 5. С. 64—66.

В. С. ИВАНОВ, канд. техн. наук, Н. Н. ЗУБКОВ, д-р техн. наук, Д. В. ИВАНОВ, студент
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Параметрический синтез технологической схемы при получении щелевых структур вращающимся лезвийным инструментом

Одним из основных параметров, требующих аналитической оценки, при разработке процесса фрезерования трубчатых заготовок для получения фильтрующих труб методом деформирующего резания является длина щели l (рис. 1). Цель данной работы — выявление и анализ функциональной взаимосвязи геометрических параметров криволинейной прорезаемой щели с геометрическими параметрами схемы технологического зацепления и кинематическими параметрами обработки.

Одна из задач синтеза заключается в определении необходимого межцентрового расстояния A (см. рис. 1, 2) между центрами детали O_d и инструмента O_i при заданных угловых скоростях вращения детали ω_d и инструмента ω_i и требуемой длине l прорези (щели).

Зададим внешнюю схему технологического зацепления детали и инструмента. Математическая модель процесса циклоидального формообразования щели (прорези) в графическом виде приведена на рис. 2 и отражает траекторию формообразования S . Модель разработана на векторном представлении схемы технологического зацепления детали и инструмента и вращательных формообразующих движений.

Первая задача синтеза сводится к определению межцентрового расстояния A при заданных ρ , l , R_i .

В аналитическом виде математическая модель, функционально взаимосвязывающая геометрические параметры щели (радиус ρ поверхности, на которой расположена щель и центральный угол φ) с геометрическими параметрами схемы технологического зацепления и кинематическими параметрами формообразующих движений, может быть представлена уравнением (1)

$$\rho = R_d \left[1 - \frac{1}{2} (i_1^{-1} - 1) \left(\frac{\varphi}{1 - i_1^{-1}} \right)^2 \right], \quad (1)$$

где R_d — координата расположения полюса технологического зацепления относительно центра O_d детали, принятого за начало полярной системы координат (см. рис. 1), равная $A + R_i$ (A — вектор расположения центра инструмента O_i относительно начала координат O_d , направленный из точки O_d в точку O_i и численно равный межцентровому расстоянию A); R_i — координата расположения полюса ρ относительно центра O_i инструмента, численно равная радиусу инструмента; для схемы внешнего технологического зацепления $R_i < 0$); i_1 — гео-

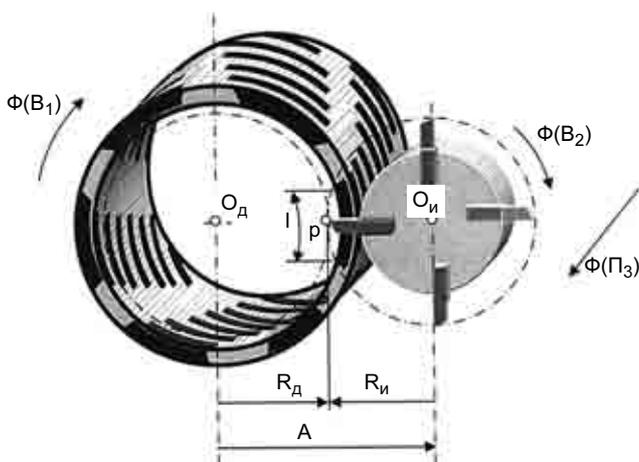


Рис. 1. Технологическая схема многолезвийной обработки в режиме встречного резания

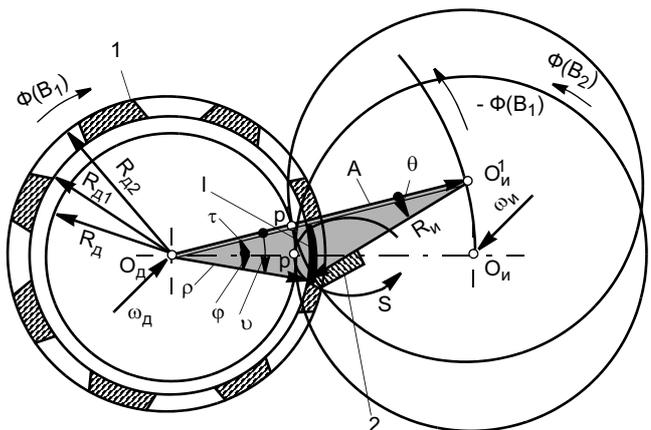


Рис. 2. Модель формообразования прорези для режима попутного резания (S — траектория формообразования, l — длина прорези по внутренней поверхности, φ — угол-координата формообразования): 1 — деталь; 2 — инструмент

метрическое передаточное отношение схемы технологического зацепления, равное $\frac{R_{и}}{R_{д}}$; φ — центральный угол отклонения радиуса-вектора формообразования ρ от начала координат (положение на оси центров) в положении вершины резца на внутренней или внешней окружности профиля детали; I — передаточное отношение окружных (линейных) скоростей инструмента и детали, равное $\frac{v_{и}}{v_{д}} = \frac{i_1}{i}$ (i_1 — кинематическое передаточное отношение угловых скоростей вращения детали и инструмента, равное $\frac{\omega_{д}}{\omega_{и}}$).

Расчет проводили по минимальному значению длины щели, определяющему проходное сечение фильтра, поэтому для принятой схемы технологического зацепления текущее значение радиуса формообразования принимается равным радиусу внутренней окружности сечения трубы $\rho = R_{д1}$.

После преобразований выражения (1) получим зависимость для расчета межцентрового расстояния:

$$A = \frac{R_{д1}}{1 - \frac{1}{2}(i_1^{-1} - 1) \frac{\varphi^2}{(1 - I^{-1})^2}} - R_{и}. \quad (2)$$

Исходя из выражения (1) и рис. 1, имеем

$$i_1 = \frac{R_{и}}{R_{д}} = \frac{R_{и}}{A + R_{и}};$$

$$I = \frac{v_{и}}{v_{д}} = \frac{i_1}{i} = \frac{R_{и}}{(A + R_{и})i}. \quad (3)$$

При подстановке i_1 и I из зависимостей (3) в выражение (2) получим рекуррентную функцию относительно параметра A , в которой выразить параметр A в явном виде не представляется возможным. Поэтому для определения A используем один из численных методов — метод итераций (последовательных приближений). Его суть заключается в том, что одной из переменных, например A в правой части уравнения, присваивается индекс j , а в левой — $(j + 1)$.

Тогда уравнение (2) с учетом зависимостей (3) будет иметь вид

$$A_{j+1} = \frac{R_{д1}}{1 - \frac{1}{2} \left(\frac{A_j + R_{и}}{R_{и}} - 1 \right) \frac{\varphi^2}{\left(1 - \frac{i(A_j + R_{и})}{R_{и}} \right)^2}} - R_{и}. \quad (4)$$

В качестве начального значения принимали текущее значение $A_j = R_{д1} - R_{и}$.

После вычисления A_{j+1} по формуле (4) определим относительную погрешность вычислений

$$\Delta = \left| \frac{A_{j+1} + A_j}{A_{j+1}} \right|. \quad (5)$$

Далее проводили сравнение с допустимой погрешностью $[\Delta]$ и, если $\Delta > [\Delta]$, то вычисленному следующему значению A_{j+1} присваивали индекс текущего значения A_j и далее реализовали следующую вычислительную итерацию. Итерационные циклы продолжают до тех пор, пока в логической операции сравнения справедливо указанное выше неравенство. При отрицательном результате сравнения расчет прекращали и распечатывали последний результат вычислений A_{j+1} , который обеспечен заданной точностью расчета.

При заданных $\rho_1 = R_{д1} = 22$ мм (внутренний радиус трубы), $R_{и} = -95$ мм (внешняя схема технологического зацепления), угловых скоростях вращения $\omega_{д} = 2\pi 500$ рад/мин, $\omega_{и} = -2\pi 500$ рад/мин при попутном резании; $\omega_{и} = 2\pi 500$ рад/мин при встречном резании, требуемой длине прорези $l = 10$ мм, относительной допустимой погрешности вычислений $[\Delta] = 0,005$ значения межцентрового расстояния, геометрического и кинематического передаточных отношений составляют:

для попутного резания

$$A_j = 115,921 \text{ мм}; i_{1j} = -4,551; I_{1j} = 4,551;$$

для встречного резания

$$A_j = 116,548 \text{ мм}; i_{1j} = -4,409; I_{1j} = -4,409.$$

По результатам расчета числовая и графическая интерпретации функциональной зависимости межцентрового расстояния A от кинематического передаточного отношения i , необходимого для обеспечения прорезей различной длины l , приведены в табл. 1 и на рис. 3.

Из приведенной на рис. 3 зависимости следует, что для получения прорези одинаковой длины в условиях попутного резания необходимо обеспечивать меньшее межцентровое расстояние, чем при встречном резании. Кроме того, с приближением значения кинематического передаточного отношения i к значению геометрического передаточного отношения i_1 , что соответствует режиму попутного резания, изменение функции $A = F(i)$ становится более быстрым.

Вторая задача синтеза заключается в определении кинематического передаточного отношения i , обеспечивающего требуемую длину l прорези при заданных геометрических параметрах схемы зацепления $R_{д1}$, A , $R_{и}$, i_1 .

Преобразуя зависимость (1), получаем

$$\left(\frac{\varphi}{i_1 - i}\right)^2 = \frac{1 - \frac{\rho}{R_d}}{\frac{1}{2}(1 - i_1)i_1} \quad (6)$$

Таблица 1

i	l, мм				
	2	5	10	15	20
	φ, рад				
	0,045	0,114	0,227	0,341	0,455
4		116,956 j = 1	116,804 j = 2	116,590 j = 2	116,256 j = 2
3		116,934 j = 1	116,761 j = 2	116,463 j = 2	116,053 j = 2
2		116,919 j = 1	116,675 j = 2	116,297 j = 2	115,735 j = 2
1		116,821 j = 1	116,548 j = 2	116,012 j = 2	115,258 j = 2
0		116,825 j = 2	116,328 j = 2	115,542 j = 2	114,456 j = 2
-1	116,952 j = 1	116,718 j = 2	115,921 j = 2	114,784 j = 3	113,472 j = 5
-2	116,901 j = 1	116,442 j = 2	115,147 j = 3	112,725 j = 5	111,988 j = 11
-3	116,718 j = 2	115,657 j = 4			
-4	115,396 j = 13				

Обозначения: j — количество итераций вычислительного процесса, необходимых для обеспечения требуемой точности вычислений [Δ] = 0,005; ВР, ПР — встречное и попутное резание соответственно.

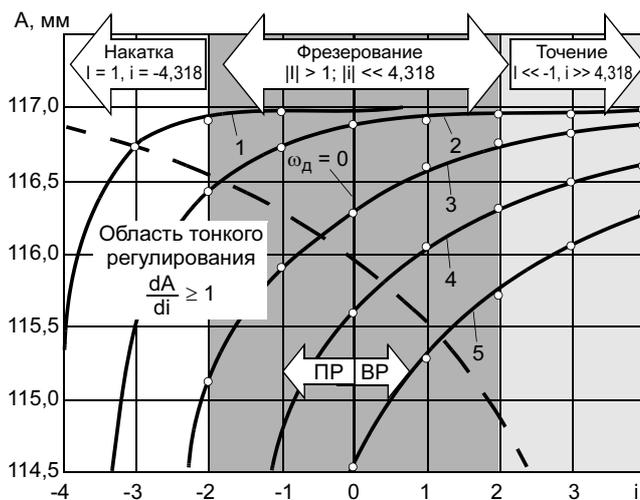


Рис. 3. Зависимость межцентрового расстояния A от кинематического передаточного отношения i: l равна 2 (1), 5 (2), 10 (3), 15 (4) и 20 (5) мм соответственно

После дальнейших преобразований можно выразить кинематическое передаточное отношение в явном виде

$$i = i_1 - (\pm \varphi) \sqrt{\frac{\frac{1}{2}(1 - i_1)i_1}{1 - \frac{\rho}{R_d}}} \quad (7)$$

где φ — центральный угол, определяемый половиной дуги прорези по внутренней окружности, равный $\frac{l}{2R_{d1}}$ (рад); ρ — текущий радиус формообразования, равный радиусу внутренней поверхности, по которой задается длина прорези, равный R_{d1} .

Знак "+" соответствует укороченной форме циклоиды, знак "-" — удлиненной. При заданных $R_{d1} = 22$ мм (внутренний диаметр трубчатой заготовки), $R_i = 95$ мм (радиус инструмента), внешней схеме зацепления, требуемой длине щели по внутренней окружности профиля детали $l = 10$ мм, межцентровом расстоянии $A = 116,5$ мм значения межцентрового расстояния, кинематические передаточные отношения составляют:

для попутного резания (режим точения)
 $i = -9,565; l = 0,462;$
 для встречного резания (режим фрезерования)
 $i = 0,727; l = -6,078.$

Сопоставление результатов расчета показывает, что обеспечение одинаковой по длине прорези в условиях попутного и встречного резания достигается на порядок различным соотношением частот вращения детали и инструмента. Различие столь существенно, что приводит к аналогичному различию в соотношении окружных скоростей и, более того, — к различным методам обработки (точению или фрезерованию).

Функциональная зависимость кинематического передаточного отношения i, необходимого для обеспечения прорезей различной длины l при различных значениях межцентрового расстояния A, приведена в табл. 2 и на рис. 4.

Из приведенной зависимости следует, что при внешней схеме технологического зацепления для обеспечения прорези одинаковой длины при увеличении межцентрового расстояния необходимо увеличивать абсолютную величину кинематического передаточного отношения как в режиме встречного, так и попутного резания.

При режимах фрезерования по сравнению с режимами точения наблюдаются более короткие щели. Минимальная (нулевая) длина щели наблюдается при абсолютном равенстве геометрического и кинематического передаточных отношений, что соответствует режиму накатки.

Таблица 2

l, мм	A, мм							
	111	112	113	114	115	116	116,5	117
Для укороченной формы формообразующей циклоиды								
2	-4,476	-4,709	-4,753	-4,815	-4,917	-5,141	-5,453	-∞
5	-5,016	-5,145	-5,254	-5,411	-5,667	-6,227	-7,009	-∞
10	-5,699	-5,865	-6,082	-6,394	-6,902	-8,019	-9,576	-∞
15	-6,345	-6,591	-6,917	-7,386	-8,149	-9,827	-12,166	-∞
20	-6,989	-7,317	-7,752	-8,378	-9,396	-11,635	-14,756	-∞
Для удлиненной формы формообразующей циклоиды								
2	-4,162	-4,129	-4,085	-4,023	-3,921	-3,627	-3,385	+∞
5	-3,776	-3,693	-3,584	-3,497	-3,172	-2,611	-1,829	+∞
10	-3,139	-2,973	-2,756	-2,444	-1,936	-0,819	+0,738	+∞
15	-2,493	-2,247	-1,921	-1,452	-0,689	+0,989	+3,328	+∞
20	-1,849	-1,521	-1,086	-0,460	+0,558	+2,797	+5,914	+∞

Примечание: зачерненная область соответствует зоне встречного резания, светлая — зоне попутного резания.

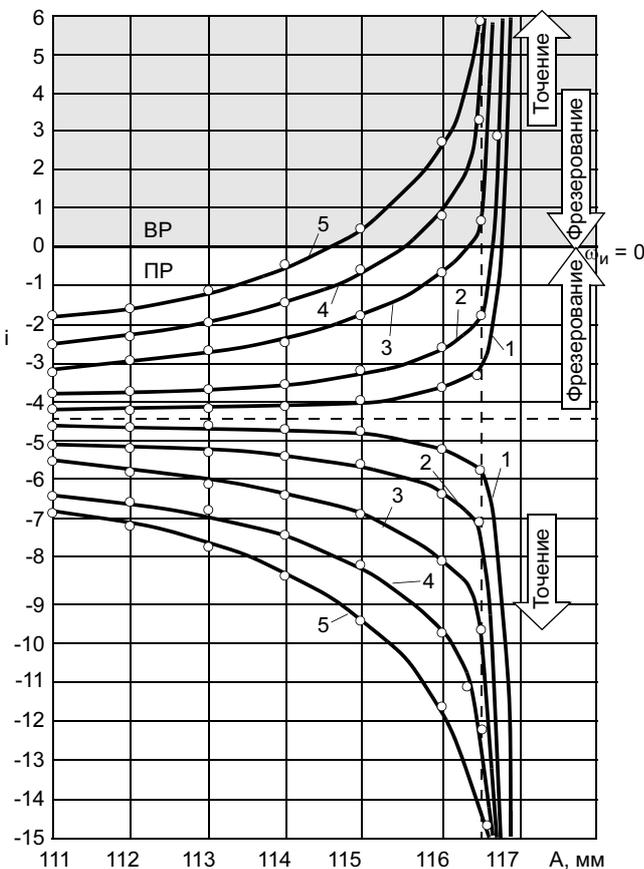


Рис. 4. Зависимость кинематического передаточного отношения i от межцентрового расстояния A : 1—5 — см. рис. 3

При одинаковых параметрах схемы технологического зацепления и методах обработки при попутном резании обеспечиваются более короткие прорезы, чем при встречном.

При одинаковом межцентровом расстоянии для получения прорези одной и той же длины необходимо обеспечивать в условиях попутного резания

отношение частот вращения детали и инструмента большее, чем при встречном резании.

ВЫВОДЫ

1. При одинаковом соотношении частот вращения для получения одинаковой длины прорези при попутном резании необходимо обеспечивать меньшее межцентровое расстояние, чем при встречном.
2. При одинаковом межцентровом расстоянии увеличение требуемой длины прорези приводит к росту кинематического передаточного отношения.
3. Более короткие щели соответствуют режимам фрезерования, при этом радиус кривизны относительно центра детали имеет отрицательные значения. Минимальная (практически нулевая) длина щели наблюдается в режиме накатывания.
4. При одинаковом межцентровом расстоянии для получения прорези одной и той же длины необходимо обеспечивать в условиях попутного резания большее отношение частот вращения детали и инструмента, чем при встречном резании.
5. По исходным данным примера отношение окружных скоростей инструмента и детали в полюсе зацепления для условий попутного резания существенно меньше по абсолютной величине, чем для условий встречного резания.
6. При встречном резании чувствительность функции $i = F(A)$ начинает существенно возрастать в области фрезерования, а при попутном — в области точения, что определяет соответствующие области кинематической настройки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугров Я. С., Никольский С. М. Элементы линейной алгебры и аналитической геометрии. М.: Наука, 1980. 176 с.
2. Корн Г., Корн К. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1974. 832 с.

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

Технологическое обеспечение высоких точностных требований к размерам и форме наружных цилиндрических поверхностей

При формообразовании резанием наружных цилиндрических поверхностей упругие деформации технологических систем (ТС) под действием сил резания порождают погрешности размеров и форм образующихся поверхностей [1—7]. При этом отклонения форм сопряженных поверхностей оказывают значительное негативное воздействие на функциональные свойства машин, причем часто большее, чем погрешность их размеров.

Одним из эффективных средств достижения высоких точностных требований к форме цилиндрических поверхностей является способ, основанный на установлении и реализации такого изменения размера статической настройки $A_{cр}$, равного расстоянию от вершины резца до оси недеформированной заготовки, которое в ходе обработки обеспечивало бы постоянство текущих значений получаемого радиального размера $A_{ф}$, соответствующего рабочему настроечному размеру A_p — размеру, к получению которого стремятся при настройке [8]. В дальнейшем A_p будем считать заданной величиной, значение которой находится в пределах поля допуска на выдерживаемый радиальный размер A .

Анализ работ, ориентированных на повышение точности формообразования цилиндрических поверхностей, показывает, что по своей сути к указанному приему сводятся известные как способ, основанный на построении предсказанной статической траектории движения резца [1—3, 5, 7], так и способы, связанные с преднамеренным смещением в поперечном направлении задней опоры обрабатываемой заготовки, выполняемым или одноразово, перед началом обработки, или периодически во время обработки по мере перемещения резца от задней опоры к передней [4—7]. В этих способах текущие значения размера статической настройки (предсказания) определяются из одних и тех же соображений; различие заключается лишь в средствах, используемых для реализации рекомендуемого закона изменения размера статической настройки по длине обработки. Вполне естественно, что эти средства реализации ограничены возможностями соответствующего технологического оборудования.

Большие возможности современных станков с ЧПУ по реализации с высокой точностью сложных статических траекторий движения характерной

точки резца и более высокие точностные требования к цилиндрическим поверхностям предъявляют соответственно более высокие требования к уровню познания закономерностей тех методов, которые предполагают использование станков с ЧПУ для обеспечения точностных требований.

Цель данной работы — изучение закономерностей указанных выше методов и определение резервов для повышения точности формообразования цилиндрических поверхностей. Сущность подходов данных методов к определению текущего значения размера статической настройки $A_{cр}$ проиллюстрируем на основе рассмотрения течения гладкого вала, устанавливаемого в центрах (рис. 1).

Введем понятия об идеальной ТС и номинальной поверхности, а для выражения функциональных связей параметров процесса формообразования поверхностей свяжем с заготовкой систему координат ОХА, приняв для осей ОХ, ОА и линейных размеров изображения заготовки одинаковые масштабы.

Под идеальной ТС будем понимать систему, внешне тождественную соответствующей реальной ТС, построенной для решения той или иной технологической задачи, но отличающуюся от последней лишь тем, что в ней исключено возникновение каких-либо погрешностей обработки. Звенья такой системы должны быть неизменяющимися, не изменяющими своих размеров при изменении темпера-

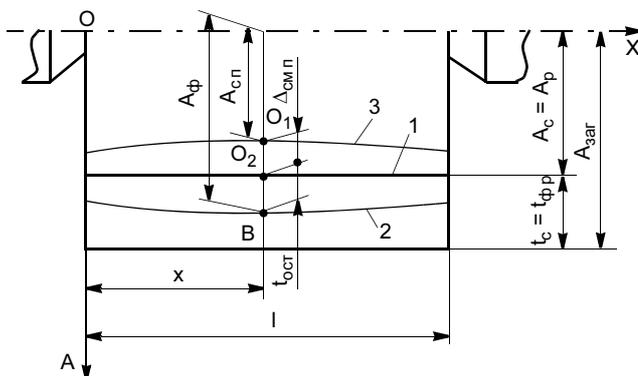


Рис. 1. Схема построения приближенной предсказанной траектории движения инструмента: 1, 2 — образующие соответственно номинальной и реальной поверхностей; 3 — кривая, являющаяся зеркальным отображением кривой 2 относительно прямой 1

туры, без геометрических погрешностей, абсолютно твердыми, а ТС в целом — абсолютно жесткой, вибростойкой и т. п. Перечисленные признаки идеальных ТС говорят о том, что данные ТС могут существовать лишь в воображении, однако оперирование этим понятием облегчит описание механизма формообразования поверхностей в реальных ТС.

Под номинальной (идеальной) будем понимать воображаемую поверхность заготовки или детали, которая должна образоваться в результате функционирования идеальной ТС.

Для получения в идеальной ТС номинальной цилиндрической поверхности с радиальным размером A_p (см. рис. 1) ее следовало бы настраивать на радиальный размер статической настройки $A_c = A_p$. При этом размер A_c в ходе обработки не должен изменяться и, следовательно, закон его изменения будет выражаться прямолинейной образующей 1, параллельной оси стержня и отстоящей от нее на расстоянии $A_c = A_p$.

Если для формообразования цилиндрической поверхности с размером A_p в реальной ТС при ее статической настройке также заложить закон изменения размера статической настройки A_c , соответствующей прямой 1, то точки образующей 2, получаемой при этом реальной поверхности, будут смещены по нормали в сторону увеличения радиального размера относительно соответствующих точек образующей номинальной цилиндрической поверхности с размером A_p на расстояние, определяемое текущей остаточной глубиной резания $t_{ост} = f_1(x)$. Образующая 2 характеризует закон изменения получаемого радиального размера A_{ϕ} по длине обработки, т. е. $A_{\phi} = f_2(x)$.

Согласно работам [1—7], предсказанную траекторию 3 построим путем зеркального отображения образующей 2 реальной поверхности относительно образующей 1 номинальной поверхности.

При таком отображении смещение $\Delta_{см\phi}$ к оси заготовки рассматриваемой точки предсказанной траектории от образующей номинальной поверхности будет равно остаточной глубине резания $t_{ост}$, отвечающей абсциссе x данной точки. В работах [1, 3] утверждается, что если при статической размерной настройке ТС вершине резца заложить движение по статической траектории, определяемой кривой 3 (отметим, что данная кривая также определяет соответствующий закон изменения размера статической настройки $A_{сп}$ по длине обработки), то это позволит существенно компенсировать погрешность формы, порождаемую упругой деформацией ТС под влиянием сил резания, и приблизить точки образующей получаемой поверхности к образующей соответствующей номинальной поверхности.

Рассмотрим частный случай процесса формообразования поверхностей вращения резанием, характеризуемого следующими основными признаками: из силовых факторов на анализируемые явления существенно влияет лишь радиальная составляющая P_y силы резания, поэтому будем учитывать только эту составляющую; в ходе формообразования имеет место пропорциональная зависимость между остаточной глубиной $t_{ост}$ резания и радиальной составляющей силы резания, а также между этой составляющей и фактической глубиной t_{ϕ} резания [1, 9, 10].

При проведении анализа для любого поперечного сечения обрабатываемой поверхности будем считать известными следующие величины: радиальный размер заготовки $A_{заг}$; рабочий настроечный размер A_p ; коэффициент сопротивления материала заготовки резанию C_y ; податливость δ ТС при такой ее конфигурации, при которой вершина резца расположена в плоскости рассматриваемого поперечного сечения.

Геометрические построения, выполненные на основе работы [9] и необходимые для проведения анализа, приведены на рис. 2. Одинаковые символы, используемые на рис. 1 и 2, обозначают одинаковые величины, при этом $\alpha = \arctg \frac{\mu_l}{\mu_p} C_y$, $\beta = \arctg \frac{\mu_p}{\mu_l} \delta$

(где μ_l , μ_p — масштабные коэффициенты изображения, применяемые при графическом представлении величин, выражаемых соответственно в единицах длины и единицах силы [11]).

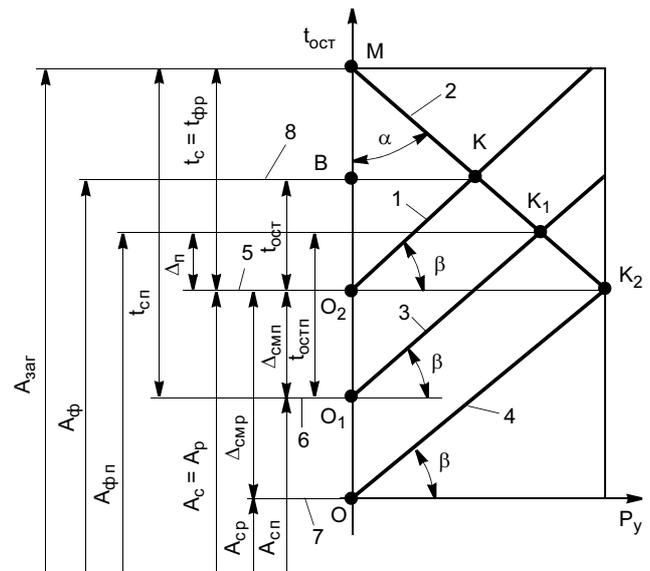


Рис. 2. Схема для проведения сравнительного анализа приближенного и точного решений, устанавливающих закон изменения размера статической настройки по длине обработки

При указанных исходных данных и на основании формулы (8) работы [10] остаточная глубина резания

$$t_{\text{ост}} = Rt_c = Rt_{\text{фр}}, \quad (1)$$

где R — коэффициент пропорциональности, равный $R = K_y / (1 + K_y)$ ($K_y = \delta C_y$); $t_{\text{фр}} = A_{\text{заг}} - A_p$.

При геометрическом построении размер остаточной глубины резания определен точкой K пересечения прямых линий 1 и 2 (выражающих функциональные зависимости соответственно $t_{\text{ост}}$ от P_y и P_y от $t_{\text{ф}}$), на уровне которой нанесена горизонталь 8.

Из свойств зеркального отображения вытекает равенство отрезков O_2B и O_2O_1 (см. рис. 1, 2) и, следовательно, равенство соответствующих величин $t_{\text{ост}}$ и $\Delta_{\text{смп}}$, представляемых этими отрезками, т. е.

$$\Delta_{\text{смп}} = t_{\text{ост}} = Rt_{\text{фр}}. \quad (2)$$

Из методики [1, 3, 5] построения предыскаженной траектории следует, что размер статической настройки, отвечающий точке O_1 (см. рис. 1, 2), расположенной на предыскаженной траектории,

$$A_{\text{сп}} = A_c - \Delta_{\text{смп}} = A_c - t_{\text{ост}} = A_p - Rt_{\text{фр}}. \quad (3)$$

Размеру $A_{\text{сп}}$ на рис. 2 отвечают горизонталь 6, пересекающая ось ординат в точке O_1 , и остаточная глубина резания $t_{\text{остп}}$, определяемая точкой K_1 пересечения графиков 2 и 3. На рис. 2 видно, что образующийся при этом радиальный размер $A_{\text{фп}}$ профиля поперечного сечения, положение которого определяется размером x (см. рис. 1), превышает рабочий настроечный размер A_p на величину

$$\Delta_{\text{п}} = A_{\text{фп}} - A_p = t_{\text{остп}} - \Delta_{\text{смп}} = t_{\text{остп}} - t_{\text{ост}}. \quad (4)$$

Из формулы (8) работы [10] и рис. 2

$$t_{\text{остп}} = Rt_{\text{сп}} = (t_{\text{фр}} + t_{\text{ост}})R.$$

Подставляя значение $t_{\text{остп}}$ в формулу (4) и учитывая соотношение (1), получаем

$$\Delta_{\text{п}} = R^2 t_{\text{фр}}. \quad (5)$$

При обработке конкретной поверхности значение коэффициента R изменяется в пределах от $R_{\text{мин}}$ до $R_{\text{макс}}$, что вызывает при постоянных значениях $t_{\text{фр}}$ и C_y появление погрешности формы

$$\Delta_{\text{ф}} = \Delta_{\text{пмакс}} - \Delta_{\text{пмин}} = (R_{\text{макс}}^2 - R_{\text{мин}}^2) t_{\text{фр}}. \quad (6)$$

При формообразовании конкретной цилиндрической поверхности вполне возможно такое сочетание, при котором $R_{\text{макс}} = 0,3$, а $R_{\text{мин}} \approx 0$. Если учесть, что при чистовом точении значение $t_{\text{фр}}$ может достигать 2 мм [12], то этим данным отвечают наибольшее превышение $A_{\text{фп}}$ над A_p , определяемое по формуле (5): $\Delta_{\text{пмакс}} = 0,18$ мм, и погрешность формы $\Delta_{\text{ф}} \approx 0,18$ мм. Такие последствия корректировки не всегда могут быть достаточными для

обеспечения точностных требований конструкторских документов к параметрам тех или иных цилиндрических поверхностей.

Таким образом, текущая поправка, определяемая по формуле (2) и вносимая в размер статической настройки $A_c = A_p$, не делает получаемый соответствующий текущий размер $A_{\text{фп}}$ равным рабочему настроечному размеру A_p , так как в реальной ТС $0 < R < 1$. К тому же колебание значений R в пределах обрабатываемой поверхности вызывает появление погрешности формы, определяемой по формуле (6).

Вместе с тем данные проведенной корректировки показывают, что для того чтобы получаемый после корректировки размер был равен рабочему настроечному размеру, размер поправки должен быть больше $\Delta_{\text{смп}} = t_{\text{ост}}$. Этот желаемый размер поправки, который обозначим через $\Delta_{\text{смр}}$, может быть найден из условия того, что точка K_2 пересечения прямой 2 (см. рис. 2) и прямой 4, отвечающей $A_{\text{смр}}$ и наклоненной под углом β к оси абсцисс, должна лежать на горизонтали 5, отвечающей размеру A_p . Из геометрических построений на рис. 2 следует, что начало системы координат $OP_y t_{\text{ост}}$, соответствующее графику 4, должно отстоять от горизонтальной линии 5 на расстоянии, соответствующем отрезку OO_2 . Тогда

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{смр}} &= \mu_l OO_2 = \mu_l O_2 K_2 \text{tg} \beta = \mu_l MO_2 \text{tg} \alpha \text{tg} \beta = \\ &= \mu_l MO_2 C_y \frac{\mu_l}{\mu_p} \delta \frac{\mu_p}{\mu_l} = t_{\text{фр}} \delta C_y = K_y t_{\text{фр}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Размер статической настройки, соответствующий смещению $\Delta_{\text{смр}}$, определится, как это видно на рис. 2, по формуле

$$A_{\text{ср}} = A_c - \Delta_{\text{смр}} = A_p - K_y t_{\text{фр}}. \quad (8)$$

Функции (3) и (8) выражают соответственно приближенный и точный законы изменения размера статической настройки по длине обработки. При этом функция (8) теоретически обеспечивает в рамках рассматриваемого частного случая получение в каждом отдельном поперечном сечении радиального размера, равного рабочему настроечному размеру, и нулевую погрешность формы.

Дадим количественную оценку расхождения результатов расчетов величин $\Delta_{\text{смп}}$ и $\Delta_{\text{смр}}$, введя для этого коэффициент $\omega = \Delta_{\text{смр}} / \Delta_{\text{смп}}$. С учетом выражений (7) и (2)

$$\omega = K_y / R,$$

или с учетом обозначений выражения (1)

$$\omega = 1 + K_y = \frac{1}{1 - R}.$$

На рис. 3 приведена функциональная взаимосвязь между коэффициентами ω и R (отметим, что область возможных значений коэффициента R определяется неравенством (10) работы [10]: $0 < R < 1$). Из уравнения для ω видно, что если $R \rightarrow 1$, то $\omega \rightarrow \infty$.

Теперь выразим в процентах расхождение результатов расчетов смещений, выполненных по формулам (7) и (2) для произвольного поперечного сечения обрабатываемой поверхности, с помощью выражения

$$\xi = \frac{\Delta_{\text{смр}} - \Delta_{\text{смп}}}{\Delta_{\text{смр}}} 100 = \frac{100(K_y - R)}{K_y},$$

или с учетом обозначений выражения (1)

$$\xi = 100R.$$

Видно, что если $R < 0,1$, то погрешность внесенной поправки на основе формулы (2) не превышает 10 %.

На рис. 4 приведена графическая модель, иллюстрирующая причину увеличения коэффициента ω по мере увеличения коэффициента R для случая, когда коэффициент C_y сопротивления материала заготовки резанию не изменяется в пределах обрабатываемой поверхности заготовки, а изменение коэффициента R происходит за счет изменения податливости δ ТС. На рис. 4 коэффициенту C_y соответствует угол α , а податливости δ — угол β : неравенству податливостей $\delta_2 > \delta_1$ на схеме соответствует неравенство углов $\beta_2 > \beta_1$. Из рис. 4 следует

$$\omega_1 = \frac{\Delta_{\text{смр1}}}{\Delta_{\text{смп1}}} = \frac{OO_1}{OO_{п1}} = \frac{MM_1}{K_1A_1} = \frac{OM}{OA_1};$$

$$\omega_2 = \frac{\Delta_{\text{смр2}}}{\Delta_{\text{смп2}}} = \frac{OO_2}{OO_{п2}} = \frac{MM_2}{K_2A_2} = \frac{OM}{OA_2}.$$

Но поскольку $OA_1 > OA_2$, то $\omega_2 > \omega_1$. Если $\delta \rightarrow \infty$ ($\beta \rightarrow 90^\circ$), то $t_{\text{ост}} \rightarrow t_{\text{фр}}$, а $\Delta_{\text{смр}} \rightarrow \infty$.

Из формул (3), (8) и (1) следует, что текущие значения $A_{\text{сп}}$ и $A_{\text{ср}}$ могут быть определены, если известны соответствующие текущие значения коэффициента K_y и фактической глубины резания $t_{\text{фр}}$, соответствующей рабочему настроечному размеру A_p .

При установлении расчетным путем значения коэффициента $K_y = \delta C_y$ необходимо для определения значений δ и C_y располагать соответствующими данными, носящими, как правило, априорный, усредненный характер, и арсеналом современных средств анализа упругих деформируемых систем. Вместе с тем реальные условия обработки могут значительно отличаться от тех, которые были приняты при расчете. Следует отметить, что методы определения податливости (жесткости) ТС до настоящего времени сохранили эмпирический (экспериментальный) характер, так как многообразие

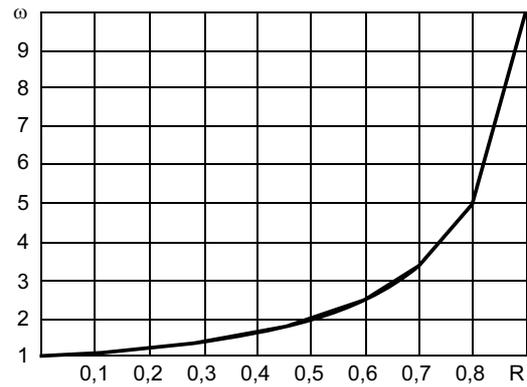


Рис. 3. Зависимость коэффициента ω от коэффициента пропорциональности R

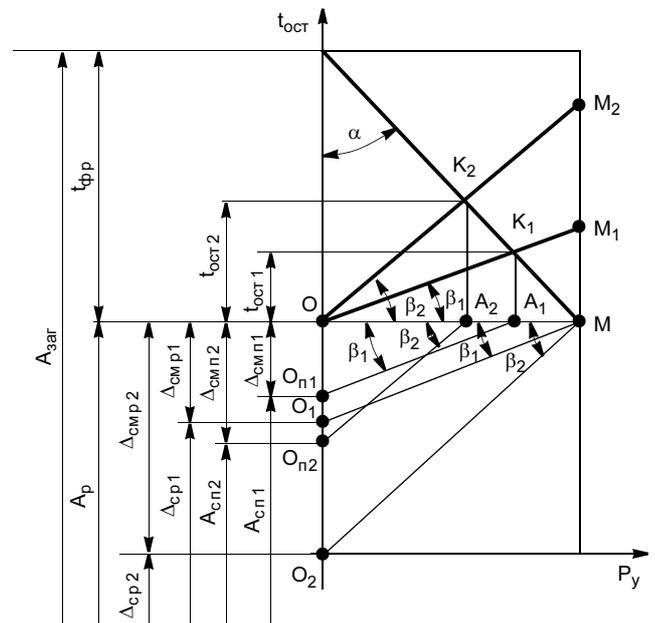


Рис. 4. Графическая модель для сопоставления ω_i

факторов и сложность их учета не позволяют при современном уровне знаний, используемых при решении данных задач, устанавливать ее расчетным путем. То же самое можно сказать и по отношению к определению параметра C_y .

Если подвергается точностному анализу тот или иной случай обработки партии заготовок можно отнести к рассмотренному выше частному случаю формообразования и принять, что значения параметров, от которых зависит значение коэффициента K_y , в рамках обрабатываемой партии заготовок стабильны, но конкретные их значения тем не менее неизвестны, то предлагается в производственных условиях (экспериментально) определять не в отдельности неизвестные значения δ и C_y , а сразу значение интегрального коэффициента K_y , вы-

ражающего совокупное их влияние на $t_{\text{ост}}$. Именно значение коэффициента K_y необходимо знать для определения $\Delta_{\text{см п}}$, $A_{\text{сп}}$, $\Delta_{\text{см р}}$, $A_{\text{ср}}$.

Значение коэффициента K_{yi} для каждого отдельного i -го поперечного сечения рассматриваемой поверхности заготовки в производственных условиях можно установить по схеме работы [10], согласно которой

$$K_{yi} = \frac{t_{\text{ост } i}}{t_{\text{ф } i}}. \quad (9)$$

Анализ элементов данной формулы и параметров процесса формообразования (см. рис. 2, 3) показывает, что для определения значений коэффициентов K_{yi} ($i = 1, 2, \dots, n$) необходимо обработать рассматриваемую поверхность пробной заготовки, в качестве которой должна выступать одна из заготовок партии. Обработка должна осуществляться при тех же условиях, в которых будут обрабатываться аналогичные поверхности других заготовок партии, с той лишь разницей, что размер статической настройки при обработке пробной заготовки должен быть постоянным и равным рабочему настроечному размеру, тогда как последующие заготовки партии будут обрабатываться с применением расчетного закона изменения размера статической настройки, устанавливаемого на основе формулы (3) или формулы (8). Для определения коэффициента K_y обработка пробной заготовки должна сопровождаться действиями, выполняемыми по отношению к каждому i -му из n равномерно расположенных по длине обработки поперечных сечений рассматриваемой поверхности:

— измерить до обработки пробной заготовки размер $A_{\text{заг } i}$ обрабатываемой поверхности, отвечающий ее i -му поперечному сечению;

— настроить ТС в статическом ее состоянии на размер статической настройки $A_c = A_p$ и обработать рассматриваемую поверхность;

— измерить размер $A_{\text{ф } i}$, отвечающий i -му поперечному сечению;

— определить значения величин $t_{\text{ост } i} = A_{\text{ф } i} - A_c$ и $t_{\text{ф } i} = A_{\text{заг } i} - A_{\text{ф } i}$;

— определить для рассматриваемого i -го поперечного сечения коэффициент K_{yi} по формуле (9).

Экспериментальную проверку эффективности использования значений коэффициента K_y , определяемых производственным методом, производили на токарном станке с ЧПУ 16К20Ф3С5. Обтачиванию резцом с пластиной из твердого сплава Т15К6 подвергали гладкие валики диаметром 14—30 мм из стали 45 при номинальном значении $t_{\text{фр}} = 0,45$ мм, $s = 0,2$ мм/об, $v = 110$ м/мин. Заготовки устанавливали в патроне консольно или с опиранием на зад-

ний центр. Отношение длин валиков к их диаметрам находилось в пределах от 5 до 40.

Полученные для ряда сечений ($n = 10 \div 20$), равномерно расположенных по длине обрабатываемой поверхности, значения K_y использовали для определения соответствующих значений $A_{\text{сп}}$ и $A_{\text{ср}}$. На основе этих значений строили алгоритм функционирования станка по обработке рассматриваемой поверхности и соответствующую управляющую программу.

Экспериментальные данные показали высокую эффективность использования значений коэффициента K_y .

Таким образом, справедливость утверждения [1—7] о том, что закон изменения размера статической настройки $A_{\text{сп}}$, определяемого по формуле (4), обеспечивает существенную компенсацию погрешностей, обусловленных упругими деформациями ТС под действием сил резания, зависит от того, каким будет соотношение между величинами $\Delta_{\text{п max}}$, $\Delta_{\text{ф}}$ и точностными требованиями к соответствующей цилиндрической поверхности. С ростом значений $\Delta_{\text{п max}}$ и $\Delta_{\text{ф}}$ и ужесточением точностных требований для обеспечения последних возрастает целесообразность использования закона изменения размера статической настройки, определяемого функцией $A_{\text{ср}}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Основы технологии машиностроения* / В. М. Кован, В. С. Корсаков, А. Г. Косилова и др. / Под ред. В. С. Корсакова. Изд. 3-е, доп. и перераб. М.: Машиностроение, 1977. 416 с.
2. *Корсаков В. С. Точность механической обработки*. М.: Машиностроение, 1961. 380 с.
3. *Технология машиностроения*. В 2 т. Т. 2. Производство машин: Учебник для вузов / В. М. Бурцев, А. С. Васильев, О. М. Деев и др. / Под ред. Г. Н. Мельникова. Изд. 2-е, стереотип. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. 640 с.
4. *Подпоркин В. Г. Обработка нежестких деталей*. М.-Л.: Машгиз, 1959. 208 с.
5. *Машиностроение: Энциклопедия*. Т. III-3. Технология изготовления деталей машин / А. М. Дальский, А. Г. Суслев, Ю. Ф. Назаров и др. / Под общ. ред. А. Г. Суслова. М.: Машиностроение, 2002. 840 с.
6. *Тараненко В. А., Митрофанов В. Г., Косов М. Г. Технологические способы и средства повышения точности обработки нежестких деталей* / ВНИИТЭМР, 1987. 64 с.
7. *Васильевых Л. А. Интенсификация процессов обработки нежестких деталей*. Иркутск: Изд-во Иркутского университета, 1990. 280 с.
8. *Колесов И. М. Основы технологии машиностроения*. М.: Машиностроение, 1997. 592 с.
9. *Мальцев В. Г. Графический и графоаналитический способы исследования формообразования поверхностей вращения резанием* // Технология машиностроения. 2004. № 1. С. 15—19.
10. *Мальцев В. Г. Настройка технологических систем на размер при формообразовании поверхностей вращения резанием* // Технология машиностроения. 2004. № 6. С. 14—18.
11. *Левитский Н. И. Теория механизмов и машин: Учебное пособие для вузов*. М.: Наука, 1990. 592 с.
12. *Денежный П. М., Стискин Г. М., Тхор И. Е. Токарное дело*. М.: Высшая школа, 1976. 239 с.

Л. Е. СЕРГЕЕВ, канд. техн. наук, А. П. РАКОМСИН, канд. техн. наук,
 М. И. СИДОРЕНКО, канд. техн. наук, В. Е. БАБИЧ, аспирант
 Белорусский государственный аграрный технический университет

Финишная обработка деталей сферической формы с наложением магнитных полей

Технология финишной обработки деталей сферической формы основана на контактном взаимодействии инструмента и данных деталей путем их совместного изнашивания. Для этого процесса характерна сложность взаимодействия основных технологических факторов, которые поддаются только косвенному управлению [1]. Общим недостатком обработки деталей сферической формы, в частности шариков, является отсутствие гарантированного трехосного вращения деталей, что уменьшает получение высокого процента выхода годной продукции [2]. Другие проблемы заключаются в непостоянстве скорости свободного вращения инструмента, высоком градиенте скорости резания и неравномерности контактного давления между инструментом и деталью ввиду наличия так называемых петель и точек возврата траектории движения [3]. Результат этого воздействия — отсутствие одинаковой толщины снимаемого припуска, что приводит к снижению уровня качества и точности.



Рис. 1. Диск-притир для магнитно-абразивной обработки шариков

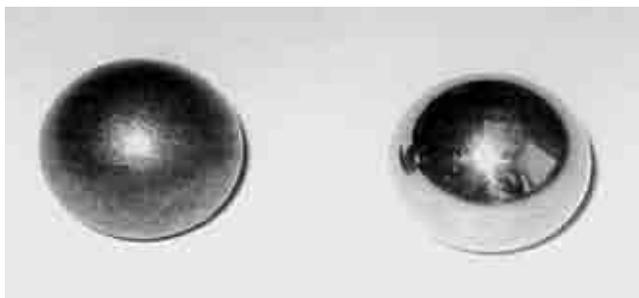


Рис. 2. Шарики до (справа) и после (слева) магнитно-абразивной обработки

В настоящее время финишную обработку деталей сферической формы типа шариков осуществляют свободным абразивом в виде паст и суспензий. Данные шарики доводятся в процессе качения между двумя дисками-притирами, перемещаясь в направляющих кольцевых канавках, выполненных на одном из дисков (рис. 1). Чтобы абразив находился в своей основе во взвешенном состоянии, в нее кроме традиционных парафина, стеарина, олеиновой кислоты, керосина и других подобных компонентов вводят 5—10 % тонкодисперсного диоксида кремния. Однако процесс доводки шариков свободным абразивом характеризуется повышенным расходом данных паст и суспензий, что обусловлено их текучестью и трудностями удержания в рабочей зоне. Поэтому поиск оптимального способа повышения эффективности данного процесса осуществляется путем выбора между двумя взаимоисключающими друг друга обстоятельствами: недопустимостью ухудшения качества обработки, с одной стороны, и обеспечением роста производительности и выпуска продукции — с другой.

Одним из предлагаемых решений данной проблемы является применение магнитно-абразивной обработки (МАО) [4, 5]. Известно использование МАО для финишной обработки шариков, где в качестве режущего инструмента применяли ферроабразивный порошок (ФАП) Ж15КТ (ТУ 6-09-03-483—81) размерностью зерен 63—160 мкм. Установлено, что при данном ФАП достижение требуемых показателей качества шариков согласно нормативно-технической документации ввиду особенностей этого порошка не осуществлено. При МАО используют ферромагнитные суспензии размерностью зерен менее 1 мкм, вследствие этого промышленная реализация МАО связана с определенными трудностями [6]. С целью повышения эффективности финишной обработки шариков разработаны магнитно-абразивные пасты, содержащие фракцию C_{17} — C_{20} синтетических жирных кислот, масло промышленное И-40А (ГОСТ 20799—75), оксид хрома ОХА-0 (ГОСТ 2912—79) и т. д., размерность зерен которых находится в диапазоне 1—60 мкм¹. Образцы для обработки — шарики диаметром 1—4", материал — ШХ-15 (ГОСТ 80—78), твердостью 58—62 HRC_э, соответствующие техническим требованиям 40-й степени точности по ГОСТ 3722—81 (рис. 2). Режи-

¹ Патент 6495 (Белоруссия).



