



ТЕХНОЛОГИЯ

МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:**

Гл. редактор

В. А. Казаков

Зам. гл. редактора

Н. В. Посметная

Н. П. Бирюкова
Р. С. Голов
В. Д. Горбач
С. Н. Григорьев
Б. В. Гусев
А. В. Дуб
В. М. Ермаков
А. С. Зубченко
А. В. Иванайский
Е. А. Калашников
В. В. Капустин
А. Л. Карунин
И. П. Ксенович
А. Е. Лигачев
А. А. Лозован
В. П. Лялякин
А. В. Медарь
Б. А. Никитин
Г. В. Самодуров
В. Н. Семенов
О. С. Сироткин
А. К. Скворчевский
Н. В. Смирнов
А. В. Телушкин
А. Н. Феофанов
В. А. Фролов
В. К. Шелег
И. Н. Шиганов

Редакция:

С. В. Богус,

Л. Т. Мартыненко,

Т. П. Маслик

Компьютерная верстка:

Е. В. Конова

Дизайн обложки:

Е. С. Благовидов

Специальные

корреспонденты:

А. Н. Иванов, А. В. Казаков,

Ан. А. Суслов

Редактор-переводчик

Е. О. Егорова

Корректор

О. А. Шаповалова

**7 (73)
Июль
2008**

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр

"Технология машиностроения"

Журнал издается при содействии

Министерства промышленности

и торговли РФ,

Министерства образования и науки РФ,

Российской инженерной академии,

Союза машиностроителей России,

ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»

Адрес для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 01

Контактный тел.: (495) 796 2491

E-mail: tm@folium.ru

(с пометкой для журнала

"Технология машиностроения")

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

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

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-7779

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

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

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



TEKHNLOGIYA

MASHINOSTROENIYA

REVIEW-ANALYTICAL, SCIENTIFIC-TECHNICAL
AND PRODUCTION JOURNAL

**EDITORIAL
BOARD:**

V. A. Kazakov
Editor-in-Chief

N. V. Posmetnaya
Deputy Editor-in-Chief

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

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

Computerized making-up:
E. V. Konova

Cover design:
E. S. Blagovidov

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

Editor-translator
E. O. Egorova

Proof-reader
O. A. Shapovalova

**7 (73)
July
2008**

FOUNDER:

Publishing Centre

"Tekhnologiya Mashinostroeniya"

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

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

Tel.: (495) 796 2491

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

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

Registration certificate ПИ № 77-7779

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

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

Reference to "Tekhnologiya Mashinostroeniya"
at reprint is obligatory

СОДЕРЖАНИЕ

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

- Барабанова О. А., Могорычный В. И., Набатчиков С. В. — Слоистые композиционные материалы в теплообменной технике криогенных систем 5

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

- Ямников А. С., Маликов А. А., Валиков Е. Н., Сидоркин А. В. — Ресурсосберегающие технологии изготовления цилиндрических зубчатых колес 7
Бекасов Д. Л., Воронов В. Н. — Классификация схем фрезоточения некруглых профилей. 10
Зубков Н. Н., Ломакин А. В. — Получение гранных отверстий методом качающейся прошивки 13

СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

- Зубков Н. С., Золотов А. А. — Технологическая прочность наплавленной быстрорежущей стали с повышенным содержанием серы. 16

МЕХАНОСБОРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

- Расторгуев Г. А. — Особенности автоматизации сборочных работ в машиностроении 18

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА И РОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

- Клименов В. А., Ковалевская Ж. Г., Ульяницкий В. Ю., Зайцев К. В., Борозна В. Ю. — Влияние ультразвуковой обработки основы на формирование покрытия при детонационном напылении 22

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ

- Оголихин В. М., Шемелин С. Д. — Установка для обработки взрывом длинномерных изделий 27

МЕТРОЛОГИЯ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- Дидик Ю. И., Иоффе Ю. Е., Симо Д. К. — Метрологическое обеспечение измерения тока вторичного контура контактных машин 30

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ

- Мурзаханов Г. Х., Быстрова Н. А., Рябцев С. Л. — Модель оценки остаточного ресурса резервуаров по критериям механики разрушения. 34

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

- Васин В. А. — Функциональные устройства вакуумного оборудования электронного машиностроения на основе приводов управляемой упругой деформации 40

ЭНЕРГЕТИКА

- Балабин В. Н. — Повышение топливной экономичности тепловозных дизелей 47

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ, САПР

- Кудрявцев А. Ю. — Автоматизация сварочного процесса в стройиндустрии при внедрении линии "АЛИКС-2601". 49

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

- Цумарев Ю. А. — Оптимизация геометрии паяного телескопического соединения путем расчета напряженного состояния с использованием пакета прикладных программ "Cosmos-M" 53

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

- Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования (ГОСТ 12.1.012—2004) 57

ОХРАНА ТРУДА В МАШИНОСТРОЕНИИ

- Пыкин Ю. А., Анахов С. В. — Факторы снижения шумов при работе плазменного оборудования 64

ЭКОНОМИКА МАШИНОСТРОЕНИЯ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Клочков В. В. — Модели рынков услуг и работ по модернизации авиатехники 67

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

- Демин В. А., Ужва В. В. — Университетский комплекс как интегрированная система обучения. 72

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

- Потапова Г. С. — Содержание зарубежных журналов. 75

ИНФОРМАЦИЯ

- Добринский Е. С., Сеин В. А. — Региональная политика частногосударственного партнерства развития российского автопрома 79

CONTENTS

STRUCTURAL MATERIALS, METAL SCIENCE

- Barabanova O. A., Mogorychny V. I., Nabatchikov S. V. — Sandwich-type composites in the heat exchangers of the cryogenic systems 5