Рис. 3. Станок для магнитно-абразивной обработки шариков

мы МАО: расход пасты — 0,12—0,16 кг; магнитная индукция на катушках соленоидов электромагнитной системы (ЭМС) $B = 0,3 \div 1,2$ Тл; частота вращения ведущего притира $n = 200 \div 300$ мин⁻¹, усилие прижима $P = 120 \div 280$ кПа; время обработки $t = 30$ мин; диаметр притира по рабочей канавке $d = 140 \div 235$ мм; радиальное биение притира 0,1 мм, торцовое биение — 0,05 мм. МАО шариков выполняли на станке, приведенном на рис. 3. Для размагничивания шариков и притиров использовали демагнетизатор, который может быть включен в общую цепь станка или работать отдельно от цепи тока промышленной частоты. Реле времени позволяет установить время обработки от 0 до 60 мин. По истечении установленного времени происходит автоматическое отключение цепей электродвигателя и ЭМС. Контроль шариков выполняли двумя способами: непосредственным и визуальным. При первом осуществляется изъятием партии шариков из рабочей зоны и их измерением калибрами-скобами исполнения 2, номер 8118 — 0001 для шариков диаметром до 5 мм и 8118 — 0002 — от 5 до 10 мм (ГОСТ 2216—84). Второй способ контроля производили с помощью индикатора.

При необходимости изменения частоты вращения (нижнего сердечника шпинделя) производится замена сменных шкивов. Температура нагрева притиров не превышает 70—75 °С. Заполнение пастой канавки обычно нижнего притира осуществляется либо на станке при отключенной ЭМС, либо путем его снятия и крепления, например на стенде или слесарном верстаке. Далее следует укладка партии шариков и установка верхнего притира, используя шарики в качестве базирующего элемента. Затем выполняется требуемая операция установки притиров и подключение электродвигателя и катушек ЭМС. Устанавливается рабочее давление в пневмоцилиндре, которое при автоматическом отключении данного электродвигателя необходимо привести к нулю. При достижении необходимого размера шариков путем их выборочного замера в процессе МАО производится их сборка и укладка, они промыш-

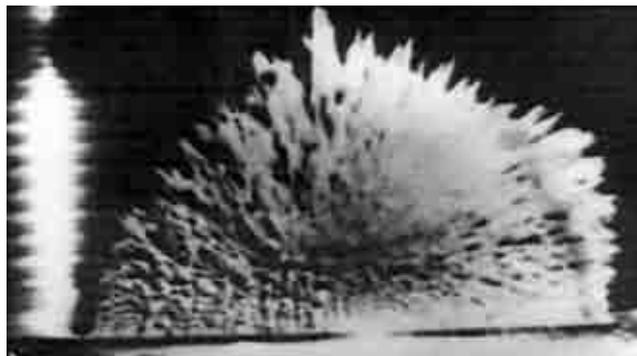


Рис. 4. Шарик в зоне обработки при наложении магнитного поля

ваются нефрасом С50/170 (ГОСТ 21790—93). Также необходимо убрать остатки пасты с поверхности притиров. В случае переточки притиров по причине износа требуется произвести их приработку как при наличии магнитного поля, так и в его отсутствие при давлении 50—200 кПа в течение 3—4 мин. Переточку притиров предпочтительно осуществлять по фаскам каналов, а не по их тороидальной образующей. Катастрофический износ притиров определяется как один из вариантов из-за быстрого перемещения стрелки индикатора при проведении визуального контроля, что свидетельствует о необходимости прекращения процесса обработки. Для получения равномерности шариков и требуемой степени точности следует учитывать то, что показания индикатора при этом контроле снимаются только при установившемся режиме обработки.

Период стойкости магнитно-абразивных паст определяется предотвращением седиментации и одновременно самопроизвольной коагуляции, а также способностью структурировать систему в магнитном поле (рис. 4). Правильный подбор компонентов и их оптимальное соотношение в данной системе паст определяют высокие показатели выходной продукции. Основными условиями хранения паст являются отсутствие попадания прямых солнечных лучей света, наличие закрытой тары и температура ниже 20 °С. Поскольку пасты представляют неньютоновскую среду с переменной сдвиговой вязкостью, то для обеспечения стабильности съема материала необходимо ввиду роста температуры в зоне обработки и его влияния на напряженность магнитного поля увеличивать магнитную индукцию примерно на 0,1 Тл через каждые 8—10 мин обработки в отличие от операции доводки, когда существует потребность подачи порции пасты через каждые 5 мин. При МАО данная процедура является избирательной и обусловлена только снижением режущей способности инструмента. Поэтому для исключения этого фактора рекомендуется подача пасты в процессе протекания МАО до 15—20 % ее первоначального количества.

Тип подшипника	Достигаемая шероховатость Ra_2 , мкм	Размерный съём, мкм	Остаточные сжимающие напряжения, МПа
I	0,12—0,30	60—75	870
II	0,14—0,28	55—65	790

Результаты испытаний приведены в таблице.

Установлено, что, например, съём металла (диаметр шариков 1") через 1 мин составляет 4 мкм, через 30 мин — 98 мкм. Для остальных типоразмеров варьирование этого показателя находится в интервале $\pm 10\%$. Полученная точность составила 16 (показатель согласно ГОСТ 3722—81). Также путем аналитического расчета напряженности магнитного поля определили наиболее оптимальный диапазон диаметров шариков для обработки методом MAO — 0,1—10 мм. Это связано с тем, что достигаемые величины напряженности ЭМС магнитно-абразивного оборудования находятся в интервале $100—500 \text{ А} \cdot \text{м}^{-1}$. Работа, связанная с интенсификацией параметров таких факторов, как ЭМС, магнитная проницаемость паст, совершенствование конструкции оборудования и т. д., позво-

лит повысить величину напряженности, что обеспечит рост давления инструмента до 4—6 МПа вместо существующих 0,5—2,0 МПа. Таким образом, данная интенсификация осуществляется в рамках концепции общего развития технологии машиностроения с одновременным решением задач прикладного характера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов П. Н. Технологическое обеспечение качества деталей методами доводки. М.: Машиностроение, 1988. 384 с.
2. Чембрович В. И., Филонов И. П., Козерук А. С. Финишная обработка стеклянных шариков // Совершенствование процессов финишной обработки в машино- и приборостроении. Минск, 1995. С. 157.
3. Соханов С. В. О траекториях зерен при абразивной обработке деталей шарообразной формы // Сверхтвердые материалы. 2000. № 3. С. 34—39.
4. *Magnetic Aided Roller Burnishing Metal Parts* / Kodacsy Janos, Danyi Jezse, Szabo Andras, Fulop Gyorgy // Proc. of 7th International Conference on Deburring and Surface Finishing. Berkeley, 2004. P. 351—354.
5. Полищук В. С. Магнитно-абразивная обработка — высокоэффективный метод в машиностроении // Физика и техника высоких давлений. 2003. Т. 13. № 1. С. 127—138.
6. Childs N. H. C. // *Ind. Diamond Rev.* 1994. Vol. 54. N 562. P. 120—123.

А. С. ЯМНИКОВ, д-р техн. наук, В. Д. АРТАМОНОВ, канд. техн. наук
Тулский государственный университет

Управление кинематикой процесса зубонарезания резцовыми головками по методу обкатывания

Цилиндрические зубчатые передачи широко применяют в различных отраслях машиностроения. Специфическая особенность цилиндрических зубчатых колес авто- и мототехники — наличие кулачковых торцовых муфт сцепления — не позволяет эффективно использовать при зубонарезании принцип множественной последовательной обработки, например зубофрезерование пакетом. Компактность таких передач обеспечивается определенным диапазоном модулей (2—5 мм) и небольшими габаритными размерами при ограниченной ширине зубчатого венца (10—20 мм).

В связи с этим появляется возможность использовать для обработки таких колес не только традиционные методы зубонарезания, но и новые высокопроизводительные процессы формообразования зубчатых венцов, среди которых особое место занимают процессы зубонарезания цилиндрических зубчатых колес по методу z-кратного обката с использованием нового вида зуборезного инструмента — резцовых головок большого диаметра¹.

Большой диаметр резцовых головок ($D_0 \geq 220 \text{ мм}$) обеспечивает возможность исключения одной из кинематических подач в процессе зубообработки — продольного перемещения инструмента вдоль оси нарезаемого зубчатого колеса. При использовании инструмента такого диаметра траектория движения режущих кромок по дуге окружности настолько приближается к прямолинейной, что практически становится возможным отказаться от продольной подачи при условии обязательной дополнительной обработки нарезаемых зубчатых венцов (шевингованием или прикатыванием) с целью устранения вогнутости боковых поверхностей зубьев.

Кинематика этих процессов позволяет эффективно применять инструмент, оснащенный как твердосплавными режущими пластинами, так и пластинами из быстрорежущей стали. Первоначально разработанные процессы предполагали использование

¹ Коганов И. А., Федоров Ю. Н., Валиков Е. Н. Прогрессивные методы изготовления цилиндрических зубчатых колес. М.: Машиностроение, 1981. 136 с.

только твердосплавных режцовых головок, а следующим этапом развития нового направления в области производства цилиндрических колес стала разработка процессов зубообработки быстрорежущими режцовыми головками.

Анализируя технологические возможности всех процессов, можно утверждать, что их возможности далеко не одинаковы, так как в каждом из них имеется свой скрытый потенциальный резерв повышения эффективности обработки зубчатых венцов цилиндрических колес.

В процессе зубонарезания режцовая головка имеет только вращательное движение, а обрабатываемая заготовка совершает согласованные движения обката вдоль оси инструмента столько раз, сколько зубьев имеется у колеса. При такой последовательной раздельной обработке зубьев нарезаемых колес появляется реальная возможность управления процессом вырезания каждой впадины в заготовке. В данном случае управление процессом зубонарезания имеет многоцелевое назначение, при котором обеспечивается достижение оптимальных значений различных параметров, оказывающих определенное влияние на производительность процесса обработки, стабильность его выполнения, точность и качество обрабатываемых зубчатых поверхностей. Поскольку рассматриваемый процесс предназначен для предварительного формообразования зубьев, то главными критериями управления следует считать производительность и стабильность самого процесса резания, которые имеют определенную взаимосвязь.

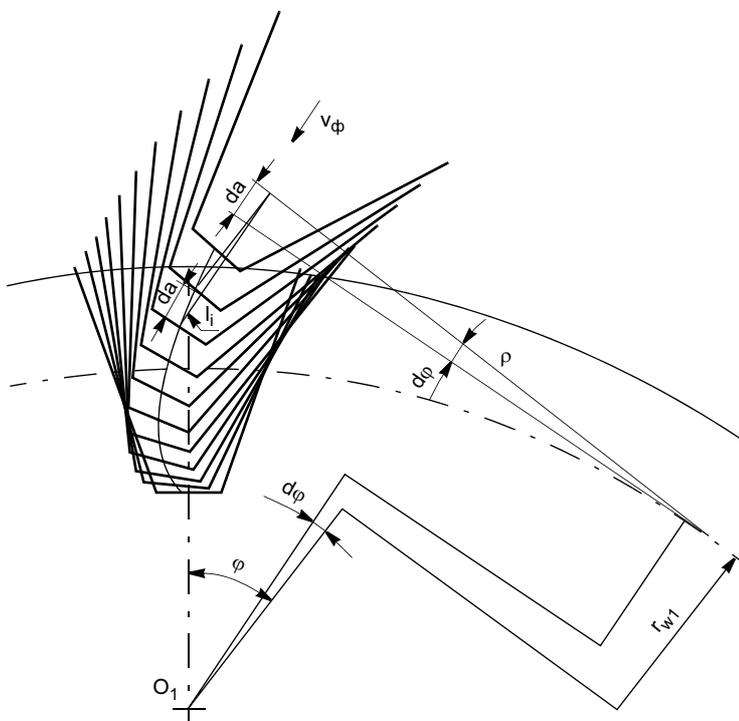


Рис. 1. Схема формообразования зубьев по методу обката

В последнее время наряду с традиционными путями повышения эффективности зубообработки (повышения скорости резания, подачи, жесткости технологической системы и точности режущего инструмента, сокращения пути резания и др.) все более актуальным становится направление, связанное с управлением различными параметрами процессов обработки и получаемых изделий. Это направление полностью согласуется с общей тенденцией в механообработке применением станков с числовым программным управлением, оснащенных адаптивными системами управления процессом обработки, системами автоматического обеспечения точности обработки и т. д.

Причем, если управление процессом формообразования относительно простых поверхностей на токарных, фрезерных или многоцелевых станках с ЧПУ проработано хорошо и не вызывает серьезных затруднений, то управление такими сложными процессами, как формообразование эвольвентных профилей зубчатых колес методом обката, мало изучено и требует детального исследования. В связи с этим определенный интерес представляет анализ кинематики метода z-кратного обката и соответствующих возможностей управления процессом зубообразования цилиндрических венцов. Для этого необходимо рассмотреть характерную для метода обкаты схему срезания припуска при формировании боковых поверхностей зубьев нарезаемого колеса.

Для построения традиционной схемы формообразования зубчатых профилей цилиндрических колес по методу обката можно воспользоваться графоаналитическим способом построения плоской схемы резания, в соответствии с которым необходимо произвести графическую обкатку, используя в качестве инструмента однозубую гребенку (рис. 1). С помощью современной компьютерной техники, например средствами AutoCAD, возможно построить теоретически точную схему формирования впадины зубчатого колеса, на которой наглядно представлен процесс последовательного вырезания впадины заготовки режущими кромками инструмента. С ее помощью можно легко определить форму и размеры всех срезаемых слоев.

Схема резания на рис. 1 дает наглядное представление об относительном формообразующем движении зуба производящей рейки от момента врезания в заготовку до положения полного совпадения осей симметрии зуба и впадины и далее до последнего реза при выходе из заготовки. При этом зуб производящей рейки занимает последовательные фиксированные положения, количество которых определяется числом резов, необходимых для формообразования впадины обрабатываемого колеса. При каждом таком положении

срезаются определенные слои металла, форма и размеры которых постоянно изменяются, что непосредственно влияет на динамику процесса зубонарезания.

Схема характеризуется неравномерностью скорости относительного движения формообразования v_{ϕ} зуба производящей рейки вдоль обрабатываемого зубчатого профиля от начала вырезания впадины зубчатого венца до касания центра ее дна. При этом толщина a и площадь F срезаемых слоев металла, а следовательно, и сила резания P непрерывно изменяются от максимальных значений в начале обработки и до минимальных при формировании дна впадины.

Важной особенностью схемы формообразования зубчатых профилей по методу обката является наличие определенных соотношений между параметрами срезаемых слоев металла (v_{ϕ} , F и a), а также между значениями параметров единичных резов и силы резания. Исследования в этой области проводили неоднократно, в том числе и в Тульском государственном университете¹. Результаты исследований подтвердили наличие линейной зависимости между силой резания и площадью срезаемого слоя:

$$P = kF,$$

где k — коэффициент пропорциональности, зависящий от обрабатываемого материала.

Наиболее существенным резервом управления кинематикой зубообразования по методу обкатывания является повышение производительности примерно в 2 раза. Возможность такого повышения объясняется тем, что назначение технологических подач при зубонарезании осуществляется исходя из максимально допустимых нагрузок на режущие кромки инструмента. Оптимальным вариантом распределения нагрузок следует считать тот, при котором достигается равномерная загруженность режущих кромок.

Очевидно, изменяя скорость v_{ϕ} относительного формообразующего движения зуба производящей рейки по определенной закономерности, можно выровнять значения параметров срезаемых слоев в заранее заданном диапазоне на протяжении в основном первой половины процесса вырезания впадины, так как на протяжении второй половины вырезается не более 5 % всего металла.

Технологический режим зубообработки устанавливается исходя из максимальной нагрузки на режущие кромки инструмента в первоначальный период вырезания впадины колеса, а все последующие резы совершаются при постепенно уменьшающейся силе резания. Если же выдерживать первоначальную нагрузку на режущие кромки до касания зубьями инструмента дна впадины, то число резов сокращается почти вдвое, а технологическая подача обката заготовки соответственно увеличивается по сравнению с заданной в начале зубообразования.

Следовательно, время обработки каждой впадины теоретически также уменьшается примерно в 2 раза.

Практическая реализация такого варианта при использовании традиционных способов зубонарезания червячными фрезами и долбьями невозможна вследствие одновременности обработки нескольких впадин зубчатого колеса на различных стадиях профилирования. И даже при раздельной независимой обработке впадин, например дисковыми однорядными или одновитковыми резцовыми головками, обеспечение равномерности нагружения режущих лезвий инструмента вызывает определенные трудности, связанные с ограниченными возможностями обкатно-делительного устройства.

Чтобы выявить потенциальные возможности оптимизации зубонарезания резцовыми головками по методу z -кратного обката, целесообразно осуществить моделирование данного процесса. Для этого необходимо установить закономерность изменения площадей и толщин срезаемых слоев, что позволит управлять этими параметрами с целью выравнивания их значений и стабилизации силового режима зубонарезания.

Из схемы на рис. 1 видно, что элементарная толщина срезаемого слоя

$$da_i = r_{w1} \varphi_i d\varphi,$$

где r_{w1} — радиус начальной окружности обрабатываемого колеса; φ_i — текущий угол обката; $d\varphi$ — элементарный угол обката между двумя смежными резами.

Толщину срезаемых слоев, согласно методу относительных положений, определяют по координатам точки режущей поверхности и направлению нормали к ней как расстояние между соседними поверхностями резания без описания точной формы самих поверхностей резания. Данная зависимость определяет линейный характер зависимости между толщиной срезаемого слоя и текущим углом обката для классического варианта реализации процесса, поскольку величина r_{w1} является константой для конкретного зубчатого колеса. Элементарный угол обката между двумя смежными резами $d\varphi$ при неизменной скорости подачи обката также остается постоянным.

Выразив угол $d\varphi$ через угловую скорость поворота заготовки ω и временной параметр, получим

$$da_i = r_{w1} \varphi_i \omega dt_i,$$

где dt_i — время между двумя смежными резами.

Следующий этап моделирования связан с выбором выходных параметров (критериев оптимизации), управляемых и управляющих параметров, а также определением соответствующих ограничений (рис. 2).

В качестве выходных параметров модели могут быть приняты различные величины. При этом необходимо учитывать, что наиболее полными показателями эффективности любого процесса обработки являются производительность и стоимость

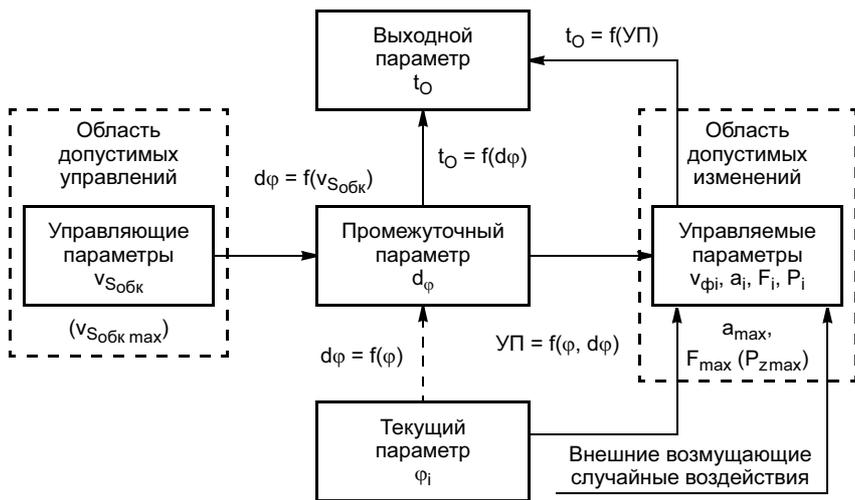


Рис. 2. Структурно-функциональная модель зубонарезания по методу обката

На управляемые параметры накладываются определенные ограничения по силе резания Pz_{max} , следовательно, и площади срезаемого слоя F_{max} , и толщине срезаемого слоя a_{max} , определяющей нагрузку на единицу длины режущей кромки и ее прочность. Таким образом, создается область допустимых изменений для управляемых параметров. Кроме того, на значение управляемых и выходных параметров влияют случайные внешние возмущающие воздействия, например, недостаточная жесткость технологической системы и невозможность вследствие этого достижения больших сил резания, а также невысокое качество материала режущих пластин и вынужденное уменьшение толщин срезаемых слоев и др.

изготовления деталей требуемых точности и качества. Применительно к процессу зубонарезания по методу обката и инструменту для его реализации можно утверждать, что производительность определяется основным временем обработки t_0 . Поэтому в качестве критерия оптимизации для процесса предварительного зубонарезания целесообразно принять основное время зубообработки и решать задачу нахождения минимального значения t_0 .

При зубонарезании цилиндрических колес резцовыми головками по методу z-кратного обката или зубопротягивания время обработки каждой впадины зубчатого колеса

$$t_{вп} = \sum_{i=1}^{n_z} dt_i$$

Из формулы следует, что при уменьшении числа резцов n_z уменьшается суммарное время обработки впадины. Добиться этого можно за счет увеличения скорости v_{ϕ} относительного формообразующего движения. Следовательно, $t_0 \rightarrow \min$ при $v_{\phi} \rightarrow \max$. Но поскольку функция $t_0 = f(v_{\phi})$ является монотонно убывающей и не имеет явного оптимума, то необходимо установить определенные ограничения.

Из схемы вырезания впадины зубчатого колеса (см. рис. 1) видно, что

$$l_i = v_{\phi i} dt_i$$

где l_i — путь режущей кромки инструмента между двумя смежными резами.

Очевидно, с увеличением $v_{\phi i}$ пропорционально возрастает l_i , а следовательно, и параметры срезаемых слоев (толщина, площадь и сила резания). Поэтому в качестве управляемых параметров наряду со скоростью относительного формообразующего движения могут быть приняты сила резания Pz_i , площадь срезаемого слоя F_i и толщина срезаемого слоя a_i , которые взаимосвязаны между собой.

Выбор управляющих параметров осуществляется исходя из возможности их влияния на промежуточный параметр d_{ϕ} , а следовательно, и на все управляемые параметры (v_{ϕ} , Pz_i , F_i , a_i).

Равномерность изменения угла обката зависит от постоянства угловой скорости вращения заготовки, поэтому управление изменением толщин срезаемых слоев при зубонарезании по методу обкатывания возможно за счет придания заготовке переменной угловой скорости $\omega = \text{var}$. Соответственно должна изменяться и скорость прямолинейного перемещения заготовки, чтобы не было нарушено основное условие ее обкатывания без скольжения. Такое управление условно можно назвать кинематическим в отличие от других его вариантов, когда реализация потенциальных возможностей процесса зубонарезания по методу обката возможна за счет конструктивного изменения самого инструмента, например одновитковых резцовых головок, и придания заготовке неравномерного вращения, поскольку одно из движений обкатывания в этом случае заложено в конструкции инструмента. Также возможен вариант управления за счет только конструктивных параметров инструмента, таких как неравномерный шаг расположения режущих элементов или разновысотный их вылет относительно оси вращения, что имеет место при использовании для формообразования зубчатых поверхностей способа z-кратного обкатывающего зубопротягивания дисковыми или дельтовидными резцовыми головками.

Таким образом, наиболее универсальным способом управления величиной элементарного угла обката является изменение скорости подачи обката $v_{\text{Собк}}$ с помощью механизма обката специальной конструкции.

Очевидно, что управляющие параметры также должны изменяться в определенных пределах. Так, скорость подачи обката не может превышать некоторого максимального значения $v_{\text{Собк max}}$, которое гарантирует надежную и стабильную работу обкатно-делительного механизма, угловой (окружной) шаг расположения резцов в инструменте не может быть меньше некоторой минимальной величины, обеспечивающей достаточную жесткость резцовой головки, и т. д. Таким образом, устанавливается определенная область допустимых изменений для управляющих параметров.

После выбора управляющих и управляемых параметров для процесса зубонарезания резцовыми головками осуществляется построение структурно-функциональной модели процесса (см. рис. 2). Модель позволяет определить функциональные связи между параметрами, характерными для конкретного процесса, аналитическим или другим способом. Математическое моделирование процесса зубонарезания резцовыми головками осуществляется на основе математического описания функциональных связей между параметрами, характерными для конкретного процесса. В данном случае определяется зависимость между t_0 и $d\varphi$. При постоянной величине скорости подачи обката

$$t_0 = (t_{\text{вп}} + t_{\text{д}})z_1 = (n_z dt + t_{\text{д}})z_1,$$

где $t_{\text{д}}$ — время деления заготовки на зуб; z_1 — число зубьев нарезаемого колеса; n_z — общее количество резцов при формообразовании одной впадины; dt — время одного реза.

При равномерном вращении резцовой головки, режущие элементы которой расположены с одинаковым шагом,

$$dt = \frac{\pi d_0}{1000 v z_0},$$

где d_0 , z_0 — диаметр и число резцов инструмента; v — скорость резания.

Число резцов, необходимых для обработки одной впадины колеса,

$$n_z = \frac{\varphi_{\Sigma}}{d\varphi},$$

где φ_{Σ} — полный угол обката.

Тогда

$$t_0 = \left(\frac{\pi d_0 \varphi_{\Sigma}}{1000 v z_0 d \varphi_{\text{ср}}} + t_{\text{д}} \right) z_1.$$

Видно, что при увеличении элементарного угла обката между двумя смежными резами $d\varphi$ (скорости подачи обката $v_{\text{Собк}}$) уменьшается число резцов, необходимых для обработки каждой впадины колеса и, соответственно, основное время обработки t_0 .

Для решения рассмотренной задачи разработан алгоритм и составлена программа расчета на ЭВМ. Расчеты показали возможность повышения производительности оптимизированного процесса зубонарезания цилиндрических колес резцовыми головками примерно в 1,8 раза.

Поскольку различные процессы зубонарезания резцовыми головками по методу z-кратного обката обладают неодинаковыми возможностями реализации потенциального резерва повышения эффективности обработки зубчатых венцов, то необходимо на основании соответствующего анализа выявить наиболее перспективный из этих процессов. Такой анализ показал, что наибольшими возможностями реализации оптимизированной схемы зубообразования обладает процесс обкатывающего зубопротягивания дисковыми резцовыми головками.

Кинематическое управление, основанное на неравномерном обкатывании заготовки, реализовано при зубонарезании цилиндрических колес мототехники дисковыми однорядными резцовыми головками на модернизированных горизонтально-фрезерных станках в производственных условиях машиностроительного завода. На станке устанавливали специальное обкатно-делительное устройство, позволяющее осуществлять управление неравномерной скоростью обката заготовки с помощью цилиндрического кулака с закрытым копирным пазом. Такая техническая оснащенность не позволяла вследствие ограниченности угла подъема копирного паза в полной мере использовать резерв потенциальных возможностей кинематики зубообразования по методу обкатывания. Но даже частичная реализация возможности повышения производительности при зубонарезании цилиндрических колес показала целесообразность дальнейшего совершенствования процессов зубообработки резцовыми головками большого диаметра. Одновременно с повышением производительности за счет сокращения числа резцов при формировании впадин зубчатого колеса решается и другая немаловажная задача по стабилизации силового режима в процессе зубонарезания, что положительно влияет на устойчивое состояние всей технологической системы.

Были предприняты попытки устранения отмеченных недостатков применяемого обкатно-делительного устройства, в результате чего стало возможным создание нового варианта реечно-зубчатого механизма обката с совмещением функций периодического поворота заготовки на зуб с кулачковой системой управления.

Ю. В. КИРИЛИН, д-р техн. наук
Ульяновский государственный технический университет

Применение полимербетона для изготовления базовых деталей тяжелых фрезерных станков

Развитие химической промышленности позволило создать новый класс материалов, так называемых полимербетонов, представляющих собой композиционные материалы, основой которых являются природные камни (галька, граниты, известняки), а связующим — синтетические смолы. Внимание станкостроителей к полимербетонам вызвано следующими их преимуществами по сравнению с традиционно применяемым чугуном: высокой демпфирующей способностью, отсутствием внутренних напряжений в деталях, повышенной стабильностью во времени, малой теплопроводностью, коррозионной стойкостью, возможностью получения из них точных деталей без последующей механической обработки.

Одна из разновидностей полимербетонов — синтегран. Название "синтегран" образовано из слов "синтетический" и "гранит". Синтегран представляет собой композиционный материал, состоящий из полимерного связующего на основе эпоксидных смол, высокопрочного

минерального заполнителя типа габбро-диабазы (размер фракций щебня 0,6—20,0 мм) и мелкодисперсного наполнителя (размер частиц менее 60 мкм). По основным физико-механическим и эксплуатационным свойствам этот материал аналогичен природному граниту. Физико-механические свойства синтеграны можно регулировать в широких пределах в зависимости от формы и толщины стенок деталей, области применения, специальных требований и т. д.

По составу синтегран подразделяется на сверхжесткий, жесткий, нормальный, пластичный и сверхпластичный. Это разделение условно и характеризует как технологические особенности исходной смеси, так и физико-механические свойства синтеграны в зависимости от содержания полимерного связующего. Сверхжесткие и жесткие составы требуют специальных методов переработки и могут содержать до 6 % связующего. Для изготовления основной массы машиностроительных деталей рекомендуется ис-

пользовать синтегран, содержащий до 11 % связующего.

В табл. 1 приведены физико-механические характеристики чугуна, гранитов, гидравлических бетонов и синтеграны [1].

Для чугунных отливок характерно значительное коробление от воздействия остаточных напряжений. По сравнению с чугунами в отливках синтеграны возникают существенно меньшие напряжения и соответственно они менее склонны к короблению.

Использование полимербетонов для изготовления поверочных плит, аэроэластических направляющих и деталей измерительных машин потребовало проведения исследований их износостойкости, а также определения поверхностной твердости. В процессе исследований, проведенных в ЭНИМСе [1], установлено, что при использовании кварцитов в качестве заполнителя можно получить полимербетон, износостойкость которого равна износостойкости натурального гранита. Оценка твердости гранитов и полимербетонов по

Таблица 1

Параметр	Чугун	Граниты	Гидравлические бетоны	Синтегран
Плотность, т/м ³	7,21	2,6—3,0	1,8—2,0	2,6—3,0
Предел прочности, МПа:				
при сжатии	400—900	150—300	17—45	120—200
при растяжении	180—250	3—5	1—3	15—25
при изгибе	160—400	3,6—5,0	12—7,0	17—35
Модуль упругости при сжатии, МПа·10 ⁻⁴	11,7	25—11,0	1,8—2,4	1,5—4,2
Коэффициент Пуассона	0,26	—	0,2	0,25—0,40
Теплопроводность, Вт/(м·К)	75	0,8	1,0—1,5	0,5—0,9
Температурный коэффициент линейного расширения, 1/°С	(9,0—12,0)10 ⁻⁶	(6—16)10 ⁻⁶	(6,0—19,0)10 ⁻⁶	(12—20)10 ⁻⁶
Водопоглощение за 24 ч, %	—	4,0	0,1	0,02—0,05
Демпфирование	0,10—0,12	0,8	0,25—0,30	0,6—0,7

Таблица 2

Область применения	Типовые детали	Технико-экономические преимущества
Корпусные и базовые детали	Станины, стойки, основания, тумбы, траверсы, колонны, шпиндельные бабки, столы, изопорты	Повышение виброустойчивости, снижение уровня шума, экономия металла и электроэнергии, снижение трудоемкости изготовления
Детали измерительной и специальной техники	Измерительные плиты, угольники, подставки, стойки, аэростатические направляющие	Замена природного гранита, снижение трудоемкости, экономия алмазного инструмента
Детали, работающие в агрессивных средах	Ванны, детали электрохимических станков, базовые детали специальных машин	Экономия коррозионно-стойких сталей, сокращение трудоемкости изготовления, экономия алмазного инструмента
Штамповая оснастка	Пуансоны и матрицы для гибки и вытяжки крупногабаритных деталей	Резкое снижение трудоемкости изготовления
Державки режущего инструмента	Токарные резцы, борштанги, фрезы	Повышение стойкости инструмента, точности обработки и качества поверхности деталей

Роквеллу показала, что эти характеристики у обоих материалов близки и составляют 55—65 HRC.

Известно, что все природные камни, в том числе граниты, базальты, диабазы и др. поглощают воду. Однако для станкостроения представляет интерес не процент водопоглощения, а величина изменения линейных размеров деталей при воздействии воды или влаги. Результаты исследований, выполненных в ЭНИМСе, показали, что синтегранный материал в 2—4 раза меньше изменяется в размерах по сравнению с натуральными гранитами.

Исходя из свойств и технологических возможностей синтегранна, а также учитывая мировой и отечественный опыт применения полимербетонных композитов, были определены перспективные области применения синтегранна в машиностроении и их технико-экономические преимущества (табл. 2).

Важной областью применения синтегранна являются базовые детали металлорежущих станков. Подобные детали рассчитываются на жесткость, поэтому к их прочности не предъявляются высокие требования. В этих случаях вполне пригоден синтегран, обеспечивающий требуемую статическую и динамическую жесткость при необходимой технологической прочности.

Производительность металлорежущего оборудования ограничивается, как правило, его недостаточной виброустойчивостью, которая в основном зависит от динамической характеристики несущей системы станка. Таким обра-

зом, на производительность станка значительно влияют компоновка несущей системы, конструкция базовых деталей, материал, из которого они изготовлены. С учетом многообразия данных факторов определяли влияние материала базовых деталей на динамическую характеристику несущей системы. Были проведены сравнительные исследования несущей системы, базовые детали которой частично изготовлены из синтегранна.

Объектом исследования являлся тяжелый вертикально-фрезерный станок 65Б90ПМФ4. Для расчетного исследования применили стержневой метод моделирования и программу расчета динамических характеристик несущих систем металлорежущих станков [2]. Программа позволяет получать амплитудно-частотную (АЧХ) и амплитудно-фазовую частотную (АФЧХ) характеристики несущих систем, строить их формы колебаний на резонансных частотах и оценивать долю отдельных элементов в общем балансе динамической податливости несущей системы станка. Адекватность программы неоднократно проверяли в Ульяновском ГСКБ ФС [3].

Расчетная динамическая модель несущей системы станка приведена на рис. 1. Модель построена из сосредоточенных масс, стержневых элементов и упругих звеньев, имеющих жесткость и демпфирование.

Результаты расчетов в виде АФЧХ и форм колебаний несущей

системы станка приведены на рис. 2, 3. Поперечные разрезы базовых деталей, изготовленных из синтегранна, приведены на рис. 4 (видно, что металлоемкость таких базовых деталей значительно меньше чугуновых, так как металл в них применяют только для изготовления закладных элементов, арматуры и привертных направляющих).

В результате анализа полученных результатов расчета установлено, что у станка с синтеграновой стойкой (см. рис. 2, б) по сравнению с чугуновым вариантом

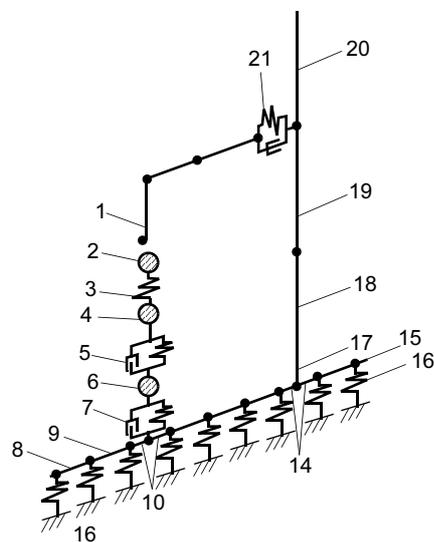


Рис. 1. Расчетная модель несущей системы станка 65Б90 ПМФ4: 1 — шпиндель; 2, 4, 6 — сосредоточенные массы заготовки, стола и салазок соответственно; 3 — неподвижный стык стол—заготовка; 5, 7, 21 — подвижные стыки салазки—стол, станина—салазки и стойка—фрезерная бабка соответственно; 8—15 — станина; 16 — регулируемые опоры станка; 17—20 — стойка; 22—24 — фрезерная бабка

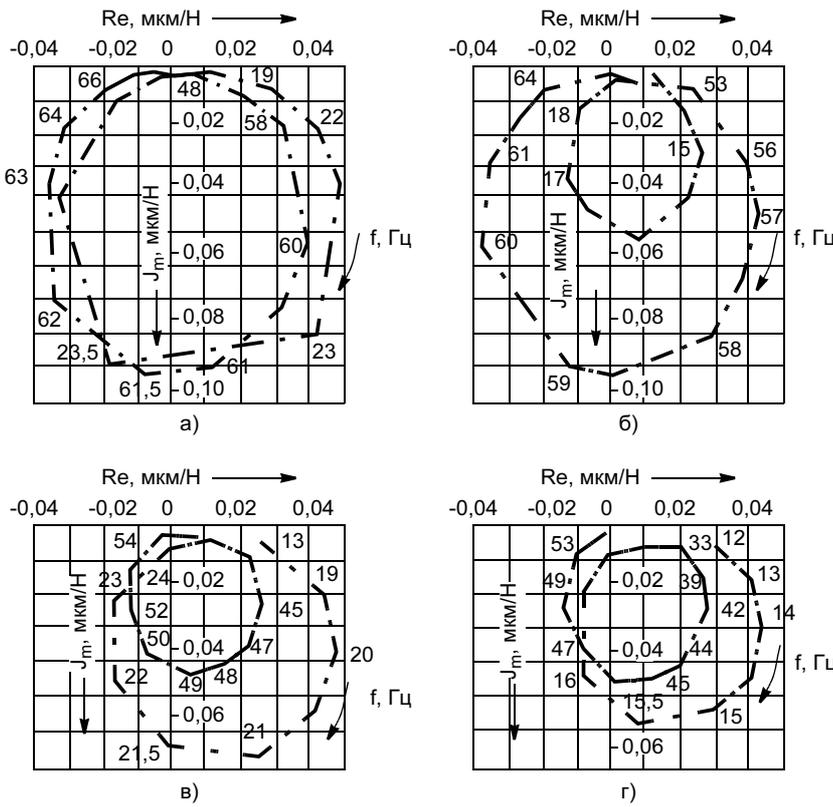


Рис. 2. АФЧХ несущей системы станка 6590ПМФ4: а — базовый вариант (все базовые детали из чугуна); б — станок с синтетрановой стойкой; в — станок с синтетрановой станиной; г — станок с синтетрановыми стойкой и станиной (f — текущая частота)

(см. рис. 2, а) снизились собственные частоты: первая — с 23 до 16 Гц, вторая — с 61 до 58 Гц; динамическая податливость на первой резонансной частоте уменьшилась в 1,7 раза, а на второй — не изменилась.

Для станка с синтетрановой станиной (см. рис. 2, в) собственные частоты также уменьшились: первая — с 23 до 21 Гц, вторая — с 61 до 48 Гц. Также уменьшилась и динамическая податливость на собственных частотах: на первой резонансной частоте в 1,35 раза, на второй — в 2,5 раза.

Для станка с синтетрановыми стойкой и станиной (см. рис. 2, г) произошли следующие изменения параметров: первая собственная частота снизилась с 23 до 15 Гц, вторая — с 61 до 45 Гц; динамическая податливость на обеих собственных частотах уменьшилась (на первой частоте в 1,5 раза, на второй — в 2 раза); значение качественной характеристики виброустойчивости $-R_{e_{max}}$ сократилось примерно в 2,5 раза. Поскольку значение $-R_{e_{max}}$ является качественной характеристикой виброус-

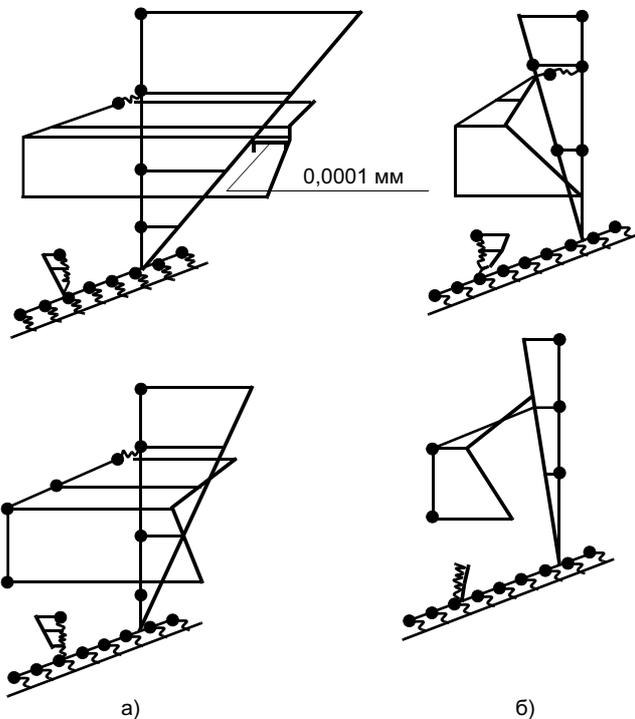


Рис. 3. Формы колебаний несущей системы станка 6590ПМФ4 на первой (а) и второй (б) резонансных частотах: сверху — чугунный вариант, внизу — станок с синтетрановыми стойкой и станиной

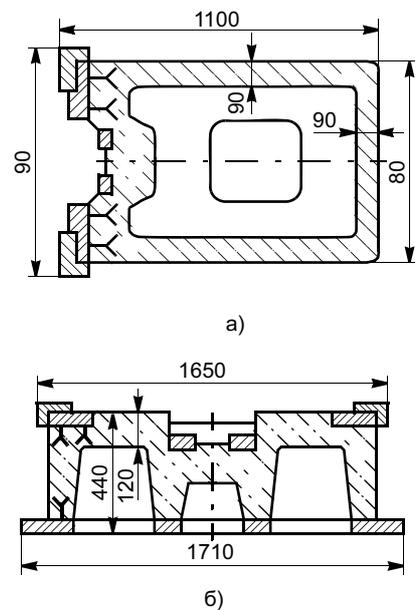


Рис. 4. Сечение синтетрановых базовых деталей: стойки (а) и станины (б)

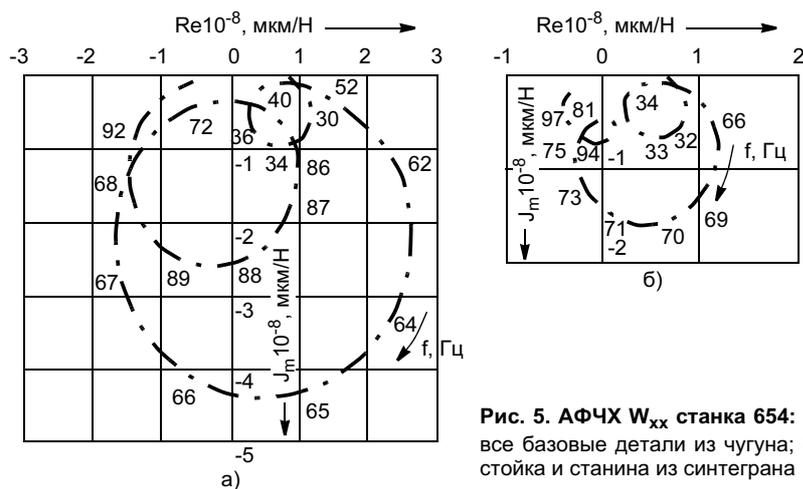


Рис. 5. АФЧХ W_{xx} станка 654: а — все базовые детали из чугуна; б — стойка и станина из синтеграна

тойчивости несущей системы станка, значит, примерно во столько же раз увеличилась виброустойчивость несущей системы.

В результате анализа форм колебаний несущей системы станка (см. рис. 3) установлено, что общая форма колебаний несущей системы не изменилась, однако у станка с синтеграновыми базовыми деталями уменьшились отклонения элементов. В частности, на первой резонансной частоте максимальное отклонение стойки уменьшилось по сравнению с базовым вариантом в 2,6 раза, а фрезерной бабки — в 1,6 раза. На второй резонансной частоте максимальное отклонение стойки уменьшилось в 2,2 раза, фрезерной бабки — в 1,9 раза.

Проведенные расчетные исследования позволили сделать вывод, что применение синтеграна для изготовления базовых деталей тяжелых фрезерных станков можно считать перспективным методом. Применение синтеграновой станины более эффективно, чем синтеграновой стойки. Наилучший результат достигается, когда из синтеграна изготовлены и стойка, и станина (рис. 5). При этом анализ динамических характеристик станка показал, что при переходе на синтегран динамическая податливость на первой резонансной частоте не изменилась, на второй — уменьшилась в 2 раза, на третьей — уменьшилась в 2,7 раза. Качественная характеристика виброустойчивости

$-R_{e_{max}}$ у станка с синтеграновыми стойкой и станиной в 2,75 раза меньше, чем у базового станка.

Расчет с применением метода конечных элементов подтвердил, что для станка 654 переход на изготовление базовых деталей из синтеграна является возможным и оправданным. Для тяжелых вертикально-фрезерных станков производства УЗТС изготовление станины и стойки из синтеграна позволит увеличить виброустойчивость станка более, чем в 2 раза, а металлоемкость этих базовых деталей уменьшить более, чем на 70 % по сравнению с чугунным вариантом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барт В. Е., Санина Г. С., Шевчук С. А. Применение полимербетонов в станкостроении // Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства. Сер. 6—3. Технология металлообрабатывающего производства. М.: ВНИИТЭМР. 1985. Вып. 11. 40 с.
2. Программы для расчета и проектирования на ЭВМ деталей и узлов металлорежущих станков: Методические рекомендации. М.: НИИМАШ, 1981. С. 101—118.
3. Кирилин Ю. В., Матренина Г. К. Опыт применения ЭВМ при проектировании тяжелых фрезерных станков // Станки и инструмент. 1982. № 7. С. 3—4.

Ю. Г. ГУРЕВИЧ, д-р техн. наук
Курганский государственный университет

Инструмент из булатной стали

Булат — композиционный материал на основе железа и углерода, благодаря своим исключительным свойствам известен с древних времен. Литой булат обладает неравновесной структурой с ярко выраженной макро- и микронеоднородностью. Неоднородность объясняется наличием слоев или волокон с различным содержа-

нием углерода, продуктов его взаимодействия с железом, имеющих, соответственно, разную структуру и свойства [1].

Структура литого булата с ярко выраженной карбидной неоднородностью соответствует структуре твердых сплавов, которые в настоящее время широко применяются для изготовления режущего

инструмента. Литой булат, как и эти сплавы, обладает высокой твердостью, прочностью и износостойкостью. Известно, что кольчуги времен Тамерлана (начало XIV столетия), были сделаны из лучшего литого булата того времени — индийского вутца. По сопротивлению удару кольчуги не уступали современным бронежилетам [2].



Рис. 1. Микроструктура фрагмента "кольчуги Тамерлана". $\times 500$

Металлографическими исследованиями установлено, что микроструктура фрагмента кольчуги состояла из трех структурных составляющих: светлой, светло-серой и темно-серой (рис. 1). Светлая составляющая представляет однофазную структуру с микротвердостью 18 500—14 500 МПа. Такая высокая твердость характерна для ледебурита, в состав которого входит первичный цементит. Ледебурит, как известно, является характерной структурой белого чугуна.

Светло-серая структура — многофазная, ее микротвердость составляет 9250—7200 МПа. Можно предполагать, что это высокоуглеродистая сталь, структура которой содержит включения цементита.

Темно-серая составляющая с микротвердостью 4200—4000 МПа представляет эвтектоидную или заэвтектоидную сталь. Ледебуритная фаза составляет 30—40 % поверхности шлифа, светло-серая и темная — 70—60 % соответственно. Таким образом, кольчуга Тамерлана была изготовлена из композиционного материала, являющегося лучшей сталью того времени и названного позже дамасском или булатом. Причем, по-видимому, это был лучший литой индийский булат, известный под названием "вутц".

Результаты исследования дают основания предполагать, что индийский вутц отличался от всех других видов литых булатов тем,

что в его структуре самой твердой составляющей был ледебурит, содержащий первичный цементит. Такой цементит образует монокристаллы, обладающие самой высокой твердостью и износостойкостью. Можно считать, что вутц представляет собой композиционный материал железо — белый чугун или железо — 25—30 % карбида железа, что соответствует содержанию углерода 2 %.

В отличие от твердых сплавов индийский вутц обладает способностью очень хорошо "держать лезвие", поэтому в древности из него изготовляли инструмент для обработки металлов [3].

При раскопках городища Ахсикет в Северной Фергане (IX — начало XIII века нашей эры) был найден инструмент, напоминающий современный напильник [4]. На стальном основании из стали, которое хорошо сохранилось, была прикреплена пластина из какого-то сплава, который оказался полностью окисленным. При исследовании было установлено, что основание представляет углеродистую сталь с содержанием углерода 0,37 %.

В сильно окисленной "рабочей" части "напильника" были обнаружены капли металла, которые оказались достаточного объема для их металлографического исследования. Приготовленные шлифы с крупинками стали после полировки оказались покрытыми темной пленкой и только после длительного травления удалось выявить полосчатую микроструктуру металла, которая полностью соответствовала микроструктуре материала доспехов из цитадели Тамерлана.

Под микроскопом в крупинке из рабочей части инструмента были видны частички меди. Таким образом, как и в современном производстве, в древности твердый сплав припаивали к стальной пластинке медью.

Современные скорости резания не позволяют применять булат

для резки стали, поскольку он не имеет должной красностойкости. Однако он идеально подходит для обработки дерева, при этом проявляются его высокие режущие свойства. Перспектива применения булата в качестве режущего инструмента для обработки дерева заманчива еще и потому, что он очень дешев: твердые сплавы и быстрорежущие стали содержат значительное количество дефицитных и дорогостоящих металлов (вольфрама, ванадия, кобальта, хрома, молибдена), а литой булат — это железо и углерод и ничего более! Получать такой сплав можно из отходов производства — стальной и чугунной стружки.

Вутц, безусловно, получали в результате плавки, так как первичные карбиды или ледебурит выделяются только из расплава. Теоретически ледебурит выделяется из расплава железо—углерод, содержащего более 2 % углерода. На практике же в вутце могло быть и меньшее количество углерода, следовательно, древние использовали особые способы выплавки сплава, которые обеспечивали ему неоднородную структуру композиционного материала. В результате длительных поисков эти способы были найдены и реализованы¹.

Способ получения вутца² основан на том, что при определенных температурных условиях ледебурит сохраняется в расплаве, а особым режимом охлаждения слитка его можно фиксировать в твердой фазе. На рис. 2 приведена микроструктура полученного автором слитка литого булата, представляющего композиционный материал железо — первичный карбид железа (общее содержание углерода в сплаве 1,69 %). На фоне сорбитообразного перлита хорошо видны включения первичного цементита и ледебурита

¹ Патент 2051184 (РФ).

² Патент 2051977 (РФ).

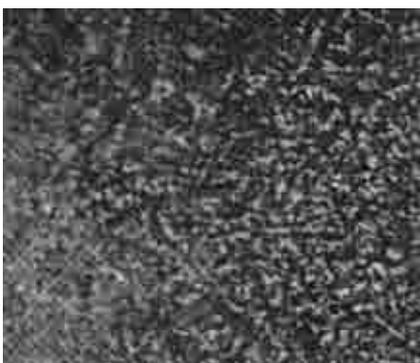


а)



б)

Рис. 2. Микроструктура слитка литого булата (вутца): а — $\times 500$; б — $\times 1000$



а)



б)

Рис. 3. Макроструктура вутца послековки и закалки (а) и его микроструктура (б). $\times 500$

в виде сетки. Микротвердость матрицы 4000—4500 МПа, ледебурита — 1100—12000 МПа, общее количество ледебурита до 28 %. Макротвердость литого булата после отжига 32—36 HRC.

Макро- и микроструктура булата послековки и закалки приведены на рис. 3. Закалку производили от 820 °С через воду в масле, затем отпуск от 150 °С. Вместо перлитной составляющей в мик-

роструктуре появилась мартенситно-карбидная смесь. Первичные карбиды — вытянутые и раздробленные. Их длина составила до 50 мкм, ширина — 4—6 мкм; твердость материала после закалки 62—64 HRC.

Из поковок вырезали пластины размером 50 × 20 мм, толщиной 5 мм, которые напайвали медью на фрезу. Аналогичные пластины были сделаны для изготовления сверл и резцов. Режущий инструмент из литого булата "держал лезвие" при обработке дерева значительно дольше, чем твердый сплав ВК15. Таким образом, режущий инструмент из булата можно эффективно применять в деревообрабатывающей промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Износостойкие композиционные материалы* / Ю. Г. Гуревич, В. Н. Анциферов, Л. М. Савиных и др. // Екатеринбург: УО РАН, 2005. 214 с.
2. *Гуревич Ю. Г., Папахристу О. А. Кольчуга Тамерлана* // *Металлург*. 1992. № 4. С. 28—30.
3. *Bayasgalan P., Gurevich J. G., Gomporezen G. / Best Damascus-Indian vuncamade in territories of the Great Mongol* // *An international symposium. New materials of steel and advanced technology*. Ulan Bator: MGU, 2002. P. 309—310.
4. *Гуревич Ю. Г., Папахристу О. А. Производство тигельной стали в Северной Фергане в IX — начале XIII веков* // *Металлург*. 1992. № 3. С. 36—38.

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.

Т. В. АЛПЕЕВА, студентка, А. А. КОТЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук
Курский государственный технический университет

Программирование перемещений при роботизированной сварке трубчатых элементов

При сооружении радиомачт, радиобашен, буровых вышек и ряда других конструкций широко используют трубчатые элементы, хорошо работающие на сжатие и кручение. Это позволяет во многих случаях снизить массу конструкции на 25—50 %, однако соединение труб в узле как непосредственно, так и с помощью фасонки оказывается весьма трудоемким. Решетчатые конструкции обычно изготавливают с применением ручного труда и простейших приспособлений.

Радикальное повышение качества решетчатых конструкций, существенное увеличение производительности труда и других экономических показателей производства достигается автоматизацией и механизацией технологических процессов за счет применения автоматических сборочно-сварочных линий с использованием роботов.

Однако процесс подготовки управляющих программ для таких линий длителен и связан с необходимостью исключения роботизированных технологических комплексов (РТК) из производственного процесса во время обучения. Для устранения этих непроизводительных затрат все шире используют системы автоматизированной подготовки и отладки управляющих программ (так называемые системы off-line-программирования) [1], оснащенные средствами математического и графического моделирования оборудования РТК и обрабатываемых изделий.

Цель данной работы — программирование перемещений по расчетным траекториям при роботизированной сварке стоек и раскосов с поясами трубчатых элементов.

На первом этапе определяли линию пересечения соединяемых поверхностей (цилиндров), продольные оси которых расположены под углом β . С каждой поверхностью можно связать свою систему координат $Oxyz$ и $Ox'y'z'$. Радиусы-векторы поверхностей [2]

$$r'(u, v) = \rho_1 \cos(u) \bar{i}_x + \rho_1 \sin(u) \bar{i}_y + v \bar{i}_z;$$

$$s(a, b) = \rho_2 \cos(a) \bar{i}_x + \rho_2 \sin(a) \bar{i}_z + b \bar{i}_y$$

при переходе от системы координат $Ox'y'z'$ к $Oxyz$ примут вид

$$r(u, v) = X(u) \bar{i}_x + Y(u, v) \bar{i}_y + Z(u, v) \bar{i}_z;$$

$$s(a, b) = \rho_2 \cos(a) \bar{i}_x + \rho_2 \sin(a) \bar{i}_z + b \bar{i}_y,$$

где $X(u)$, $Y(u, v)$, $Z(u, v)$ — координаты в системе координат $Oxyz$, выраженные через соответствующие координаты x' , y' , z' и параметры u, v :

$$X(u) = \rho_1 \cos(u);$$

$$Y(u) = \frac{\rho_2}{\operatorname{tg}(\beta)} + \frac{\rho_1 \sin(u)}{\sin(\beta)}.$$

$$Z(v) = v.$$

Тогда радиусы-векторы поверхностей примут вид

$$r(u, v) = \rho_1 \cos(u) \bar{i}_x + \left(\frac{\rho_2}{\operatorname{tg}(\beta)} + \frac{\rho_1 \sin(u)}{\sin(\beta)} \right) \bar{i}_y + v \bar{i}_z;$$

$$s(a, b) = \rho_2 \cos(a) \bar{i}_x + \rho_2 \sin(a) \bar{i}_z + b \bar{i}_y.$$

Каждая точка линии пересечения поверхностей должна удовлетворять векторному уравнению

$$r(u, v) - s(a, b) = 0. \quad (1)$$

Это векторное уравнение содержит три скалярных уравнения для компонентов радиусов-векторов поверхностей:

$$\begin{cases} r_1(u, v) - s_1(a, b) = 0; \\ r_2(u, v) - s_2(a, b) = 0; \\ r_3(u, v) - s_3(a, b) = 0; \end{cases} \begin{cases} \rho_1 \cos(u) - \rho_2 \cos(a) = 0; \\ \frac{\rho_2}{\operatorname{tg}(\beta)} + \frac{\rho_1 \sin(u)}{\sin(\beta)} - b = 0; \\ v - \rho_2 \sin(a) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Выразим параметры v, a, b через параметр u :

$$\cos(a) = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cos(u);$$

$$b = \frac{\rho_2}{\operatorname{tg}(\beta)} + \frac{\rho_1 \sin(u)}{\sin(\beta)}; \quad (3)$$

$$v = \rho_2 \sin(a) = \sqrt{\rho_2^2 - \rho_1^2 \cos^2(u)}$$

или

$$\begin{cases} x = \rho_1 \cos(u) = \rho_2 \cos(a); \\ y = \frac{\rho_2}{\operatorname{tg}(\beta)} + \frac{\rho_1 \sin(u)}{\sin(\beta)}; \\ z = \sqrt{\rho_2^2 - \rho_1^2 \cos^2(u)}. \end{cases} \quad (4)$$

Геометрический смысл параметра u следует из

рис. 1, где ANA' — окружность радиуса $x' = \frac{\rho_1}{\cos(\beta)}$ и N — точка, взятая на одной вертикали с точкой 1 эллипса по ту же сторону от оси AA' . Имеем $u = \angle A'ON$.

Для поверхностей цилиндров, расположенных под прямым углом (соединение стоек с поясами трубчатых элементов), параметры и координаты линии пересечения имеют вид

$$\begin{cases} \cos(a) = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cos(u); \\ b = \rho_1 \sin(u); \\ v = \sqrt{\rho_2^2 - \rho_1^2 \cos^2(u)} \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} x = \rho_1 \cos(u) = \rho_2 \cos(a); \\ y = \rho_1 \sin(u); \\ z = \sqrt{\rho_2^2 - \rho_1^2 \cos^2(u)}. \end{cases}$$

Сварные швы в сопряжениях цилиндрических поверхностей формируются очень сложно и могут быть рассмотрены как угловые или стыковые на различных участках линии сопряжения. Это во многом зависит от соотношения диаметров примыкающих стержней, угла их наклона α и способа подготовки кромок на торцах стержней под сварку (рис. 2).

Если соединение выполнено без разделки кромок под сварку, должны выполняться следующие требования:

- при отношении диаметра стержня решетки d к диаметру поясной трубы D меньше $0,67$ и $\alpha = 60^\circ \div 90^\circ$ шов является угловым на всем периметре сопряжения, а для углов $\alpha < 60^\circ$ шов — комбинированный (на длине $0,4l$ — стыковой, $0,6l$ — угловой);

- для отношения $d/D > 0,67$ и $\alpha = 40^\circ \div 90^\circ$ сварной шов является комбинированным ($0,6l$ — стыковой, $0,4l$ — угловой).

Если соединение выполнено с разделкой кромок под сварку, формирование шва не зависит от отношения d/D , определяющим в этом случае является угол наклона раскоса ($\alpha = 75^\circ \div 90^\circ$, шов может быть принят стыковым на всей длине линии сопряжения; $\alpha = 40^\circ \div 75^\circ$, шов комбинированный: на длине $0,6l$ — стыковой, на длине $0,4l$ — угловой).

Таким образом, для большинства применяемых в фермах соотношений диаметров стержней и наиболее часто встречающихся углов наклона раскосов к поясной трубе сварные швы по длине при-

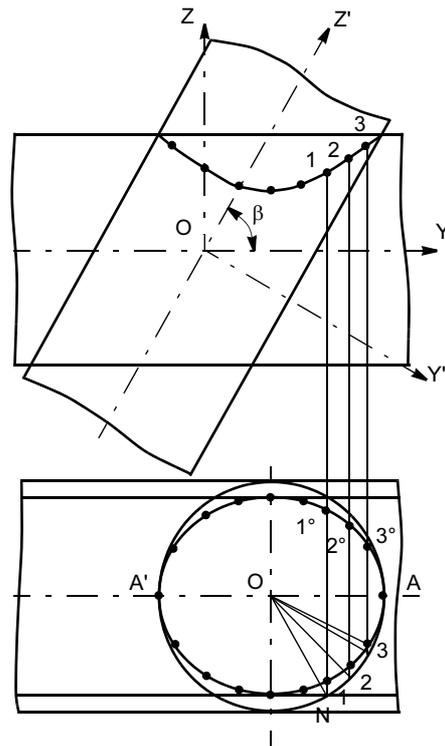


Рис. 1. Построение линии пересечения поверхностей (цилиндров), продольные оси которых не перпендикулярны

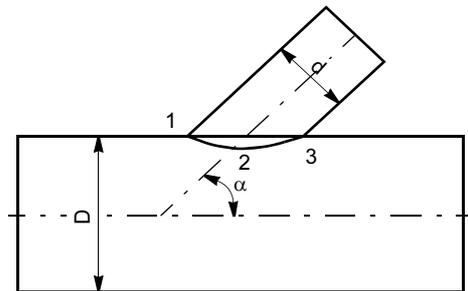


Рис. 2. Формирование сварного шва в узлах конструкций из труб

мыкания являются комбинированными: в зоне точек 1 и 3 (см. рис. 2) шов может быть принят угловым (математическая модель — поверхность фаски) с переходом в зоне точки 2 на стыковой (математическая модель — поверхность скругления).

На следующем этапе разрабатывали математические модели сварных швов.

Поверхность скругления

Рассмотрим построение поверхности скругления переменного радиуса. Для этого потребуется кривая пересечения поверхностей, расположенных под углом β . Радиус скругления r зависит от пара-

метров u, v, a, b и параметра q — высоты сварного шва, который задается заранее. Эту зависимость можно определить, рассмотрев пересечение цилиндра радиуса ρ_2 плоскостью, параллельной оси Z и проходящей через начало координат, задаваем

мой параметром u . Сечение при $u = 0$ и $u = \pi$ имеет форму окружности радиуса ρ_2 , при других значениях u , кроме $u = \pm \pi/2$, — форму эллипса с полуосями

$$x' = \frac{\rho_2}{\cos(u')} \text{ и } y' = \rho_2.$$

Построение линий пересечения, поверхностей скругления и фаски для трубчатых элементов, соединяемых под углом, отличным от прямого, приведено в таблице. Геометрический смысл параметра u' следует из рис. 1, T (см. таблицу), где ANA' — окружность радиуса $OA = \frac{\rho_1}{\sin(\beta)}$, а

$$u' = \arcsin\left(\frac{\sin(u)}{\sqrt{\sin^2(\beta)\cos^2(u) + \sin^2(u)}}\right).$$

Координаты любой точки эллипса определяют по формулам

$$\begin{cases} x'' = A \cos(t); \\ y'' = B \sin(t); \end{cases}$$

где $A = x' = \frac{\rho_2}{\cos(u')}$, $B = y' = \rho_2$, тогда

$$\begin{cases} x'' = \frac{\rho_2}{\cos(u')} \cos(t); \\ y'' = \rho_2 \sin(t). \end{cases}$$

Геометрический смысл параметра t иллюстрирует рис. 1, T (см. таблицу), где ANA' — окружность радиуса $x' = \frac{\rho_2}{\cos(u')}$ и N — точка, взятая на одной

вертикали с точкой M эллипса по ту же сторону от оси AA' . Имеем $t = \angle A'ON$. Радиус, проведенный из центра координат в точку эллипса,

$$\rho = \sqrt{(x'')^2 + (y'')^2} = \rho_2 \sqrt{\frac{\cos(t)^2}{\cos(u')^2} + \sin(t)^2}.$$

Для любой точки пересечения параметр t определяется в зависимости от u :

$$\cos(t) = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cos(u'),$$

а угол $\angle AOM = t_n = \frac{\rho_1}{\rho_2 \sqrt{1 + \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \sin(u')\right)^2}}$ (см. табл. 1, рис. 2, T — угол t_1).

Угол $t_2 = \angle AOP$ можно определить из рис. 2, T (см. таблицу), на котором отрезки QM и MP задают

Рисунок	Построение элемента	Графическое изображение
1, T	Линии пересечения $u = 30^\circ$	
2, T	Поверхности скругления $u = 30^\circ$	
3, T	То же, $u = 90^\circ$	
4, T	То же, $u = 0$	
5, T	Поверхности фаски $u = 30^\circ$	

ся параметром q , длина дуги MP приблизительно равна отрезку MP .

Длина дуги плоской линии (в прямоугольных координатах)

$$S = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{[x'(t)]^2 + [y'(t)]^2} dt,$$

где t — какой-либо параметр, через который выражены текущие координаты, или

$$S = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + y'^2} dx,$$

если линия задана явно, в виде $y = y(x)$.

В данном случае требуется выразить длину дуги MP , которую можно определить по формуле

$$\begin{aligned} S &= \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{[x'(t)]^2 + [y'(t)]^2} dt = \\ &= \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{[-A \sin(t)]^2 + [B \cos(t)]^2} dt, \end{aligned}$$

где $A = x' = \frac{\rho_2}{\cos(u')}$, $B = y' = \rho_2$ — полуоси эллипса.

С другой стороны, эллипс может задаваться каноническим уравнением

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = 1,$$

тогда $y = \pm \frac{B}{A} \sqrt{A^2 - x^2}$ и длина дуги определяется по формуле

$$S = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + \left[\frac{2Bx}{2A\sqrt{A^2 - x^2}} \right]^2} dx,$$

где $x_1 = \frac{\rho_2}{\cos(u')} \cos(t_1)$ и $x_2 = \frac{\rho_2}{\cos(u')} \cos(t_2)$. Это

выражение можно представить в виде $S = F(x_2) - F(x_1)$. Поскольку длина дуги MP задается величиной параметра q , то из этого равенства можно определить x_2 . Тогда $\cos(\angle PMM') = \frac{x_2 - x_1}{q}$,

$$\angle PMM' = \arccos\left(\frac{x_2 - x_1}{q}\right).$$

Рассмотрим пересечение цилиндра радиуса ρ_1 плоскостью, параллельной оси Z и проходящей через начало координат (точку O), задаваемой пара-

метром u' . Сечение при $u = 0$ имеет форму эллипса (так как цилиндр расположен не строго вертикально, а под углом β) с полуосью $z' = \frac{2\rho_1}{\cos(\beta)}$, проходя-

щего через точку пересечения; при $u' = \pm \pi/2$ — форму прямоугольника, расположенного под углом $\gamma = \arctg\left(\frac{\sin(u)}{\tg(\beta)}\right)$ к оси Z (угол γ зависит от парамет-

ра u и угла наклона поверхностей); при других значениях u' — форму эллипса с полуосью $z' = \frac{2\rho_1}{\cos(\beta)} \cos(\gamma)$, проходящего через соответствующую

точку пересечения. При больших углах наклона цилиндров дугу MQ можно приближенно считать прямым отрезком. Тогда $\angle MO'Q = 360^\circ - 90^\circ - 90^\circ - \angle PMQ = 180^\circ - \angle PMQ$.

Радиус скругления

$$r = \frac{q}{\tg(\angle MO'Q)}.$$

Поверхность скругления задается параметрическим уравнением

$$x^2 + y^2 + z^2 = r^2,$$

в данном случае

$$(x - x_r)^2 + (y - y_r)^2 + (z - z_r)^2 = r^2,$$

где x_r, y_r, z_r — координаты центра, равные

$$x_r = (x'' + r \cos(t)) \cos(u') = (x' \cos(t) + r \cos(t)) \cos(u') =$$

$$= \left(\frac{\rho_2}{\cos(u')} + r \right) \cos(t) \cos(u');$$

$$y_r = (x'' + r \cos(t)) \sin(u) = \left(\frac{\rho_2}{\cos(u)} + r \right) \cos(t) \sin(u);$$

$$z_r = y'' + r \sin(t) = (\rho_2 + r) \sin(t).$$

Построение линий пересечения, поверхностей скругления и фаски для трубчатых элементов, соединяемых под углом $0, 30$ и 90° , приведено на рис. 2, 3—4, T (см. таблицу):

— на рис. 2, T сечение имеет форму эллипса, при $\rho_1 = 60$ и $\rho_2 = 70$, $r = 25,5$, $u = 30^\circ$, $x = 7/\cos 30^\circ$, $z = \rho_2 = 70$, 1 — точка пересечения поверхностей, 2, 3 — точки касания поверхности скругления;

— на рис. 3, T радиус скругления — наименьший, при $\rho_1 = 60$ и $\rho_2 = 70$, $r = 5,77$, $u = 90^\circ$, $a = 90^\circ$, $x = 0$, $y = 60$, $z = 70$ ($q = 10$);

— на рис. 4, T сечение имеет форму окружности радиуса ρ_2 , радиус скругления — наибольший, $u = 0$, $r = 42$, 1 — точка пересечения цилиндров, 2, 3 — точки касания.

Поверхность фаски

Поверхность фаски можно связать с линией пересечения поверхностей $s(s)$, представить в виде множества прямых, совпадающих с отрезками QP (рис. 5, T , см. таблицу) для каждого значения параметра u . Прямую, проходящую через точки $Q(x_q, y_q, z_q)$ и $P(x_p, y_p, z_p)$, можно представить уравнениями

$$\frac{x - x_q}{x_p - x_q} = \frac{y - y_q}{y_p - y_q} = \frac{z - z_q}{z_p - z_q}.$$

Координаты $x_q, y_q, z_q, x_p, y_p, z_p$ зависят от параметров u, t и q :

$$\begin{cases} x_q = (\rho_1 + q \sin(\gamma)) \cos(u); & x_p = OP' \cos(u) = x_2 \cos(u); \\ y_q = (\rho_1 + q \sin(\gamma)) \sin(u); & y_p = OP' \sin(u) = x_2 \sin(u); \\ z_q = \rho_2 \sin(t_2) + q \cos(\gamma); & z_p = OP' \operatorname{tg}(t_2) = x_2 \operatorname{tg}(t_2). \end{cases}$$

Аналогично получают соответствующие уравнения для случая, когда поверхности расположены под прямым углом.

При составлении управляющей программы для роботизированной сварки криволинейных швов теоретическая ("идеальная") траектория сварочного инструмента определяется совокупностью прямолинейных отрезков, количество и размер которых зависят от требуемой точности выполнения соединения. В программу вводятся последовательные повторяющиеся перемещения по трем осям и углы поворота φ и γ . При этом траекторию целесообразно разбивать на отрезки, задавая определенное приращение одной из координат. Например, для сварки трубчатых элементов угол наклона γ сварочного инструмента можно оставлять постоянным и, задавая приращение угла поворота φ , определять координаты x, y, z по формулам линии пересечения поверхностей (угол φ в данном случае сходен с параметром u) (рис. 3).

Для построения управляющей программы для сварки труб диаметром 50 мм при допустимом от-

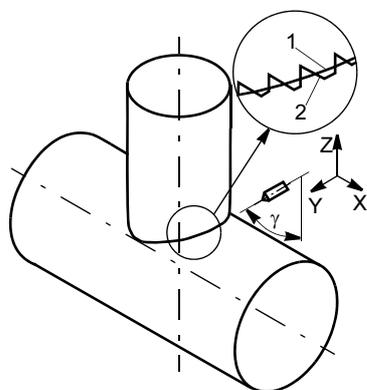


Рис. 3. Элементы траектории сварочного инструмента: 1 — участок теоретического положения свариваемого стыка; 2 — траектория перемещения сварочного инструмента

клонении для данного размера 0,5 мм составим уравнения приращения координат перемещения сварочного инструмента и определим максимальное приращение угла поворота φ , при котором обеспечивается заданная точность, в общем виде:

$$\begin{cases} \Delta x = \rho(1 - \cos(\Delta\varphi_x)); \\ \Delta y = \rho \sin(\Delta\varphi_y); \\ \Delta z = \sqrt{\rho_2^2 - \rho_1^2 \cos(\Delta\varphi_z)^2}. \end{cases}$$

Для рассматриваемого случая

$$\begin{cases} \Delta x = \rho(1 - \cos(\Delta\varphi_x)); \\ \Delta y = \rho \sin(\Delta\varphi_y); \\ \Delta z = \rho \sqrt{1 - \cos(\Delta\varphi_z)^2} = \rho \sqrt{\sin(\Delta\varphi_z)^2} = \rho \sin(\Delta\varphi_z). \end{cases}$$

Подставим в уравнения значения $\Delta x = 0,5$, $\Delta y = 0,5$, $\Delta z = 0,5$ и найдем значения $\Delta\varphi_x, \Delta\varphi_y$, выберем наименьшее $\Delta\varphi$ для задания перемещений в программе:

$$\begin{cases} 0,5 = 25(1 - \cos(\Delta\varphi_x)); & \Delta\varphi_x = 11,478^\circ; \\ 0,5 = 25 \sin(\Delta\varphi_y); & \Delta\varphi_y = 1,146^\circ. \end{cases}$$

При угле поворота $\Delta\varphi = 1,146^\circ$ обеспечивается необходимая точность перемещений по всем трем осям. Разобьем $\varphi = 360^\circ$ на целое количество $\Delta\varphi$:

$$n = \frac{360^\circ}{1,146^\circ} = 314,136, \text{ принимаем } n = 315, \text{ тогда}$$

$$\Delta\varphi = \frac{360^\circ}{315} = 1,143^\circ.$$

При составлении программы задаем значение $\Delta\varphi = 1,143^\circ$ и вычисленные перемещения $\Delta x = 0,005$, $\Delta y = 0,5$, $\Delta z = 0,5$.

Перемещение по координатной оси $\Delta = d_j i$ (d_j — дискретность счетного датчика, зависящая от типа робота, i — число импульсов датчика, равное Δ/d_j).

Затем составляем управляющую программу для РТК.

ВЫВОД

Разработаны математические модели сварных швов и программа перемещений сварочного инструмента по расчетным траекториям при роботизированной сварке стыков на пересечении трубчатых элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тертышный В. Т. Программирование перемещений при роботизированной сварке криволинейных швов // Автоматическая сварка. 1993. № 3. С. 48—52.
2. Голованов Н. Н. Геометрическое моделирование. М.: Издательство физико-математической литературы, 2002. 472 с.

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

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

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

Сварка взрывом тонколистовых заготовок с пакетным и рулонным расположением свариваемых элементов

Введение

Замена во многих отраслях промышленности традиционных конструкционных материалов биметаллическими и многослойными композиционными материалами служит основой для существенного повышения качества, надежности и конкурентоспособности изготавливаемых изделий и оборудования.

Сварка взрывом — один из перспективных технологических процессов изготовления композиционных материалов различного строения и конфигурации. Высокопроизводительный и экономичный процесс сварки взрывом позволяет получать соединения практически любых разнородных металлов и сплавов с прочностью на отрыв слоев на уровне основных металлов.

При сварке взрывом образование соединения происходит в результате деформационного воздействия на соединяемые материалы, характеризующегося высокой скоростью их соударения при малой длительности процесса и вызывающего двухстадийную топохимическую реакцию, в результате протекания которой конечные свойства получаемых соединений определяются степенью, характером и временем деформации. Это позволяет рассматривать сварку взрывом как обычный управляемый процесс, являющийся для ряда конструкций и сочетаний материалов безальтернативным технологическим решением и позволяющим получать качественные соединения [1].

Пакетная сварка

При традиционной схеме сварки металлических пластин между собой [2] пластины устанавливают относительно друг друга с зазором, на одной располагают заряд взрывчатого вещества (ВВ), который инициируют, в результате метания пластины продуктами взрыва она соударяется с неподвижной пластиной с образованием сварного соединения. Недостатком способов сварки, осуществляемых по данной схеме, является то, что при сварке тонколистовых заготовок при непосредственном расположении зарядов ВВ на тонколистовой заготовке в процессе взрыва происходит ее частичное разрушение. К недостатку данной схемы следует также отнести

невозможность получения за один подрыв нескольких сварных деталей.

Известен способ¹, в котором с целью получения нескольких деталей за один подрыв листы располагают вертикально в батарею с установкой нескольких зарядов ВВ. Данный способ не может быть применен для сварки тонколистовых заготовок из-за сильного коробления при сварке.

Известен способ сварки взрывом многослойных композиций [3], при котором заготовки собирают с зазором в пакет, на поверхность верхней заготовки наносят защитный слой, далее устанавливают фальшпластину с зарядом ВВ и последний инициируют. Данный способ позволяет получать из тонколистовых заготовок и фольг одну монолитную композиционную заготовку с большим количеством слоев. Недостатком этого способа является то, что он сложен в осуществлении, особенно в условиях полигона, а также не позволяет получить за один подрыв несколько многослойных тонколистовых заготовок. При осуществлении способа требуется специальное приспособление для предупреждения попадания пыли в зазоры между свариваемыми заготовками.

С учетом вышеизложенного разработан пакетный способ² сварки тонколистовых заготовок, позволяющий одним зарядом ВВ сваривать несколько тонколистовых заготовок из предварительно собранных пакетов под сварку. Пакеты могут быть собраны предварительно и далее транспортироваться к месту ведения взрывных работ, при этом предусматривается защита от попадания пыли и песка в зазоры между свариваемыми заготовками. Пакет собирают из двух и более тонколистовых заготовок, расположенных с зазором. Защитный слой наносят на наружную поверхность пакета в виде оболочки, надеваемой на пакет. Защитный слой со стороны действия продуктов детонации при взрыве заряда ВВ может быть усилен за счет установки на пакет, окруженный оболочкой, резиновых, поролоновых или других накладок, соприкасающихся с верхней в пакете тонколистовой заготовкой.

¹ А. с. 247762 (СССР).

² Патент 2074074 (РФ).

Собранные таким образом пакеты устанавливают горизонтально на основание друг на друга (два и более пакета), над сборкой размещают фальшпластину с зарядом ВВ, последний инициируют. В результате высокоскоростного соударения фальшпластины с пакетом и последующего высокоскоростного соударения листовых заготовок между собой внутри пакета происходит сварка листовых заготовок.

Защитный слой препятствует сварке заготовок из разных пакетов. При данном способе сварки можно вместо фальшпластины использовать один из пакетов с усиленным защитным слоем со стороны заряда ВВ, выполняя этот пакет по габаритным плоским размерам несколько больше остальных.

На рис. 1 приведен собранный под сварку пакет, на рис. 2 — принципиальная схема пакетной сварки.

Способ заключается в следующем. Тонколистовые заготовки 1 (см. рис. 1) устанавливают с зазором 3 относительно друг друга при помощи фиксаторов 2, на наружные поверхности наносят защитный слой 4, в результате получают пакет 5.

На основание 1 (см. рис. 2) устанавливают горизонтально друг на друга три пакета 2, над сборкой располагают фальшпластину 3 с зарядом ВВ 4 и детонатором 5. Затем производят сварку взрывом.

Предложенный способ экспериментально опробован при изготовлении экспериментальной партии трехслойных листовых заготовок алюминий + медь + титан размером $500 \times 200 \times 3$ мм.

В пакет собирали листовые заготовки из алюминия АД1М, меди М1, титана ВТ1-О размером $500 \times 200 \times 1$ мм. Сборку пакета производили таким образом: на титановый лист с зазором 1 мм устанавливали

медный лист, на последний с зазором 1 мм — лист из алюминия. Зазоры фиксировали V-образными вставками высотой 1 мм из меди толщиной 0,3 мм. На сборку надевали оболочку с внутренним сечением 200×5 мм длиной 550 мм из полиэтилена толщиной 0,3 мм.

Собрав три аналогичных пакета, один устанавливали на стальную плиту без зазора. Плита, выполненная из стали Ст3, имела размеры $550 \times 250 \times 40$ мм. Затем на первый пакет также горизонтально устанавливали второй и третий пакеты без зазора между ними. Над третьим пакетом с зазором 10 мм устанавливают фальшпластину из стали Ст3 размерами $550 \times 250 \times 6$ мм.

На фальшпластине по всей поверхности размещали заряд ВВ из смеси аммонита 6ЖВ с аммиачной селитрой в соотношении 1:1 высотой 40 мм. Заряд ВВ инициировали с помощью электродетонатора.

В результате сварки взрывом тонколистовых заготовок получили за один подрыв три трехслойных листа алюминий + медь + титан размером $500 \times 200 \times 3$ мм. Полиэтиленовый защитный слой частично разрушился при сварке, частично был удален механическим путем после сварки. Листы имели допустимое коробление и качественную сварку между слоями.

Прочность шва между алюминиевой и медной заготовками составляла при испытании на срез $\tau_{ср} = 50 \div 60$ МПа, между медной и титановой заготовками $\tau_{ср} = 120 \div 130$ МПа.

Пакетно-рулонная сварка

В работе [4] описан способ сварки металлических пластин, при котором собирают пакет из двух пластин, установленных с зазором, заряд ВВ инициируют и-metaют одну заготовку на другую.

При сварке тонких листов по данному способу требуется массивное основание для предотвращения коробления пластин в процессе соединения, при этом необходима защита поверхности метаемого тонкого листа от действия продуктов взрыва, которые могут разрушить его.

Предлагаемый пакетно-рулонный способ сварки взрывом тонколистовых заготовок позволяет получать из тонколистовых заготовок длинные многослойные листы с качественным сварным соединением по всей длине с минимальными металлозатратами на технологическую оснастку³.

Поставленная задача достигается тем, что две и более листовые заготовки устанавливают с зазором между собой в виде пакета, на наружную поверхность которого наносят защитный слой — краску, резину, полиэтилен и другие известные материалы. Собранный таким образом пакет имеет

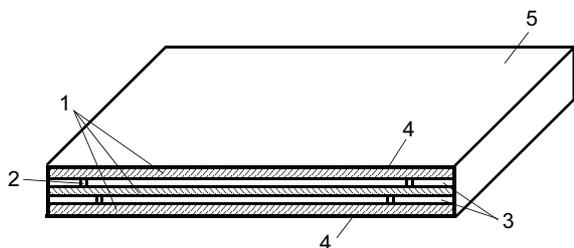


Рис. 1. Принципиальная схема пакета

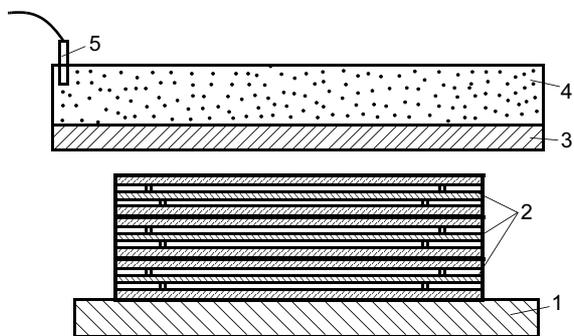


Рис. 2. Принципиальная схема пакетной сварки взрывом тонколистовых заготовок

³ Патент 2074075 (РФ).

длину L , равную длине свариваемых тонколистовых заготовок, ширину H , равную ширине свариваемых заготовок, и высоту h , равную сумме толщин свариваемых листовых заготовок, защитных слоев и зазоров между листами. Далее пакет по длине L сворачивают плотно без зазора в многослойный рулон с внутренним диаметром d , наружным диаметром D , с числом слоев n и высотой, равной ширине пакета H . Внутренний диаметр рулона d задается исходя из технических возможностей сворачивания пакета в рулон, требуемой длины многослойного листа и выбранной технологии ведения сварочно-взрывных работ.

Наружный диаметр D рулона зависит от длины пакета L , его высоты и числа слоев в рулоне n , получается автоматически при сворачивании и связан с внутренним диаметром рулона d соотношением

$$D = d + 2hn.$$

Длина сворачиваемого пакета L , число слоев n в рулоне и внутренний диаметр рулона d связаны между собой соотношением

$$L = \pi n \left[d + \frac{(1 + 2m)n}{2} \right].$$

Концы рулона по высоте пакета закрепляют изнутри и снаружи клинообразными фиксаторами. Благодаря своей клинообразной форме, фиксаторы выравнивают рулон по цилиндрическим наружной и внутренней поверхностям.

Рулон ставят вертикально, соосно рулону на его внутреннюю и наружную поверхности с диаметрами d и D соответственно размещают заряды ВВ, которые далее иницируют.

Свариваемые тонколистовые заготовки в рулоне, свернутом из пакета, расположены с зазором между собой по спиральным поверхностям. В результате действия продуктов взрыва происходит высокоскоростное косое соударение слоев заготовок между собой, приводящее к их сварке по спиральным поверхностям. Процесс идет последовательно по высоте рулона (ширине свернутых листов).

После сварки рулон по защитным слоям разворачивают в лист. Удаление защитных материалов после сварки возможно непосредственно в рулоне или с развернутого листа механическим или химическим методом.

Для защиты поверхности рулона от действия продуктов детонации и предотвращения раскручивания рулона сразу после сварки и в процессе химического удаления материала защитного слоя из рулона между цилиндрической поверхностью и зарядом ВВ размещают цилиндрическую фальшобечайку, которую убирают после сварки и химического удаления материала защитного слоя из рулона перед его разворачиванием.

В данном способе обечайка выполняет двойную функцию: защищает поверхность рулона от воздей-

ствия продуктов детонации, служит фиксатором от раскручивания рулона перед сваркой и особенно после сварки при химическом удалении защитного слоя и может в дальнейшем использоваться как тара-упаковка при транспортировании рулона.

Для упрощения технологии сворачивания пакета в рулон две свариваемые заготовки с защитным слоем собирают в пакет без зазора с расположением защитного слоя только внутри пакета между заготовками. Необходимый для сварки взрывом зазор между свариваемыми поверхностями делают по спиральным поверхностям в процессе сворачивания пакета в рулон, начиная со второго витка, по наружным незащищенным поверхностям пакета. Листовые заготовки при этом свариваются по наружным поверхностям пакета, находящимся в соседних витках рулона.

Для получения сразу нескольких многослойных листов за один подрыв в рулон сворачивают два и более пакетов, выполненных ранее описанным способом.

На рис. 3 приведена схема сборки листовых заготовок с зазором между собой в пакет для последующего сворачивания, на рис. 4 — схема сворачивания пакета в спиральный рулон с использованием клинообразных вставок-фиксаторов, на рис. 5 — схема размещения рулона и заряда ВВ перед сваркой и его поперечное сечение А—А, на рис. 6 — схема установки рулона из пакета, намотанного на внутреннюю оправку, с установкой фальшобечайки между рулоном и зарядом ВВ, на рис. 7 — схема разворачивания рулона после сварки, на рис. 8 —

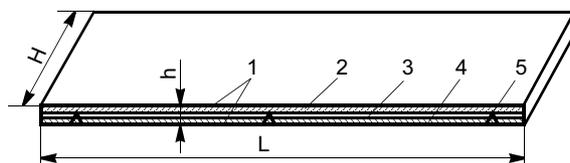


Рис. 3. Схема сборки листовых заготовок с зазором в пакет для последующего сворачивания

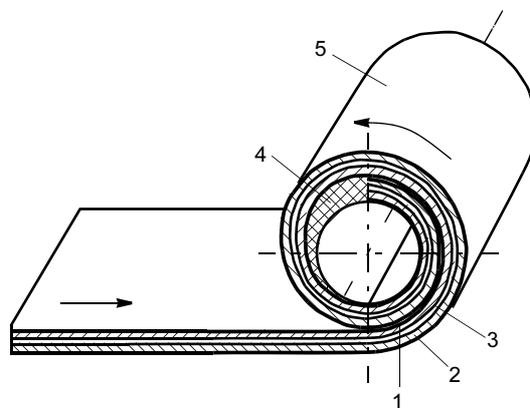


Рис. 4. Схема сворачивания пакета в спиральный рулон с применением клиновидных вставок-фиксаторов

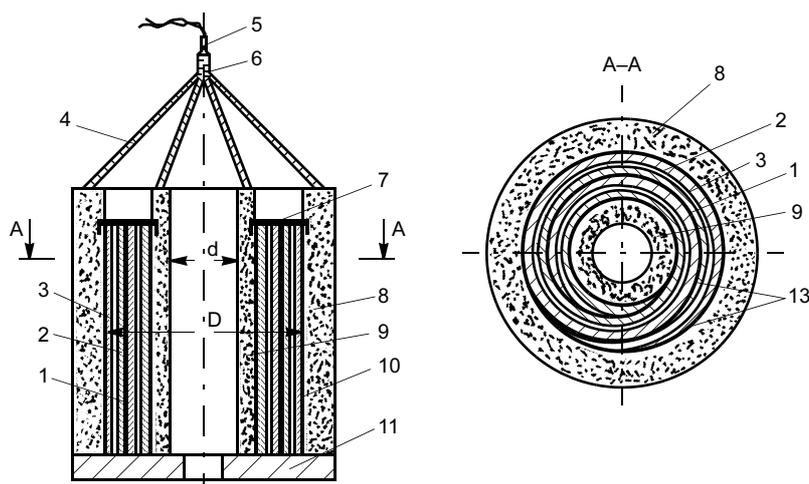


Рис. 5. Схема размещения рулона и заряда ВВ перед сваркой

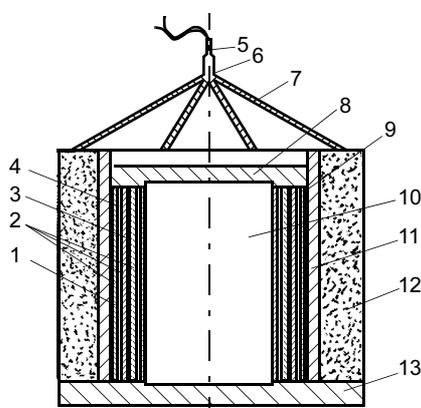


Рис. 6. Схема рулона, намотанного на внутреннюю оправку, с установкой фальшобечайки между рулоном и зарядом ВВ

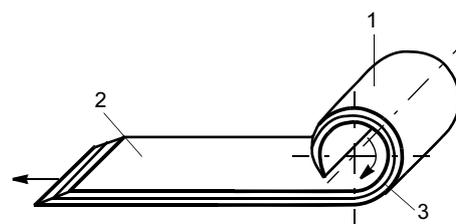


Рис. 7. Схема развертывания рулона после сварки

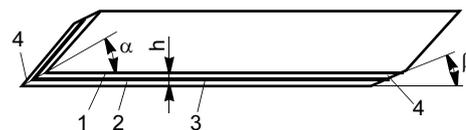


Рис. 8. Схема сборки пакета без зазора между листовыми заготовками для последующего сворачивания

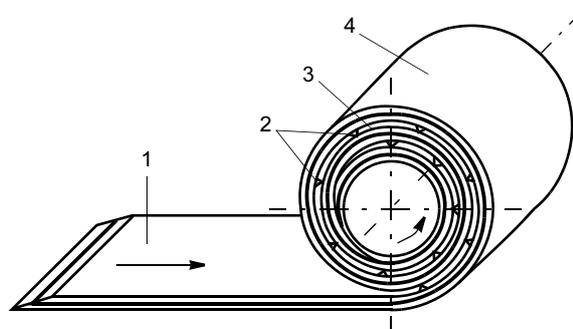


Рис. 9. Схема сворачивания пакета в рулон с зазором между витками

схема сборки пакета без зазора между свариваемыми листовыми заготовками для последующего сворачивания, на рис. 9 — схема сворачивания пакета в рулон с зазором между витками рулона.

Свариваемые тонколистовые заготовки 2 и 3 (см. рис. 3) устанавливают относительно друг друга с зазором 4, определенным фиксаторами 5. На наружную поверхность собранного таким образом пакета наносят защитный слой 1. Пакет имеет длину L , равную длине свариваемых тонколистовых заготовок, ширину H , равную ширине свариваемых тонколистовых заготовок, и высоту h , равную сумме толщин сворачиваемых заготовок, зазора и защитного слоя.

Пакет (см. рис. 4) по длине плотно сворачивают без зазора в рулон 5 с установкой внутри и снаружи клинообразных вставок-фиксаторов 4 (на рис. 4 наружная вставка не показана) с сохранением зазора 3 между сворачиваемыми заготовками 1 и 2 по их спиралевидным поверхностям, образующимся из плоских поверхностей при сворачивании пакета в рулон.

Пакет сворачивают в рулон 10 (см. рис. 5) с внутренним диаметром d и наружным D .

Внутренний диаметр d задают из технических возможностей сворачивания пакета в рулон, он зависит от схемы ведения сварочно-взрывных работ.

Наружный диаметр рулона зависит от длины пакета L , его высоты H и числа слоев n в рулоне и получается автоматически при сворачивании. Диаметры связаны соотношением

$$D = d + 2hn.$$

Рулон (см. рис. 5) устанавливают на основание 4 вертикально, снаружи и внутри рулона располагают цилиндрические заряды ВВ соответственно 8 и 9 соосно оси рулона. От раскручивания рулон закрепляют скобами-фиксаторами 7. Внутри рулона (см. сечение А—А) между свариваемыми заготовками 1 и 2 сохранен зазор 3. Защитный слой 13 пакета, свернутого в рулон, становится защитным слоем рулона по цилиндрическим поверхностям, с которыми соприкасаются заряды ВВ. Последние ини-

цируют детонирующим шнуром 4, собранным в "паук" 6, с помощью детонатора 5.

Рулон 9 (см. рис. 6) образован путем намотки пакета на внутреннюю оправку 10 и установлен на основание 13. Сверху рулон закрывают крышкой-фиксатором 8, затем надевают цилиндрическую фальш-обечайку 11, на которой размещают заряд ВВ. В рулоне между свариваемыми заготовками 4 и 3 оставлен зазор 1. Заряд инициируют детонирующим шнуром 7, собранным в "паук" 6, с помощью детонатора 5.

В результате высокоскоростного соударения свариваемых заготовок под действием энергии взрыва они, находясь в рулоне 9 (см. рис. 6), свариваются между собой в рулон 1 (см. рис. 7) с образованием сварного шва 3. Рулон после сварки разворачивают в многослойный лист 2.

Как вариант возможна схема сборки пакета без зазора между свариваемыми листовыми заготовками (см. рис. 8). Пакет собирают без зазора из двух заготовок 1 и 2 с расположением защитного слоя 3 между заготовками. На пакете делают технологические скосы 4 под углами α и β для более качественного сворачивания пакета в рулон.

Пакет 1 (см. рис. 9) сворачивают в рулон 4, при этом на первом витке — без зазора, на последующих — с зазором 3. Для этого устанавливают фиксаторы 2 в процессе сворачивания. Зазор образуется по наружным поверхностям пакета, находящимся в соседних слоях рулона.

Предложенный способ экспериментально опробован в четырех вариантах при изготовлении экспериментальной партии биметаллических заготовок медь—никель размером $1900 \times 200 \times 2$ мм со слоями меди и титана в 1 мм.

Вариант 1. Пакет собирают следующим образом. На медной тонколистовой заготовке размером $1900 \times 200 \times 1$ мм с зазором 1 мм устанавливают никелевую тонколистовую заготовку размером $1900 \times 200 \times 1$ мм. Зазор между заготовками фиксируют медными вставками-фиксаторами размером $1 \times 1 \times 1$ мм, установленными по длине и ширине свариваемых заготовок в шахматном порядке. На наружные поверхности собранного таким образом пакета, а именно, сверху — на никелевую заготовку, снизу — на медную наносят защитный слой — масляную краску толщиной 0,2 мм. Пакет получают длиной 1900 мм, шириной 200 мм и высотой $0,2 + 1,0 + 1,0 + 1,0 = 3,4$ мм.

Пакет по длине сворачивают вручную в рулон с внутренним диаметром 100 мм плотно без зазора между витками пакета, но с сохранением зазора в 1 мм между медной и никелевой заготовками внутри пакета. Витков в рулоне пять, наружный диаметр 135 мм. По торцам рулон закрепляют проволочными скобами, по три скобы с каждого торца, для предотвращения раскручивания рулона.

Затем рулон ставят вертикально на один из торцев, соосно рулону на его внутреннюю и наружную поверхности диаметрами соответственно 100 и 125 мм устанавливают кольцевые заряды ВВ. Заряд ВВ, установленный внутри рулона, имеет диаметр 100 мм, толщину 10 мм и высоту 200 мм.

Снаружи рулона устанавливают второй кольцевой заряд ВВ диаметром 135 мм, толщиной слоя 8 мм и высотой 200 мм.

Формирование заряда ВВ производят с помощью картонных вставок. Заряд ВВ — аммонит 6ЖВ + аммиачная селитра в соотношении 1:1. Заряды ВВ инициируют синхронно с помощью детонирующего шнура и электродетонатора после установки всей сборки во взрывную камеру.

После взрывной обработки рулон по защищенным масляной краской участкам разворачивают вручную. В результате получают тонкую биметаллическую листовую заготовку медь + никель размером $1900 \times 200 \times 2$ мм со слоем меди и никеля толщиной по 1 мм. Масляную краску удаляют с помощью растворителя РС-2 (на основе скипидара).

Вариант 2. Аналогично описанному в варианте 1 собирают пакет и сворачивают в рулон с внутренним диаметром 100 мм. Внутри рулона устанавливают стальной стержень из стали Ст3 диаметром 100 мм, длиной 200 мм. Снаружи рулона по диаметру 135 мм устанавливают фальшобечайку из полихлорвинила с внутренним диаметром 135 мм, толщиной стенки 2 мм и высотой 250 мм.

На фальшобечайке размещают кольцевой заряд ВВ диаметром 139 мм, толщиной слоя ВВ 10 мм и высотой 250 мм. Состав аналогичен варианту 1. Заряд ВВ инициируют с помощью детонирующего шнура и электродетонатора после размещения всей сборки во взрывной камере. После обработки взрывом всю сборку помещают в сосуд с растворителем РС-2 и выдерживают в течение около 3 ч. Далее рулон разворачивают в биметаллическую тонколистовую заготовку.

Вариант 3. Пакет собирают следующим образом: на медной и никелевой заготовках размером $1900 \times 200 \times 1$ мм на начальном и конечном участках выполняют скосы по всей ширине 200 мм на толщине 1 мм. Угол скоса на начальных участках

$$\alpha = \arctg \frac{2H}{\pi d} = \arctg \frac{2 \cdot 3,4}{3,14 \cdot 100} = 1^{\circ}14',$$

где H — толщина собираемого пакета, равная 3,4 мм; d — задаваемый внутренний диаметр рулона, равный 100 мм.

Угол скоса на конечных участках

$$\beta = \arctg \frac{2H}{\pi D} = \arctg \frac{2 \cdot 3,4}{3,14 \cdot 135} = 0^{\circ}54',$$

где D — наружный диаметр рулона, равный 135 мм.

На медную заготовку с зазором в 1 мм и со сдвигом по длине для образования у пакета начального угла $1^{\circ}14'$ и конечного угла $0^{\circ}54'$ устанавливают заготовку из никеля. Зазор между пластинами фиксируют медными вставками-фиксаторами размером $1 \times 1 \times 1$ мм. На наружные поверхности собранного пакета: сверху — на никелевую заготовку, снизу — на медную наносят защитный слой — масляную краску толщиной 0,2 мм. Пакет получают длиной 2090 мм, шириной 200 мм, высотой $0,2 + 1,0 + 1,0 = 3,4$ мм. Далее пакет сворачивают вручную в рулон, наматывая на оправку, выполненную в виде стального стержня диаметром 100 мм и длиной 200 мм. Сворачивают так, что между витками зазор отсутствует, но сохраняется зазор в 1 мм между медной и никелевой заготовками. Витков в рулоне 5, наружный диаметр 135 мм. По наружному диаметру рулона устанавливают фальшобечайку из полихлорвинила с толщиной стенки 2 мм и высотой 250 мм. На фальшобечайке размещают кольцевой заряд ВВ диаметром 139 мм. Толщина слоя ВВ 10 мм, высота 250 мм. Состав ВВ аналогичен вариантам 1 и 2. Заряд ВВ инициируют с помощью детонирующего шнура и электродетонатора после установки вертикально всей сборки во взрывной камере.

После обработки — сварки взрывом медной и никелевой заготовок между собой — всю сборку помещают в сосуд с растворителем РС-2 и выдерживают в течение 3 ч. Далее рулон с оправки разворачивают, получая в результате биметаллическую тонколистовую заготовку.

Вариант 4. На одну из поверхностей медной листовой заготовки размером $1990 \times 200 \times 1$ мм наносят слой масляной краски толщиной 0,2 мм. На одну из поверхностей никелевой заготовки размером $1990 \times 200 \times 1$ мм наносят аналогичный защит-

ный слой. Заготовки по защитным слоям собирают в пакет путем укладки одной на другую без зазора. Пакет по длине сворачивают в рулон с внутренним диаметром 100 мм со второго витка с зазором 1 мм, устанавливая для этого медные вставки размером $1 \times 1 \times 1$ мм в процессе свертывания рулона. Число витков в рулоне 5, наружный диаметр 135 мм. По торцам рулон закрепляют проволочными скобами, по три с каждого торца. Они предотвращают раскручивание рулона. Далее рулон ставят вертикально на один из торцов. Заряды ВВ в соответствии с размером рулона устанавливают на внутреннюю и наружную поверхности. Заряды ВВ — кольцевые, аналогичны по составу варианту 1. После сварки взрывом рулон раскручивают по защитному слою в биметаллическую тонколистовую заготовку.

ВЫВОДЫ

1. Сварка взрывом с пакетным расположением свариваемых элементов значительно упрощает технологию сварки тонколистовых заготовок и позволяет одним зарядом взрывчатого вещества сваривать несколько тонколистовых заготовок из предварительно собранных пакетов.

2. Сварка взрывом с пакетно-рулонным расположением свариваемых элементов позволяет сваривать заготовки большой протяженности (длиной до 30 м) без использования массивных фальшпластин и оснований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лысак В. И., Кузьмин С. В. Сварка взрывом. М.: Машиностроение, 2005. 544 с.
2. Дерибас А. А. Физика упрочнения и сварки взрывом. 2 изд., доп. и перераб. Новосибирск: Наука, 1980. 219 с.
3. Обработка металлов взрывом / А. В. Крупин, В. Я. Соловьев, Г. С. Попов, К. Крестев. М.: Металлургия, 1991. С. 178.

Ю. А. СТЕПАНОВ, инж., О. В. ВАХРУШЕВ, инж., А. Н. ТРОФИМОВА, инж.
ФГУП "ПО Уралвагонзавод" (Нижний Тагил)

Влияние защитных покрытий на свойства сварных соединений

На ФГУП "ПО Уралвагонзавод" — одном из ведущих предприятий в области грузового вагоностроения — за короткий период спроектирован и освоен выпуск более 20 моделей цистерн. В связи с введением в технологию производства так называемого межоперационного покрытия для защиты от коррозии подготовленной поверхности стальных листов на период хранения между производственными операциями возникла необходимость сварки по грунтовке, для чего необходимо было опреде-

лить влияние защитных покрытий на механические свойства сварных соединений и концентрацию вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

В качестве основного металла использовали листовую прокат 09Г2С 14-й категории по ГОСТ 5520—79 толщиной 12 мм производства ОАО "Алчевский металлургический комбинат", применяемый при изготовлении котлов цистерн. При исследовании опробовали покрытия трех марок: ВЛ-023 (ГОСТ 12707—77), ЦВЭС-МО1 и ЦВЭС-МО2 (ТУ

2312-039-12288799—2004) производства ЗАО "Высокодисперсные металлические порошки".

Покрытие ВЛ-023 — фосфатирующая грунтовка, представляющая смесь двух компонентов — основы и кислотного разбавителя. Согласно ГОСТ 12707—77, толщина пленки должна составлять 15—18 мкм. Очистку дробью и покрытие основного металла грунтом ВЛ-023 проводили на линии "Гутман" Уралмашзавода (Екатеринбург). Толщина слоя покрытия составляла около 16 мкм. Замер производили прибором "Константа".

Этилсиликатная грунтовка ЦВЭС-МО1 и ЦВЭС-МО2 представляет двухкомпонентный состав, состоящий из основы — пасты цинкового порошка и связующего — раствора гидролизованного этилсиликата в органическом растворителе. Марки ЦВЭС-МО1 и ЦВЭС-МО2 отличаются содержанием цинка и железного порошка. Рекомендуемая толщина покрытия для межоперационной защиты на срок до одного года составляет 15—20 мкм.

Поверхность образцов-пластин подготовлена пескоструйным методом, перед окраской образцы обезжиривали уайт-спиритом. Грунтовку наносили методом пневматического распыления. Толщину покрытия определяли прибором Elcometer 456. Средняя толщина покрытия ЦВЭС-МО1 составляла 21 мкм, ЦВЭС-МО2 — 18 мкм.

При проведении работы использовали сварочные материалы, применяемые в серийной технологии: сварочную проволоку Св-08ГА диаметром 4 мм (ГОСТ 2246—70) и флюс АН-348А (ГОСТ 9087—81) при автоматической сварке под флюсом; проволоку Св-08Г2С диаметром 1,6 мм (ГОСТ 2246—70) и диоксид углерода (ГОСТ 8050—85) при механизированной сварке в защитных газах.

Влияние защитного грунта оценивали по качеству сварных соединений образцов, сваренных по покрытию и без покрытия. Сварку выполняли на автомате А-1416 с источником питания ВДУ-1250 и полуавтомате Кетрри PS-5000 на режимах, применяемых при серийном изготовлении котлов нефтеналивных цистерн.

Вид соединения и раскладка швов приведены на рис. 1.

Результаты ультразвукового и рентгенографического контроля подтвердили соответствие качества всех сварных швов требованиям технических

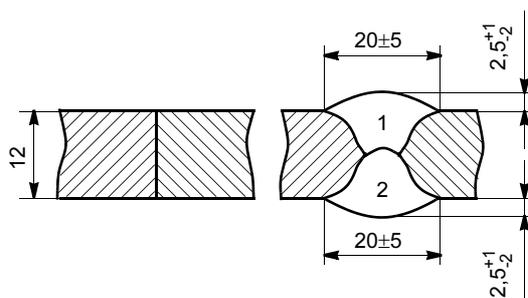


Рис. 1. Вид сварного соединения и раскладка швов

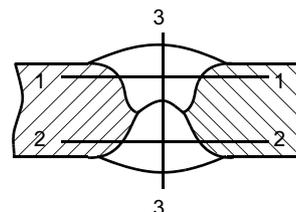


Рис. 2. Расположение линий для замера твердости

условий (ТУ). Металлографические исследования сварных образцов также не выявили наличия каких-либо дефектов в наплавленном металле и ЗТВ. Микроструктура и твердость всех образцов идентичны. Микроструктура основного металла состоит из феррита и перлита с перлитной полосчатостью, наплавленного металла — из сорбитообразного перлита и феррита столбчатого строения. Результаты замера твердости по Виккерсу представлены в табл. 1. Твердость измеряли по линиям 1—1, 2—2, 3—3 в соответствии с рис. 2.

Согласно ТУ, предел прочности сварного соединения должен быть не ниже предела прочности основного металла (470 МПа), статический угол изгиба — 80°, ударная вязкость KCU^{-50} на трех образцах — не менее 30 Дж/см². Допускается снижение ударной вязкости на одном образце до 25 Дж/см².

Результаты испытаний на разрыв и изгиб образцов для покрытий всех марок удовлетворяют требованиям ТУ.

При проведении механических испытаний на ударный изгиб установили, что покрытия отрицательно воздействуют на ударную вязкость. При сварке по грунтовке ВЛ-023 проволокой Св-08ГА под флюсом АН-348А значения KCU^{-50} не удовлетворяют требованиям ТУ и составляют 50—60 % от

Таблица 1

Линия	Твердость, HRC				
	Основной металл 09Г2С	ЗТВ	Сварной шов	ЗТВ	Основной металл 09Г2С
1—1	172—171—171—168	183—180	168—168—180—171—168	171—180	168—168—171
2—2	171—169—175—168—171	183—180	174—171—168	182	171—175—171
3—3	—	—	172—177—186—171—175	—	—

Таблица 2

Ударная вязкость КСУ ⁻⁵⁰ , Дж/см ²			
Без покрытия	ВЛ-023	ЦВЭС-МО1	ЦВЭС-МО2
27,0	22,0	26,0	23,0
37,0	16,0	15,0	37,0
39,0	15,0	17,0	16,0
42,0	27,0	40,0	20,0
31,0	17,0	42,0	20,0
25,0	17,0	27,0	61,0

Таблица 3

Определяемый ингредиент	ПДК, мг/м ³	Концентрация вредных веществ при сварке, мг/м ³							
		Автоматическая под флюсом				Механизированная в СО ₂			
		ЦВЭС-МО1	ЦВЭС-МО2	ВЛ-023	Без грунтовок	ЦВЭС-МО1	ЦВЭС-МО2	ВЛ-023	Без грунтовок
Гидрофторид	0,5	<0,0029	<0,0029	22,8 ± 5,7	<0,0028	<0,0029	<0,0029	0,97 ± 0,3	—
Марганец в сварочном аэрозоле	0,6	0,06 ± 0,12	0,01 ± 0,12	0,094 ± 0,12	0,048	<0,049	<0,049	0,065 ± 0,12	0,12 ± 0,12
Триоксид дижелеза в сварочном аэрозоле	6,0	<2,1	<2,1	—	<2,1	<2,1	<2,1	<2,1	<2,13
Кремния диоксид аморфный при содержании 0,41 %	3,0	3,15 ± 0,63	2,4 ± 0,6	2,87 ± 0,6	0,99	1,22 ± 0,6	3,9 ± 0,7	1,82 ± 0,6	1,49 ± 0,6
Фенолформальдегидные смолы (контроль по фенолу)	0,1	0,016 ± 0,004	0,011 ± 0,003	0,04 ± 0,025	—	0,015 ± 0,003	0,0164 ± 0,004	0,117 ± 0,029	—
Фенолформальдегидные смолы (контроль по формальдегиду)	0,05	0,036 ± 0,009	0,04 ± 0,01	0,062 ± 0,016	—	0,083 ± 0,02	0,083 ± 0,021	0,068 ± 0,017	—
Цинка оксид	1,5	0,54 ± 0,14	0,396 ± 0,099	<0,096	—	0,74 ± 0,19	0,64 ± 0,16	<0,096	—

результатов, полученных при сварке незагрунтованных образцов. При сварке по покрытиям ЦВЭС-МО1 и ЦВЭС-МО2 результаты снижаются на 15—20 % и также не удовлетворяют требованиям ТУ на изделие.

Результаты испытаний на ударный изгиб представлены в табл. 2.

При механизированной сварке проволокой Св-08Г2С в СО₂ значения ударной вязкости удовлетворяют требованиям ТУ при использовании покрытия всех марок¹.

Замер концентрации вредных веществ, выделяющихся при сварке по покрытиям, проводили при наплавке на загрунтованные и негрунтованные пластины на режимах серийной технологии. Замеры² проводили при работающей вентиляции. Результаты замеров представлены в табл. 3.

По результатам замеров концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны в соответ-

вии с Р2.2.2006-05 установлено, что при автоматической сварке под флюсом и механизированной сварке в СО₂ по покрытиям ЦВЭС-МО условия труда на рабочем месте соответствуют 3-му классу 1-й степени, при сварке по покрытию ВЛ-023 — 4-му классу при сварке под флюсом и 3-му классу 2-й степени при сварке в углекислом газе.

ВЫВОДЫ

1. Применение межоперационного покрытия при изготовлении котлов цистерн возможно при механизированной сварке в защитном газе. При этом рабочее место должно быть оборудовано местной вытяжной вентиляцией и средствами индивидуальной защиты органов дыхания типа респираторов РПГ, 3М и др.

2. При автоматической сварке под флюсом применение защитных покрытий ВЛ-023, ЦВЭС-МО1 и ЦВЭС-МО2 ведет к снижению показателей ударной вязкости и ухудшает состояние воздушной среды. В данном случае необходимо удалять покрытия со свариваемых кромок.

¹ Механические и металлографические исследования проводили в ЦИИМ ФГУП "ПО Уралвагонзавод".

² Замеры выполняли в промышленно-санитарной лаборатории ФГУП "ПО Уралвагонзавод".

С. Ф. ГНЮСОВ, д-р техн. наук, В. Г. ДУРАКОВ, канд. техн. наук,
К. С. ГНЮСОВ, аспирант
Томский политехнический университет

Электронно-лучевая наплавка карбидосталей.

Ч. 1. Особенности технологии наплавки

и подготовки композиционных наплавочных смесей

В настоящее время в ряде отраслей промышленности (энергетике, транспорте, химической, нефтехимической) существенно возросла доля конструкций, сооружений и оборудования, приближающихся к критическому сроку службы либо уже отработавших свой нормативный срок. С другой стороны, вновь вводимое оборудование в целях снижения затрат на материал чаще всего изготавливают из экономнолегированных низкоуглеродистых конструкционных сталей, применение которых требует поверхностного упрочнения. Таким образом, в сложившихся условиях первоочередной задачей является обеспечение надежного упрочнения рабочих поверхностей механизмов и машин.

Все более широкое применение получают технологии упрочнения, использующие высокоэнергетические методы воздействия. При воздействии концентрированных потоков энергии (КПЭ) реализуется сверхбыстрый нагрев (до 10^{12} К/с), плавление, испарение и сверхбыстрое (до 10^{10} К/с) затвердевание материала. Эти процессы позволяют формировать в приповерхностном объеме материала аморфные и нанокристаллические структуры, метастабильные фазы, которые в традиционных технологических процессах невозможно получить. Кардинальные изменения структурно-фазового состояния поверхностных слоев могут обеспечивать улучшение механических и физических свойств материала. Поэтому данные методы модификации поверхности металлических материалов являются перспективным направлением современного металловедения.

В качестве источников КПЭ широко применяют мощные импульсные лазерные [1], электронные [2] и ионные [3] пучки, а также газотермический метод нанесения покрытий, различные способы электродуговой наплавки, электронно-лучевую наплавку [4].

При газотермических методах нанесения покрытий мелкие частицы расплавленного материала, перемещаясь со скоростью от 100 до 1000 м/с и более при детонационном напылении, достигают поверхности деталей в пластическом состоянии. При ударе о поверхность частицы деформируются и, внедряясь в поверхностный слой, образуют покрытие. Между металлическими частицами и поверхностью детали образуется бездиффузионное соединение, характеризующееся, как правило, механическими связями. Следовательно, основными недостатками газотермических методов является низкая прочность сцепления покрытия с подложкой и высокая пористость (до 7—10 %) покрытий [5]. При детонационном напылении пористость покрытий существенно снижается (до 1 %) и, хотя увеличивается прочность их сцепления (до 240 МПа) с основным металлом, это не устраняет полностью отмеченные выше недостатки газотермических покрытий [6].

Проблемы прочности сцепления покрытий с подложкой снимаются при применении методов наплавки, образуется единая ванна расплава между покрытием и основным металлом. Электродуговая и электрошлаковая наплавка обеспечивают высокую производительность процесса, причем глубина подплавления подложки становится настолько существенной, что приходится учитывать степень разбавления материала покрытия материалом подложки при определении химического состава наплавляемого покрытия. Кроме того, значительная глубина подплавления подложки отрицательно сказывается на величине остаточных напряжений, вызывая при этом значительные деформации наплавляемых изделий. Длительное время существования ванны расплава приводит к растворению вводимых упрочняющих твердых фаз, ограничивая при этом выбор наплавочного материала [7, 8].

В настоящее время для увеличения износостойкости изделий как при их изготовлении, так и в процессе ремонта в качестве наплавляемых порошковых смесей обычно применяют твердые и сверхтвердые композиционные материалы¹: стеллит, сормайт, релит и др. [9]. Данные наплавочные материалы широко применяют в горнодобывающих отраслях промышленности, металлургии, где нет жестких требований к структуре наплавки, не требуется дальнейшая механическая обработка наплавленных покрытий. С другой стороны, данные наплавочные материалы в качестве упрочняющей фазы в основном содержат 30—90 % дорогостоящих карбидов титана, вольфрама, молибдена, которые крайне неравномерно распределены по объему наплавленного слоя, особенно при их содержании до 30—50 % [9].

В то же время исключительно актуальной задачей является создание экономнолегированных упрочненных слоев с равномерной структурой по всей толщине слоя и минимальным отрицательным воздействием на структуру подложки. Применение только методов наплавки позволяет получать необходимую структуру в ограниченных, тонких слоях [10], в остальном объеме распределение упрочняющих (карбидных, боридных, карбоборидных) частиц крайне неравномерно. Очевидно, что в этом случае возможно получить экономнолегированные упрочненные слои с равномерной структурой по всей толщине. Данное обстоятельство требует кардинально иного подхода к формированию как химического состава наплавляемых покрытий, так и возможности их дополнительной термической обработки.

Известно, что наибольшей пластичностью и вязкостью из всех структурных составляющих стали обладает аустенит. В аустените может растворяться значительное количество легирующих элементов [11], а дальнейшая термическая обработка позволяет им выделиться в виде дисперсных твердых фаз, формируя равномерную структуру с мультимодальным распределением упрочняющих частиц по всему объему наплавки [12, 13]. Дополнительное упрочнение может быть достигнуто переводом аустенитной матрицы в метастабильное состояние. Это обеспечивает матрице в процессе эксплуатации наплавленных изделий упрочнение за счет деформационного мартенситного превращения. Кроме того, термическая обработка (старение) непосредственно после наплавки будет способствовать снятию температурных напряжений и распаду структур закалки в ЗТВ подложки, если таковые образовались.

¹ А. с. 1215251 (СССР).

В качестве метода формирования упрочненного слоя наиболее эффективной является технология электронно-лучевой наплавки в вакууме [1]. Электронно-лучевая наплавка (ЭЛН) обладает рядом следующих особенностей, которые выгодно отличают ее от других методов нанесения покрытий:

— благодаря вакуумной среде, в которой производится наплавка, осуществляется рафинирование наплавляемого материала;

— возможность плавной и точной регулировки мощности электронного луча в широких пределах позволяет проводить наплавку с минимальным проплавлением основы, сохраняя неизменным химический состав наплавляемого материала;

— простота технической реализации сканирования электронного луча позволяет задавать необходимые размеры наплавочной ванны путем изменения длины развертки электронного луча и наряду с плавной регулировкой мощности легко управлять технологическими параметрами процесса наплавки;

— небольшие размеры ванны расплава, концентрированный ввод энергии до 10^5 Вт/см² и значительный перегрев ванны в зоне действия электронного луча способствуют растворению твердых частиц в сварочной ванне, а минимальное время ее существования за счет быстрого теплоотвода и большой скорости охлаждения (до 10^4 К/с) расплавленного металла формируют пересыщенный твердый раствор легирующих элементов в матрице.

Данные особенности действия электронного луча обуславливают эффективность использования в качестве твердой фазы карбидов титана и вольфрама. Карбид титана обладает уникальным сочетанием свойств: высокими температурой плавления, твердостью, теплопроводностью, износостойкостью, малой плотностью, слабо растворяется в стальной матрице. Карбид вольфрама, наоборот, обладает большой растворимостью в стальной матрице и некоторой долей пластичности по сравнению с другими карбидами [14], что также обеспечивает эффективность его использования при ЭЛН. В качестве связующей фазы предпочтительно применять сталь Р6М5, в которой в процессе закалки сохраняется некоторое количество остаточного аустенита. Более того, данная сталь обладает высокой красностойкостью, эффектом сверхпластичности, что позволяет значительно увеличить ее относительное удлинение и уменьшить сопротивление деформированию [15, 16]. Можно надеяться, что данные особенности быстрорежущей стали позволят релаксировать температурные напряжения и, следовательно, уменьшить или полностью предотвратить образование сетки трещин в упрочненном слое и значительно увеличить его износостойкость.

Для ЭЛН в вакууме пригодны порошки дисперсностью 100—350 мкм. При дисперсности менее 100 мкм порошки недостаточно сыпучи в вакууме, разлетаются под действием паров ванны и поэтому трудно обеспечить их подачу непосредственно в ванну расплава. Для расплавления порошков крупнее 350 мкм требуется больше энергии, что приводит к дополнительному проплавлению основы, увеличению остаточных напряжений и росту зерна в покрытии. Кроме того, желательнее сформировать композиционный наплавочный порошок, в котором бы уже частично произошло химическое взаимодействие исходных компонентов (стали Р6М5 + WC, стали Р6М5 + TiC, стали Р6М5 + WC + TiC). Это позволило бы обеспечить более равномерное распределение легирующих элементов в ванне расплава и сформировать однородную структуру упрочненного слоя.

Цель данной работы — изучение фазового состава и структуры исходных порошков карбидов вольфрама и титана, стали Р6М5 и композиционных спеков на их основе, необходимых для ЭЛН.

В качестве исходного материала использовали порошки стали Р6М5 производства ОАО "Тулачермет", карбидов вольфрама и титана, полученные методом восстановления их оксидов [17]. Смеси порошков сталь Р6М5 + WC (10, 20 и 40 %), сталь Р6М5 + TiC (15 %) и сталь Р6М5 + WC (15 % или 25 %) + TiC (5 %) готовили в шаровой мельнице в течение 24 ч. Спек из приготовленных смесей получали в вакуумной печи СВШ-1.25/2500 при температуре 1470 К (сталь Р6М5 + WC) и 1570 К (сталь Р6М5 + 15 % TiC и сталь Р6М5 + 15 % WC + 5 % TiC) при остаточном парциальном давлении не ниже

$133 \cdot 10^{-4}$ Па (время выдержки при температуре спекания 1 ч). Полученные спекы подвергали дроблению и расसेву на фракции. Выход годной для наплавки фракции (100—350 мкм) составлял 85—90 %.

Структуру исходных порошков и композиционных спеков на их основе исследовали с помощью оптического микроскопа НЕОРНОТ-21. Средний размер частиц исходного порошка рассчитывали по методу секущих [18]. Исследование фазового состава исходных порошков и спеков на их основе проводили методами рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ДРОН-УМ1 с фильтрованным CoK_{α} -излучением в режиме сканирования в интервале углов 2θ от 20 до 150°, с шагом 0,1°.

По данным рентгенофазового анализа, в исходном порошке карбида вольфрама присутствуют две фазы — монокарбид вольфрама WC (99 %) с ГПУ решеткой и параметрами $a = 0,2916$ нм и $c = 0,2851$ нм и карбид W_2C . Причиной появления частиц W_2C в структуре WC может быть обезуглероживание последнего в процессе производства. На рис. 1, а приведено распределение по размерам частиц исходного порошка карбида вольфрама. Средний размер частиц порошка составляет 1,7 мкм (дисперсия 2,3 мкм), он имеет равноосную форму с явной огранкой. На порядок больший средний размер частиц (17,8 мкм, дисперсия 24 мкм) имеет порошок карбида титана. Порошок TiC имеет кубическую решетку с параметром $a = 0,4327$ нм.

Порошок стали Р6М5 получен распылением из расплава в воду. Он имеет округлую форму со средним размером частиц 55,3 мкм, дисперсией 31,5 мкм (рис. 1, б, в). На гистограмме явно просматриваются два максимума в распределении

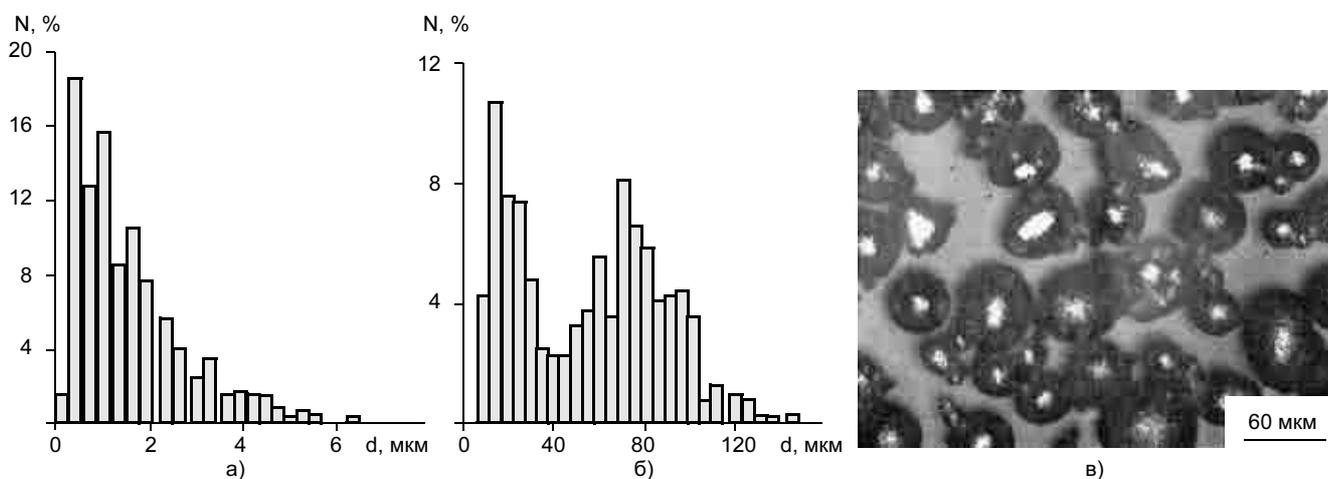


Рис. 1. Гистограммы порошков карбида вольфрама (а) и стали Р6М5 (б) и морфология порошка стали Р6М5 (в)

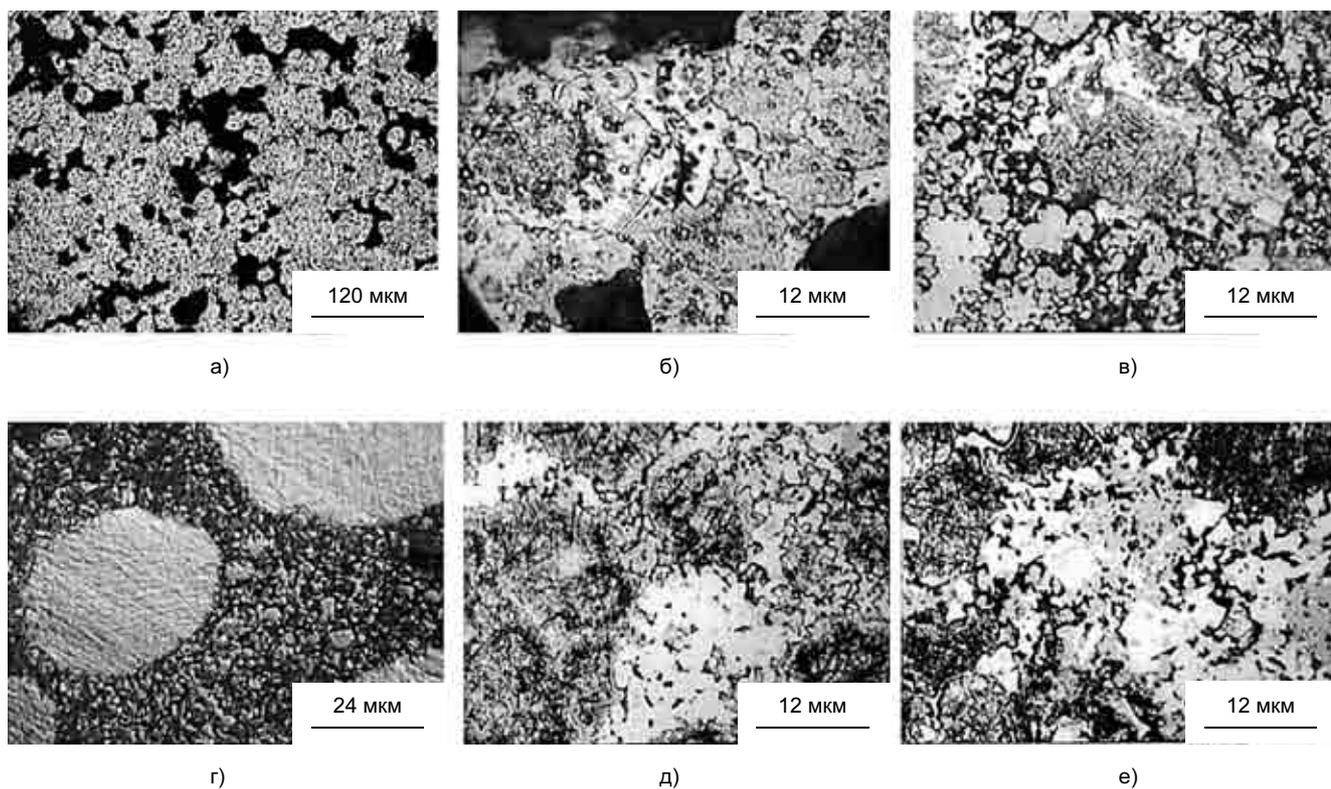


Рис. 2. Микроструктура композиционных спеков для наплавки после спекания исходных смесей порошков: а—в — сталь Р6М5 + WC (а, б—20 % WC, в — 40 % WC); г — сталь Р6М5 + 15 % TiC; д — сталь Р6М5 + 15 % WC + 5 % TiC; е — сталь Р6М5 + 25 % WC + 5 % TiC

частиц $d_1 = 20$ мкм и $d_2 = 60$ мкм. Фазовый состав исходного порошка быстрорежущей стали представляет смесь следующих составляющих: α -фаза, имеющая ОЦК решетку, γ -фаза, имеющая ГЦК решетку, и в небольшом количестве (около 2 %) карбид ванадия, имеющий ГЦК решетку. Карбид типа M_6C , характерный для литых быстрорежущих сталей, в исходном порошке не обнаружен. Это, по-видимому, связано с быстрой закалкой из расплава стали Р6М5, что не позволило выделиться данному карбиду.

На рис. 2 приведена микроструктура композиционных порошков для наплавки после спекания исходных смесей в вакууме. Видно, что для композиционного спека Р6М5 + WC в зависимости от количества исходного содержания карбида вольфрама отдельные порошинки стали Р6М5 окружены либо только фазой "озерковой" формы, либо частицами порошка угловатой формы размером 1—2 мкм и фазой "озерковой" формы (см. рис. 2, б, в). При увеличении содержания порошка WC от 10 до 40 % в исходной смеси содержание частиц угловатой формы в спеке увеличивается от 0 до 20—25 % (см. рис. 2, в). По данным рентгеноструктурного ана-

лиза спеков, помимо матричной фазы (α - и γ -фаз) установлено наличие двух карбидов: карбида вольфрама и двойного карбида типа M_6C . Следовательно, уже в ходе получения спеков происходит взаимодействие между исходными порошками с формированием композиционного материала для наплавки. Это подтверждается данными работы [19], в которой показано, что карбиды M_6C и $M_{12}C$ начинают формироваться при нагреве композиционных смесей WC—Ni—Al и WC—NiTi до 970 К. Судя по морфологическому строению, α -фаза в спеках представлена игольчатым мартенситом.

Для композиционного спека сталь Р6М5 + 15 % TiC характерно слабое взаимодействие между исходными порошками в процессе спекания. При металлографическом анализе полученных спеков явно прослеживаются исходные округлые частицы стали Р6М5 и угловатые порошинки карбида титана (см. рис. 2, г). Наблюдается небольшое взаимодействие данных порошков на границе раздела, что позволило сформировать спек для последующей наплавки. Фазовый состав данного спека представляет смесь следующих составляющих: α -фаза, карбид титана и в небольшом количестве карбиды ванадия

и M_6C , которые выделились из твердого раствора в частицах стали Р6М5 в процессе вакуумного спекания.

При получении композиционного спека из смеси исходных порошков сталь Р6М5 + WC + TiC происходит взаимодействие между сталью и карбидом вольфрама (см. рис. 2, д, е), сопровождающееся образованием дополнительного карбида M_6C . У карбида TiC наблюдается небольшое уменьшение ($a = 0,4321$ нм) параметра решетки по сравнению с параметром решетки для исходного карбида титана, что, по-видимому, связано с частичной заменой атомов титана на атомы вольфрама в решетке карбида титана. Увеличение содержания карбида вольфрама в исходной смеси порошков от 15 до 25 % приводит к увеличению его содержания в спеке в виде фазы монокарбида вольфрама.

ВЫВОДЫ

1. В исходном порошке карбида вольфрама присутствуют две фазы — монокарбид вольфрама (99 %) и карбид W_2C . Порошок TiC имеет кубическую решетку. Фазовый состав исходного порошка быстрорежущей стали представлен α - и γ -фазами и карбидом ванадия (около 2 %).

2. В процессе получения композиционных спеков сталь Р6М5 + WC и сталь Р6М5 + WC + TiC происходит взаимодействие между частицами порошка быстрорежущей стали и карбида вольфрама с образованием сложного карбида типа M_6C . С увеличением содержания карбида вольфрама в исходной смеси от 10 до 40 % увеличивается доля фазы монокарбида вольфрама в спеке от 0 до 20—25 %. Для композиционного спека сталь Р6М5 + 15 % TiC характерно слабое взаимодействие на границе раздела исходных фаз в процессе спекания. В частицах быстрорежущей стали в процессе вакуумного спекания выделяются карбиды VC и M_6C , а последующее охлаждение с печью вызывает практически полное $\gamma \rightarrow \alpha$ мартенситное превращение в матрице.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник* / Н. Н. Рыкалин, А. А. Углов, Н. В. Зуев, А. Н. Кокора М.: Машиностроение, 1985. 486 с.
2. *Низкоэнергетичный импульсный электронный пучок большой плотности для поверхностного нагрева* / Г. А. Месяц, Д. И. Проскуровский, В. П. Ротштейн, Н. Н. Лебедева // ДАН СССР. 1980. Т. 253. № 6. С. 1383—1386.
3. *Валяев А. Н., Погребняк А. Д., Плотников С. В.* Радиационно-механические эффекты в твердых телах при облучении электронными и ионными пучками. Усть-Каменогорск: ВКТУ, 1998. 266 с.
4. *Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий* / В. Е. Панин, С. И. Белюк, В. Г. Дураков и др. // Сварочное производство. 2000. № 2. С. 34—38.
5. *Газотермическое напыление композиционных порошков* / А. Я. Кулик, Ю. С. Борисов, А. С. Мнухин и др. Л.: Машиностроение, 1985. 199 с.
6. *Зверев А. И., Астахов Е. А., Шаривкер С. Ю.* Детонационные покрытия в машиностроении. М.: Машиностроение, 1982. 215 с.
7. *Наплавка при изготовлении деталей машин и оборудования.* Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1986. 122 с.
8. *Каковкин О. С., Дарахвелидзе Ю. Д., Старченко Г. Г.* Особенности легирования наплавленного металла карбидом титана при дуговой износостойкой наплавке // Сварочное производство. 1989. № 5. С. 41—42.
9. *Хасуи А., Моригами О.* Наплавка и напыление: Пер. с яп. В. Н. Попова / Под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
10. *Быстров В. А.* Основы электрошлаковой технологии упрочнения композиционными сплавами деталей, работающих при высокотемпературном износе // Автореф. дис. ... д-ра техн. наук, Барнаул, 2003. 36 с.
11. *Сагарадзе В. В.* Упрочнение аустенитной стали. М., 1989. 234 с.
12. *Гнусов С. Ф., Дураков В. Г., Маков Д. А.* Формирование износостойких аустенитных покрытий с регулируемым карбидным упрочнением // ФИХОМ. 2004. № 6. С. 54—60.
13. *Gnyusov S. F., Dekhonoval S. Z., Durakov V. G.* Formation of the bimodal structure of a Cu—Cr pseudo alloy by electron beam surfacing // Welding International. 2004. Vol. 18. N 3. P. 228—231.
14. *Креймер Г. С.* Прочность твердых сплавов. М.: Металлургия, 1971. 247 с.
15. *Гнусов С. Ф., Трущенко Е. А.* Сварка трением стали Р6М5 в режиме сверхпластичности. Ч. 1. Механизмы образования структурных несовершенств и пути их устранения // Технология машиностроения. 2003. № 4. С. 20—24.
16. *Гвоздев А. Е., Афанаскин А. В., Гвоздев Е. А.* Закономерности проявления сверхпластичности сталей Р6М5 и 10Р6М5-МП // МТОМ. 2002. № 6. С. 32—36.
17. *Третьяков В. И.* Металлокерамические твердые сплавы. М.: Металлургия, 1962. 592 с.
18. *Салтыков С. А.* Стереометрическая металлография. М.: Металлургия, 1970. 376 с.
19. *Кульков С. Н., Гнусов С. Ф.* Карбидостали на основе карбидов титана и вольфрама. Томск: Изд-во научно-технической литературы, 2006. 240 с.

В. А. БАБКИН, инж., А. И. ЛАВРОВ, инж., П. Б. ЛОВЫРЕВ, инж.,
 М. Н. ТРУХАН, инж.
 (ОАО "ВНИИПТхимнефтеаппаратуры"),
 О. Г. ФИНОГЕНТОВ, инж., Н. В. КОРАБЛЕВ, инж.
 (ОАО "Казаньоргсинтез"),
 П. М. КОРОЛЬКОВ, инж.
 (ОАО "ВНИИмонтажспецстрой")

Объемная термическая обработка реактора способом внутреннего нагрева в условиях реконструкции действующего производства

Предприятие ОАО "Казаньоргсинтез" провело реконструкцию реактора установки для производства полиэтилена низкого давления. Одним из изменений в конструкции реактора являлась сварка в корпус 36 новых технологических штуцеров различного диаметра, расположенных по высоте на 11 уровнях между отметками 1432—13 531 мм. Толщина стенок реактора в местах сварки штуцеров составляла 45 и 65 мм. Материал — сталь А52РР1, отечественный аналог — сталь 09Г2С. Диаметр цилиндрической части корпуса реактора 4420 мм.

В соответствии с требованиями нормативно-технической документации все вновь выполненные сварные соединения должны пройти термическую обработку по режиму высокого отпуска с целью снижения уровня остаточных сварочных напряжений (ОСТ 26-291—94, ПБ 03-576—03).

Термическую обработку части корпуса реактора с сваренными штуцерами предусматривалось провести согласно техническим условиям проекта ЗАО "Петрохим Инжиниринг" путем ввода теплоносителя во внутреннюю полость реактора — способ внепечного объемного нагрева для снятия остаточных напряжений¹.

Участок реактора, подлежащий нагреву, теплоизолировали с наружной поверхности минераловатными матами М1-100 толщиной 100 мм, а часть внутреннего объема, куда подавался теплоноситель, снизу и сверху ограничивали временными теплоизолирующими перегородками. Схема нагрева реактора приведена на рисунке.

Подача продуктов сгорания во внутреннюю полость отделенного участка реактора осуществлялась через устройства ввода теплоносителя, закрепленные на фланцах штуцеров, причем конструкция устройств позволяла при необходимости изменять направление тепловых потоков. Выход

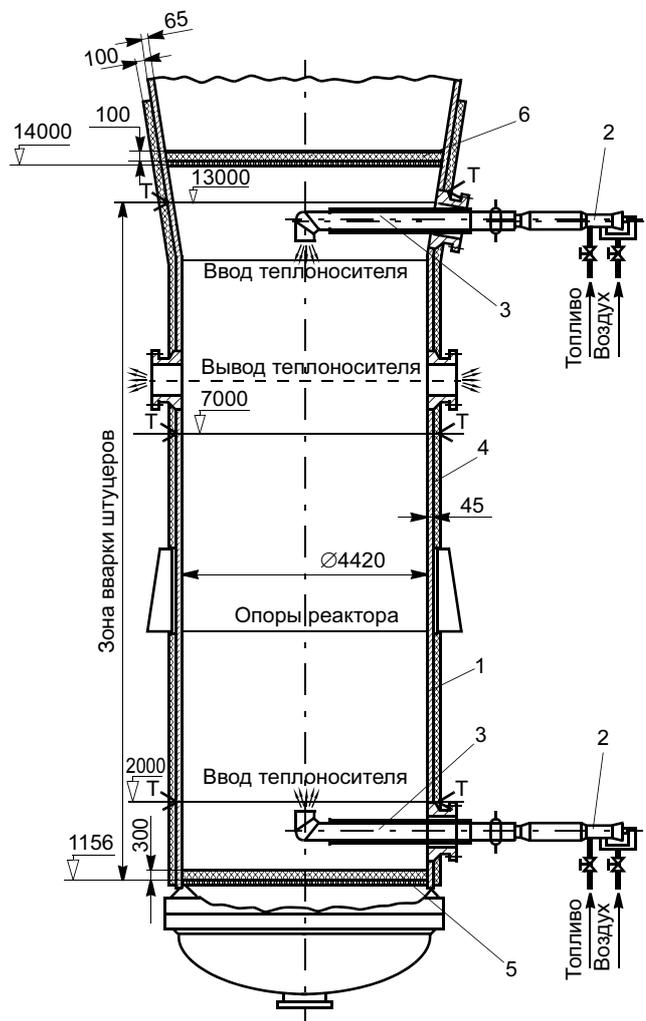


Схема термической обработки реактора (Т — термометры):
 1 — корпус; 2 — теплогенератор; 3 — устройство ввода теплоносителя; 4 — теплоизоляция; 5, 6 — теплоизолирующие перегородки

¹Патент 2243242 (РФ).

отработанных продуктов сгорания осуществлялся через ряд штатных штуцеров.

В качестве источников тепловой энергии применяли два жидкотопливных теплогенератора ГГЖ-1 мощностью 1 МВт каждый². Особенность конструкции применяемых теплогенераторов обеспечивает высокую скорость подачи теплоносителя во внутренний объем нагреваемого объекта, что, в свою очередь, вызывает интенсивную рециркуляцию продуктов сгорания в его внутреннем пространстве и способствует равномерному распределению температуры по всей площади нагреваемой поверхности.

Для замера температуры на наружной поверхности корпуса реактора устанавливали термоэлектрические преобразователи (термопары) типа ТХА (К). Расположение термопар и их число выбирали таким образом, чтобы контролировать температуру нагрева как по высоте, так и диаметру конструкции.

Управление процессом нагрева осуществлялось вручную путем изменения мощности теплогенераторов (интенсивности подачи теплоносителя) и изменением направления тепловых потоков.

Процесс нагрева контролировался по показаниям автоматического регистрирующего потенцио-

метра ФЦЛ 501-14 и записывался на диаграммную ленту. Скорость нагрева составляла 70 °С/ч, температура нагрева 580—600 °С, время выдержки 2,2 ч, скорость охлаждения 50 °С/ч. Перепад температур в нагреваемом объеме реактора в период выдержки превышал 20 °С. Общий цикл термической обработки без подготовительных работ составил 16 ч. Расход дизельного топлива на нагрев участка реактора массой 70 т составил 1600 л.

Термическую обработку проводили на оборудовании и по технологии ОАО "ВНИИПТхимнефтеаппаратуры" (РТМ 26-44—82).

Все сварные соединения подвергали 100 %-ному контролю ультразвуковой и цветной дефектоскопией. Аппарат подвергали пневматическим испытаниям в сочетании с акустико-эмиссионным контролем. Дефекты обнаружены не были.

Из трех реакторов, подлежащих реконструкции в 2005 г., два подвергали термической обработке.

Разработанная технология обеспечивает управляемость процесса на всех этапах обработки (нагреве, выдержке, охлаждении).

Применение внепечного объемного нагрева позволило значительно сократить сроки реконструкции реакторов с обеспечением качества термической обработки, соответствующего нагреву изделия в термической печи.

²Свидетельство на полезную модель 29130 (РФ).

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.

В. А. ГУМЕНЮК, канд. техн. наук, Н. А. КАЗАКОВ, инж., В. А. СУЛЬЖЕНКО, инж.
ФГУП "ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова" (С.-Петербург)

Акустико-эмиссионный контроль процесса сварки корпуса глубоководного аппарата

С позиций промышленного контроля можно отметить два наиболее значимых преимущества метода АЭ по отношению к традиционным методам НК [1]. Это, во-первых, возможность обнаружения трещин на самых ранних стадиях их развития. Причем, благодаря способности дистанционного контроля, вне зависимости от таких условий практической реализации традиционных методов НК, как доступность контроля для дефектоскописта, состояние поверхности ОК, глубина залегания дефекта, ориентация плоскости трещины относительно поверхности и др. Во-вторых, способность оценивать степень опасности дефекта под действием напряжений, в том числе реальных эксплуатационных. Именно поэтому в соответствии с Правилами Госгортехнадзора РФ [2] в спорных ситуациях приоритет в окончательном решении о допуске объекта в эксплуатацию при наличии дефекта отдается методу АЭ.

Максимальная эффективность контроля достигается при комплексном использовании метода АЭ и традиционных методов НК с их бесспорными преимуществами, такими как возможность измерять геометрические параметры дефектов, глубину залегания, ориентацию по толщине материала и др. При этом в задачу метода АЭ входит выявление и определение координат дефекта, а задача традиционных методов — осуществлять последующий адресный контроль с окончательной идентификацией типа дефекта и измерениями его параметров. Комплексный контроль не только снижает общую трудоемкость кон-

троля, но и повышает его надежность и достоверность.

Упомянутые выше преимущества метода АЭ эффективно реализуются при контроле качества сварного шва непосредственно в процессе сварки. А возникающие при кристаллизации расплава и остывании сварочной ванны растягивающие сварочные напряжения естественным образом выполняют обязательное для явления АЭ условие деформирования контролируемого материала.

В ФГУП "ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова" в последние годы проводятся всесторонние экспериментальные исследования, а также практические работы по совершенствованию методологии АЭ контроля качества сварного шва в процессе сварки и, в частности, многопроходных сварных соединений толстостенных объектов глубоководной морской техники. Примером бесспорной эффективности метода АЭ может быть решение проблемы выявления недопустимых объемных окислений в сварных швах титановых сплавов — источников образования начальных микротрещин уже на стадии остывания сварочной ванны. Причиной их образования при сварке является нарушение защиты сварочной ванны, выполняемой с помощью инертного газа. Эти дефекты практически не выявляются традиционными методами дефектоскопии, но уверенно выявляются методом АЭ как на стадии сварки, так и при последующих испытаниях конструкции. Надежность выявления трещин и трещиноподобных дефектов (расслоений, флокенов, растрескиваний, несплавлений и пр.)

традиционными методами НК во многом зависит от размеров дефектов, их ориентации или доступности выполнения операций рентгеновского контроля или сканирования ультразвуковым искателем. Как правило, этот контроль выполняется после окончательной заварки шва, поскольку для промежуточного контроля требуется длительное время на остывание соединения, что значительно повышает трудоемкость и общее время выполнения сварочных операций. Следует заметить, что УЗК в процессе выполнения сварки в глубокую разделку выполнить весьма трудно. Особые трудности вызывает контроль на начальной стадии сварки из-за недостаточного заполнения разделки и наличия дополнительных отражающих граней, образуемых поверхностью шва и стенками разделки. Но как раз на этом этапе сварки наиболее вероятно внесение дефектов из-за сложности сварки в глубокую разделку. А недостатком выполнения контроля после окончательной заварки многопроходных швов является то, что для исправления дефектов, внесенных на начальных проходах, необходима трудоемкая операция глубокой выборки и последующей заварки. Это вносит если не дополнительные дефекты, поскольку локальная заварка в глубокую выборку представляет особенно сложную задачу, то высокие остаточные напряжения и приводит, кроме всего, к разупрочнению металла сварного соединения из-за внесения большой дополнительной тепловой энергии.

Поэтому для оперативного контроля непосредственно в ходе

сварки (без прерывания процесса) в настоящее время фактически нет альтернативы методу АЭ. Но для его успешного применения необходимо решить две основные проблемы, возникающие при контроле сварки.

Процесс сварки отличается высокой интенсивностью регистрируемых акустических и электромагнитных помех различного вида. Эти помехи появляются при формировании сварочной ванны перемещением различных сварочных приспособлений (горелок, защитных фартуков и др.) по поверхности ОК, включением и выключением сварочной дуги, обдувом шва струей инертного газа (при сварке в защитном газе), растрескиванием корки флюса при остывании (при сварке под флюсом) и др. Поэтому первоочередной задачей при проведении АЭ-контроля процесса сварки является фильтрация сигналов помех, которая должна в автоматическом режиме отсеивать сигналы не АЭ-природы, т. е. сигналы, не относящиеся к дефектам.

Вторая проблема — идентификация и классификация степени опасности отфильтрованных сигналов АЭ-природы — является логическим продолжением задачи фильтрации помех. Но для ее решения уже может привлекаться анализ кинетики выявленных источников сигналов, т. е. их АЭ ак-

тивность в ходе наложения последующих проходов сварного шва.

Фильтрация и классификация регистрируемых при контроле сварки акустических сигналов может быть эффективно выполнена на основе их многопараметрического анализа по параметрам максимальной амплитуды, волновой формы и спектрального состава в соответствии с разработанной в ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова многопараметрической системой классификации, одобренной Экспертным советом НК Госгортехнадзора РФ (протокол № 3/2003 от 30.07.03 г.), основные принципы которой изложены в работе [3]. Многопараметрическая система классификации позволяет рассортировать акустические сигналы по степени их высокоамплитудности (низкоамплитудности), дискретности (непрерывности) волновой формы и высокочастотности (низкочастотности) спектра и тем самым не только отфильтровать помехи в реальном времени, но и на следующем этапе анализа классифицировать выявленные АЭ источники по степени их опасности (Danger).

Практическое использование многопараметрической системы классификации может быть проиллюстрировано на примере контроля процесса аргодуговой сварки сферического корпуса глубоководного аппарата (ГА) из титано-

вого сплава ВТ6 (рис. 1). Работа проводилась на базе сварочного производства ОАО "Балтийский завод" (Санкт-Петербург). Для проведения АЭ контроля применялась 20-канальная многофункциональная АЭ система КАЭМС (МАЭС), разработанная в ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова [4]. В качестве преобразователей АЭ (ПАЭ) использовались широкополосные интегральные ПАЭ (частотная полоса 100 кГц — 1 МГц).

Контроль осуществлялся в процессе сварки стыковых швов лепестков двух полусфер, конфигурация и основные размеры которых приведены на рис. 2, экваториального шва сварки полусфер, а также вварки всех основных конструктивных элементов корпуса ГА (входного люка, иллюминаторов, кабельной плиты). Сварка лепестков выполнялась неплавящимся электродом в защитном газе в щелевую разделку, размеры которой приведены на рис. 3. Каждая из полусфер корпуса ГА формировалась из шести лепестков и сферического сегмента-доннышка.

На рис. 4, а изображена рабочая диаграмма локации источников АЭ в координатах "время — протяженность шва" на одном из сварных швов двух лепестков полусферы ГА, где были выявлены три наиболее характерных дефекта сварки этого материала:



Рис. 1. Многопроходная сварка лепестков полусферы корпуса ГА из титанового сплава ВТ6

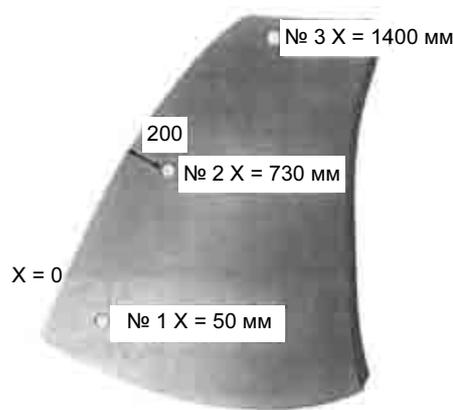


Рис. 2. Схема расстановки ПАЭ для контроля отдельного сварного шва соединения лепестков полусферы

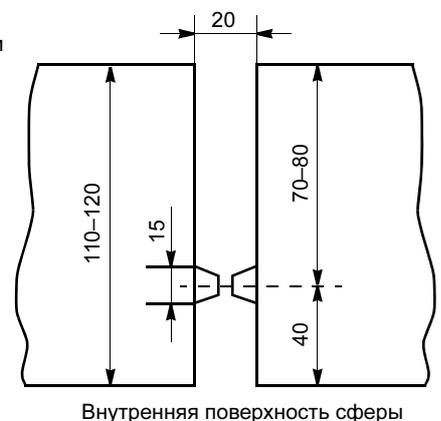


Рис. 3. Основные размеры щелевой разделки

трещина, окисление и включение вольфрама. Здесь же представлены результаты послойного капиллярного контроля при выборке трещины, расположение которой в шве показано на рис. 4, б.

В верхней части диаграммы изображена шкала цветовой градации степени опасности регистрируемых сигналов АЭ. По этой шкале степень опасности регистрируемых сигналов возрастает от

черного цвета спектра (сигналы помех) к красному, определяющему максимальную степень опасности (трещина или трещиноподобный дефект). Направление выполнения сварочного прохода — слева направо (от ПАЭ № 1 к № 3). Следует отметить, что трещина, информация о которой представлена на этой диаграмме, не была выявлена при рентгеновском контроле. Из диаграммы видно, насколько более активен АЭ источник, соответствующий наиболее опасному дефекту — трещине, которая по существующим нормам контроля является недопустимым дефектом.

Для более подробного рассмотрения процедур фильтрации акустической информации и анализа выявленных источников АЭ рассмотрим диаграмму контроля, изображенную на рис. 5. Здесь представлена рабочая диаграмма локации АЭ источников, зарегистрированных при выполнении пяти последовательных сварочных проходов на одном из сварных швов лепестков полусферы (проходы выполнялись на нижней половине сварного шва, между ПАЭ № 4 и № 5) при пороге амплитудной дискриминации 65 дБ.

На момент регистрации информации глубина незаполненной разделки по длине шва составляла 22—30 мм с наружной стороны полусферы, а с внутренней стороны разделка была полностью заполнена. До рассматриваемых проходов контроль методом АЭ выполнения сварного шва осуществлялся фрагментарно до глубины 37—45 мм разделки снаружи полусферы, и дефектов в процессе контроля зарегистрировано не было. Перед выполнением рассматриваемых пяти проходов был проведен рентгеновский контроль, не выявивший недопустимых дефектов.

Анализ результатов контроля на первых трех проходах показал, что явно выделяется район сварного шва с координатой $x \approx 530$ мм (см. таблицу), где на всех трех

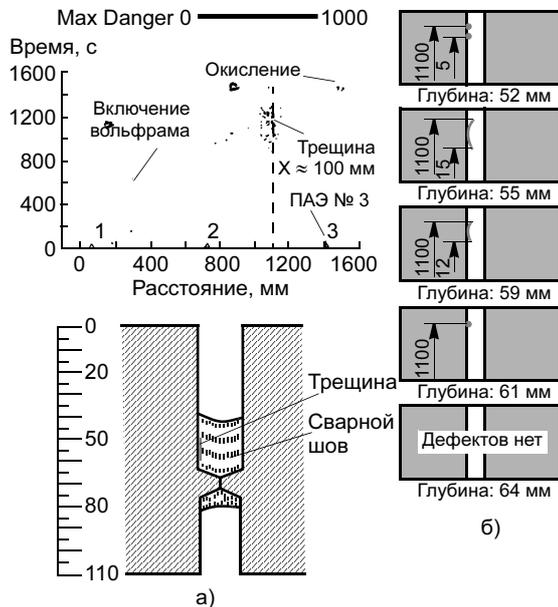


Рис. 4. Диаграмма локации источников АЭ-дефектов сварного шва, зарегистрированных в процессе сварки лепестков корпуса ГА, и результаты капиллярного контроля при выборке трещины (а) и схема расположения выявленной трещины в сварном шве (б)

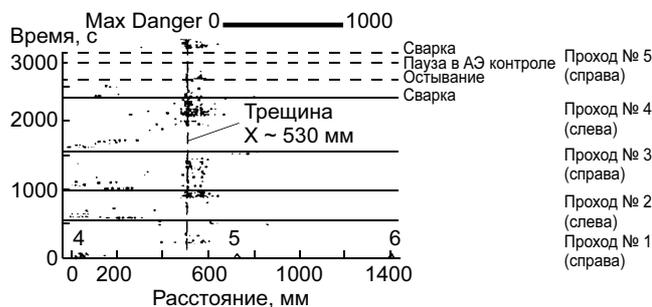


Рис. 5. Линейная локация событий АЭ, зарегистрированных в процессе выполнения проходов № 1—5 сварного шва соединения лепестков полусферы корпуса ГА

Правая сторона разделки				Левая сторона разделки			
Проход № 1				Проход № 2			
Номер кластера	Число событий АЭ	Координата, мм	Danger, отн. ед.	Номер кластера	Число событий АЭ	Координата, мм	Danger, отн. ед.
# 1	32	526	990	# 1	152	534	990
# 2	23	44	986	# 2	36	45	990
Проход № 3				Проход № 4			
# 1	79	538	990	# 1	427	518	990
# 2	12	29	928	# 2	29	47	990
				# 3	24	598	929
Проход № 5							
# 1	239	520	990				

проходах был зарегистрирован активный источник АЭ с высокой степенью опасности (кластеры, соответствующие этому району активности АЭ, выделены в таблице красным цветом). Следует отметить, что активность зарегистрированного источника АЭ на проходе № 2 заметно выше, чем на проходах № 1 и 3, причем даже в процессе остывания шва сигналы АЭ от части сварного шва с координатой $x \approx 530$ мм продолжают регистрироваться на всем протяжении прохода № 3. Это объясняется тем, что проходы № 1 и 3 выполнялись по правой стороне разделки, а проход № 2 — по левой.

Характер зарегистрированной информации АЭ позволяет утверждать, что в части сварного шва с координатой $x \approx 530$ мм находился дефект типа "трещина". Об этом свидетельствует устойчивая локация источника АЭ с высокой степенью опасности в одном и том же месте сварного шва на протяжении нескольких проходов, увеличение количества собитий АЭ в данном источнике АЭ с каждым проходом, а также активное излучение сигналов АЭ с высокой степенью опасности при остывании. Существенно более активное излучение сигналов АЭ на проходе № 2 свидетельствует о том, что дефект предположительно располагался по левой стороне разделки шва.

После завершения проходов № 1—3 по данным экспресс-анализа информации АЭ на участке сварного шва № 3 с координатой $x \approx 530 \pm 100$ мм был проведен оперативный УЗК, который подтвердил наличие дефекта. Однако по нормам УЗК он классифицирован как точечный нефиксируемый дефект.

После этого сварка была продолжена и на нижней половине сварного шва № 3 было выполнено еще два прохода (№ 4 и 5). Из рис. 5 и таблицы следует, что активность источника АЭ с координатой $x \approx 530$ мм на этих проходах

заметно повысилась, особенно при выполнении прохода № 4 (по левому краю разделки). Сигналы АЭ из этого района шва продолжали регистрироваться на всем протяжении следующего прохода № 5. После наварки слоя металла толщиной около 12 мм (глубина незаполненной разделки на нижней половине шва составила примерно 10 мм) на рассматриваемом участке сварного шва был проведен повторный УЗК. Был выявлен дефект, классифицированный как протяженный дефект длиной 60 мм с эквивалентной площадью $S \approx 3,5$ мм², что по нормам УЗК считается нефиксируемым дефектом. После этого сварка продолжалась (без АЭ контроля), в результате чего глубина незаполненной разделки шва составила около 5 мм. Был вновь проведен УЗК, который зафиксировал увеличение как эквивалентной площади дефекта ($S \approx 7,0$ мм²), так и его протяженности (100 мм). В этот раз дефект был классифицирован как "непровар по стенке разделки", однако по нормам УЗК данный дефект вновь оказался нефиксируемым (по нормам для этого случая чувствительность фиксации составляет 10 мм², а браковки — 20 мм²).

После этого был проведен рентгеновский контроль участка сварного шва, где по результатам АЭ контроля и УЗК был зарегистрирован дефект. Однако рентгеновский контроль дефектов не обнаружил. Тем не менее, по настоянию специалистов ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова на участке сварного шва с координатами $x = 420\text{--}670$ мм была сделана выборка с максимальной глубиной от наружной поверхности полушеры 35 мм. После этого была выполнена заварка выборки в сопровождении АЭ контроля, в результате чего опасных источников АЭ зафиксировано не было. Проведенный УЗК в этой части сварного шва также дефектов не обнаружил, что свидетельствует

о полном удалении дефекта в результате выборки.

Таким образом, по результатам АЭ контроля процесса сварки на рассмотренном стыковом шве № 3 был выявлен дефект, который был классифицирован как трещина, расположенная по левой стороне разделки шва. При этом анализ информации АЭ, зарегистрированной на первом же проходе, а также результаты измерения глубины залегания дефекта при проведении УЗК говорят о том, что данная трещина присутствовала до начала второго этапа АЭ контроля, т. е. была "заложена" приблизительно на глубине от 40 до 22 мм, когда АЭ контроль не проводился, и была пропущена при проведении планового рентгеновского контроля. Этот факт свидетельствует о высокой чувствительности метода АЭ к трещиноподобным дефектам. В частности, в описанном случае трещина была выявлена при толщине слоя наплавленного над ней металла более 10 мм. Рентгеновский метод дважды не выявил эту трещину. УЗК также имеет ограничения при выявлении подобных дефектов в швах с щелевой разделкой, связанные с недостаточной толщиной наваренного металла на момент проведения контроля и из-за наличия дополнительных отражающих граней при незаполненной металлом разделке (стенка разделки — металл шва). Это было наглядно показано в приведенном примере, когда достоверность УЗ измерений существенно изменялась в зависимости от толщины наваренного над дефектом металла. При обнаружении данного дефекта по существующим нормам УЗК оказался не фиксируемым. Что касается оперативности обнаружения и исправления дефектов в процессе сварки, метод АЭ превосходит традиционные методы НК. В частности, в рассмотренном случае уже после окончания прохода № 2 сварку на шве № 3

можно было прекращать и производить выборку дефекта. Это привело бы к существенному снижению трудоемкости и сокращению времени работ, которые были затрачены на проведение внеочередного рентгеновского контроля, выборку наваренного металла и ее последующее заполнение. Не следует забывать, что при использовании традиционных видов НК (рентгеновского, УЗ и капиллярного) требуется также дополнительное время, необходимое для остывания сварного соединения. В процессе сварки корпуса ГА с помощью метода АЭ было зафиксировано несколько случаев оперативного выявления трещиноподобных дефектов, часть из которых была пропущена при выполнении рентгеновского контроля.

Оперативное выявление опасного дефекта и своевременная его выборка очень важны по нескольким причинам. Во-первых, выборка протяженных глубокозалегающих дефектов очень трудоемка. Во-вторых, исправление дефекта с заваркой глубокой локальной выборки требует очень высокой квалификации сварщика. Ну и, наконец, что наиболее важно, удаление глубокозалегающих дефектов и последующая заварка выборки приводят к внесению большой дополнительной тепловой энергии и разупрочнению исследуемого участка сварного шва, а, соответственно, к снижению прочностных характеристик сварного соединения.

Дефекты типа "трещина" по существующим нормам являются недопустимыми и требуют однозначного удаления. В то же время, существуют сварочные дефекты, которые могут быть как недопустимыми, так и допустимыми. Это, в частности, относится к дефектам типа "включение" и "окисление". Из рис. 5 видно, что на проходах № 1—4 был зарегистрирован также источник АЭ в области нижней так называемой "закон-

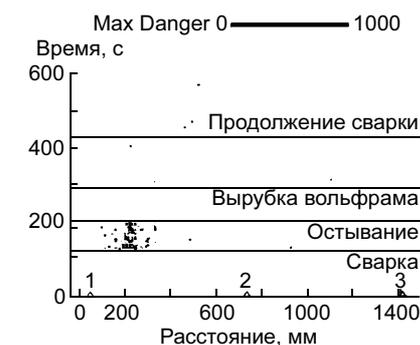


Рис. 6. Линейная локация событий АЭ, генерированных включением вольфрама

цовки" (выделен в таблице синим цветом), т. е. в начале сварного шва. Подобная повышенная АЭ активность присутствовала практически постоянно в начале и в конце сварного шва на всех межлепестковых швах. Причина ее связана с окислением поверхности швов из-за трудностей, связанных с организацией защиты инертным газом на краях лепестков. Обычно в таких местах свариваемой конструкции располагаются выводные планки, которые после выполнения сварного соединения отрезаются. Но в этой работе они отсутствовали, поскольку полусферы изготавливались с относительно большими допусками на последующую механическую обработку, и в дальнейшем при обточке полусфер эти участки сварных швов подлежат удалению.

Следует отметить, что незначительные нарушения защиты из-за возможных на сварочном участке сквозняков, перегрева образца и пр. вызывают окисление поверхности шва синего цвета побежалости ("синева"), которое считается самым мягким и является наиболее часто встречающимся видом сварочного дефекта. Тем не менее, подобные нарушения технологии, как правило, сопровождаются излучением сигналов АЭ, в том числе с высоким классом опасности. Высокая степень опасности этих сигналов обуслов-

лена процессами образования и разрушения хрупкой окисной пленки. Параметры отдельных единичных сигналов могут быть аналогичны параметрам сигналов от дефекта типа "трещина". Однако степень АЭ активности (количество регистрируемых сигналов в единицу времени) этого типа окисления значительно ниже сильного окисления поверхности шва, которое появляется, например, из-за прерывания подачи аргона при опустошении баллона с газом или из-за случайного передавливания шланга подачи газа. Визуально такое окисление соответствует серому цвету побежалости. Охрупчивание поверхности шва в месте окисления серого цвета сопровождается или значительным микрорастрескиванием материала, или даже трещинообразованием. По существующей технологии в случае прерывания защиты охрупченный участок шва должен быть обязательно удален, после чего проведен капиллярный контроль с целью подтверждения полного удаления окисления. Однако проведение капиллярного контроля требует большого времени плюс дополнительное время, необходимое для остывания сварного шва.

Дефект типа окисления серого цвета методом АЭ выявляется надежно и уверенно регистрируется на последующих проходах. Кроме того, метод АЭ является очень эффективным при оценке качества удаления растрескивания, образовавшегося в месте "жесткого" окисления. Как было показано в статье, для этого достаточно в сопровождении АЭ контроля просто проплавить без присадки место выборки дефекта и по отсутствию АЭ сигналов убедиться в полном удалении окисления. Особенно важно, что при использовании АЭ контроля в этих случаях не требуется остановки сварочного процесса, необходи-

мого для остывания шва и проведения капиллярного контроля.

Таким образом, оперативный АЭ контроль дает сварщику дополнительную информацию о месте и степени опасности окисленной поверхности шва, а также о тщательности зачистки или выборки окисления. "Мягкое" окисление, например окисление синего цвета, может быть переварено при последующих проходах. Поэтому регистрация опасного источника АЭ в месте окисления на последующих сварочных проходах свидетельствует о наличии недопустимого дефекта на исследуемом участке сварного шва, требующего обязательного удаления.

Также достаточно распространенным является дефект типа "включение вольфрама". Чаще всего образование этого дефекта происходит в момент зажигания дуги в начале прохода или после очередной остановки сварочного процесса и вызвано попаданием в сварочную ванну фрагмента неплавящегося электрода. В примере, представленном на рис. 6, зарегистрированный в месте расположения включения источник АЭ имеет высокую активность и степень опасности, причем высокая активность событий АЭ наблюдается также и при остывании сварочной ванны. В этом случае внесение дефекта явно сопровождалось трещинообразованием и, безусловно, требовало его выборки. По существующей технологии сварки все дефекты типа "включение", замеченные сварщиком в процессе работы, должны оперативно удаляться. В то же время акустически этот вид сварочного дефекта проявляет себя по-разному. В проведенной работе были случаи, когда факт попадания вольфрама в сварочную ванну также регистрировался аппаратурой АЭ и источники АЭ имели высокую степень опасности, но их активность была существенно

меньше, и по мере удаления сварочной ванны от места расположения включения и остывания сварного шва наблюдалось резкое снижение активности сигналов АЭ. Это свидетельствует о том, что в этих случаях внесение включения вольфрама не сопровождалось трещинообразованием, и по степени АЭ активности дефект мог быть признан допустимым.

Итак, проделанная работа показала, что дефекты типа трещин, которые по существующим правилам требуют безусловного удаления, по степени АЭ активности резко отличаются от всех прочих дефектов. Однако другие сварочные дефекты, такие как "окисление" и "включение вольфрама" имеют существенно более низкую степень активности, а некоторые из них и широкий диапазон активности внутри своего типа. АЭ источники-дефекты с низкой степенью АЭ активности могут не проявляться на последующих проходах сварного шва, что свидетельствует об их допустимости. Аналогичные результаты были получены и при АЭ контроле сварных соединений с этими типами дефектов в процессе последующих испытаний объектов внутренним давлением [5].

Это создает предпосылки для разбраковки методом АЭ дефектов на допустимые и недопустимые с позиции оценки активности их дальнейшего развития. Но если в случае испытаний сварной конструкции рабочим давлением напряженное состояние вблизи дефекта соответствует или близко к эксплуатационному и АЭ оценка степени опасности дефекта вполне объективна, то в случае сварки дефекты акустически активизируются тепловыми напряжениями, не адекватными эксплуатационным. Соответственно вопросы согласования браковочных норм выявленных дефектов при АЭ контроле в процессе сварки и

в процессе испытаний сварных изделий, а также их гармонизация с нормами традиционного НК требуют дальнейшего изучения и осмысления.

По итогам проведенного анализа можно сделать следующие основные выводы:

— метод АЭ является наиболее достоверным методом НК выявления трещин и трещиноподобных дефектов;

— использование АЭ контроля в процессе сварки позволяет оперативно выявлять недопустимые дефекты и избегать необходимости глубоких выборок при удалении дефектов, приводящих к разупрочнению шва при их последующей заварке, и тем самым значительно снижать трудоемкость операций сварки и контроля ее качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В. И., Власов И. Э. Метод акустической эмиссии // *Неразрушающий контроль: Справочник*. В 7 т. / Под ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 2005. Т. 7. Кн. 1.
2. *Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов* (ПБ 03-593-03). М.: Госгортехнадзор России, 2003.
3. Гуменюк В. А., Сульженко В. А., Яковлев А. В. Система классификации степени опасности источников акустической эмиссии и критерий экспресс-оценки состояния объектов на основе нечеткой логики // *Контроль. Диагностика*. 2003. № 1. С. 49—53, 57.
4. Гуменюк В. А., Сульженко В. А., Яковлев А. В. Разработка и апробация в лабораторных и промышленных условиях многоканальной акустико-эмиссионной системы спектрального анализа "МАЭС" // *Контроль. Диагностика*. 1999. № 8. С. 49—53, 57.
5. Гуменюк В. А., Казаков Н. А., Яковлев А. В. Контроль технологических трубопроводов с применением многопараметрической системы классификации акустико-эмиссионных источников // *Безопасность в промышленности*. 2005. № 10. С. 49—53.

"В мире неразрушающего контроля", 2007, № 1

П. Е. ЕГОРОВ, инж.
ФГУП ОКБ "Гидропресс"

Построение функции надежности автоматизированных технологических систем

Безотказная работа автоматизированных технологических систем (АТС) — сложный процесс, заключающийся в совместном обеспечении работоспособности входящих в нее технологической, транспортной, складской, информационно-управляющей и других обеспечивающих подсистем. Для выработки наиболее эффективной стратегии обеспечения надежности такого сложного технического объекта, каким является АТС, необходимо оценить ее надежность, учитывая, что АТС является производственной системой, которая может производить одновременно несколько видов продукции. Потери системы, обусловленные отказами оборудования, будут складываться из потерь по видам продукции, т. е. в соответствии с плановой номенклатурой производимых изделий.

Практически все подсистемы АТС с точки зрения надежности являются независимыми, т. е. надежность одной подсистемы не влияет на надежность другой подсистемы или элемента, хотя влияет на эффективность АТС в целом. Поэтому при исследовании надежности АТС достаточно оценить надежность каждой подсистемы в отдельности, учесть связи между ними и на основании этого вычислить основные показатели. При этом следует учитывать, что АТС является производственной системой, т. е. ее основная задача заключается в выпуске продукции в полном объеме к заданному сроку. Отказы в работе технических средств приводят к нарушению сроков выполнения плановых заданий. Поэтому в качестве критерия отказа АТС следует рассмотреть превышение времени выполнения производственного задания над планируемым. Таким образом, основной подход при анализе надежности АТС как сложной системы заключается в том, чтобы надежность всех технических средств АТС свести к надежности только тех технических объектов, которые непосредственно осуществляют поддержку материальных потоков. К таким техническим объектам относятся автоматический склад, система транспортирования, автоматические об-

рабатывающие ячейки. Оценка надежности АТС сводится к оценке надежности каждого из перечисленных объектов и учету связей между ними, которые образуются в результате материальных потоков. В общем случае в АТС может существовать несколько материальных потоков, которые проходят через различные элементы АТС в зависимости от технологических маршрутов, для них могут иметь место различные плановые показатели, поэтому надежность каждого материального потока следует оценивать отдельно.

Система управления, хотя и осуществляет информационную поддержку функционирования АТС, но ее технические средства непосредственно не поддерживают материальные потоки. Для оценки надежности АТС информационно-управляющую систему целесообразно выделять в отдельный технический объект, а следует учитывать для каждой единицы технологического оборудования надежность только тех технических средств системы управления, которые осуществляют информационную поддержку его функционирования [1].

Сделаем несколько предположений относительно типов законов распределения наработки на отказ и времени восстановления технических средств АТС. Как показывают эксплуатационные наблюдения [2], для технических средств производственных технологических систем различного назначения характерен экспоненциальный закон распределения наработки на отказ. Это обусловлено тем, что значительную долю технических средств составляют электронные компоненты. Некоторые отклонения от экспоненциальных законов распределения наблюдаются при отказах механической части технических средств, которые подчиняются, как правило, нормальному закону распределения [3]. Но отказы механических узлов не являются доминирующими в общем числе отказов. Для станка с ЧПУ они составляют около 15 % и поэтому не будут оказывать влияния на тип закона распределения.

При построении функции надежности АТС в качестве основного показателя примем коэффициент оперативной готовности, который характеризует вероятность того, что технический объект является работоспособным в произвольный момент времени и будет находиться в этом состоянии требуемое время. Коэффициент готовности может быть представлен в виде [3]

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + T_B},$$

где T_o — средняя наработка оборудования; T_B — среднее время восстановления оборудования.

Оценим вероятность прохождения заготовки технологического маршрута за заданное время. Считаем, что отказ хотя бы одного элемента АТС приводит к отказу выполнения производственного задания.

Выполнение задания начинается с того, что заготовка, которая хранится в ячейке склада, по команде системы управления перегружается на штабелер, транспортирующий ее на внешнее перегрузочное устройство склада. Вероятность того, что это событие осуществится за заданное время t_1 , равна следующему произведению:

$$P_1(t_1) = k_c P_c(t_1),$$

где k_c — коэффициент готовности склада (склад должен быть работоспособен в момент прихода команды); $P_c(t_1)$ — вероятность выполнения операции за заданное время.

Далее тележка транспортирует заготовку к автоматической обрабатывающей ячейке (АОЯ). Вероятность осуществления этой операции за время t_2

$$P_2(t_2) = k_m P_m(t_2),$$

где k_m — коэффициент готовности транспортной системы; $P_m(t_2)$ — вероятность осуществления операции транспортировки за заданное время.

АОЯ осуществляет обработку заготовки. Если расчетное время обработки заготовки равно t_3 , то при условии, что за это время не произойдет отказа автоматической обрабатывающей ячейки, вероятность этого события

$$P_3(t_3) = k_a P_a(t_3),$$

где k_a — коэффициент готовности АОЯ; $P_a(t_3)$ — вероятность выполнения обработки палеты с заготовками за заданное время.

После обработки заготовка транспортируется на склад. Вероятность осуществления этого события за время t_4

$$P_4(t_4) = k_m P_m(t_4),$$

где $P_m(t_4)$ — вероятность транспортировки за заданное время.

На внешнем перегрузочном устройстве склада заготовка перегружается на штабелер, который транспортирует ее к ячейке склада. Вероятность осуществления этого события за время t_5

$$P_5(t_5) = k_c P_c(t_5),$$

где k_c — коэффициент готовности склада; $P_c(t_5)$ — вероятность осуществления складской операции за заданное время.

Сумма $T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$ является планируемым временем прохождения заготовки некоторого фрагмента технологического маршрута. Оценка вероятности прохождения заготовки за время T равна произведению соответствующих вероятностей

$$P_M(T) = P_1(t_1)P_2(t_2)P_3(t_3)P_4(t_4)P_5(t_5). \quad (1)$$

Рассмотренный маршрут является типичным для АТС.

Можно рассмотреть ситуацию, когда заготовка после обработки на одном станке направляется на другой станок, а не на склад. Но это не меняет принципиального подхода при вычислении вероятности прохождения технологического маршрута за планируемое время, а добавляет только дополнительные множители в выражение (1). В общем случае P_M можно представить в виде

$$P_M(T) = \prod_{i=1}^N k_i P_i(t_i),$$

где T — планируемое время прохождения маршрута, равное $\sum_{i=1}^N t_i$; N — число элементов АТС, участвующих в поддержке данного материального потока.

Если в АТС осуществляется обработка нескольких материальных потоков, то общую функцию надежности АТС представляют в виде произведения отдельных функций:

$$P_{АТТ} = \prod_{i=1}^l P_{Mi}(t_i),$$

где i — номер материального потока; l — общее количество материальных потоков, проходящих через АТС.

Функция P_{mi} является функцией надежности маршрута. Анализируя ее, можно определить "узкие места" — в смысле надежности с последующей разработкой комплекса мер, направленных на повышение надежности, с привлечением минимальных дополнительных затрат. Например, если станки, входящие в АТС, являются взаимозаменяемыми, то можно перераспределить производственные задания между ними так, чтобы функция $P_{АТТ}$ была максимальной или проанализировать возможность организации альтернативного маршрута.

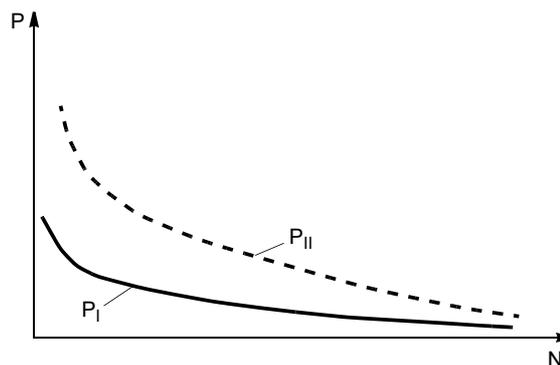
Оценим повышение вероятности выполнения задания от введения пристаночного накопителя. Пусть пристаночный накопитель позволяет хранить N заготовок. Предположим, что среднее время обработки одной заготовки t . Рассмотрим диаграмму взаимодействия оборудования АТС в обоих случаях и определим вероятность выполнения задания, которое заключается в обработке N заготовок за заданное время. При отсутствии накопителя заготовки хранятся на складе и последовательно доставляются на рабочую позицию транспортной системой.

Пусть t_c и t_m — время доставки одной заготовки из ячейки склада на внешнее перегрузочное устройство и транспортировки заготовки со склада на рабочую позицию соответственно. Причем временем перегрузки заготовки на рабочее место станка и перегрузки обработанной заготовки с рабочего места на транспортер будем пренебрегать, т. е. как только заканчивается обработка одной заготовки, сразу же начинается обработка следующей. Отказ в такой схеме функционирования наступит тогда, когда откажет сам станок или очередная заготовка не будет доставлена к станку из-за неисправности склада или транспортной системы. Несмотря на то, что в этой системе ее компоненты работают не одновременно, она представляет собой с точки зрения надежности систему с последовательно соединенными элементами [3], поэтому вероятность выполнения задания за планируемое время Nt

$$P_I = k_a P_a(Nt) [k_m P_m(t_m) k_c P_c(t_c)]^N,$$

где k_c , k_m , k_a — коэффициенты готовности склада, транспортной системы и станка соответственно.

При использовании пристаночного накопителя на N заготовок запас создается заранее, поэтому работоспособность автоматического склада и



Зависимость вероятности выполнения планового задания от объема пристаночного накопителя (штриховая линия — пристаночный накопитель на N заготовок, сплошная — без пристаночного накопителя)

транспортной системы не влияют на вероятность выполнения задания. Вероятность обработки N заготовок за время Nt

$$P_{II} = k_a P_a(Nt).$$

На рисунке приведено изменение вероятности в первом и втором случаях в зависимости от объема накопителя. Повышение вероятности выполнения задания происходит благодаря тому, что во втором случае отказы в работе склада и транспортной системы не влияют на функционирование станка. Вероятность определяется только показателями надежности АОЯ. Как следует из приведенных зависимостей, преимущество пристаночного накопителя для обеспечения функционирования станка до первого отказа наиболее значительно при небольшом объеме накопителя.

Таким образом, максимальная автономность функционирования технических средств АТС обеспечивает существенное повышение вероятности выполнения плановых заданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мищенко В. И. Комплексное обоснование требований к основным параметрам системы эксплуатации радиоэлектронных систем. Смоленск: ВУ ВПВО ВС РФ, 1999. 148 с.
2. Мищенко В. И. Определение периодичности проверок сложных технических систем при ограниченной информации об их надежности // Метрология. 1999. № 12. С. 23—25.
3. Мищенко В. И. Особенности моделирования взаимодействия сложных технических систем вооружения с системой их эксплуатации // Измерительная техника. 1999. № 10. С. 14—16.

А. А. ГЛЕБОВ, аспирант, Р. М. ХВАСТУНОВ, д-р биол. наук
РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина

Способ актуализации технологических стандартов организаций

Стандартизация в машиностроительной отрасли является основным средством обеспечения взаимозаменяемости, главным регулятором требований к безопасности продукции, работ и услуг (ГОСТ Р 1.0—2004; ФЗ № 184 от 27.12.2002). В конечном счете она способствует повышению эффективности производства и конкурентоспособности продукции.

Европейский союз и другие страны успешно продвигают с помощью стандартизации свои технологии и конструктивные решения в основном через участие в международной деятельности, активно работая в Международной организации по стандартизации (ИСО). Иначе обстоит дело в Российской Федерации. Сроки разработки и утверждения стандартов здесь существенно отстают от требований международного сообщества и не способствуют росту конкурентоспособности отечественной продукции. Именно поэтому проблема актуализации стандартов (включая разработку и пересмотр) приобретает особенно важное значение.

Как известно, в Российской Федерации действуют стандарты следующих уровней:

- международные, введенные в действие в РФ;
- национальные;
- отраслевые;
- организаций (ранее — предприятий).

Международные стандарты, к которым присоединилась РФ, нельзя применять без издания особого приказа Ростехрегулирования и опубликования в информационном указателе национальных стандартов. Существует множество причин затягивания сроков утверждения этих стандартов [1], в результате чего реальный срок их введения составляет 2—3 года.

Разработка национальных стандартов на технические и технологические номиналы происходит "от достигнутого", т. е. в стандарт, допустим, на чистоту обработки поверхности закладывают ее значение, достигнутое на лучших российских предприятиях. Однако само это значение, во-первых, может отставать от мирового уровня и, во-вторых,

из-за длительной процедуры издания стандартов, их внедрения и адаптации предприятий к новым требованиям отставание увеличивается еще больше.

Данные причины, тормозящие разработку и внедрение, гораздо менее существенны для стандартов организаций (далее СТО). Эти стандарты более актуализированы уже потому, что заказчик разработки (обычно руководитель организации) заинтересован в скорейшем получении документа. Кроме того, несравненно меньшее время уходит на внутреннее согласование положений стандарта. Но, тем не менее, некоторые проблемы актуализации сохраняются, а именно:

— благодаря тому, что разработчики СТО ограничены во времени и не всегда обладают высокой квалификацией в этой области (зачастую разработку СТО поручают просто высококвалифицированным инженерам-производственникам), возможно неполное выявление факторов, положений, требующих стандартизации. Напротив, в число стандартизуемых могут попасть малозначительные элементы производства;

— если СТО (какой-либо службы, цеха) разрабатывают в пределах крупного производства с разбросанными корпусами, то трудно обеспечить учет суждений и потребностей всех взаимодействующих сторон;

— трудно учесть опыт разработки стандартов аналогичного назначения (если они есть) других организаций.

Однако уже в силу своего назначения разработка СТО не может занимать несколько лет. Кроме того, СТО не может быть длительно действующим и требует пересмотра в кратчайшие сроки, иногда через несколько месяцев. Как обеспечить актуализацию СТО с учетом этих обстоятельств?

В РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина предложено и апробировано способ, позволяющий в короткие сроки (до 1 мес.) разработать (или же пересмотреть) СТО — "Квалиметрический анализ" (КА) [2, 3]. КА включает выполнение трехэтапного опроса экс-

пертов, причем данные, получаемые на каждом этапе, статистически обрабатывают. Применение КА особенно эффективно для актуализации стандартов, регулирующих технологические процессы, так как в этом случае значительно снижен субъективизм оценки анализируемой ситуации.

Проиллюстрируем применение КА на примере разработки СТО для механосборочного цеха машиностроительного завода, имея в виду, что пересмотр СТО осуществляют аналогично.

Общая последовательность разработки (пересмотра) СТО. Необходимо ознакомиться в общих чертах с расположением рабочих мест в обследуемом подразделении, установить транспортные (или информационные) потоки, узнать основные функции отдельных групп сотрудников и численность этих групп. Все это завершается составлением схематического плана подразделения в произвольной форме и комментариев к нему, что составляет "ориентирующую информацию" для исполнителя и лиц, привлекаемых в качестве экспертов.

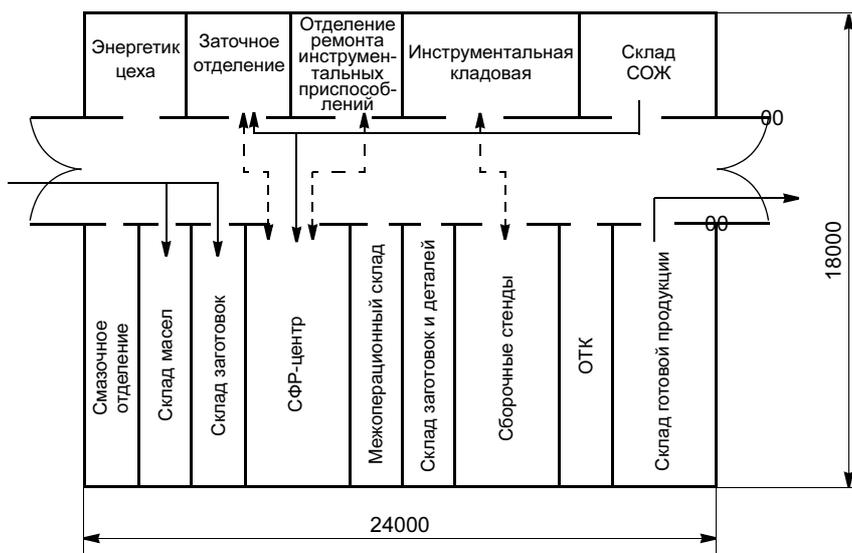
Пример схемы подразделения с указанием выполняемых по участкам функций и транспортных потоков приведен на рисунке. Рассматриваемое подразделение (механосборочный цех) осуществляет доработку заготовок и сборку рабочей части погружного оборудования (ЭЦН и система крепления кабеля). Здесь получают заготовки деталей изделия из нескольких предыдущих цехов, дорабатывают их на сверлильно-фрезерно-расточном центре ИР 320 ПМ Ф4, индивидуально подгоняя друг к другу, собирают и испытывают. Объем выпускаемой продукции 300 шт/год. Такт выпуска 815 мин на изготовление одного изделия.

Работа по созданию (пересмотру) СТО начинается с беседы с руководителем организации или ее подразделения — заказчиком — о причинах необходимости выполнения этой работы. По итогам беседы исполнитель составляет текст распоряжения заказчика по организации с указанием цели работы и лиц, которым поручено участвовать в работе. При этом необходимо выяснить, какие имеются нормативные документы, регламентирующие работу в данной сфере деятельности организации в целом, обследуемого подразделения и отдельных его работников. Этими документами могут быть политика организации в области качества, положение об организации или ее подразделении, должностные инструкции отдельных сотрудников и др.

Следует установить, почему эти документы недостаточны для оптимальной работы рассматриваемого подразделения. В табл. 1 приведены некоторые из таких документов и соответствующие комментарии применительно к рассматриваемому примеру.

Итак, допустим, существующие нормативные документы не позволяют осуществлять целенаправленное совершенствование выполнения подлежащей стандартизации функции и потому необходимость разработки нового нормативного документа не вызывает сомнений. Для выявления недостатков существующей системы нормирования и стандартизации следует опросить следующих специалистов:

- руководителей организации (подразделения);
- работников подразделения, привлеченных в качестве экспертов;
- потребителей продукции данного подразделения (если потребитель внутренний, то можно



Схематический план механосборочного цеха (сплошная линия — основные пути перемещения техники, штриховая — сотрудников)

Таблица 1

Документ	Комментарий
Политика организации в области качества	Не содержит конкретных указаний на то, каким образом следует действовать в конкретном подразделении. Общие слова
Положение о подразделении	Указаны только выполняемые функции, штаты. О способах повышения качества выполняемых функций ничего нет
Должностные инструкции работников подразделения	Фиксируют только необходимые действия сотрудников, но ничего нет об обеспечении качества их работы. Кроме того, эти инструкции никто не читает

Таблица 2

Участок	Специальность, число специалистов	Число отобранных экспертов
Отдел энергетика	Электрик-эксплуатационник, 4	1
Заточное отделение	Токарь*	—
Отделение ремонта инструмента	Слесарь-инструментальщик, 2	1
Инструментальная кладовая	Кладовщик*, 3	—
Склад СОЖ	Кладовщик, 4	1
Смазочное отделение	Кладовщик*, 1	—
Склад масел		
Склад заготовок		
Сверлильно-фрезерно-расточный центр	Токарь, 3 Фрезеровщик, 4	1 1
Межоперационный склад	Кладовщик*, 1	—
Склад готовых деталей		
Сборочный цех	Слесарь-сборщик, 10	2
ОТК	Технический контролер, 4	1

* Данные отсутствуют.

провести опрос непосредственно, если внешний — используя сотрудников службы изучения внешнего рынка).

Среди опрашиваемых работников должны быть, по возможности, представители всех специальностей, имеющихся в данном подразделении. Общее число опрашиваемых работников не должно быть слишком большим, оптимально 10—15 чел.

В табл. 2 для примера приведены сведения о специальностях и числе работников, находящихся на участках цеха, а также о числе лиц, привлеченных к работе в качестве экспертов.

Опрос специалистов, привлеченных в качестве экспертов, предназначен для выявления недостатков существующей системы работы (определяются негативные факторы, недочеты). Форму опроса выбирает исполнитель.

После обобщения материалов, полученных от экспертов, исполнитель представляет результаты заказчику, который выбирает положения, подлежащие стандартизации. Эти положения исполнитель вносит в создаваемый проект СТО, указывая меры по их разрешению.

Организационные мероприятия, завершающие работу над стандартом. Текст подготовленного проекта СТО проверяют на соответствие государственным и отраслевым нормативным документам, регламентирующим разработку стандартов. После определения этого соответствия проект СТО необ-

ходимо согласовать со всеми заинтересованными сторонами:

— руководителями подразделений, использующих стандартизируемую продукцию (если потребителями являются внешние организации, то необходимо согласование СТО с руководством отдела, занимающегося поставками продукции потребителям);

— руководителем подразделения (или службы), деятельность которого регулируется разрабатываемым СТО;

— заказчиком (если им не является руководство организации).

Для согласования необходимо предоставить руководителям соответствующих подразделений копию подготовленного проекта СТО и получить замечания. Замечания учитывают в новой редакции СТО, собирают "согласительное совещание" представителей всех заинтересованных сторон, на котором принимают окончательную редакцию СТО. На согласительном совещании устанавливают также срок действия стандарта, намечают дату его пересмотра и ответственное за пересмотр лицо (т. е. должность).

Заключение

Предложенный способ квалиметрического анализа, базирующийся на поэтапном опросе экспертов-сотрудников предприятия, отличается следующими положительными чертами:

— его реализация в пределах даже крупного предприятия занимает 2—3 мес., тогда как традиционный путь разработки составляет не менее года; в небольшой организации разработка стандарта может занять 1—1,5 мес.;

— способ позволяет учесть все ранее наработанные материалы, имеющиеся в организации, и выявить (при тщательной работе) все сведения и предложения специалистов, действительно заинтересованных в разработке стандарта;

— затраты на реализацию способа минимальны.

Таким образом, данный способ содействует актуализации разработки и внедрения стандартов одного из существующих уровней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брод Б. Б. Россия обречена на отставание системой национальной стандартизации // Стандарты и качество. 2005. № 10. С. 70—71.
2. Методы квалиметрии в машиностроении: Учебное пособие / Под ред. В. Я. Кершенбаума, Р. М. Хвастунова. М.: Технонефтегаз, 1999. 250 с.
3. Квалиметрический анализ как средство непрерывного повышения качества продукции машиностроения / В. М. Корнеева, В. Н. Холопов, А. Н. Феофанов, Р. М. Хвастунов // Технология машиностроения. 2007. № 4. С. 82—84.

А. Е. БРОМ, канд. экон. наук
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Динамическая модель потоковых процессов промышленного предприятия

Концептуальной базой обновления системы управления предприятием к началу XXI века стало логистическое (потоковое) представление производственно-сбытовых процессов, позволяющее анализировать деятельность предприятия как сложной кибернетической системы, функционирующей в условиях нестабильной внешней среды. Это дает возможность провести комплексное исследование динамических свойств предприятия, лежащих в основе экономической инерционности любого хозяйственного объекта, путем установления взаимосвязи и взаимодействия потоков, характеризующих систему. В современной системе рыночных отношений именно инерционные свойства производственно-сбытовых процессов определяют уровень конкурентоспособности предприятия.

Функционирование производственно-сбытовой системы (ПСС) предприятия носит циклический характер. Производственно-технологический цикл создается и замыкается спросом, обуславливающим образование контуров обратной связи между внешней средой и предприятием. Динамика спроса вызывает переход предприятия с одного режима функционирования на другой, что влечет за собой колебания переменных и структуры входящих и внутренних материальных потоков и в конечном итоге приводит к дестабилизации производственных функций [1]. Изменение выходных показателей предприятия не может осуществляться мгновенно: существует определенное временное запаздывание — следствие инерционных свойств любой социально-экономической системы. Инерционные свойства во всех звеньях предприятия в свою очередь зависят от длительности хозяйственных процессов (снабжения, производства, сбыта и т. д.), характеризующих временными показателями. Таким образом, эффективность деятельности предприятия зависит от соответствия динамики функционирования ПСС динамике потребительского спроса и совокупных переменных затрат, связанных с достижением определенного темпа производства.

Эффективность деятельности ПСС предприятия можно отразить в обобщенном показателе эффективности функционирования:

$$\Theta = P - Z \rightarrow \max, \quad (1)$$

где P — стоимостная оценка результатов производственно-хозяйственной деятельности за период

времени $T = t_2 - t_1$; Z — затраты на производственно-хозяйственную деятельность за тот же период.

Стоимостная оценка результатов P складывается из показателей объемов реализации продукции $N_i(t)$

и цены за единицу i -го вида продукции C_i ($i = \overline{1, n}$; n — количество видов выпускаемой продукции). Темп поставки продукции потребителям может не совпадать с темпом выпуска готовой продукции по заказам потребителей:

$$N_i(t) = N_{i\text{вып}}(t) \pm \Delta N_i(t), \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где $\Delta N_i(t)$ — отклонение от планируемых объемов выпуска.

Для логистико-ориентированных предприятий должно выполняться равенство $N_i(t) = N_{i\text{вып}}(t)$, в противном случае возникает риск производства невостребованной продукции, определяемой величиной $\Delta N_i(t)$ и направляемой на склады готовой продукции. Цена реализуемой продукции является функцией времени и объемов поставки продукции потребителям $C_i = C_i(N_i, t)$. Поток затрат производственно-хозяйственной деятельности за период времени T складывается из двух частей: постоянной части затрат Z_{const} , связанной с административными расходами, арендными платежами и т. д., и переменной части Z_{var} , зависящей от темпа выпуска продукции $N_i(t)$ и времени t . В свете изложенного выше структура обобщенного показателя эффективности выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \Theta = & \sum_{i=1}^n \int_{t_1}^{t_2} N_i(t) C_i(N_i, t) dt - \sum_{j=1}^m \int_{t_1}^{t_2} Z_{\text{const}_j} dt - \\ & - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \int_{t_1}^{t_2} Z_{\text{var}_{ij}}(t, N_i(t)) N_i(t) dt \pm \\ & \pm \sum_{i=1}^n \int_{t_1}^{t_2} \Delta N_i(t) Z_{\text{var}_{ij}}(t, N_i(t)) dt. \end{aligned} \quad (3)$$

Первое слагаемое выражения (3) характеризует функционирование предприятия во внешней среде, так как цена продукции и выпускаемые объемы формируются на потребительском рынке под влиянием рыночных факторов. Второе слагаемое — постоянные затраты производственно-хозяйственной деятельности — приобретают главенствующую

роль при реконструкции предприятия или капитальном техническом перевооружении. Третье слагаемое характеризует внутрисистемную среду функционирования предприятия, и его значение должно уменьшаться. Четвертое слагаемое связано с производством невостребованной продукции $\Delta N_i(t)$ и для его исключения необходимо проанализировать обеспеченность продукции заказами на поставку, динамику остатков готовой продукции по каждому виду, их долю в общем объеме продаж. Изучение факторов возникновения $\Delta N_i(t)$ необходимо для поиска путей недопущения или минимизации затрат производственно-хозяйственной деятельности.

В основе исследования потоковых процессов предприятия лежат основы так называемой промышленной динамики Дж. Форрестера [2], использующей современные приемы моделирования информационных систем с обратной связью. Такой подход позволил построить динамическую имитационную модель предприятия, отражающую согласованное изменение показателей производства и сбыта в любой момент времени.

Экономический цикл любого предприятия представляет собой одно из проявлений изменяющихся во времени взаимодействий, которые происходят в контурах систем с обратной связью. Поэтому разработанная модель отражает замкнутый контур производственно-технологического цикла, что позволяет проверять результаты различных допущений и влияния внешних факторов.

Структура динамической модели ПСС представляет собой накопители-уровни, связанные между собой потоками. Уровни характеризуют возникающие накопления внутри системы и представляют собой переменные, которые можно было бы определить в том случае, когда система приведена в состояние покоя. Понятию "уровень системы" соответствует экономическая категория запасов. Изменения во времени значений уровней под воздействием входящих и исходящих непрерывных потоков для получения численных решений описываются конечно-разностными уравнениями, характеризующими функционирование элементов системы в дискретном времени. В общекибернетическом смысле уровни ПСС можно определить как тезаурус — память, запас сведений, которым располагает система, осуществляющим преемственность между прошлыми состояниями и будущими. Темпы потоков определяют существующие мгновенные потоки между уровнями в системе. В свою очередь темпы определяют уровни, являющиеся определенными по времени интегралами потоков.

Скорость протекания процесса перехода предприятия с одного режима функционирования на другой в каждом звене ПСС определяется временным промежутком, в течение которого изменяются величины темпов потоков и уровней подсистем производства и реализации продукции. Чем меньше

длительность переходных процессов, тем быстрее ПСС адаптируется к изменениям рыночной ситуации. Скорость протекания переходного процесса зависит от вида и продолжительности временных запаздываний, образующихся в контурах потоковых процессов ПСС. Запаздывание представляет собой упрощенное понимание уровня и определяется временем, необходимым для достижения определенного качественного и количественного показателя потока на выходе. Запаздывания изображаются в модели набором разностных уравнений темпов и уровней, характеризующих рассматриваемый поток. Уровень L_{t+1} , находящийся в запаздывании, накапливается благодаря различию в темпах входящего IN_t и исходящего OUT_t потоков:

$$L_{t+1} = L_t + T(IN_t - OUT_t), \quad (4)$$

где T — интервал дискретизации, а темпы потоков имеют размерность единицы/время.

Темп исходящего потока

$$OUT_{t+1} = L_t/D, \quad (5)$$

где D — среднее время, необходимое для преодоления запаздывания (среднее время запаздывания).

Запаздывания в параллельных процессах группируются путем переноса в общий канал потока. Запаздывания, возникающие в процессах, следующих последовательно, группируются в представлении общего запаздывания. Запаздывания высшего порядка получают путем проведения потока через два или более последовательно расположенных запаздывания первого порядка (рис. 1).

Запаздывание третьего порядка определяется тремя парами уравнений, аналогичных приведенным, связывающих между собой темпы потоков на входе и выходе из уровней L_1, L_2, L_3 :

$$R_{t+1}^1 = L_t^1/(D/3), \quad (6)$$

$$L_{t+1}^1 = L_t^1 + T\left(IN_t - \frac{L_{t+1}^1}{D/3}\right), \quad (7)$$

$$R_{t+1}^2 = L_t^2/(D/3), \quad (8)$$

$$L_{t+1}^2 = L_t^2 + T(R_t^1 - R_t^2), \quad (9)$$

$$OUT_{t+1} = L_k^3/(D/3), \quad (10)$$

$$L_{t+1}^3 = L_t^3 + T\left(\frac{L_t^2}{D/3} - OUT_t\right), \quad (11)$$

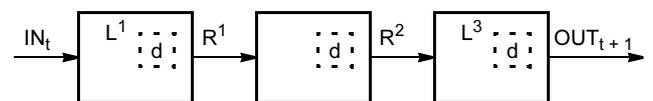


Рис. 1. Запаздывание последовательных процессов

где D — среднее время, необходимое для преодоления запаздывания (среднее время запаздывания).

Воспользуемся следующим обозначением для представления уравнений (6)—(11) в сжатой форме:

$$OUT_{k+1} = D3(IN_t, d), \quad (12)$$

здесь $D3$ — указание, что в расчет исходящего потока должно быть включено запаздывание третьего порядка; d — средняя величина запаздывания.

Выражение (12) не является уравнением: оно указывает на то, что задан необходимый набор уравнений для вычисления запаздывания третьего порядка.

Исходя из изложенного, базовую структуру ПСС можно представить в виде уровней — подсистем производства и сбыта, складов готовой продукции, поставщиков материалов, потребителей готовой продукции, связанных циркулирующими между ними материальными и информационными потоками, и своеобразных уровней-запаздываний (рис. 2). Переменные уровни, темпы потоков и запаздывания отражают внутреннюю сущность ПСС предприятия.

В таблице приведены параметры и временные показатели модели ПСС. В качестве главных

Параметры модели	d_{ij} — норма расхода j -го вида материала для производства единицы i -го вида продукции h — производительность труда на производстве f_1 — ставка налога на прибыль f_2 — средняя недельная заработная плата рабочих f_3 — темп постоянных расходов f_4 — темп поступлений денежных средств f_5 — ставка банковского процента α — ожидаемый средний годовой уровень инфляции S_i^2 — нормальная часть заказов, которая может быть удовлетворена за счет запасов ПП S_i^3 — максимальная часть заказов, которая может быть удовлетворена за счет запасов ПП V_i^6 — стоимость единицы готовой продукции i -го вида
Подблок временных показателей производства	x_i^{19} — переменное запаздывание материального потока поставок в ПС x_i^{20} — переменное запаздывание информации о поставках в ПС Z_i^1 — запаздывание отгрузки продукции в ПП Z_i^2 — продолжительность производственного цикла Z_i^3 — минимальное время подготовки заказов к запуску в производство (запаздывание в нормальном портфеле заказов) Z_i^4 — запаздывание транспортировки продукции из ПП в ПС Z_i^5 — время усреднения отгрузки из запасов ПП Z_i^6 — время оформления заказов в ПП Z_i^7 — время усреднения требований ПС к ПП Z_i^8 — запаздывание изготовления продукции для возмещения запасов ПП s_i^1 — коэффициент желательного запаса продукции на производстве s_i^5 — коэффициент желательного запаса материалов на производстве r_i^1 — время регулирования соответствия информации о поставках и материальным потоком поставок r_i^2 — время регулирования объема невыполненных заказов в ПП r_i^3 — время регулирования запасов материалов на производстве r_i^4 — время регулирования запасов продукции в ПП
Подблок временных параметров подсистемы сбыта	Z_i^9 — минимальное время выполнения заказов покупателей Z_i^{10} — запаздывание выполнения заказов, связанное с отсутствием на складе ПС продукции Z_i^{11} — время оформления заказов покупателей в ПС Z_i^{12} — запаздывание в каналах связи ПС Z_i^{13} — время отклонения фактического спроса от прогнозируемого s_i^4 — коэффициент желательного запаса продукции в ПС r_i^5 — время регулирования запасов продукции в ПС и каналах материального потока
Подблок временных параметров кадрового потенциала	Z_i^{14} — время стажировки рабочих в ПП Z_i^{15} — запаздывание в увольнении рабочих Z_i^{16} — время изменения численности рабочих
Подблок временных параметров финансово-экономической подсистемы	Z_i^{17} — запаздывание оплаты счетов предприятием за полученные материалы r_i^6 — время регулирования уровня дивидендов

возмущающих воздействий на деятельность предприятия выделяются следующие: v^1 — спрос на выпускаемую продукцию; v^2 — стоимость потребляемого производством сырья; v^3 — время (запаздывание) поставки сырья в ПСС; v^4 — время (запаздывание) оплаты потребителем продукции ПСС; v^5 — увольнение (текучность) кадрового состава.

Для устойчивого функционирования предприятия необходимо, чтобы его показатели не выходили за пределы рабочей области даже при наличии возмущающих воздействий. Выравнивание показате

телей кибернетической системы во время переходного процесса осуществляется с помощью регулятора, роль которого на предприятии выполняют руководители и управляющие структурных звеньев ПСС [3]. Максимальная величина времени регулирования соответствует максимально возможному изменению переменных системы во время переходного процесса. Для ПСС наиболее важны следующие показатели времени регулирования основных параметров (см. таблицу): r^1 — время регулирования соответствия материального потока готовой продукции

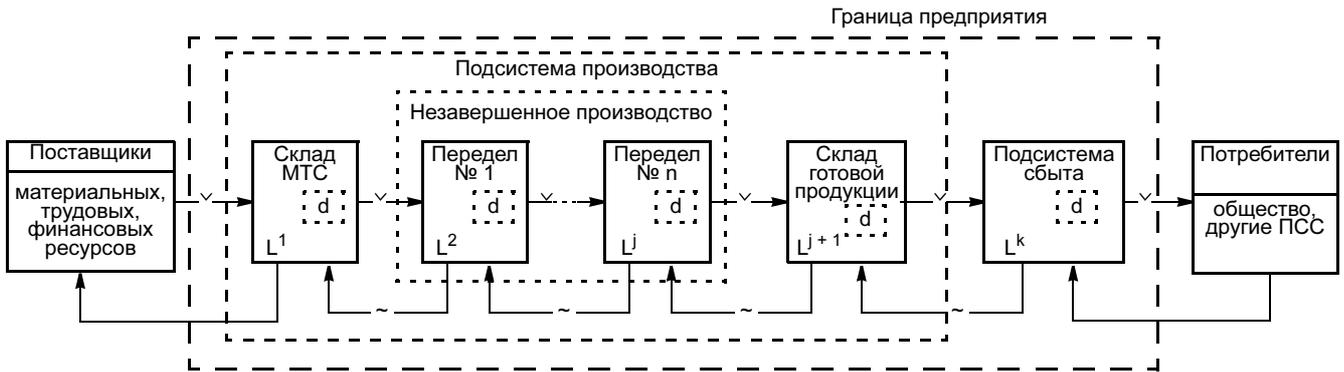


Рис. 2. Базовая структура ПСС предприятия (—→ — запаздывания в каналах материального потока; - - -> — то же, информационного потока; L^j — уровни системы, $j = \overline{1, k}$; d — уровень, находящийся в запаздывании)

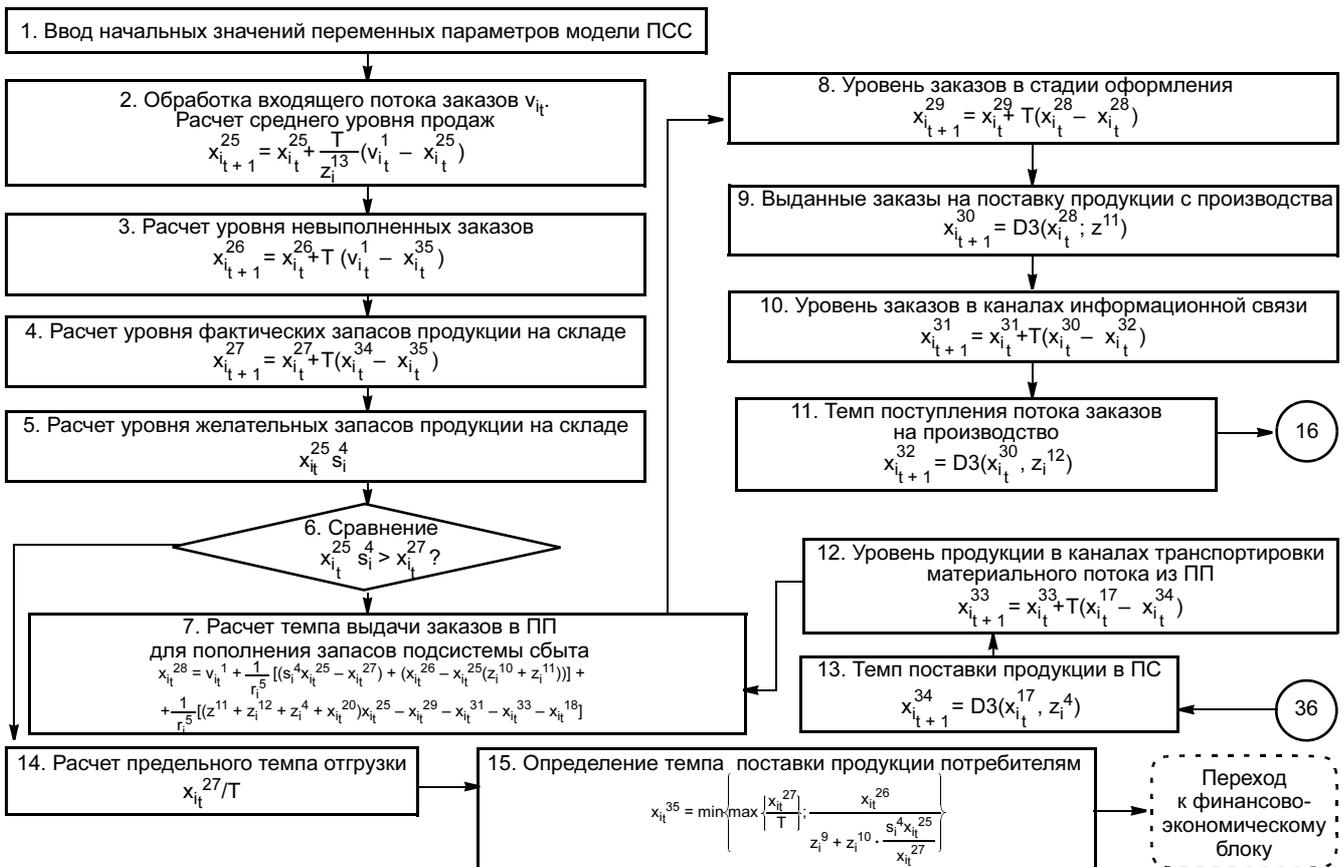


Рис. 3. Блок-схема алгоритма управления подсистемой сбыта ПСС

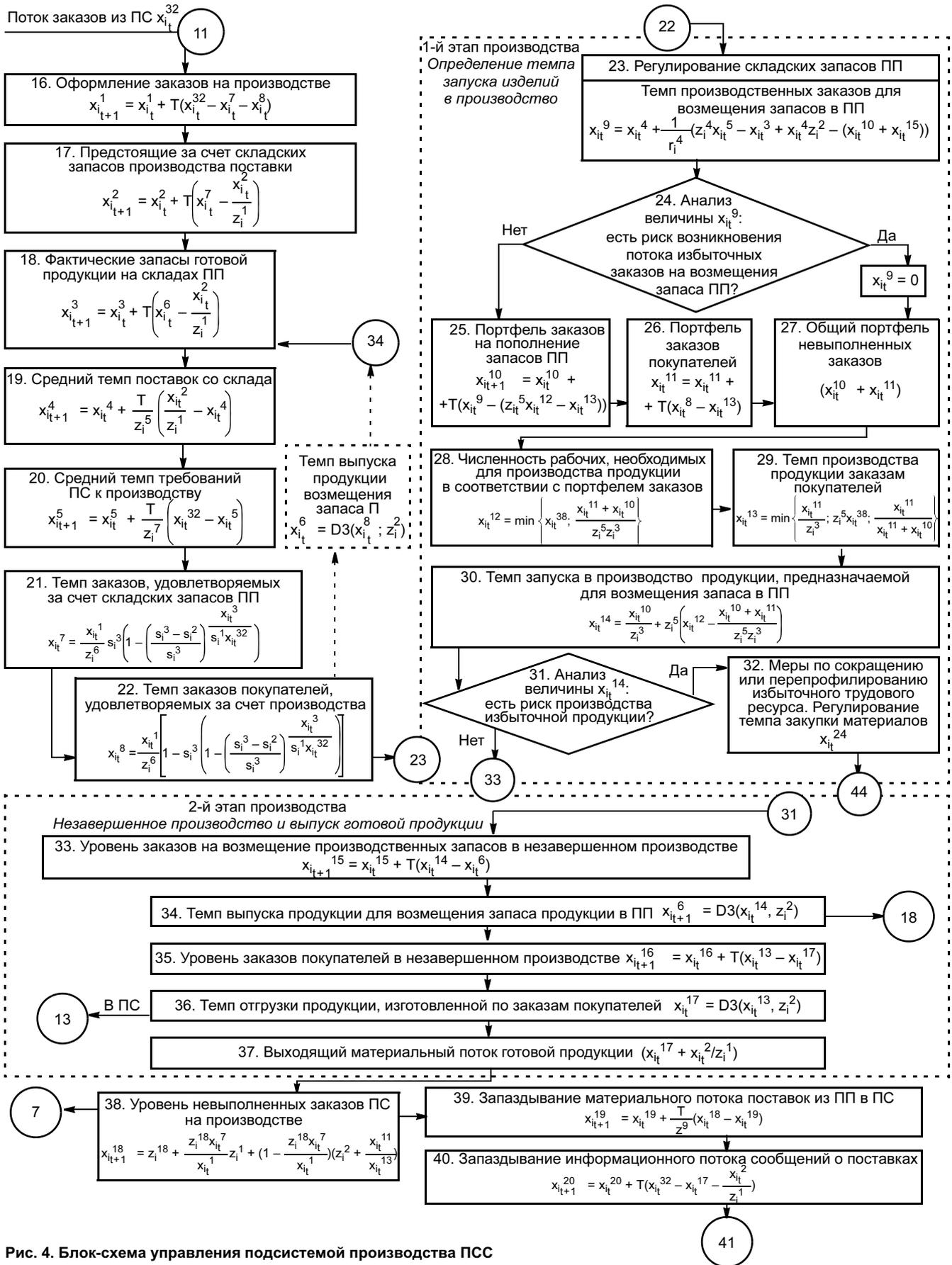


Рис. 4. Блок-схема управления подсистемой производства ПСС



Рис. 5. Блок-схема управления процессом снабжения материалами

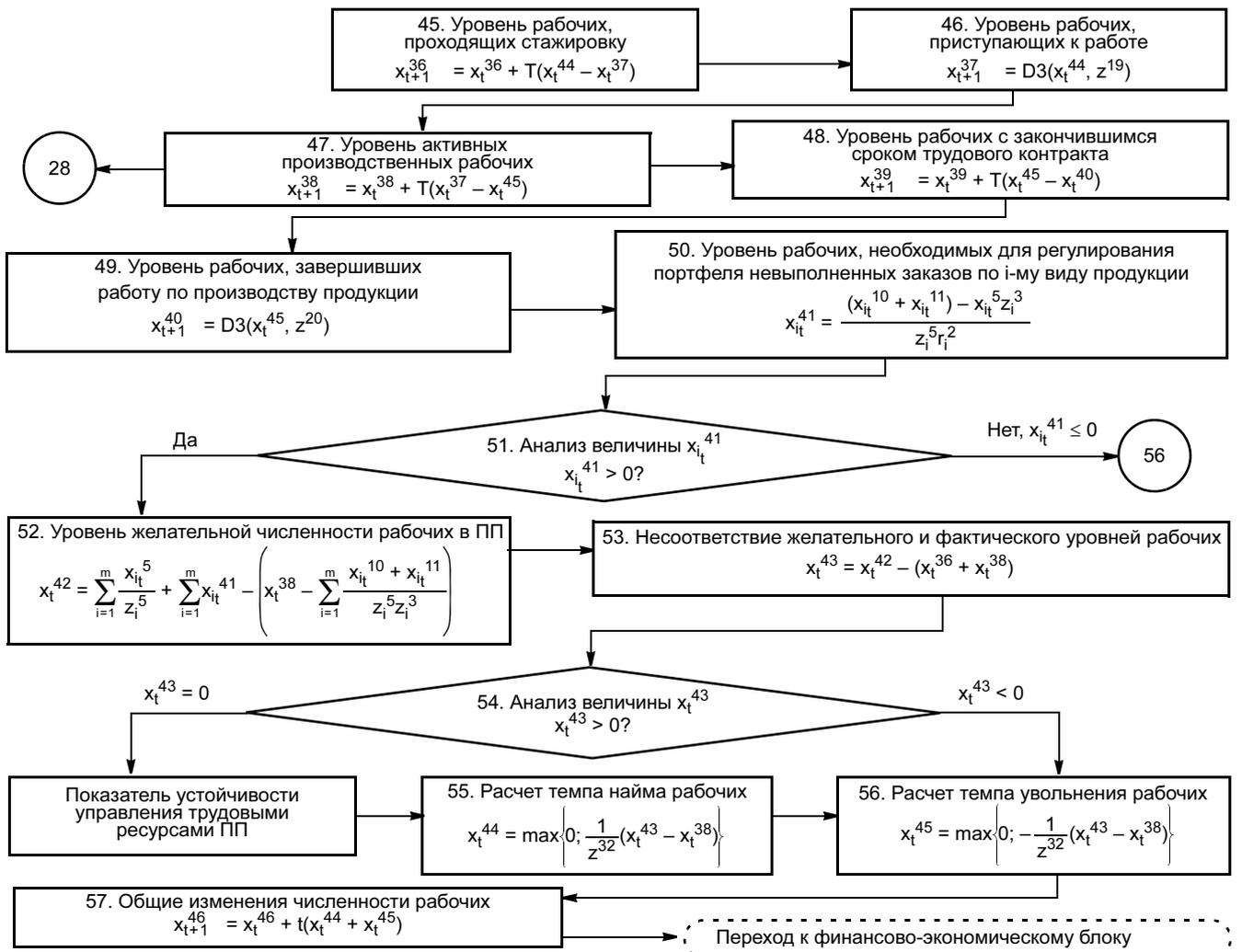


Рис. 6. Блок-схема управления трудовыми ресурсами на производстве

в подсистему сбыта (ПС); r^2 — время регулирования количества невыполненных заказов потребителей в подсистеме производства (ПП); r^3 — время регулирования запасов материалов и сырья в ПП; r^4 — время регулирования запасов готовой продукции на складах ПП; r^5 — время регулирования запасов продукции в подсистеме сбыта и каналах материального потока из ПП в ПС; r^6 — время регулирования уровня дивидендов акционеров предприятия.

Параметр r^6 является одной из главных характеристик инвестиционной привлекательности предприятия. Чем эффективнее и прибыльнее работает предприятие, тем меньше величина r^6 , тем больше

возможностей у акционеров вкладывать собственный капитал в развитие производства, не используя заемные средства (банковские кредиты). С другой стороны, такое эффективное функционирование ПСС предприятия делает его более привлекательным в глазах постороннего инвестора.

Многопродуктовая экономико-математическая модель отражает следующие аспекты хозяйственной деятельности предприятия: процесс снабжения материалами, незавершенное производство, выпуск и реализацию готовой продукции, финансово-экономические аспекты, управление трудовыми ресурсами. Для воспроизведения динамики внешней

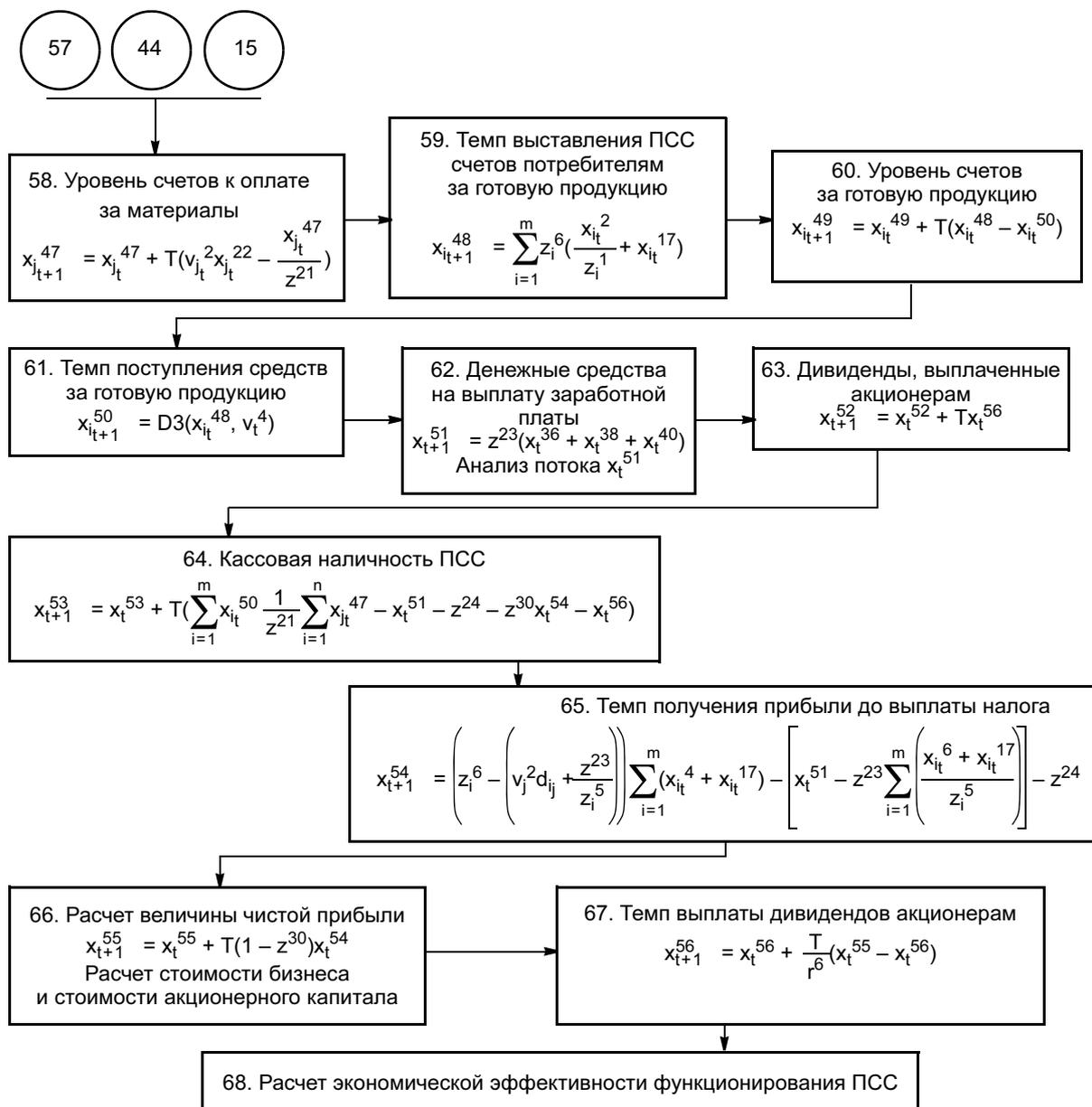


Рис. 7. Блок-схема финансово-экономической подсистемы ПСС

среды и поведения ПСС в изменившихся внешних условиях выделен в качестве экзогенной переменной потребительский спрос v^1 .

Модель содержит 96 показателей функционирования ПСС предприятия (56 переменных и 40 параметров) и представляет собой систему из 60 уравнений. Интервал решений T представляет собой параметр системы и в процессе вычислений его величину можно изменять. Чтобы его величина серьезно не влияла на результаты вычислений и изменения в уровнях между моментами решений не привели к появлению дискретности темпов, интервал решений T должен быть коротким. Это обуславливается тем, что каналы обратной связи должны оставаться в течение периода T закрытыми. Параметры модели и временные показатели задаются начальными условиями расчета и приведены в таблице. Модель проигрывается по каждому i -му виду продукции. Алгоритмы отправления потоковыми процессами предприятия приведены на соответствующих блок-схемах (рис. 3—7).

Таким образом, при расчете показателя эффективности (3) возможно исключить из дальнейшего рассмотрения слагаемое, описывающее постоянные затраты производственно-хозяйственной деятельности и слагаемое, включающее значение $\Delta N_i(t)$, так как модель позволяет предотвратить превышение темпов выпуска продукции от темпа поставки потребителям и снизить риск производства невостребованной (избыточной) продукции. Следовательно, для максимизации эффективности деятельности предприятия необходимо анализировать выражение

$$\Theta = C_i \sum_{i=1}^n \int_{t_1}^{t_2} N_i(t) dt - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \int_{t_1}^{t_2} Z_{\text{var},ij}(t, N_i(t)) N_i(t) dt \rightarrow \max. \quad (13)$$

Первое слагаемое определяется темпом поставки готовой продукции i -го вида потребителям.

Величина второго слагаемого должна стремиться к уменьшению:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \int_{t_1}^{t_2} Z_{\text{var},ij}(t, N_i(t)) N_i(t) dt \rightarrow \min, \quad (14)$$

т. е. для повышения эффективности работы предприятия необходимо минимизировать величину переменных затрат. Исследование и моделирование потоковых процессов ПСС показало, что переменные затраты предприятия при переходном процессе, связанные со стратегией перехода на другой режим работы с целью удовлетворения спроса, зависят от временных параметров предприятия. Длительность запаздываний, образующихся во всех звеньях ПСС, время регулирования информации, запасов материалов и продукции, характеризуют инерционные свойства предприятия, определяют его конкурентоспособность и являются важнейшим резервом повышения эффективности функционирования.

Разработанная динамическая модель позволяет провести комплексное исследование инерционных свойств предприятия и изучить реакцию ПСС на динамику внешней среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стратегическое управление организационно-экономической устойчивостью фирмы. Логистико-ориентированное проектирование бизнеса* / А. Д. Канчавели, А. А. Колобов, И. Н. Омельченко и др. / Под ред. А. А. Колобова, И. Н. Омельченко. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. 600 с.
2. *Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика): Пер. с англ.* / Под ред. Д. М. Гвишиани. М.: Прогресс, 1971. 344 с.
3. *Бром А. Е. Теоретические аспекты кибернетического подхода к моделированию логистической системы управления предприятием // Известия вузов. Машиностроение. 2003. № 10. С. 35—39.*

Содержание зарубежных журналов¹

American Machinist
(N 6, 2007, США)

Vernyi B. Технологические и обучающие центры станкостроительных фирм, с. 6.

Новая тенденция в завоевании рынка и увеличения сбыта рассматривается на примере трех ведущих станкостроительных фирм США: Mazak Canada, Mori Seiki и Okuma, которые создали технологические центры для теоретического и практического ознакомления персонала реальных и потенциальных покупателей с конкретными металлорежущими станками этих фирм. Эти центры, по мнению фирм, должны помочь в решении проблем с квалифицированным персоналом у потенциальных покупателей, что должно стать дополнительной мотивацией увеличения инвестиций в новое металлорежущее оборудование.

Новости промышленности, с. 12, 14, ил. 1.

Фирма BobCAD в содружестве с фирмой Predator Software разработали более простую и эффективную версию ПО BobCAD-CAM с расширенными технологическими возможностями. Новая версия обеспечивает моделирование процесса обработки сложных фасонных деталей, что может уменьшить дорогостоящие ошибки при изготовлении деталей. Стоимость базовой версии 1495 долл. США. Фирма Autodesk разработала пилотную версию ПО Inventor 2008 3D CAD для механической обработки деталей. Эта версия приведена на сайте фирмы и ею можно бесплатно пользоваться до 1 мая 2008 г. Пользователь, заполнив определенную форму и сообщив свой E-mail, получает номер и может связываться с фирмой, задавая конкретные вопросы и высказывая соответствующие пожелания.

Система мониторинга производства, с. 30—32, ил. 4.

Описывается опыт фирмы Manuvis по использованию системы мониторинга производства. Используя собственный компьютерный сервер, web browser и ПО Factory-MRI, фирма в состоянии контролировать

работу многих станков и управлять работой всего производственного участка. ПО выполняет три функции: отображает данные работы в реальном времени, выполняет в динамике статистический анализ и сохраняет информацию. Кроме того, фиксируется, когда и почему изменилась операция.

Haftl L. Выбор оптимального способа обработки, с. 33—37, ил. 4.

Рассматриваются факторы, определяющие оптимальный выбор метода обработки: газокислородная и плазменная резка, лазерная обработка и обработка водной струей. К наиболее существенным факторам относятся толщина разрезаемого материала (газокислородная резка эффективна при толщине свыше 50,8 мм и длине до 2,4 м), тип разрезаемого материала, перпендикулярность обрабатываемых кромок, скорость обработки (наименьшая для водной струи), стоимость (наиболее дорогая лазерная обработка).

ZwF
(N 6, Vol. 101, 2006, Германия)

Landerberger D. et al. Применение тонкой обработки щетками конкурентоспособно традиционным методам чистовой обработки, с. 374—377, ил. 6.

На кафедре экологических промышленных технологий университета в г. Байрет (Германия) выполнено исследование по выявлению возможности использования крацовочных станков (обработка щетками) для тонкой обработки деталей (аналогично шлифованию), т. е. для снижения шероховатости и структурирования поверхности. Состоящий из отдельных круглых щеток с металлической щетиной инструмент устанавливался на обрабатывающем центре CTX 310 фирмы Gildemeister и вращался с частотой до 16 000 мин⁻¹. В качестве опытного образца использовался алюминиевый цилиндр.

Abele E. et al. Новые возможности диагностики станочного оборудования, с. 402—407, ил. 6.

Представлен анализ проблем надежности функционирования станочного парка Германии и структура его стоимости. Обеспечение жизненного цикла станков составляет около 30 % их общей стоимости

¹ Раздел подготовлен инж. Г. С. Потаповой (по вопросам получения материалов обращаться по тел./факсу: (495) 611 21 37, e-mail: stankoinform@mail.ru).

и стоимости обеспечения их функционирования (содержание оператора, обеспечение энергией и материалами, техническое обслуживание и др.). Описана система мер, предусматривающая предупреждение выхода из строя станка и предварительное оповещение о возникновении отклонений в его работе.

Maier W. et al. Новые возможности станкостроения в Германии, с. 435—439, ил. 5.

Приведен обзор новых технических решений, реализованных в станкостроении Германии, являющиеся экономически выгодными и повышающие качество обработки деталей. Их внедрение способствует углублению и детализации информационных потребностей при организации производственных процессов. Приведен ряд примеров нововведений в станкостроении, в числе которых комбинированный обрабатывающий модуль FM 3 1-X специальной конфигурации, главный шпиндель особой сборки, инструмент для контурной обработки на обрабатывающем центре и др. Институт станков (IfW) университета Штуттгарта (Германия) предложил концепцию развития мехатронных модулей на основе интеграции механики, электрики и информатики, обладающих гораздо большими технологическими возможностями, чем обычные.

Denkena B. et al., с. 440—443, ил. 4.

Крупные автомобилестроительные фирмы постоянно выдвигают требование относительно уменьшения стоимости эксплуатации металлорежущего станка за период его работы. Описаны некоторые процедуры, обеспечивающие это уменьшение. Большое значение, в частности, имеет постоянный контроль за состоянием узлов станка, что позволяет избежать дорогостоящих незапланированных простоев станка. В качестве примера рассматривается контроль шариковой пары винт—гайка в приводе линейных перемещений узлов станка, позволяющий оценивать оставшийся срок службы этого узла.

Werkzeuge

(N 7/8 (выпуск 1), 2006, Германия)

Обработка картера двигателя автомобиля, с. 30, 31, ил. 3.

Описывается опыт применения специальной инструментальной оснастки фирмы Kempf при обработке поверхностей тел вращения картера двигателя из чугуна с присадкой магния. Комплексная обработка картера осуществляется инструментальными головками со специальными твердосплавными

режущими вставками, расположенными на торце корпуса головки, и центрально расположенным сверлом. Обработку осуществляют при частоте вращения инструмента до 20 000 мин⁻¹ и подаче 0,06 мм/об. Приведен технологический чертеж.

Торцовые фрезы, с. 47, ил. 1.

Фирма Pokolm Frastechnik предлагает торцовые фрезы Mirroworx, обеспечивающие получение абсолютно гладкой и плоской поверхности, что позволяет исключить процесс шлифования. Предлагаемые торцовые фрезы имеют всего две многогранные режущие пластины, закрепляемые в базовых пазах на торце цилиндрического корпуса. Положение режущих пластин регулируют с микрометрической точностью.

Шлифовальные круги, с. 63.

Фирма Lach Diamant Jacob Lach GmbH & Co. предлагает алмазные шлифовальные круги и круги из КНБ, предназначенные для заточки инструментов из твердого сплава и быстрорежущей стали в различных обрабатываемых отраслях промышленности. Высокая работоспособность новых шлифовальных кругов D-SG 400 и B-SG 200 обеспечивается за счет эпоксидной, керамической и металлической связок.

Werkslatt und Betrieb

(N 6, Vol. 139, 2006, Германия)

Станок для обработки шаровых и полусферических поверхностей, с. 20.

Фирма Sipfina Grieshaber GmbH und Co. KG (Германия) разработала новый станок Spheroline 818 для обработки шаровых поверхностей и полусфер протезов бедра. Основными принципами при разработке этого станка были надежность и обслуживаемость при эксплуатации, а также минимальное подготовительно-заключительное время. Станок снабжен системой смены инструментов, а также системами измерений размеров. Приведены некоторые особенности эксплуатации станка.

Damm H. Техника экстракласса для военных самолетов, с. 83—87, ил. 5.

Фирма MTU Aero Engines является мировым изготовителем двигателей для гражданских и военных самолетов, в которых одной из важнейших частей являются многоступенчатые рабочие колеса из титана для компрессора высокого давления Blisks (двигатель EJ 2000 к истребителю Eurofighter). К ним предъявляются сверхжесткие технические требо-

вания, выполнению которых в немалой степени способствуют применяемые для их изготовления обрабатывающие центры Millturn M 65-1000 фирмы WFL Millturn Technologies GmbH & Co. KG с магазинами на 90 или 120 инструментов и устройствами для контроля размеров инструмента и детали.

(N 7/8, Vol. 139, 2006, Германия)

Новые станки фирмы Gleason, с. 18, 19, ил. 1.

Описывается зубофрезерный станок Genesis 130N фирмы Gleason Sales для изготовления (без применения СОЖ) зубчатых колес и обработки валов диаметром до 130 мм. Смена заготовок выполняется сдвоенным захватом в течение нескольких секунд. В станке используется новый вид привода без механических и гидравлических элементов. Швинговальный станок Genesis 130SV этой же фирмы предназначен для обработки колес диаметром до 130 мм с незакаленными прямыми и наклонными зубьями.

Четырехшпиндельный обрабатывающий центр AL 204, с. 20, ил. 2.

Фирма Alfing Kessler Sondermaschinen GmbH разработала станок, в котором все оси имеют непосредственный привод и который позволяет развивать скорость до 180 м/мин и ускорение до 20 м/с при изготовлении шатунов. Расстояние между шпинделями составляет всего 200 мм. Магазин станка содержит 120 инструментов. Максимальная мощность шпинделей составляет 58 кВт, крутящий момент — 70 Н·м, частота вращения — 16 000 мин⁻¹. На станке используется система управления фирмы Fanuc или Siemens.

Hobohm M. Деятельность фирмы Pràtecma GmbH, с. 22, 24, 26, ил. 6.

Фирма создана в 2005 г. для изготовления небольших токарных станков высокой точности малыми сериями (начиная от 20 шт.) по чертежам заказчика. Основная часть заказов выполняется на токарно-фрезерном центре Index C200 с ЧПУ, который оснащается высококачественным режущим инструментом фирмы Paul Horn GmbH.

Merkel P. Обрабатывающий центр для изготовления корпусов тракторных приводов, с. 28—31, ил. 6.

Фирма Fendt GmbH (Германия) является изготовителем приводов высокопроизводительных колесных тракторов. Приведено описание высокопроизводительного обрабатывающего центра HEC

800 Athletic с магазином на 180 инструментов, который способен обрабатывать корпусные детали с размерами по осям X, Y, Z соответственно 1450, 1100, 1300 мм. Применение обрабатывающего центра позволило сократить время обработки вдвое, а при годовой производительности 6 500 корпусов привода сэкономить около 6 600 ч. При стоимости 1 ч работы 75 евро это составило 500 000 евро в год.

Капитальный ремонт шлифовальных станков, с. 72, ил. 3.

В последние годы капитальный ремонт станков становится все более популярным, поскольку затраты на него составляют 40—70 % от стоимости нового станка, а в результате клиент получает станок, отвечающий всем современным требованиям. Фирма Kcilber Srhleifring GmbH в течение года ремонтирует более 80 шлифовальных станков, которые доставляются на ее завод. В объем ремонта входит полная замена всех пластмассовых и резиновых деталей, кабелей, клапанов, гидравлики, систем управления. Продолжительность ремонта 12—16 недель, на отремонтированный станок выдается гарантия на 6 мес. или 1 000 ч работы. В случае ремонта отдельных узлов фирма на время ремонта предоставляет клиенту узлы напрокат.

Модернизация металлорежущих станков, с. 73.

Швейцарская фирма Erowa AG специализируется на частичной автоматизации станков, которые в результате получают "вторую жизнь" и могут успешно продолжать работу на современном уровне. В частности, автоматизируются процессы загрузки станков заготовками, их быстрая смена, подвод сжатого воздуха к столам, устанавливаются новые системы управления, производится обучение персонала работе на автоматизированных станках.

TraMetal

(N 106 (январь-февраль), 2007, Франция)

Режущие пластины для обработки сталей, с. 10, 12, ил. 1.

Подробно описаны режущие пластины фирмы Sandvic, особенно пригодные в мелкосерийном производстве. Сверла, имеющие покрытия Al₂O₃, подвергаются минимальному химическому износу, а черный или золотистый цвет пластин облегчает детектирование износа на режущих кромках. Фрезы фирмы могут работать как с применением, так и без применения СОЖ.

Система зажима режущих пластин для точения, с. 12, ил. 1.

Описана система MaxiLock D фирмы Geratizit для надежного зажима режущей пластины по упорным и контактным поверхностям, что предотвращает неправильное функционирование пластины и снижает время на обработку за счет ее быстрой смены.

Сверла для обработки алюминия, с. 12, ил. 1.

Описана гамма сверл CrazyDrill фирмы Mikron Tool, предназначенных для обработки алюминия со скоростью резания выше 300 м/мин и подаче порядка 0,5 мм/об. Сверла имеют две или три режущих кромки с внутренней смазкой, длина составляет до 15 диаметров при диапазоне 0—4 мм. В качестве примера приведено применение этих сверл в автомобильной промышленности.

Покрyтия для пластин для сверления и обработки канавок, с. 12, 14.

Описано покрытие TN6030, разработанное фирмой Widia, сочетающее в себе вязкость и износостойкость. Это покрытие, наносимое физическим осаждением паров, существенно расширяет технологические возможности инструмента и повышает износостойкость до 30 %.

Моноблочные резьбовые фрезы, с. 14, ил. 1.

Описана новая гамма резьбовых моноблочных твердосплавных фрез HeliCool фирмы Vargus с центральной подачей СОЖ. Эти фрезы предназначены для использования на фрезерных станках с ЧПУ типа CNC, где требуется винтовая интерполяция по трем осям и перемещение фрезы по спиральной траектории, которая представляет комбинацию кругового движения вокруг оси с одновременным перемещением по оси, перпендикулярной оси вращения. Приведены технологические возможности фрез для обработки резьбовых поверхностей.

(N 108, 2007 (апрель), Франция)

Сверление: сегодня быстрее и лучше, с. 6, ил. 3.

Проанализирован процесс сверления, особенностью которого является невозможность его прерывания. Предложены критерии оценки этого процесса и рекомендации по повышению его качества.

Сверла для высокоскоростного резания, с. 8, 10, ил. 3.

Рассматривается возможность применения сверл с индексруемыми режущими пластинами с более

высокими скоростями и подачами. В табличном виде приведены результаты испытаний сверл диаметром 20 мм для трех различных материалов изделий.

Способы очистки и калибровки деталей высокой точности, с. 30—33, ил. 8.

Описаны технология трех процессов очистки деталей и оборудование для них, разработанные фирмой EXTRUDE HONE, входящей в группу KENNAMETAL. Процесс AFM (Abrasive Flow Machining), в котором используется полимер, обогащенный абразивными частицами, выполняется методом обкатки детали под давлением. При использовании процесса ECM (Electrolytic Machining) деталь помещается в электролит, где она играет роль анода. Очистка производится в точно заданных местах, время цикла составляет 5—20 с. Метод TEM (Thermal Cleaning Technology) использует принцип сжигания газовой смеси при очень высокой температуре (2500—3500 °С). Выпавший металл откладывается на детали в виде оксида. Дальнейшие операции, такие как лакировка, гальванизация и др., возможны без специальной обработки.

Dubous D. Выбор между лазерной резкой и водоструйной — сложный выбор, с. 34, 36—38, 41, ил. 12.

Рассматривается вопрос о выборе между этими двумя технологиями. Лазерная резка часто представляется как "металлургическая", так как используется в основном для резки листов из металла, в то время как водная струя применяется для резки композитов, стекла, минералов. Подробно анализируются технологические возможности обоих видов обработки и приведены рекомендации, позволяющие правильно ориентироваться в этой области, а также опыт и оборудование известных фирм, в числе которых Bystronic, WaterJet, Decosoupe, Flow WaterJet, Recato, Belotti, Synova (Италия) и W. P. S. (Франция) и др.

Technische Rundschau
(N 21, Vol. 98, 2006, Швейцария)

Wohlgenannt M. Обработка деталей на многоцелевом станке, с. 56—58, ил. 4.

Приведены примеры высокоэффективной обработки сложных деталей полностью с одного установа на многоцелевом станке с пятью осями, оснащенном новой системой с несколькими приспособлениями-спутниками, несущими обрабатываемые детали. Возможен широкий спектр обрабатываемых

мых деталей. Для перемещения приспособлений-спутников с деталями используется роботизированная система. Обеспечивается быстрая смена инструментов. Сообщаются основные технологические данные проведенных процессов обработки.

Schwab B. Технология удаления заусенцев, с. 84, 86, ил. 6.

Фирма Moser-Entgratungs (Германия) применяет термический метод для удаления заусенцев (грата, облоя) с металлических деталей. Детали обрабатываются высокотемпературным пламенем, возникающим при взрыве смеси метана с кислородом. Способ особенно пригоден для деталей сложной формы с труднодоступными для обработки местами, например длинными отверстиями. Фирма располагает двумя специальными установками TEM-P-350 фирмы Bosch для удаления грата. Каждая установка имеет рабочую камеру диаметром 240 мм и высотой 290 мм. Детали при обработке нагревают до температуры 100—160 °С, при которой грат сгорает полностью.

Modern Machine Shop
(N 2 (июль), Vol. 79, 2006, США)

Снижение длительности общего процесса обработки сложных деталей, с. 41, ил. 4.

Сопоставлены технологический процесс, осуществляющийся ранее на четырех последовательных станках и требовавший 47 ч, и технологический процесс, реализуемый в настоящее время только на одном станке Integrex фирмы Mazak. Обработка полностью автоматизирована и на изготовление такой детали требуется только 7 ч.

Korn D. Нестандартное решение крепления заготовок, с. 42, ил. 1.

Фирма Masler Work-Holding (США) разработала систему крепления заготовок адгезивом, который активируется ультрафиолетовым лучом. Для демонстрации этого технологического решения она использовала роботизированный ГПМ на основе вертикального обрабатывающего центра компании Haas. Заготовка крепится к керамическому штифту

адгезивом, который после облучения приобретает прочность 42 МПа. После обработки адгезив механически ломается, обработанная деталь снимается и поступает в моечную машину, где адгезив смывается при высоком давлении жидкости.

Korn D. Обработка отверстий в тонкостенных деталях, с. 62, 64, ил. 2.

Описывается опыт фирмы Flowdrill (США) по обработке отверстий в тонкостенных деталях без снятия стружки. Речь идет об альтернативной технологии обработки отверстий с помощью инструментов Flowdrill диаметром 1,5—50,8 мм. Инструмент, вращаясь с частотой 1 000—3 000 мин⁻¹, нагревает обрабатываемый материал и внедряется в него, формируя отверстие одновременно в направляющей втулке и обрабатываемой детали. Расход мощности при этом составляет 1,5—3,5 кВт.

Zelinski P. Анализ влияния биения инструментов на эффективность работы многоцелевого станка, с. 92—95, ил. 3.

При уменьшении вылета резца производительность инструмента увеличивается. Установлено влияние биения инструментов на показатели обработки и ресурс их стойкости. Например, если диаметр сверла или фрезы больше 19 мм, биение 0,012 мм приемлемо, но для инструментов меньшего диаметра биение не должно превышать 2,5 мкм. Приведены стоимостные показатели и способы снижения расходов на инструменты.

Балансировочный станок, с. 162, 164, ил. 1.

Фирма Schunk предлагает балансировочный станок Acuro Plus для балансировки в одной плоскости инструментальных патронов с закрепленными режущими инструментами массой до 13,2 кг и длиной до 343 мм. Балансировка осуществляется при частоте вращения 300—1 000 мин⁻¹. Станок занимает минимальное рабочее пространство, для его работы необходимо напряжение 110 В и пневматическая сеть с давлением 0,6 МПа. Длинные патроны с инструментом балансируются в двух плоскостях.

12-я Международная специализированная выставка "Росупак—2007"

26—29 июня 2007 г. в Москве на МВЦ "Крокус Экспо" проходила 12-я Международная специализированная выставка "Упаковочные машины и технологии, оборудование для производства упаковки". Организатор выставки — Международный выставочный холдинг (MVK) при поддержке Правительства Москвы и Торгово-промышленной палаты РФ. Экспонаты были размещены на площади 50 тыс. м². Свою продукцию на выставке продемонстрировали 922 компании из 37 стран, в том числе и из России.

Ниже приведено краткое описание экспонатов, демонстрировавшихся на выставке, и предложений предприятий-разработчиков, вызвавших наибольший интерес у специалистов.

Компания "НПО "Технологии упаковки" (Москва) демонстрировала модельный ряд упаковочных машин:

— *картонажный автомат* для упаковки в картонные коробки штучных продуктов. В автоматическом режиме автомат выполняет следующие операции: формирование коробки из заготовки, ее установку на позицию упаковки, укладку продукции в коробку, закрывание клапанов. Клапаны коробки заклеиваются на автомате холодным или горячим клеем или фиксируются скотчем. Дополнительно автомат может быть укомплектован устройством предварительного группирования продукта в несколько рядов и системой установки даты тиснением, а также подводящими и отводящими конвейерами. Автомат может быть встроен в технологическую линию. Производительность — до 50 упаковок в 1 мин в зависимости от вида продукта и размера коробки. Питающее напряжение автомата 220—380 В, потребляемая мощность 1,5 кВт, расход сжатого воздуха 100 л/мин, масса 500 кг;

— *автомат целлофанатор* для упаковки в пленку различных прямоугольных коробок. Выполняет в автоматическом режиме упаковку отдельных коробок, используя пленку из полипропилена или ПВХ, а также наклейку необходимых ярлыков нагретым воском или клеем. Особенности автомата — непрерывная работа в автоматическом или толчковом режиме; определение необходимости использования устройства термоусадки упаковки в соответствии с толщиной пленки из ПВХ. Подвижные компоненты автомата приводятся в действие электродвигателем мощностью 1,5 кВт, вращающим кулачок через редуктор и шестерни. При упаковке широкая сторона пленки нагревается, открываются и закрываются цанговые зажимы пленки, выполняются ее натяжение и подвод, подгибание широкой и узкой стороны пленки, подгибание углов и ее надрез. Производительность автомата до 3000 коробок в 1 ч, расход сжатого воздуха 100 л/мин. Питающее напряжение автомата 220—380 В. Габаритные размеры 1920 × 1520 × 1500 мм, масса 500 кг;

— автомат для упаковки продукции в гофротару в автоматическом режиме. Выполняет следующие операции: формирование коробки из заготовки, группирование и укладку продукции в короб, закрытие и заклеивание клапанов коробки скотчем. Автомат выпускают в прямом, левом и правом исполнениях, что позволяет применять его практически при любой планировке цеха. Производительность автомата 1200 коробок в 1 ч. Размеры коробов: минимальные — 200 × 150 × 120 мм, максимальные — 600 × 500 × 500 мм. Расход сжатого воздуха 150 л/мин. Питающее напряжение автомата 220 или 380 В, потребляемая мощность 3,7 кВт. Габаритные размеры 2000 × 3000 × 2000 мм, масса 1,8 т;

— *автомат* (рис. 1) для сборки гофротары на различных производствах. В автоматическом ре-

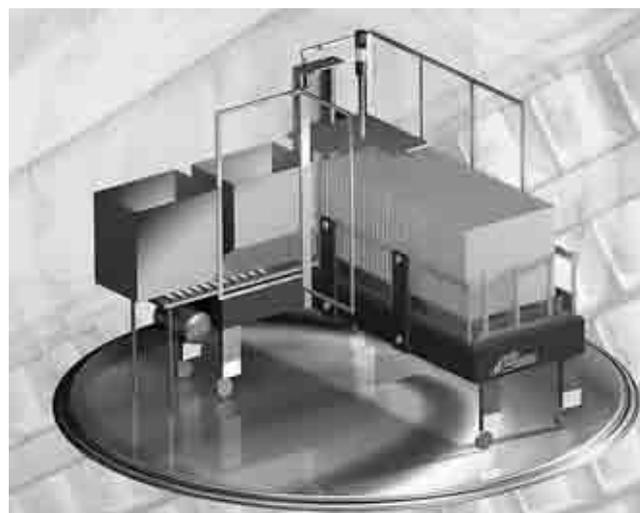


Рис. 1. Автомат для сборки гофротары

жиме осуществляет формирование гофрокороба из заготовки, закрытие нижних клапанов и их заклеивку скотчем, а также подачу коробов на приемный стол или конвейер. Работа оператора заключается в периодическом помещении заготовок короба в магазин автомата. Производительность до 1200 коробов в 1 ч, размер коробок: минимальный — 200 × 150 × 120 мм, максимальный — 600 × 500 × 500 мм. Расход сжатого воздуха 45 л/мин. Питающее напряжение автомата 220 или 380 В, потребляемая мощность 3,5 кВт. Габаритные размеры 2000 × 3000 × 1400 мм, масса 500 кг.

ЗАО "Промбиофит" (Москва) — производитель упаковочного и перерабатывающего оборудования предложило потребителям свою продукцию:

— *установку ТПА-1200РА* для фасовки и упаковки сыпучих и мелкостучных продуктов (кроме пылящих) в пакеты из термосвариваемой пленки. Установка работает по фотометке и без нее. Она укомплектована объемным или весовым дозатором, имеется блок печати даты упаковки, а также ствол под пленку диаметром 250 мм (пакет шириной 115 мм) и 350 мм (пакет шириной 165 мм) при длине до 285 мм. Производительность установки до 600 пакетов в 1 ч, ее питающее напряжение 220 В, габаритные размеры 1100 × 650 × 1750 мм, масса 270 кг. Тип используемой пленки — ПП, ПП/ПЭ, ПП/ПП;

— *этикетировочную машину ЭМ-4П "мини"* для автоматического нанесения одной самоклеящейся этикетки из рулона на боковую поверхность плоской, цилиндрической или эллиптической тары. Электро-механический принтер штемпельного типа наносит на этикетку или тару оперативную информацию (до трех строк по 22 знака). Максимальная производительность машины в зависимости от размеров тары и этикетки 3000—7000 шт/ч. Размер этикетки: высота — 10—160 мм, ширина — 20—120 мм, диаметр круглой этикетки 250 мм.

ЗАО "Стеклопак" (Орел) демонстрировало на выставке упаковочное и конвейерное оборудование для стекольной промышленности:

— *вертикальный конвейер* для предприятий (производств), расположенных на нескольких уровнях. Специальная цепь конвейера с упругими элементами обеспечивает надежный захват и перемещение изделий. Высота опускания или подъема груза до 12 м;

— *технологическую линию УТ-1* для упаковки стеклянных трубок, деревянных или пластиковых панелей, а также других длинномерных изделий в термоусадочную пленку с размером пакета 200 × 200 × 1600 мм. Производительность линии до 60 пакетов в 1 ч;

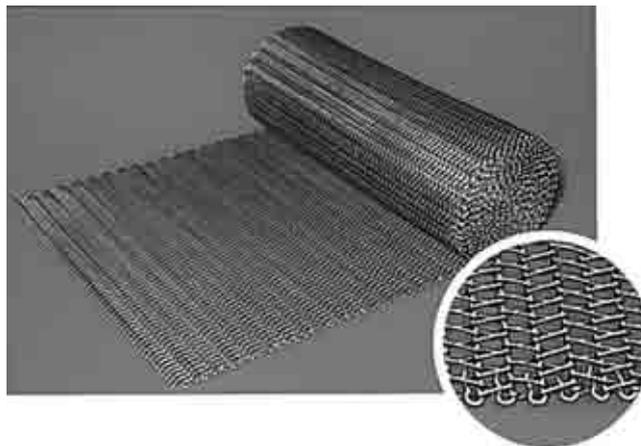


Рис. 2. Стальная транспортирующая сетка

— *стальную транспортирующую сетку* (рис. 2), применяемую в конвейерах и термоусадочных тоннелях во многих отраслях промышленности. Сетка с загнутыми внутрь краями рифленого шомпола имеет высокую долговечность и обеспечивает стабильность направления перемещения груза. Она изготовлена из коррозионно-стойкой стали. Ширина сетки до 3500 мм, диаметр проволоки: спирали — 1,2—2 мм, шомпола — 1,6—2,5 мм. Шаг спирали 4, 5, 8 и 12 мм, шаг по шомполам 12 и 22 мм;

— *высокопроизводительную линию* для упаковки в термоусадочную пленку груженых европоддонов в стеклотарной и других отраслях промышленности. Производительность технологических линий 20—50 пакетов в 1 ч в зависимости от упаковываемых изделий. Линия паллетной упаковки состоит из накопительного стола, узла изготовления и одевания упаковочного мешка, термоусадочного блока, паллетных конвейеров и системы управления. Эксплуатационные особенности линии: быстрая настройка на другой размер паллеты; широкий диапазон регулирования времени сварки, температуры сварочного устройства и мощности горелки; возможность применения пленки толщиной 130—200 мкм; наличие автоматической защиты от падения давления воздуха и газа ниже заданного значения.

ООО "ННХС" (Нижний Новгород) предложило потребителям упаковочные машины:

— *полуавтоматическую упаковочную машину ПУМ-600М2* для групповой упаковки стеклянной продукции в термоусадочную пленку. Машина состоит из упаковочного узла, в который входят пневмоцилиндры — верхний и нижний, барабаны для размещения рулона пленки, сварочно-обрезной нож и рабочий стол. Машина также оснащена термотоннелем с роликовым конвейером и охлаждающими вентиляторами. Технология упаковки следующая.

Продукция группируется на рабочем столе в лоток, далее пневмотолкателем подается в упаковочный узел, где осуществляется обертывание продукции в термоусадочную пленку, ее сварка и отрезание; после этого сформированный блок подается в термотоннель, по выходе из которого готовая упаковка поступает на роликовый конвейер и охлаждается вентиляторами. Производительность машины до 6 упаковок в 1 мин. Питающее напряжение электродвигателей 3×380 В, установленная мощность 13 кВт, давление воздуха 0,5 МПа, его расход $3 \text{ м}^3/\text{ч}$. Температура в термотоннеле до $200 \text{ }^\circ\text{C}$, размеры его проходного окна 700×380 мм. Габаритные размеры машины $3150 \times 1050 \times 1960$ мм, масса 400 кг;

— *автоматический упаковочный комплекс "АУК-1 Traupacker"* для групповой упаковки продукции в склеиваемые в автоматическом режиме картонные лотки с последующей упаковкой в термоусадочную пленку с возможностью перенастройки на несколько видов упаковываемой продукции, а также групповой упаковки продукции в термоусадочную пленку на картонной подложке или только в термоусадочную пленку. Всего комплекс позволяет изготовить 27 разновидностей упаковки по размерам и количеству продукции. Работает автомат следующим образом. Продукция по подающему конвейеру от линии розлива и укупорки подается на конвейер-накопитель с ворошителем, затем в механизм формирования и склеивания лотка, куда одновременно подается развернутая заготовка лотка, где автоматически на бортики лотка наносится клей и происходит его формирование; далее продукция в сформированном и склеенном лотке подается в упаковочный автомат, где происходит автоматическое обертывание блока термоусадочной пленкой, ее сварка и отрезание; после этого сформированный блок автоматически подается в термотоннель, по выходе из которого поступает на роликовый конвейер и охлаждается вентилятором. Производительность комплекса до 10 упаковок в 1 мин. Питающее напряжение трех электродвигателей комплекса 380 В, установленная мощность каждого двигателя 16,2 кВт, давление воздуха 0,5 МПа при расходе до $35 \text{ м}^3/\text{ч}$, температура в термотоннеле до $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Габаритные размеры комплекса $6540 \times 1370 \times 2150$ мм, масса 2,2 т. Обслуживает комплекс один оператор.

НПФ "Интеграл+" (Казань) предложила свою продукцию:

— *упаковочный комплекс УТ-400* для упаковки в термоусадочную пленку различной продукции. Комплекс состоит из устройства термоусадки и устройства упаковки. Питающее напряжение комплекса 380 В, производительность до 1000 упаковок в 1 ч.

Скорость конвейерной линии 4,5 м/мин. Максимальные размеры упаковки $1260 \times 505 \times 900$ мм, масса 85 кг. Конструкция комплекса позволяет устанавливать его в ряд или под углом и работать в составе конвейерной линии;

— *сварочное устройство ИС-200* (рис. 3) для ручной сварки полимерной пленки при упаковке продукции торговых, почтовых и промышленных предприятий. Импульсный нагреватель, расположенный на губках щипцов, обеспечивает качественную сварку пакетов разных размеров с длиной шва до 200 мм. Оптимальная длительность сварки устанавливается вручную и контролируется по индикатору. Исходный свариваемый материал — полимерная пленка шириной 200 мм и толщиной 30—200 мкм, время сварки не более 5 с. Потребляе-



Рис. 3. Сварочное устройство ИС-200

мая мощность устройства 500 Вт, питающее напряжение 220 В. Габаритные размеры 160 × 210 × 120 мм. Масса блока питания 3,5 кг, сварочного устройства — 1,7 кг. Все блоки сварочного устройства легко стыкуются со штатной универсальной педальной стойкой, снабженной наклонной, регулируемой по длине пакета столешницей.

ООО "Филуэт Инжиниринг" (Москва) предложило потребителям свои новые разработки:

— *рентгенодетектор* (рис. 4) для обнаружения посторонних включений с помощью рентгеновского излучения. Устройство может распознавать также металлические включения, скрытые за упаковкой из фольги или металлизированной пленки, и одновременно отбраковывать продукты с твердыми посторонними включениями, измерять общую массу упаковки или ее отдельных составляющих. Данная технология позволяет обнаруживать не только металлы, но и другие плотные включения — стекло, камень, пластик, резину, кальцинированную кость;

— *фасовочный автомат WW1000* для порошкообразных и пылеобразных продуктов. Шнековый дозатор автомата приводится в действие сервомотором, его вместимость регулируется специальной системой. Преимущества автомата: прозрачный бункер, позволяющий видеть продукт; длина шнека достигает 2 м, что позволяет производить высокую точность дозирования; наличие детектора, определяющего содержание остаточного кислорода; устройство контроля, расположенное возле воронки выхода готовой упаковки, гарантирует точность массы до 1 %. Производительность автомата 120 упаковок в 1 мин, вместимость бункера 55 л. Мощность автомата 3 кВт,



Рис. 4. Рентгенодетектор для обнаружения посторонних включений

питающее напряжение 380 В. Габаритные размеры 1555 × 1174 × 2394 мм;

— *горизонтальную упаковочную машину SC-180C* для упаковки различной продукции. Дозирующие системы, которые можно установить на этой машине, позволяют фасовать жидкие, вязкие, сыпучие, порошковые, гранулированные и другие продукты. Машина производит стоячие пакеты, не уступающие по качеству мировым аналогам. Преимущества машины: возможность использования многослойной ламинированной упаковки; высокая производительность — до 80 пакетов в 1 мин; высокая прочность запайки; большой выбор способов дозирования (при помощи сервомотора, поршневого дозатора, мультиголовочных весов, объемного дозатора). Размер изготовленного пакета: минимальный — 85 × 100 × 60 мм, максимальный — 180 × 220 × 70 мм, вместимостью до 1000 мл при точности заполнения менее 1,5 %. Питающее напряжение машины 380 В, мощность 6,5 кВт. Габаритные размеры 5500 × 1100 × 2500 мм, масса 1,2 т.

Торговая фирма "Теплоформ" (Москва) показала на выставке и предложила потребителям упаковочные автоматы:

— *фасовочно-упаковочный автомат АД12*, работающий по технологии "формирование — дозирование — запечатывание — вырубка", предназначенный для изготовления полимерной тары, фасования в нее жидких, пастообразных, труднотекучих или сыпучих продуктов с последующим запечатыванием и вырубкой готовых упаковок. Работает автомат следующим образом. Из корпусного полимерного материала после предварительного контактного нагрева в механизме формирования формируются емкости, которые затем дозирующим устройством объемного типа заполняются продуктом, запечатываются покровным материалом с нанесенным на него рисунком и вырубается в виде готовых блоков упаковок. Система управления осуществляет управление и настройку любого механизма в ручном или автоматическом режиме. Особенностью автомата является безотходная технология производства упаковок, низкое энергопотребление. В целях безопасности обслуживающего персонала его электронагреватели работают под напряжением 42 В. Производительность автомата 13—18 циклов в 1 мин (за один цикл производится шесть упаковок вместимостью 50—1000 мл), установленная мощность 10 кВт, рабочее давление сжатого воздуха 0,63 МПа при расходе 1200 л/мин. Габаритные размеры автомата 4800 × 1300 × 2000 мм;

— *заварочный полуавтомат ПЗ-15* для упаковки различных продуктов в полимерные лотки. Ук-

ладка продуктов производится в зоне загрузки вручную. Затем лоток с продуктами подается в зону сварки. После герметичной приварки производится ручная или автоматическая вырубка упаковок по контуру. Для обеспечения длительного хранения пакуемого продукта запайные устройства оснащены функциями создания вакуума с впрыском смеси защитных газов (для продления срока хранения готовой продукции). На одной и той же машине можно упаковывать продукты в лотки разной формы и глубины (максимальный размер лотков 210×200 мм, глубиной 80 мм). Установленная мощность полуавтомата 2 кВт, производительность — 5 циклов в 1 мин;

— *полуавтомат ПДВ-3* (рис. 5) для вакуумной упаковки различных продуктов в готовые полимерные лотки с добавлением жидкого или пастообразного наполнителя. Лотки с фасуемым продуктом подаются в дозатор, где происходит добавление наполнителя. После этого осуществляются вакуумирование и приварка покровного материала. В случае необходимости производится коррекция покровного материала по метке перед его приваркой к лоткам. В конце технологического цикла следует вырубка отдельных упаковок и сматывание отходов покровного материала. Производительность полуавтомата 6 циклов в 1 мин (количество одновременно запечатываемых контейнеров — 2 шт.). Его питающее напряжение 220 В, установленная мощность 2,4 кВт, масса 320 кг.

Компания Omron (Нидерланды) предложила российским потребителям новые терминалы и оригинальные датчики для различных отраслей промышленности:

— *монохромный цветной терминал NS5-MQ00-V2* с экраном на основе тонкопленочных транзисторов, обеспечивающий качественную четкость и информативность изображения на экране размером по диагонали 145 мм. Угол обзора экрана — 70° влево и вправо, что позволяет оператору легко считывать показания, глядя на экран сбоку, 32 768 цветов создают качественное изображение на экране, его разрешение 320×240 точек. Такой терминал можно подключить к регуляторам температуры для настройки, ввода в эксплуатацию, управления и техобслуживания различных устройств;

— интеллектуальный датчик технического зрения Omron ZFV-A25 (рис. 6), состоящий из двух отдельных модулей: камеры со встроенным источником света и модуля обработки данных. Установка параметров и управление подсветкой осуществляются нажатием кнопки. Интеллектуальный интерфейс пользователя обеспечивает установку параметров несколькими кнопками управления и встроенным цветным жидкокристаллическим монитором. В про-

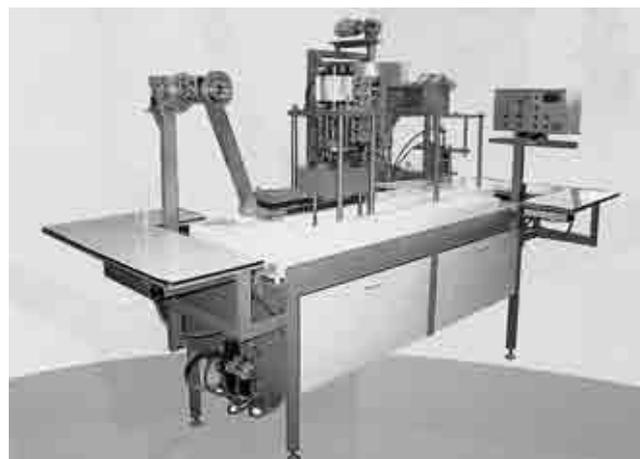


Рис. 5. Полуавтомат ПДВ-3



Рис. 6. Интеллектуальный датчик технического зрения Omron ZFV-A25

цессе эксплуатации (датчик производит до 250 измерений в 1 с) на монитор в режиме реального времени выводятся результаты измерений и изображения. Простая система технического зрения позволяет решать прикладные задачи в течение нескольких минут.

Фирма "OMAG" (Италия) продемонстрировала на выставке следующие фасовочные и упаковочные автоматы:

— *многодорожечный упаковочный автомат OMAG CS* (рис. 7) со шнековым дозатором вер-

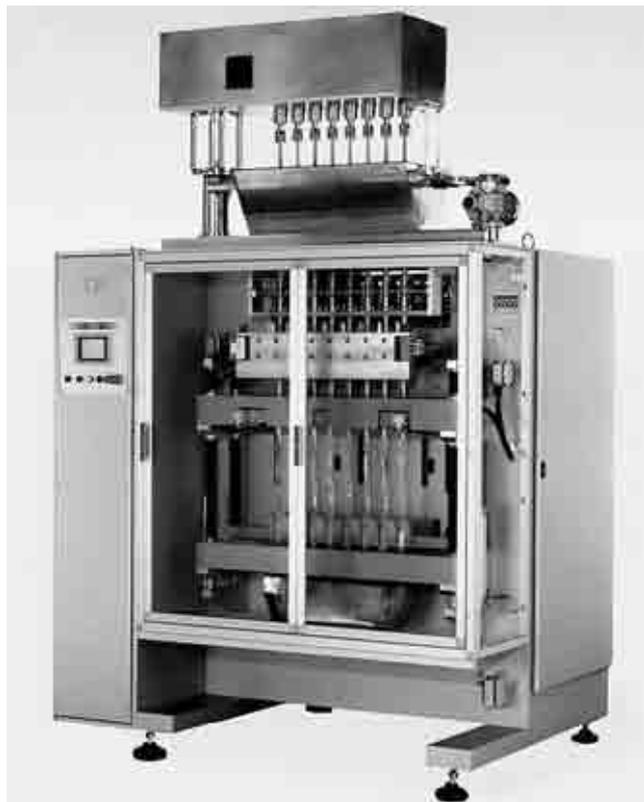


Рис. 7. Многодорожечный упаковочный автомат OMAG CS

тикального типа для упаковки в стик-пакеты порошкообразных и трудносыпучих продуктов. Автомат работает по принципу импульсного действия, используя рулонный термосвариваемый упаковочный материал, разрезаемый на полосы в соответствии с числом дорожек, далее на трубках автомата формируются рукава. Сначала осуществляется продольная вертикальная сварка с загибом сварного шва, затем горизонтальная сварка нижнего шва, дозировка и выгрузка продукта, далее происходит верхняя горизонтальная сварка и отрезка готового пакета, после чего он попадает на конвейер. Длина пакета задается, контролируется и корректируется электронной системой управления. Моторизованная размотка бобины оснащена электронным контролем натяжения и системой аварийной сигнализации, информирующей об окончании упаковочного материала и останавливающей автомат. Группа вертикальной резки имеет два дополнительных ножа для обрезки краев упаковочного материала. Привод автомата от серводвигателя BRUSHLESS мощностью 12 кВт с электронным контролем. Про-

изводительность автомата на 12 технологических дорожках составляет 840 стик-пакетов в 1 мин. Питающее напряжение 380 В, управляющее напряжение 24 В, уровень шума при работе 78 дБ. Габаритные размеры автомата 1700 × 2000 × 2700 мм, масса 1,9 т;

— автомат OMAG C3 непрерывного действия с 12 технологическими дорожками для формирования четырехшовного пакета. Оснащен системой дозирования — пневматической помпой с распределительным поворотным клапаном с системой отсечки капли, предотвращающей попадание продукта в верхний сварной шов. Привод автомата от серводвигателя мощностью 12 кВт с электронным контролем. Автомат оборудован фотоэлементом для центрования печатного рисунка на пакете. Управление осуществляется с сенсорного дисплея OMRON, позволяющего устанавливать и запоминать все параметры технологического цикла, а также отображать аварийные ситуации и данные самодиагностики. Конвейер упаковочного автомата оборудован системой отбраковки. Питающее напряжение автомата 380 В, уровень шума при работе 78 дБ. Габаритные размеры 1700 × 2300 × 2900 мм, масса 1,9 т;

— упаковочный автомат CSD/5, оснащенный пятью технологическими дорожками для фасовки легкосыпучих и гранулированных продуктов. Скорость работы до 60 циклов в 1 мин по каждой дорожке — суммарно составляет 300 пакетов в 1 мин. Допускается фасовка мелких и средних объемов упаковываемой дозы. Дозирующая система — объемный ротационный дозатор — точно регулирует объем дозы (4—7 см³), не прерывая технологического процесса.

На выставке российские и зарубежные компании продемонстрировали самое современное оборудование и технологии, многообразие упаковочных материалов и готовой упаковки, уникальные дизайнерские и конструкторские разработки, а также полный спектр услуг в упаковочной отрасли.

В рамках выставки "Росупак" прошли специализированные выставки: "Люк супак" (упаковка премиум-класса), "Алюмупак" (упаковка из алюминия), "Фармупак" (фармацевтическая и медицинская упаковка), также была проведена международная конференция "Современная упаковка: аналитика, инновации, креатив".

А. Н. ИВАНОВ, инж.

Презентация программы "Российское качество"

В июле 2007 г. в Государственной Думе РФ состоялась церемония вручения российским предприятиям и организациям почетных дипломов программы "Российское качество" на продукцию и услуги, удостоенные Национального знака России по качеству. Церемония проходила в рамках очередной презентации общенациональной программы "Российское качество" и конкурса "Российский лидер качества", которые проводят ВОК и Комиссия по промышленной политике партии "Единая Россия" с участием Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Ростехрегулирование).

В презентации программы приняли участие депутаты Госдумы и члены Совета Федерации, представители ряда федеральных министерств и агентств, объединений промышленников и товаропроизводителей, руководители предприятий, добившихся конкурентоспособного качества своей продукции и услуг, эксперты программы "Российское качество" и Европейского фонда менеджмента качества, СМИ.

Программа "Российское качество" выявляет продукцию высокого качества, производимую российскими организациями, информирует о ней потребителей, внедряет в российских организациях, производящих продукцию, эффективные методы оценки ее качества и качества менеджмента.

Организации, ставшие дипломантами программы "Российское качество", получают право использовать знак "Российское качество", имеют возможность получить европейский сертификат "Стремление к совершенству", который выдается Европейским фондом по управлению качеством (EFQM) (www.cerwok.ru).

Программа не является конкурсной. Любая организация, которая выпускает продукцию или оказывает услуги, качество которых соответствует требованиям программы, становится ее дипломантом.

Оценка качества опирается на количественные, объективно измеряемые данные, полученные по заранее установленной программе и зафиксированные в отчете. Оценивается не только качество самой продукции или услуги, но и условия производства и поставки (реализации).

Разработка программы оценки и ее проведение выполняются экспертами — наиболее квалифицированными, авторитетными и опытными специалистами, которые хорошо знают как саму продукцию, так и ее производство, методы испытаний, нормативную базу. Проводится инспекционный контроль за качеством продукции (услуги).

Дипломанты программы получают право на использование знака "Российское качество".

Программа, реализуемая ВОК, получила поддержку Государственной Думы РФ, РСПП, Россий-

ского союза товаропроизводителей, Минпромэнерго РФ, других общественных и отраслевых объединений товаропроизводителей, федеральных и региональных органов исполнительной власти.

С ноября 2002 г. право маркировать свою продукцию знаком "Российское качество" получили 125 российских предприятий и организаций. Сегодня его применяют при маркировке свыше 600 видов продукции и услуг. Это способствует росту сбыта и привлечению инвестиций в реальную экономику. Вместе с тем это говорит не о том, что в России выпускается мало качественных товаров, а прежде всего подтверждает, насколько строга и ответственна экспертная политика, на которой основывается программа. На презентации реестр дипломантов общенациональной программы "Российское качество" пополнили еще восемь предприятий и организаций различных отраслей экономики: топливно-энергетического, строительного и машиностроительного комплексов, производства продовольствия: ООО "Балаковские минеральные удобрения" (Саратовская обл.), Богословский алюминиевый завод — филиал СУАЛ (Свердловская обл.), ОАО "Комбинат Магnezит" (Челябинская обл.), Богдановичское ОАО "Огнеупоры" (Свердловская обл.), ЗАО "Самарская оптическая кабельная компания" (Самара), ОАО "Нижнекамскшина" (Республика Татарстан, Нижнекамск), ОАО "Стройполимеркерамика" (Калужская обл.), Крестьянское хозяйство "РОСА" (Алтайский край).

Немаловажную роль в обеспечении качества играют руководители. Поэтому в целях поощрения деятельности руководителей, лично внесших решающий вклад в достижение их предприятиями высокого качества продукции и услуг, были вручены почетные дипломы и памятные медали конкурса "Российский лидер качества". Среди 131 лауреата конкурса — главы самых разных организаций реального сектора экономики: промышленных предприятий, корпоративных структур, вузов, лечебных учреждений, а также руководители их служб качества.

Конкурс "Российский лидер качества" проводится ежегодно ВОК на основе рекомендаций профессиональных объединений товаропроизводителей с учетом отзывов региональных администраций, обществ потребителей, научно-технической общественности и других заинтересованных сторон. Лауреат конкурса может также стать членом действующего в Великобритании с 1919 г. Королевского Института обеспечения качества (IQA), который ведет реестр наиболее квалифицированных специалистов в области качества. ВОК и IQA заключили соглашение, на основании которого лауреаты конкурса "Российский лидер качества" получают право

стать членами IQA без прохождения процедуры проверки. Членами IQA являются ведущие ученые, общественные деятели, руководители фирм, а также преподаватели и консультанты в области качества из разных стран мира. Член IQA имеет доступ к информационным ресурсам IQA, в частности, получает ежемесячный обзор мировых новостей в области менеджмента качества, на льготных условиях участвует в мероприятиях IQA.

На очередной презентации были представлены 11 новых лауреатов конкурса "Российский лидер качества": **В. Л. Александров** — генеральный директор ФГУП "Адмиралтейские верфи" (Санкт-Петербург), **А. И. Вырыпаев** — генеральный директор ЗАО "Самарская оптическая кабельная компания", **А. Н. Дацко** — заместитель генерального директора по качеству ОАО "Комбинат "Магnezит" (Челябинская обл.), **В. К. Зеленко** — заместитель начальника ГУП "Конструкторское бюро приборостроения" — директор филиала "ЦКИБ СОО" (Тула), **А. Г. Зуев** — генеральный директор ЗАО "НПП "ИСТРА-Системс" (Санкт-Петербург), **И. И. Иванова** — главный врач санатория-профилактория ГОУ ВПО "Московский государственный горный университет", **Е. А. Каменская** — директор по качеству ЗАО "Самарская оптическая кабельная компания", **А. В. Карнаух** — директор по качеству ОАО "Таганрогский металлургический завод", **В. Г. Кравченко** — заместитель генерального директора по качеству ФГУП "Комбинат Электрохимприбор" (Свердловская обл.), **С. В. Настин** — генеральный директор ФГУП "Комбинат Электрохимприбор" (Свердловская обл.), **В. К. Паули** — член правления, заместитель технического директора — главный технический инспектор ОАО РАО "ЕЭС России".

Маркировка продукции знаком "Российское качество" подтверждает, что она выдержала жесткую и независимую проверку. Успех программы во многом зависит именно от квалификации экспертов: один специалист берет на себя ответственность за правильность и объективность оценки. Всесторонняя оценка качества и самой продукции, и условий ее производства и реализации проводится авторитетными и опытными специалистами в данной области. На презентации прошло также вручение аттестатов новым экспертам программы "Российское качество".

Всероссийская организация качества с 2004 г. является национальной партнерской организацией Европейского фонда менеджмента качества (EFQM) в России и проводит оценку организаций на соответствие критериям модели совершенства, предложенной этим фондом. Успешность оценки подтверждается сертификатом, который во всем мире яв-

ляется наиболее авторитетным свидетельством высокого качества менеджмента.

К настоящему времени обладателями таких сертификатов стали 15 организаций.

На очередной Презентации представлены четыре новых обладателя сертификатов Европейского фонда менеджмента качества: ОАО "Комбинат Магnezит" (Челябинская обл.), ОАО "Красный якорь" (Кировская обл.), ОАО "Подольскогнеупор" (Московская обл.), ФГУП "ЦПО" при Спецстрое России (Воронеж).

Следует отметить, что по данным EFQM, только в Европе около 30 тыс. компаний используют самооценку по критериям EFQM. Особенно популярна такая самооценка в корпоративных структурах, имеющих аналогичные по целям отделения и филиалы, для сравнения успешности их деятельности.

Дипломы и награды вручали заместитель председателя Комитета Госдумы РФ по экономической политике, предпринимательству и туризму, председатель комиссии по промышленной политике партии "Единая Россия" Е. В. Панина, председатель федерального агентства "Ростехрегулирование" Г. И. Элькин, президент ВОК Г. П. Воронин, председатель Союза потребителей России П. Б. Щелищ и директор Центра экспертных программ ВОК Е. И. Тавер.

Принято решение подготовить предложения от имени Комиссии по промышленной политике партии "Единая Россия" на имя первого заместителя председателя Правительства РФ С. Б. Иванова по оказанию поддержки программы "Российское качество" и мер, осуществляемых ВОК по пропаганде усилий, с целью обеспечения качества и конкурентоспособности отечественной продукции.

По вопросам участия в программах ВОК следует обращаться в головную организацию по координации и методическому обеспечению — Центр экспертных программ ВОК на сайтах и по телефонам:

программа "Российское качество" (www.roskachestvo.ru), тел. (495) 958-59-10; e-mail: roskachestvo@mail.ru;

программа "EFQM в России" (www.efqm-rus.ru), тел. (495) 960-20-15, доб. 103, e-mail: safonov@servok.ru;

программа "Российский лидер качества" (www.servok.ru), тел. (495) 257-13-33, e-mail: servok@yandex.ru.

Е. С. ДОБРинский, канд. техн. наук
Академия проблем качества РФ

Алфавитный указатель статей за 2007 г.

- Абрамова Н. Б.** — Исследование качества поверхности медных гильз кристаллизаторов МНЛЗ — № 6.
- Абрамова Н. Б.** — Исследование физико-механических свойств бескислородной меди — № 5.
- Аверченко В. А., Головин С. И., Попович Л. Г., Пузряков А. А., Пузряков А. Ф.** — Воздушно-плазменное напыление коррозионно-стойких покрытий из сверхвысокомолекулярного полиэтилена — № 8.
- Агамиров Л. В., Агамиров В. Л.** — О едином подходе к оценке характеристик механических свойств при статических и циклических испытаниях — № 9.
- Агеева Н. Г.** — Методология обеспечения конкурентных преимуществ предприятий авиастроения — № 1.
- Алпеева Т. В., Емельянов В. М., Котельников А. А.** — Операции при разработке перемещений для роботизированной сварки трубчатых элементов — № 6.
- Алпеева Т. В., Котельников А. А.** — Программирование перемещений при роботизированной сварке трубчатых элементов — № 12.
- Алпеева Т. В., Котельников А. А.** — Роботизированное производство сварных ферм для мачтовых сооружений — № 2.
- Анахов С. В., Сингер К., Пыкин Ю. А., Шакуров С. А., Матушкин А. В.** — Исследование поверхности реза при термической разделительной резке стали 09Г2С — № 8.
- Аносенко А. В., Смирнов Н. Я.** — Предпосылки и проблемы повышения устойчивости функционирования систем информационной поддержки процессов принятия решений в экстремальных ситуациях — № 9.
- Архипов В. Е., Москвитин Г. В., Поляков А. Н.** — Структура и свойства покрытий, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза — № 11.
- Бабкин В. А., Лавров А. И., Ловырев П. Б., Трухан М. Н., Финогентов О. Г., Кораблев Н. В., Корольков П. М.** — Объемная термическая обработка реактора способом внутреннего нагрева в условиях реконструкции действующего производства — № 12.
- Багайсков Ю. С., Шумячер В. М.** — Улучшение структурно-механических и эксплуатационных свойств абразивных инструментов с порообразователем — № 3.
- Барабанова О. А., Могорычный В. И., Полуни В. А.** — Повышение качества теплообменной техники для криогенных систем — № 9.
- Бахвалов Ю. О.** — Методология интегрирования композиционных корпусных элементов в конструкцию ракет — № 9.
- Бахвалов Ю. О., Агамиров Л. В.** — Моделирование напряженно-деформированного состояния интегрированных элементов конструкции ракеты носителя — № 9.
- Белякова М. С., Косов М. Г.** — Моделирование поверхностей с учетом отклонений их формы и расположения, определяемых техническими требованиями — № 5.
- Бессарабов А. А.** — Прогрессивные методики расчета на прочность перфорированных элементов энергетического оборудования — № 7.
- Бирюкова Н. П., Батов Г. П., Котова И. Н.** — Программа подготовки и сертификации специалистов по определению напряженно-деформированного состояния и оценки остаточного ресурса технических устройств и сооружений — № 6.
- Богдановский В. А., Гавва В. М., Махлин Н. М., Чередник А. Д., Коротынский А. Е., Мужиченко А. Ф., Воробьев К. А., Тархов С. Ф., Федотов В. А.** — Компьютеризированный малоамперный дуговой тренажер сварщика — № 5.
- Богоявленский-Храмов М. С.** — Анализ и прогнозирование показателей качества в системах менеджмента качества — № 10.
- Болоненко С. А., Захаров С. А., Овчинников И. А., Попов Е. Н.** — Применение САПР Solid Works и CAE-системы Cosmos Works для компьютерных испытаний и оптимизации конструкций приборов систем управления летательных аппаратов — № 9.
- Большаков Н. С.** — Опыт использования компьютерной системы "Анализ кинематики и работоспособности" при автоматизированном проектировании и исследовании сложных механических систем — № 8.
- Борисов А. К.** — Управление инновационной деятельностью приборостроительного предприятия — № 5.
- Боченин В. И.** — Неразрушающий контроль содержания остаточного аустенита и углерода в штамповых поковках — № 4.
- Боченин В. И.** — Неразрушающий способ экспресс-анализа фазового состава заготовок рессорного производства после индукционной закалки — № 1.
- Боченин В. И.** — Радиоизотопный способ контроля содержания перлита в износостойком чугуна — № 5.
- Бром А. Е.** — Динамическая модель потоковых процессов промышленного предприятия — № 12.
- Бужгулашвили В. А., Виноградов В. М.** — Математическая модель формования изделий из терморезистивного полуфабриката методом протяжки — № 4.
- Васильев В. А.** — Проблемы управления качеством в российской промышленности — № 9.
- Васин В. А., Сомов О. В., Невровский В. А.** — Влияние материала изделия на процесс нанесения пиролитических карбидохромовых покрытий — № 1.
- Веселовский А. А.** — Формирование многофункционального покрытия на деталях из серого чугуна совместным термодиффузионным насыщением Al и V — № 1.
- Винклер Ф.** — Эффективное применение порошковых проволок при дуговой сварке — № 6.
- Воздух рабочей зоны.** Точность взвешивания аэрозольных проб (ГОСТ Р ИСО 15767—2007) — № 10.
- Волков Д. В., Щукин М. В.** — Проектирование автоматизированной системы электронного архива конструкторской документации — № 4.
- Волков С. С.** — Основные способы и технологические особенности сварки разнородных пластмасс — № 4.
- Волкова Г. Д., Володин Д. А.** — Особенности разработки средств поддержки управления проектами при создании САПР машиностроительного назначения — № 2.
- Волочиенко В. А.** — Устранение действия контролируемых возмущений в машиностроительном производстве — № 1.
- Волчкевич И. Л.** — Подготовка специалистов в области машиностроительного производства — № 2.

- Галиев А. Н.** — Концепция контроллинга в машиностроительном холдинге — № 4.
- Гапанович В. А., Вопилкин А. Х., Кононов Д. А., Тихонов Д. С., Гурвич А. К., Казанцев А. Г., Славинский З. М.** — Автоматизированные средства диагностирования объектов повышенной опасности методом многоакурсной акустической голографии — № 1.
- Гладкий П. В., Переплетчиков Е. Ф., Рябцев И. А.** — Плазменная наплавка (обзор) — № 4.
- Глебов А. А., Хвастунов Р. М.** — Способ актуализации технологических стандартов организаций — № 12.
- Гнюсов С. Ф., Дураков В. Г., Гнюсов К. С.** — Электронно-лучевая наплавка карбидосталей. Ч. 1. Особенности технологии наплавки и подготовки композиционных наплавочных смесей — № 12.
- Голов Р. С.** — Конкурсные закупки как барьер реализации потенциала энергосбережения в бюджетной сфере — № 9.
- Головизин Б. Л., Масалков А. В., Кононский А. Ф., Пономарев С. А., Коротков В. А.** — Совершенствование технологии износостойкой наплавки деталей автосцепного устройства грузовых вагонов на ФГУП "ПО "Уралвагонзавод" — № 2.
- Головкин П. А.** — Повышение качества осесимметричных штампованных поковок из сплава АМг6 для герметичных сварных конструкций ответственного назначения — № 3.
- Горелов В. А.** — Формирование баз данных для автоматизированного выбора режимов резания на основе термомеханической модели стойкости инструмента — № 4.
- Гришин А. А.** — Высокотемпературные платиновые термометры сопротивления — № 11.
- Губанов В. Ф.** — Современный инструмент для выглаживания — № 2.
- Гузев В. И., Дерябин И. П., Кожарина О. А.** — Моделирование точности многопереходной обработки отверстий — № 11.
- Гуменюк В. А., Казаков Н. А., Сульженко В. А.** — Акустико-эмиссионный контроль процесса сварки корпуса глубоководного аппарата — № 12.
- Гурдин В. И., Жеребцов С. Н., Куценко А. И., Крупенков А. Н.** — Способы повышения термической стабильности жаропрочных никелевых сплавов — № 10.
- Гуревич Ю. Г.** — Инструмент из булатной стали — № 12.
- Джаганян А. В., Лепеха В. Л.** — Портативный вихретоковый дефектоскоп ВДЗ-71 — № 8.
- Добринский Е. С.** — 8-я Международная автомобильная конференция "Двигатели для российских автомобилей" — № 5.
- Добринский Е. С.** — Крупнейшие компании машиностроения и автомобилестроения — участники рейтингов "Эксперт-400" и "Капитализация-200" — № 2.
- Добринский Е. С.** — 2-я Международная специализированная выставка "Формы. Пресс-формы. Штампы" — "РОСМОЛД — 2007" — № 11.
- Добринский Е. С.** — Презентация программы "Российское качество" — № 12.
- Добринский Е. С.** — Результаты и основные направления деятельности Министерства промышленности и энергетики Российской Федерации на 2007—2009 гг. — № 1.
- Добринский Е. С., Пашков В. И., Сеин В. А.** — Стратегия успеха российского автомобилестроения — № 1.
- Добринский Е. С., Сеин В. А.** — Конгресс технологов автомобилестроения и выставка "АтиМ — 2007" — № 7.
- Добринский Е. С., Сеин В. А.** — Международная выставка "Автомеханика — 2007" — № 10.
- Добринский Е. С., Сеин В. А.** — Технологическое обеспечение национального автомобилестроения — № 3.
- Долбилин Е. В., Кокорин А. В.** — Новые методы химико-термической обработки в электрическом разряде — № 6.
- Дубов А. А., Колокольников С. М.** — Оценка качества сварных соединений методом магнитной памяти металла в сравнении с радиационным и ультразвуковым методами — № 3.
- Дурнов Ф. Ю., Кашин А. М.** — Особенности автоматизированного УЗК листового проката — № 2.
- Единая система защиты от коррозии и старения. Межоперационная противокоррозионная защита. Общие требования (ГОСТ Р 9.518—2006)** — № 5.
- Егоров П. Е.** — Построение функции надежности автоматизированных технологических систем — № 12.
- Еремин Е. Н., Филиппов Ю. О., Еремин А. Е., Лосев А. С.** — Совершенствование технологии изготовления изделий из жаропрочных сплавов — № 6.
- Ермолаева Г. Б., Кузнецов Э. А.** — Расширение возможностей декоративной отделки деталей в черный цвет — № 8.
- Железнов Г. С., Железнова С. Г., Шевляков М. А.** — Оптимизация допусков на размеры гладких цилиндрических соединений — № 10.
- Жеребцов С. Н.** — Повышение длительной прочности жаростойких хромоникелевых сплавов — № 1.
- Жеребцов С. Н., Гурдин В. И., Куценко А. И., Крупенков А. Н.** — Влияние добавок нитрида циркония на структуру и свойства сплава ЖС6-К — № 11.
- Жеребцов С. Н., Иванов А. Л., Племенюк А. А.** — Электрошлаковое литье деталей из конструкционных сталей для энергоблоков — № 5.
- Жеребцов С. Н., Крупенков А. Н., Куценко А. И., Гурдин В. И.** — Исследование воздействия высоких температур и агрессивных сред на свойства поверхностных слоев изделий из жаропрочных никелевых сплавов — № 7.
- Жигуц Ю. Ю.** — Алюминий, выплавляемый металлотермией — № 10.
- Забелин С. Ф., Забелин К. С.** — Системно-технологический анализ процессов синтеза объемных нанокристаллических материалов — № 6.
- Загруднинов Г. М., Бариева Г. З., Прищепа В. А.** — Автоматизированная система метрологических исследований измерительных каналов информационно-измерительных систем — № 2.
- Звягина А. И.** — Вторичные сырьевые ресурсы и технологии их использования для производства строительных материалов — № 4.
- Иванайский А. В., Иванайский В. А.** — Экспериментальное определение параметров возникновения низкочастотной вибрационной кавитации в воде — № 3.
- Иванайский А. В., Константинов Ю. В., Иванайский В. А.** — Математическая модель присоединенной кавитации в жидкости — № 2.

- Иванов А. Н.** — 2-я Международная специализированная выставка "Вакуумтехэкспо — 2007" — № 8.
- Иванов А. Н.** — 12-я Международная специализированная выставка "Металлэкспо — 2006" — № 5.
- Иванов А. Н.** — 10-я Международная специализированная выставка "Интерпластика — 2007" — № 6.
- Иванов А. Н.** — 12-я Международная специализированная выставка "Росупак — 2007" — № 12.
- Иванов А. Н.** — Международная выставка "Интертул. Экспосварка. Мера — 2006" — № 4.
- Иванов А. Н.** — Международная выставка "Технологии промышленной окраски" — № 5.
- Иванов А. Н.** — Международная выставка "Современные технологии обработки материалов, интеллектуальные системы, оборудование, приборы и инструмент" — "Технофорум — 2007" — № 11.
- Иванов А. Н.** — 5-й Международный форум "PCVEXPO — 2006" — № 2.
- Иванов А. Н.** — 7-я Международная специализированная выставка "Мир инструмента — 2007" — № 10.
- Иванов А. Н.** — 3-я Международная выставка "Российская неделя контрольно-измерительного оборудования" — № 3.
- Иванов А. Н.** — 6-я Международная специализированная выставка "Передовые технологии автоматизации — 2006" — № 1.
- Иванов В. С.** — Анализ траекторий формообразования при лезвийной обработке по передаточным отношениям схемы технологического зацепления и вращений детали и инструмента — № 6.
- Иванов В. С.** — Векторное моделирование способов многолезвийной обработки — № 5.
- Иванов В. С.** — Моделирование процесса циклоидального формообразования при лезвийной обработке поверхностей вращения — № 7.
- Иванов В. С., Васильев Г. Н., Зубков Н. Н., Иванов Д. В.** — Моделирование процесса формообразования при получении щелевых структур вращающимся лезвийным инструментом — № 8.
- Иванов В. С., Зубков Н. Н., Иванов Д. В.** — Анализ кинематики процесса циклоидального формообразования при получении щелевых структур вращающимся лезвийным инструментом — № 11.
- Иванов В. С., Зубков Н. Н., Иванов Д. В.** — Параметрический синтез технологической схемы при получении щелевых структур вращающимся лезвийным инструментом — № 12.
- Игнатов А. П., Макаренко В. Д., Бакеев Р. Б.** — Исследование процесса утилизации отходов меди в виде проволоки или шинки методом ЭШП — № 4.
- Ильин А. А., Мамонов А. М., Карпов В. Н., Петров Л. М., Овчинников А. В.** — Комплексные технологии создания износостойких высоконагруженных компонентов эндопротезов крупных суставов из титановых сплавов — № 9.
- Ильин А. А., Спектор В. С., Сарычев С. М., Плихунов В. В., Петров Л. М., Иванчук С. Б.** — Вакуумные ионно-плазменные технологии и перспективы их применения в машиностроении — № 9.
- Информационное** обеспечение техники и операторской деятельности. Общие положения (ГОСТ Р 43.0.1—2005) — № 1.
- Кадошников В. И.** — Работа кристаллизатора с щелевыми каналами машин непрерывного литья заготовок — № 2.
- Калашников Д. Б.** — Автоматизация расчета на прочность зубьев плоскоколесных передач с применением метода конечных элементов — № 10.
- Капинос Е. Ф., Мирош Ю. М., Сухова Т. С.** — Обеспечение качества измерительных комплексов аэрокосмических объектов — № 11.
- Капустин О. Е., Вышемирский Е. М.** — Методология аттестации и сертификации оборудования для газовой и плазменной резки, применяемого при ремонтных работах на газотранспортных предприятиях — № 11.
- Капустин О. Е., Вышемирский Е. М., Севостьянов С. П.** — Повышение безопасности и качества процессов газовой резки и сварки в системе предприятий ОАО "Газпром" — № 5.
- Каргапольцев В. П., Симахин И. Я.** — Энергосбережение с применением защитного мониторинга электродвигателей — № 8.
- Каргин В. А., Абрамов А. Д., Бондаренко А. Г., Тюнюкова Т. К.** — Теория и практика комбинированных технологических процессов с управлением пластическим деформированием — № 4.
- Кирилин Ю. В.** — Применение полимербетона для изготовления базовых деталей тяжелых фрезерных станков — № 12.
- Кирилин Ю. В.** — Сравнение стохастического и детерминированного способов определения динамической характеристики тяжелых фрезерных станков — № 11.
- Киселев Е. С., Степчева З. В.** — Эффективность применения газообразных СОТС в процессе ультразвукового алмазного выглаживания — № 5.
- Клапцова Т. С.** — Математическая модель деятельности операторов при решении гомеостатической задачи управления — № 9.
- Клочков В. В., Сазонов Д. И.** — Экономические проблемы организации виртуальных машиностроительных предприятий — № 8.
- Ковалев А. П.** — Оценка несущей способности поверхностного слоя деталей вдавливанием сферического индентора — № 9.
- Козлов В. В., Третьяков И. В.** — Устранение магнитного дутья постоянными магнитами при ремонте магистральных газопроводов — № 2.
- Козлов Н. И., Семенов А. П., Рябов В. В., Шульженко Г. В.** — Современные приборы контроля герметичности отечественного производства — № 10.
- Колесников С. А., Кравецкий Г. А., Бухаров С. В.** — Технология изготовления комбинированных химических реакторов из углерод-керамических композиционных материалов и конструкционного графита — № 4.
- Коломенский А. Б., Зубарев В. Ю., Клычев А. В., Дегтярев А. В., Аксенов А. А.** — К вопросу о выносливости технического титана с неполностью стравленными газонасыщенными слоями при изготовлении листовых полуфабрикатов — № 4.
- Кондратенко Л. А.** — Оценка работоспособности рабочих органов роликовой вальцовки — № 8.
- Контроль** состояния и диагностика машин. Требования к обучению и сертификации персонала. Ч. 1. Требования к органам по сертификации и процедурам сертификации (ГОСТ Р ИСО 18436-1—2005) — № 3.

- Контроль** состояния и диагностика машин. Требования к обучению и сертификации персонала. Ч. 2. Вибрационный контроль состояния и диагностика (ГОСТ Р ИСО 18436-2—2005) — № 4.
- Коротков В. А.** — Новые разработки, направленные на продление жизненного цикла изделий — № 1.
- Корнеева В. М., Холопов В. Н., Феофанов А. Н., Хвастунов Р. М.** — Квалиметрический анализ как средство непрерывного повышения качества продукции машиностроения — № 4.
- Коршунов А. И.** — Оценка затрат на изготовление машиностроительного изделия на основе его конструктивно-технологической сложности и показателей организационного технического уровня производственной системы — № 6.
- Костров С. В., Рябцев С. А., Жуков Ю. И.** — Отечественный высокопористый абразивный инструмент для профильного шлифования зубчатых колес — № 1.
- Красильников С. Б., Сонин Г. И.** — Рентгеновский радиометрический контроль кольцевых сварных соединений при строительстве магистральных газопроводов — № 10.
- Кресик Д. А.** — Особенности использования инструментального обеспечения при работе многоцелевых центров, обрабатывающих криволинейные поверхности — № 10.
- Крушенко Г. Г., Буров А. Е.** — Влияние литниково-питающей системы на механические свойства литых деталей транспортных средств — № 12.
- Кудрявцев Ю. И.** — Снижение энергоемкости производства арматурных сеток на автоматических линиях "АЛИКС" — № 1.
- Кузнецов А. П.** — Методика оценки эффективности структур-стратегий производственных систем машиностроения — № 7.
- Кузнецов А. П.** — Теоретическое обеспечение разработки программ технического развития производственных систем — № 10.
- Кулешов А. Д., Москвичева Н. П., Санинский В. А.** — Комплектование многоопорных узлов на подшипниках скольжения при групповой сборке на основе компьютерного моделирования — № 7.
- Куликов С. Н., Баранов П. Н.** — Влияние погрешности квантования аналого-цифровыми преобразователями на точность алгоритмов вычисления параметров динамического дисбаланса при уравнивании роторов — № 5.
- Курбатов С. М., Гаспаришвили И. А.** — Социальная и экологическая отчетность как инструмент повышения эффективности системы управления компанией — № 3.
- Куценко А. И., Гурдин В. И., Жеребцов С. Н., Крупников А. Н.** — Влияние модифицирующих добавок лантана на микроструктуру и фазовый состав сплава ЖС6-У — № 11.
- Кученченко Е. А., Астахова Т. А., Бабылов Д. А., Феофанов А. Н.** — Разработка автоматической подсистемы ведения описания узлов агрегатных станков и автоматических линий — № 8.
- Лозован А. А., Щитов Н. Н.** — Оптимизация процесса разработки вакуумных наноградиентных покрытий — № 9.
- Ломов С. М., Ломова О. С., Макаренко В. В.** — Обеспечение точности размеров формы прецизионных деталей при круглом шлифовании в центрах — № 2.
- Лукина Н. Ф., Аниховская Л. И., Дементьева Л. А., Петрова А. П., Тюменева Т. Ю.** — Клеи и клеящие материалы для изделий авиационной техники — № 6.
- Люшинский А. В., Ефанов А. А., Чуклинов С. В., Билык А. В., Константинов В. В., Соколов Ю. А., Провсирин В. П., Братчук С. Д.** — Установка УДС-1 для диффузионной сварки — № 7.
- Майоров А. А.** — Рентгеновское телевидение в промышленном НК — № 11.
- Макаренко В. В., Ломова О. С., Ломов С. М., Моргунов А. П.** — Повышение надежности и долговечности гидроагрегатов путем увеличения точности измерения позиционных отклонений — № 1.
- Макаренко В. В., Ломова О. С., Моргунов А. П., Ломов С. М.** — Измерение параметров профилей пера лопаток осевых компрессоров и газодувок, применяемых в нефтехимическом производстве — № 4.
- Макаренко В. Д., Горбунов С. И., Огородников В. В., Бакеев Р. Б., Шевцов В. Л.** — Причины отказов технологического оборудования газоперерабатывающих заводов Западной Сибири — № 8.
- Макаров В. Ф., Половинкин А. Х.** — Исследование параметров качества поверхностного слоя, полученного методом ультразвукового поверхностного пластического деформирования — № 7.
- Мальцев В. Г., Моргунов А. П.** — Технологическое обеспечение высоких точностных требований к размерам и форме наружных цилиндрических поверхностей — № 12.
- Марутьян С. В., Марутьян С. С., Невровский В. А.** — Методы оценки нагрева длинномерных изделий при нанесении покрытий из расплава — № 11.
- Матвеев Н. В.** — Получение несплошных износостойких покрытий в вакууме с применением формирующего сепаратора — № 3.
- Машков В. Н., Игнатов М. П.** — Целевая подготовка специалистов в ИЦПС ФГУП "ММПП "Салют" — № 1.
- Медарь А. В.** — Расчетно-точностной анализ собранного изделия — № 1.
- Медарь А. В.** — Средства технологического оснащения сборочного производства — № 2.
- Мийченко И. П., Костюченко В. Н.** — Влияние температурных режимов отверждения на структуру имидоглепластиков — № 2.
- Мийченко И. П., Михайлин Ю. А.** — Полимерные материалы для теплонагруженных конструкций — № 1.
- Мироседи А. И., Шумячер В. М.** — Повышение эффективности процесса абразивной обработки путем управления структурными параметрами абразивного инструмента — № 1.
- Михайлин Ю. А.** — Полимерные композиционные материалы (армированные пластики, ВПКМ) — № 3.
- Михалицына Ю. В., Рябкова О. В.** — Формы организации труда в современном автомобилестроении — № 11.
- Мозок В. М., Лебедев В. А.** — Ремонт крупногабаритных деталей с использованием управляемой импульсной подачи электродной проволоки — № 7.
- Молчанова И. В., Двоскин Г. И., Соседов Е. А., Чивикина Г. И.** — Экологически чистая утилизация твердых отходов в маломасштабных установках ЭЧУТО — № 9.

- Моргунов А. П., Блесман А. И., Калекин В. С., Ласица А. М., Чуранкин В. Г.** — Технологическое обеспечение эффективности и надежности работы машин и агрегатов компрессорной техники — № 5.
- Моргунов А. П., Федоров А. А.** — Спектральный метод контроля деталей после ударно-акустической обработки — № 7.
- Морозов В. В., Олейников В. Н.** — Изучение упрочняющего механизма ионно-имплантированных сталей У8А, Х12М и Р6М5 — № 2.
- Морозов В. С., Казаков Ю. И., Казаков А. В., Тараненко О. И.** — Изыскание и отработка альтернатив озонно-опасному хладону 113 в технологических процессах очистки, обезжиривания, промывки и испытаний сборочных узлов ракетно-космической техники — № 1.
- Мошкин И. В., Соловов А. В.** — Оптимизация и критерии задачи "Space" САПР "OPAT" — № 3.
- Неверов В. В., Карих В. В., Носов В. А.** — Технология изготовления биметаллических дисковых и кромкокрошительных ножей — № 8.
- Неделько А. Ю.** — Использование оптоволоконной системы пирометров — № 8.
- Недобой В. С.** — Современные технологии в управлении предприятием — № 3.
- Нежинский А. М.** — Совершенствование технологии обработки поверхностей деталей машин методами поверхностно-пластического деформирования — № 10.
- Никоненко В. А.** — Разработка эталонных и рабочих контактных и бесконтактных средств измерения температуры — № 1.
- Новиков В. А., Яшин А. Н.** — Измерения в системах менеджмента качества организаций — № 9.
- Носенко В. А., Носенко С. В., Жуков В. К.** — Глубинное шлифование плоских поверхностей заготовок из титанового сплава с непрерывной правкой круга — № 11.
- Обращение** Союза работодателей машиностроения России к предприятиям и организациям машиностроительного комплекса РФ (открытое письмо) — № 6.
- Оголихин В. М., Шемелин С. Д.** — Сварка взрывом тонколистовых заготовок с пакетным и рулонным расположением свариваемых элементов — № 12.
- Орсик Л. С., Федоров А. А.** — Оценка эффективности и ранжирование инвестиционных проектов — № 2.
- Орсик Л. С., Федоров А. А.** — Экспертные оценки для организации процесса управления инвестиционными ресурсами предприятия — № 8.
- Островерх А. И., Цырков А. В.** — Интеллектуальная среда системы подготовки производства — № 9.
- Оськин Д. А., Масягин В. Б.** — Совершенствование расчета технологических размеров на основе выявления обратных связей между допусками и условиями обработки — № 8.
- Павлючков С. Е., Рубцов Е. А., Шилов В. В.** — Опыт взаимодействия вуза и коммерческой фирмы в подготовке специалистов в области информационных технологий — № 4.
- Панин В. Н.** — Особенности сварки гидротехнических конструкций и оборудования — № 3.
- Петраков А. М.** — Оценка технологических процессов по комплексным показателям качества труда — № 7.
- Петров А. П.** — "МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского — 75 лет — № 9.
- Петров А. П., Галкин В. И., Палтиевич А. Р.** — Особенности применения конечно-элементного анализа процессов обработки металлов давлением и перспективы прогнозирования структуры и свойств изделий — № 9.
- Петров А. П., Галкин В. И., Соколов В. С.** — Практика непрерывной информационно-компьютерной подготовки студентов-технологов — № 3.
- Петрушин С. И., Баканов А. А., Махов А. В.** — Геометрический и силовой анализ сборных сверл со сменными многогранными пластинами — № 10.
- Пещерова Т. Н., Козлов Г. В.** — Влияние конструктивных особенностей и технологических параметров формирования клеевых соединений на их прочность — № 4.
- Плахтин В. Д., Паршин А. Н.** — Синтез зацепления цилиндрических зубчатых колес с арочными бочкообразными зубьями — № 2.
- Погонин А. А., Бойко А. Ф., Блинова Т. А.** — Влияние пневмоструйной обработки на качество обрабатываемых изделий машиностроения — № 4.
- Поляков А. Н., Каменев С. В., Михайлов В. Н.** — Реализация параметрических моделей в инженерном анализе металлорежущих станков — № 6.
- Поляков А. Н., Парфенов И. В., Терентьев А. А.** — Решение задачи структурной оптимизации термодинамической системы станка — № 7.
- Попов А. А.** — Равномерность послеплайнового формирования остаточных напряжений при виброударном упрочнении — № 6.
- Потапова Г. С.** — Содержание зарубежных журналов — № 1—8, 10—12.
- Протасова С. В., Волкова Г. Д.** — Анализ и концептуальное моделирование взаимосвязей проектных и управленческих функций в деятельности проектно-конструкторской организации — № 2.
- Радченко М. В., Радченко В. Г., Шевцов Ю. О., Кровяков К. С.** — Практика использования электронно-лучевых технологий сварки, упрочнения и наплавки в дизелестроении — № 4.
- Расторгуев Г. А.** — Оптимизация раскроя листовых заготовок в нефтегазовом машиностроении — № 6.
- Расторгуев Г. А.** — Организационно-технологическая надежность машиностроительного производства — № 5.
- Репко А. В.** — Определение резонансных частот системы СПИД при шлифовании — № 7.
- Решанов В. А.** — Механизированная и автоматическая сварка двухкорпусных стальных вертикальных цилиндрических резервуаров вместимостью 50 000 м³ в условиях Заполярья — № 11.
- Рогов В. А., Кошеленко А. С.** — Технологические возможности станков, предназначенных для обработки шеек коленчатых валов — № 7.
- Рогов В. А., Малыгин В. И., Коломеец Н. П., Обловацкая Н. С.** — Повышение качества поверхностного слоя изделий методом ультразвуковой финишной обработки — № 10.
- Рогов В. А., Рохин О. В.** — Автоматизированное управление режимами резания при фрезеровании поверхностей крупногабаритных фасонных заготовок гребных винтов — № 3.

- Рогов В. А., Соловьев В. В., Дубровский Р. В.** — Тенденции повышения точности надежности механической обработки — № 1.
- Родин Ю. К., Хачатрян Г. Л.** — Гравитация и химические реакции горения — № 7.
- Розинов А. Я.** — Применение показателя проникающей способности испытательных сред и жидких грузов для оценки пороговой чувствительности контроля локальной герметичности — № 5.
- Розинов А. Я.** — Технологические особенности инструментальных методов акустического контроля локальной герметичности — № 1.
- Рудзей Г. Ф.** — Влияние дефектов сварки и числа проходов при сварке на сопротивление усталости образцов сварных соединений из алюминиевых сплавов — № 1.
- Руцкий Д. В., Жульев С. И., Мозговой А. В., Титов К. Е.** — Повышение качества и эффективности производства крупногабаритных полых изделий — № 10.
- Рыбаков А. А.** — Унифицированный энергомодуль бесперебойного электроснабжения — № 10.
- Рыбаков Г. М.** — Формирование сжимающих остаточных напряжений в металлических деталях при дробеструйной обработке — № 1.
- Рыбаков Г. М.** — Экспресс-метод контроля качества дробеструйной обработки сложнонагруженных деталей по критерию остаточных напряжений — № 6.
- Рыбин А. А., Бухаров С. В., Червяков А. А.** — Механические свойства полиарилата и поликарбоната при динамических скоростях деформации — № 9.
- Рыбин А. А., Бухаров С. В., Червяков А. А.** — Технологическая оптимизация дилатонных механизмов формирования работоспособности термопластичных композитов при ударных нагрузках — № 5.
- Сайфуллин Р. Н.** — Прочность сцепления и пористость покрытий, полученных электроконтактной приваркой порошковых композиций — № 10.
- Самсонов О. С.** — Моделирование процессов конструкторско-технологического проектирования сборки летательных аппаратов — № 9.
- Санинский В. А., Быков Ю. М., Сторчак Н. А.** — Методы стабилизации предельных зазоров коренных подшипников дизелей — № 3.
- Санинский В. А., Петрухин А. В., Москвичева Н. П.** — Автоматизация процесса подбора диаметральной компенсации механической обработки соосных отверстий в многоопорном узле дизельного двигателя разнотолщиной вкладышей — № 7.
- Сергеев Л. Е., Ракомсин А. П., Сидоренко М. И., Бабич В. Е.** — Финишная обработка деталей сферической формы с наложением магнитных полей — № 12.
- Сидякин В. А.** — Технология и оборудование стыковой сварки дугой низкого давления трубных переходников из разнородных металлов — № 9.
- Силуянова М. В.** — Применение функционально-стоимостного анализа для обеспечения принципа комплексности при проектировании сложных машиностроительных объектов — № 6.
- Сильченко П. Н., Колотов А. В., Мерко М. А.** — Анализ влияния параметров зубчатых колес для достижения необходимых качественных показателей связанных зубчатых передач — № 11.
- Сильченко Т. В.** — Методы и алгоритмы контроля управления качеством образования в высших технических учебных заведениях — № 8.
- Системы охраны и безопасности.** Термины и определения (ГОСТ Р 52551—2006) — № 7.
- Системы промышленной автоматизации и их интеграция.** Средства информационной поддержки жизненного цикла продукции. Безопасность информации. Основные положения и общие требования (ГОСТ Р 52611—2006) — № 8.
- Слепцов В. В., Тянгинский А. Ю., Трепов Д. А., Церулев М. В.** — Микрочастицы высокой мощности в жидкости — № 10.
- Смирнов В. А., Кирьянов А. Г., Лукин Л. Л.** — Влияние эксцентриситета шлифовального круга прямого профиля на показатели процесса плоского периферийного шлифования — № 11.
- Смирнов В. В., Казаков В. А., Цукуров О. А.** — Деятельность технического комитета по стандартизации "Сварка и родственные процессы" (ТК-364) по выполнению закона РФ "О техническом регулировании" — № 2.
- Смыков А. Ф., Моисеев В. С., Неуструев А. А.** — Автоматизированное проектирование средств воздействия на формирование однородной структуры лопаток турбинных лопаток — № 9.
- Соколов В. О., Куликов А. С.** — Обеспечение эффективности машиностроительного производства средствами АСТПП — № 10.
- Старков В. К., Рябцев С. А., Костров С. В.** — Опыт шлифования зубчатых колес высокопористыми абразивными кругами — № 3.
- Старков В. К., Рябцев С. А., Поклад В. А., Новиков В. С., Кайзер М., Костров С. В.** — Сравнительный анализ работоспособности высокопористых эльборовых и корундовых кругов при профильном зубошлифовании — № 2.
- Степанов И. Б.** — Аксиально-симметричные фильтры жалюзийного типа для очистки плазмы вакуумно-дугового разряда от микрокапельной фракции — № 5.
- Степанов Ю. А., Вахрушев О. В., Трофимова А. Н.** — Влияние защитных покрытий на свойства сварных соединений — № 12.
- Степин В. В.** — Методика повышения точности частотного анализа — № 2.
- Суслов А. А.** — Международная специализированная выставка и научно-практический семинар "Чернобыль: экология, человек, здоровье" — № 4.
- Суслов А. А.** — 7-й Московский международный салон инноваций и инвестиций — № 6.
- Суслов А. А.** — 3-я Специализированная выставка нанотехнологий и наноматериалов "NTMEX — 2006" — № 5.
- Суслов А. А.** — 4-я Международная специализированная выставка "Робототехника — 2006" — № 2.
- Сухов С. В.** — Конкурентоспособность образовательной системы вузов — № 9.
- Сухова Т. С., Шолом А. М.** — Управление качеством и безопасностью изделий ракетно-космической техники на начальном этапе их создания — № 7.
- Сысоев С. К., Сысоев А. С., Левко В. А., Снетков П. А., Лубнин М. А.** — Обеспечение точности расхода компонентов топлива через каналы деталей, обработанных струйным хонингованием — № 6.
- Сысоева И. В.** — Учет результатов венчурной деятельности — № 6.

- Табаков В. П., Смирнов М. Ю., Циркин А. В., Чихранов А. В.** — Износостойкие ионно-плазменные покрытия режущего инструмента и технологии их нанесения — № 1.
- Тарасов А. Н., Павловский Н. Р., Тилипалов В. Н.** — Технологические особенности нитроцементации сталей в активированных древесно-угольных смесях — № 7.
- Тарнопольский А. В.** — Вихревой способ подготовки и подачи СОТС в виде воздушно-жидкостного аэрозоля при обработке резанием — № 8.
- Тарнопольский А. В.** — Эффективность технологических процессов механической обработки при вихревом способе подготовки и подачи СОТС в виде воздушно-жидкостного аэрозоля — № 10.
- Трепов Д. А., Церулев М. В., Слепцов В. В.** — Очистка и стерилизация стенок каналов малых диаметров в жидкой среде — № 2.
- Федоров В. К., Бендерский Г. П., Белевцев А. М.** — Методы технологического дизайна в структуре инновационных процессов в машиностроении — № 9.
- Федоров В. К., Бендерский Г. П., Белевцев А. М.** — О некоторых принципах и особенностях организации инновационной деятельности в современном машиностроении — № 5.
- Фурман Е. Л., Жеребцов С. Н., Гурдин В. И.** — Модифицирование жаропрочных никелевых сплавов ультрадисперсными порошками (УДП) тугоплавких частиц — № 1.
- Хасанов З. М., Ахметзянов Р. Р.** — Некоторые проблемы расчета и промышленного изготовления упругих чувствительных элементов волоконно-оптических датчиков давления — № 10.
- Хасанов З. М., Хасанов О. З.** — Методика моделирования адаптивной системы управления автоматизированным электроприводом методом эквивалентных структурных преобразований — № 8.
- Харашнин К. А., Смыслова А. Л., Плащенко В. В.** — Подсистема управления станом непрерывной холодной прокатки при прохождении сварных соединений — № 6.
- Хорев А. И.** — Влияние комплексного легирования на механические свойства сварных соединений ($\alpha + \beta$)- и β -титановых сплавов — № 2.
- Хорев А. И.** — Комплексно-легированный титановый сплав BT23 универсального применения — № 7.
- Хорев А. И.** — Основные направления создания высокопрочных и высоконадежных композиционных материалов на основе титановых сплавов — № 5.
- Хорев А. И.** — Основы создания слоистых композиционных материалов из титановых сплавов — № 8.
- Хорев А. И.** — Теория и практика создания современных конструктивных титановых сплавов для перспективных конструкций — № 12.
- Хромченко Ф. А.** — Техническая диагностика сварных соединений трубопроводов. Ч. 1. Сварные соединения трубопроводов I категории — № 5.
- Хромченко Ф. А.** — Техническая диагностика сварных соединений трубопроводов. Ч. 2. Сварные соединения трубопроводов II–IV категорий — № 6.
- Царьков А. В., Раевский В. А.** — Оптимизация режимов сварки трубных досок теплообменных аппаратов методами компьютерного моделирования — № 2.
- Чебурахин И. Ф., Дубоград И. В., Кобзев С. В., Недобой В. С.** — Высокие технологии при проектировании интегральных схем — № 3.
- Чертов В. М.** — Новые способы цинкования — № 11.
- Чертов В. М., Потемкин П. В.** — Сжатый водород — оптимальное решение — № 11.
- Чертов В. М.** — Совмещение закалки и правки заготовок из тонколистовой высокопрочной стали — № 11.
- Чирков Г. В.** — Влияние импрегнирования шлифовального круга на качество обработки — № 2.
- Чирков Г. В.** — Основные закономерности, влияющие на процесс пропитки абразивных кругов — № 5.
- Чирков Г. В.** — Технология получения высококачественных поверхностей в глубоких отверстиях изделий — № 7.
- Шаламов В. Г., Сметанин С. Д.** — Совершенствование профилирования дискового инструмента при формообразовании винтовых поверхностей — № 10.
- Шевелев Ю. В.** — Перспективы обеспечения испытательных лабораторий метрологическим оборудованием — № 3.
- Шевелев Ю. В., Малышев Ю. О.** — Применение керамических труб в горизонтальной печи до 1600 °С — № 10.
- Шевченко И. В., Логвиненко Н. В.** — Метод тепловизионного контроля тепловых характеристик охлаждаемых лопаток газовых турбин — № 9.
- Шестакова Ж. В., Шашок А. В.** — Оценка надежности эксплуатации режущего инструмента, применяемого на операциях торцевого фрезерования — № 4.
- Штрикман М. М.** — Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений (аналитический обзор). Ч. 1 — № 8.
- Штрикман М. М.** — Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений. Ч. 2. Совершенствование инструмента и технологических схем сварки — № 10.
- Штрикман М. М.** — Состояние и развитие процесса сварки трением линейных соединений. Ч. 3. Промышленное применение процесса СТП — № 11.
- Шумячер В. М., Кадильников А. В.** — Влияние формы поверхности шлифовального круга и ориентации абразивного зерна в связке на начало процесса стружкообразования — № 5.
- Шумячер В. М., Кадильников А. В.** — Модель взаимодействия абразивного зерна и обрабатываемого материала при шлифовании. Система стружкообразования — № 4.
- Ямников А. С., Артамонов В. Д.** — Управление кинематикой процесса резцовыми головками по методу обкатывания — № 12.
- Ярхов Ю. Б., Галетко Е. В.** — Управление качеством продукции и трудовыми ресурсами — № 8.
- Ящерицын П. И., Сергеев Л. Е., Ракомсин А. П., Сидоренко М. И., Бабич В. Е.** — Магнитно-абразивная обработка прядильных колен — № 1.

* * *

Абрамов А. Д. — № 4.
 Абрамова Н. Б. — № 5, 6.
 Аверченко В. А. — № 8.
 Агамиров В. Л. — № 9.
 Агамиров Л. В. — № 9.
 Агеева Н. Г. — № 1.
 Аксенов А. А. — № 4.
 Алпеева Т. В. — № 2, 6, 12.
 Анахов С. В. — № 8.
 Аносенко А. В. — № 9.
 Аниховская Л. И. — № 6.
 Артамонов В. Д. — № 12.
 Архипов В. Е. — № 11.
 Астахова Т. А. — № 8.
 Ахметзянов Р. Р. — № 10.

Бабич В. Е. — № 1, 12.
 Бабкин В. А. — № 12.
 Бабылов Д. А. — № 8.
 Багайсков Ю. С. — № 3.
 Баканов А. А. — № 10.
 Бакеев Р. Б. — № 4, 8.
 Барабанова О. А. — № 9.
 Баранов П. Н. — № 5.
 Бариева Г. З. — № 2.
 Батов Г. П. — № 6.
 Бахвалов Ю. О. — № 9.
 Белевцев А. М. — № 5, 9.
 Белякова М. С. — № 5.
 Бендерский Г. П. — № 5, 9.
 Бессарабов А. А. — № 7.
 Бильяк А. В. — № 7.
 Бирюкова Н. П. — № 6.
 Блесман А. И. — № 5.
 Блинова Т. А. — № 4.
 Богдановский В. А. — № 5.
 Богдавленский-Храмов М. С. — № 10.
 Бойко А. Ф. — № 4.
 Болоненко С. А. — № 9.
 Большаков Н. С. — № 8.
 Бондаренко А. Г. — № 4.
 Борисов А. К. — № 5.
 Боченин В. И. — № 1, 4, 5.
 Братчук С. Д. — № 7.
 Бром А. Е. — № 12.
 Бужгулашвили В. А. — № 4.
 Буров А. Е. — № 12.
 Бухаров С. В. — № 4, 5, 9.
 Быков Ю. М. — № 3.

Васильев В. А. — № 9.
 Васильев Г. Н. — № 8.
 Васин В. А. — № 1.
 Вахрушев О. В. — № 12.
 Веселовский А. А. — № 1.
 Винклер Ф. — № 6.
 Виноградов В. М. — № 4.
 Волков Д. В. — № 4.
 Волков С. С. — № 4.

Волкова Г. Д. — № 2.
 Володин Д. А. — № 2.
 Волочиенко В. А. — № 1.
 Волчкевич И. Л. — № 2.
 Вопилкин А. Х. — № 1.
 Воробьев К. А. — № 5.
 Вышемирский Е. М. — № 5, 11.

Гавва В. М. — № 5.
 Галетко Е. В. — № 8.
 Галиев А. Н. — № 4.
 Галкин В. И. — № 3, 9.
 Гапанович В. А. — № 1.
 Гаспаришвили И. А. — № 3.
 Гладкий П. В. — № 4.
 Глебов А. А. — № 12.
 Гнюсов К. С. — № 12.
 Гнюсов С. Ф. — № 12.
 Голов Р. С. — № 9.
 Головизнин Б. Л. — № 2.
 Головин С. И. — № 8.
 Головкин П. А. — № 3.
 Горбунов С. И. — № 8.
 Горелов В. А. — № 4.
 Гришин А. А. — № 11.
 Губанов В. Ф. — № 2.
 Гузеев В. И. — № 11.
 Гуменюк В. А. — № 12.
 Гурвич А. К. — № 1.
 Гуревич Ю. Г. — № 12.
 Гурдин В. И. — № 1, 7, 10, 11.

Двоскин Г. И. — № 9.
 Дегтярев А. В. — № 4.
 Дементьева Л. А. — № 6.
 Дерябин И. П. — № 11.
 Джаганян А. В. — № 8.
 Долбилин Е. В. — № 6.
 Добринский Е. С. — № 1—3, 5, 7,
 10—12.
 Дубов А. А. — № 3.
 Дубограй И. В. — № 3.
 Дубровский Р. В. — № 1.
 Дураков В. Г. — № 12.
 Дурнов Ф. Ю. — № 2.

Егоров П. Е. — № 12.
 Емельянов В. М. — № 6.
 Еремин А. Е. — № 6.
 Еремин Е. Н. — № 6.
 Ермолаева Г. Б. — № 8.
 Ефанов А. А. — № 7.

Железнов Г. С. — № 10.
 Железнова С. Г. — № 10.
 Жеребцов С. Н. — № 1, 5, 7, 10, 11.
 Жигуц Ю. Ю. — № 10.
 Жуков В. К. — № 11.

Жуков Ю. И. — № 1.
 Жульев С. И. — № 10.

Забелин К. С. — № 6.
 Забелин С. Ф. — № 6.
 Загруднинов Г. М. — № 2.
 Захаров С. А. — № 9.
 Звягина А. И. — № 4.
 Зубарев В. Ю. — № 4.
 Зубков Н. Н. — № 8, 11, 12.

Иванайский А. В. — № 2, 3.
 Иванайский В. А. — № 2, 3.
 Иванов А. Л. — № 5.
 Иванов А. Н. — № 1—6, 8, 10—12.
 Иванов В. С. — № 5—7, 8, 11, 12.
 Иванов Д. В. — № 8, 11, 12.
 Иванчук С. Б. — № 9.
 Игнатов А. П. — № 4.
 Игнатов М. П. — № 1.
 Ильин А. А. — № 9.

Кадильников А. В. — № 4, 5.
 Кадошников В. И. — № 2.
 Казаков А. В. — № 1.
 Казаков В. А. — № 2.
 Казаков Н. А. — № 12.
 Казаков Ю. И. — № 1.
 Казанцев А. Г. — № 1.
 Кайзер М. — № 2.
 Калашников Д. Б. — № 10.
 Калекин В. С. — № 5.
 Каменев С. В. — № 6.
 Капинос Е. Ф. — № 11.
 Капустин О. Е. — № 5, 11.
 Каргапольцев В. П. — № 8.
 Каргин В. А. — № 4.
 Карих В. В. — № 8.
 Карпов В. Н. — № 9.
 Кашин А. М. — № 2.
 Кирилин Ю. В. — № 11, 12.
 Кирьянов А. Г. — № 11.
 Киселев Е. С. — № 5.
 Клапцова Т. С. — № 9.
 Клочков В. В. — № 8.
 Клычев А. В. — № 4.
 Кобзев С. В. — № 3.
 Ковалев А. П. — № 9.
 Кожарина О. А. — № 11.
 Козлов Г. В. — № 4.
 Козлов В. В. — № 2.
 Козлов Н. И. — № 10.
 Кокорин А. В. — № 6.
 Колесников С. А. — № 4.
 Колокольников С. М. — № 3.
 Коломеец Н. П. — № 10.
 Коломенский А. Б. — № 4.
 Колотов А. В. — № 11.

- Кондратенко Л. А. — № 8.
 Кононов Д. А. — № 1.
 Кононский А. Ф. — № 2.
 Константинов В. В. — № 7.
 Константинов Ю. В. — № 2.
 Кораблев Н. В. — № 12.
 Корнеева В. М. — № 4.
 Корольков П. М. — № 12.
 Коротков В. А. — № 1, 2.
 Коротынский А. Е. — № 5.
 Коршунов А. И. — № 6.
 Косов М. Г. — № 5.
 Костров С. В. — № 1—3.
 Костюченко В. Н. — № 2.
 Котельников А. А. — № 2, 6, 12.
 Котова И. Н. — № 6.
 Кошеленко А. С. — № 7.
 Кравецкий Г. А. — № 4.
 Красильников С. Б. — № 10.
 Кресик Д. А. — № 10.
 Кровяков К. С. — № 4.
 Крупенков А. Н. — № 7, 10, 11.
 Крушенко Г. Г. — № 12.
 Кудрявцев Ю. И. — № 1.
 Кузнецов А. П. — № 7, 10.
 Кузнецов Э. А. — № 8.
 Кулешов А. Д. — № 7.
 Куликов А. С. — № 10.
 Куликов С. Н. — № 5.
 Курбатов С. М. — № 3.
 Куценко А. И. — № 7, 10, 11.
 Кученченко Е. А. — № 8.
- Лавров А. И. — № 12.
 Ласица А. М. — № 5.
 Лебедев В. А. — № 7.
 Левко В. А. — № 6.
 Лепеха В. Л. — № 8.
 Ловырев П. Б. — № 12.
 Логвиненко Н. В. — № 9.
 Лозован А. А. — № 9.
 Ломов С. М. — № 1, 2, 4.
 Ломова О. С. — № 1, 2, 4.
 Лосев А. С. — № 6.
 Лубнин М. А. — № 6.
 Лукин Л. Л. — № 11.
 Лукина Н. Ф. — № 6.
 Люшинский А. В. — № 7.
- Майоров А. А. — № 11.
 Макаренко В. В. — № 1, 2, 4.
 Макаренко В. Д. — № 4, 8.
 Макаров В. Ф. — № 7.
 Малыгин В. И. — № 10.
 Малышев Ю. О. — № 10.
 Мальцев В. Г. — № 12.
 Мамонов А. М. — № 9.
 Марутьян С. В. — № 11.
 Марутьян С. С. — № 11.
 Масалков А. В. — № 2.
 Мясгин В. Б. — № 8.
 Матвеев Н. В. — № 3.
- Матушкин А. В. — № 8.
 Махлин Н. М. — № 5.
 Махов А. В. — № 10.
 Машков В. Н. — № 1.
 Медарь А. В. — № 1, 2.
 Мерко М. А. — № 11.
 Мийченко И. П. — № 1, 2.
 Мироседи А. И. — № 1.
 Миросш Ю. М. — № 11.
 Михайлин Ю. А. — № 1, 3.
 Михайлов В. Н. — № 6.
 Михалицына Ю. В. — № 11.
 Могорычный В. И. — № 9.
 Мозговой А. В. — № 10.
 Мозок В. М. — № 7.
 Моисеев В. С. — № 9.
 Молчанова И. В. — № 9.
 Моргунов А. П. — № 1, 4, 5, 7, 12.
 Морозов В. В. — № 2.
 Морозов В. С. — № 1.
 Москвитин Г. В. — № 11.
 Москвичева Н. П. — № 7.
 Мошкин И. В. — № 3.
 Мужиченко А. Ф. — № 5.
- Неверов В. В. — № 8.
 Невровский В. А. — № 1, 11.
 Неделько А. Ю. — № 8.
 Недобой В. С. — № 3.
 Нежинский А. М. — № 10.
 Неуструев А. А. — № 9.
 Никоненко В. А. — № 1.
 Новиков В. А. — № 9.
 Новиков В. С. — № 2.
 Носенко В. А. — № 11.
 Носенко С. В. — № 11.
 Носов В. А. — № 8.
- Обловацкая Н. С. — № 10.
 Овчинников А. В. — № 9.
 Овчинников И. А. — № 9.
 Оголихин В. М. — № 12.
 Огородников В. В. — № 8.
 Олейников В. Н. — № 2.
 Орлик Л. С. — № 2, 8.
 Островерх А. И. — № 9.
 Оськин Д. А. — № 8.
- Павловский Н. Р. — № 7.
 Павлючков С. Е. — № 4.
 Палтиевич А. Р. — № 9.
 Панин В. Н. — № 3.
 Парфенов И. В. — № 7.
 Паршин А. Н. — № 2.
 Пашков В. И. — № 1.
 Переллетчиков Е. Ф. — № 4.
 Петраков А. М. — № 7.
 Петров А. П. — № 3, 9.
 Петров Л. М. — № 9.
 Петрова А. П. — № 6.
 Петрухин А. В. — № 7.
- Петрушин С. И. — № 10.
 Пещерова Т. Н. — № 4.
 Плахтин В. Д. — № 2.
 Плашенков В. В. — № 6.
 Племенюк А. А. — № 5.
 Плихунов В. В. — № 9.
 Погонин А. А. — № 4.
 Поклад В. А. — № 2.
 Половинкин А. Х. — № 7.
 Полунин В. А. — № 9.
 Поляков А. Н. — № 6, 7, 11.
 Пономарев С. А. — № 2.
 Попов А. А. — № 6.
 Попов Е. Н. — № 9.
 Попович Л. Г. — № 8.
 Потапова Г. С. — № 1—8, 10—12.
 Потемкин П. В. — № 11.
 Прищепа В. А. — № 2.
 Просвирина В. П. — № 7.
 Протасова С. В. — № 2.
 Пузряков А. А. — № 8.
 Пузряков А. Ф. — № 8.
 Пыкин Ю. А. — № 8.
- Радченко В. Г. — № 4.
 Радченко М. В. — № 4.
 Раевский В. А. — № 2.
 Ракомсин А. П. — № 1, 12.
 Расторгуев Г. А. — № 5, 6.
 Репко А. В. — № 7.
 Решанов В. А. — № 11.
 Рогов В. А. — № 1, 3, 7, 10.
 Родин Ю. К. — № 7.
 Розин А. Я. — № 1, 5.
 Рохин О. В. — № 3.
 Рубцов Е. А. — № 4.
 Рудзей Г. Ф. — № 1.
 Руцкий Д. В. — № 10.
 Рыбаков А. А. — № 10.
 Рыбаков Г. М. — № 1, 6.
 Рыбин А. А. — № 5, 9.
 Рябкова О. В. — № 11.
 Рябов В. В. — № 10.
 Рябцев И. А. — № 4.
 Рябцев С. А. — № 1—3.
- Сазонов Д. И. — № 8.
 Сайфуллин Р. Н. — № 10.
 Самсонов О. С. — № 9.
 Санинский В. А. — № 3, 7.
 Сарычев С. М. — № 9.
 Севостьянов С. П. — № 5.
 Сеин В. А. — № 1, 3, 7, 10.
 Семенов А. П. — № 10.
 Сергеев Л. Е. — № 1, 12.
 Сидоренко М. И. — № 1, 12.
 Сидякин В. А. — № 9.
 Силуянова М. В. — № 6.
 Сильченко П. Н. — № 11.
 Сильченко Т. В. — № 8.
 Симахин И. Я. — № 8.
 Сингер К. — № 8.

Славинский З. М. — № 1.
 Слепцов В. В. — № 2, 10.
 Сметанин С. Д. — № 10.
 Смирнов В. А. — № 11.
 Смирнов В. В. — № 2.
 Смирнов М. Ю. — № 1.
 Смирнов Н. Я. — № 9.
 Смыков А. Ф. — № 9.
 Смыслова А. Л. — № 6.
 Снетков П. А. — № 6.
 Соколов В. О. — № 10.
 Соколов В. С. — № 3.
 Соколов Ю. А. — № 7.
 Соловов А. В. — № 3.
 Соловьев В. В. — № 1.
 Сомов О. В. — № 1.
 Сонин Г. И. — № 10.
 Соседов Е. А. — № 9.
 Спектор В. С. — № 9.
 Старков В. К. — № 2, 3.
 Степанов И. Б. — № 5.
 Степанов Ю. А. — № 12.
 Степин В. В. — № 2.
 Степчева З. В. — № 5.
 Сторчак Н. А. — № 3.
 Сульженко В. А. — № 12.
 Суслов Ан. А. — № 2, 4, 5.
 Сухов С. В. — № 9.
 Сухова Т. С. — № 7, 11.
 Сысоев А. С. — № 6.
 Сысоев С. К. — № 6.
 Сысоева И. В. — № 6.

Табакон В. П. — № 1.
 Тараненко О. И. — № 1.
 Тарасов А. Н. — № 7.
 Тарнопольский А. В. — № 8, 10.

Тархов С. Ф. — № 5.
 Терентьев А. А. — № 7.
 Тилипалов В. Н. — № 7.
 Титов К. Е. — № 10.
 Тихонов Д. С. — № 1.
 Трепов Д. А. — № 2, 10.
 Третьяков И. В. — № 2.
 Трофимова А. Н. — № 12.
 Трухан М. Н. — № 12.
 Тюменева Т. Ю. — № 6.
 Тюнюкова Т. К. — № 4.
 Тянгинский А. Ю. — № 10.

Федоров А. А. — № 2, 7, 8.
 Федоров В. К. — № 5, 9.
 Федотов В. А. — № 5.
 Феофанов А. Н. — № 4, 8.
 Филиппов Ю. О. — № 6.
 Финогентов О. Г. — № 12.
 Фурман Е. Л. — № 1.

Харахнин К. А. — № 6.
 Хасанов З. М. — № 8, 10.
 Хасанов О. З. — № 8.
 Хачатрян Г. Л. — № 7.
 Хвастунов Р. М. — № 4, 12.
 Холопов В. Н. — № 4.
 Хорев А. И. — № 2, 5, 7, 8, 12.
 Хромченко Ф. А. — № 5, 6.

Царьков А. В. — № 2.
 Церулев М. В. — № 2, 10.
 Циркин А. В. — № 1.
 Цукуров О. А. — № 2.
 Цыркун А. В. — № 9.

Чебурахин И. Ф. — № 3.
 Червяков А. А. — № 5, 9.
 Чередник А. Д. — № 5.
 Чертов В. М. — № 11.
 Чивикина Г. И. — № 9.
 Чирков Г. В. — № 2, 5, 7.
 Чихранов А. В. — № 1.
 Чуклинов С. В. — № 7.
 Чуранкин В. Г. — № 5.

Шакуров С. А. — № 8.
 Шаламов В. Г. — № 10.
 Шашок А. В. — № 4.
 Шевелев Ю. В. — № 3, 10.
 Шевляков М. А. — № 10.
 Шевцов В. Л. — № 8.
 Шевцов Ю. О. — № 4.
 Шевченко И. В. — № 9.
 Шемелин С. Д. — № 12.
 Шестакова Ж. В. — № 4.
 Шилов В. В. — № 4.
 Шолом А. М. — № 7.
 Штрикман М. М. — № 8, 10, 11.
 Шульженко Г. В. — № 10.
 Шумячкер В. М. — № 1, 3—5.

Щитов Н. Н. — № 9.
 Щукин М. В. — № 4.

Ямников А. С. — № 12.
 Ярхов Ю. Б. — № 8.
 Яшин А. Н. — № 9.
 Ящерицын П. И. — № 1.

Издательский центр "Технология машиностроения"

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 27.09.2007. Подписано в печать 19.11.2007. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
 Усл.-печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 13,40. Заказ 12/07.

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"