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

- Yamnikov A. S., Malikov A. A., Valikov Ye. N., Sidorkin A. V. — Spur gears alternative manufacturing technique 7
Bekasov D. L., Voronov V. N. — Classification of the nonround mill cutter turning diagrams 10
Zoubkov N. N., Lomakin A. V. — Faceted orifice obtaining by wobble-broaching method 13

TOOLING PRODUCTION

- Zoubkov N. S., Zolotov A. A. — Manufacturing strength of built-up high-speed steel with raised sulphur content 16

MACHINING-AND-ASSEMBLY PRODUCTION

- Rastorguyev G. A. — Assembly works automation features in engineering industry 18

TECHNOLOGIES AND MACHINES FOR WELDING PRODUCTION AND RELATED PROCESSES

- Klimenov V. A., Ulyanitsky V. Yu., Kovalevskaya Zh. G., Zaytsev K. V., Borozna V. Yu. — Effect of the base piece ultrasonic machining on the coating formation at detonation spraying 22

SPECIAL TECHNOLOGIES

- Ogolikhin V. M., Shemelin S. D. — Explosion processing plant for long-measuring articles 27

METROLOGY AND MEASUREMENT ASSURANCE

- Didik Yu. L., Ioffe Yu. Ye., Simo D. K. — Metrological assurance of the secondary circuit current measuring in resistance welders 30

TESTING AND DIAGNOSTICS METHODS IN ENGINEERING INDUSTRY

- Murzakhanov G. Kh., Bystrova N. A., Ryabtsev S. L. — Vessel residual life evaluation pattern by fracture mechanics criteria 34

INSTRUMENT-MAKING TECHNOLOGIES

- Vasin V. A. — Vacuum equipment functional devices of electronic engineering on the base of controllable elastic deformation actuator 40

POWER ENGINEERING

- Balabin V. N. — Enhancement of the diesel locomotive fuel efficiency 47

PROCESSES AND PRODUCTION AUTOMATION AND CONTROL, CAD SYSTEMS

- Koudryavtsev A. Yu. — Welding process automation in building industry by "АЛИКС-2601" (ALIKS-2601) line implementation 49

MATHEMATICAL MODELLING, CALCULUS OF APPROXIMATIONS AND SOFTWARE SYSTEMS

- Tsumarev Yu. A. — Geometry optimization of a telescoped soldered joint by the stressed state computation using "Cosmos-M" software 53

STANDARDIZATION AND PRODUCT QUALITY CONTROL

- System of the labor safety standards. Vibratory safety. General requirements (GOST 12.1.012—2004) 57

LABOUR PROTECTION IN ENGINEERING INDUSTRY

- Pykin Yu. A., Anakhov S. V. — Noise reduction factors at gas-discharge equipment operation 64

ENGINEERING INDUSTRY ECONOMICS, PRODUCTION ORGANIZATION

- Klochkov V. V. — Models of service and works markets on airplanes refurbishing 67

EDUCATION AND PERSONNEL TRAINING

- Diomin V. A., Uzhva V. V. — University complex as an integrated system of education 72

FOREIGN EXPERIENCE

- Potapova G. S. — Contents of the foreign journals 75

INFORMATION

- Dobrinsky Ye. S., Sein V. A. — Regional policy of private and state partnership for developing Russian automotive industry 79
-

О. А. БАРАБАНОВА, д-р техн. наук, В. И. МОГОРЫЧНЫЙ, канд. техн. наук, С. В. НАБАТЧИКОВ, инж.
ООО "КриоКомпозит" (Москва)

Слоистые композиционные материалы в теплообменной технике криогенных систем

Использование композиционных материалов (КМ) при изготовлении теплообменной аппаратуры сопряжено с необходимостью детального изучения теплофизических свойств таких материалов, определения их деформационной устойчивости и прочности, разработки методов расчета процессов теплообмена в них, создания программы для расчета теплообменника. Эти задачи становятся проблемными, когда процесс получения КМ совмещен с циклом производства изделия.

В настоящее время продолжаются работы по совершенствованию конструкции матричных теплообменников на основе слоистого КМ алюминий—стекло, применяемых в дроссельных криогенных системах с температурным уровнем 100—120 К и холодопроизводительностью до 10 Вт, работающих на многокомпонентных рабочих телах.

В состав многокомпонентных рабочих тел (МРТ) входят два и более компонентов: углеводороды, фреоны, инертные газы, азот, холодильные масла и др. [1]. Последние должны быть включены в состав рабочего тела при использовании в криогенной системе смазываемых холодильных компрессоров и невысокой степени очистки рабочего тела от холодильного масла.

Изменяя как качественно, так и количественно состав многокомпонентного рабочего тела, можно получить рабочее тело с необходимыми термодинамическими свойствами, на основе которого создать низкотемпературную систему с необходимыми техническими характеристиками.

Процесс конструирования теплообменника основан на исследовательском методе и включает

оценку условий эксплуатации, учет теплопереноса и ограничений на расход и значения давлений рабочего тела в каналах теплообменника. Одновременно должны быть учтены особенности технологического способа производства, теплофизические свойства материалов и рабочих тел, а также критерии оценки механической прочности теплообменника, его стоимости [2].

В настоящее время в научно-технической литературе практически отсутствуют данные по исследованию матричных теплообменников при работе на многокомпонентных смесях. Лишь несколько работ посвящены исследованию технических характеристик низкотемпературных систем, работающих на смесях, в которых приведены отрывочные экспериментальные данные о теплообменных и гидравлических процессах в традиционных теплообменниках — "труба в трубе" и витых поперечноточных.

Анализ существующих методов расчета теплообмена и гидравлических потерь показал, что при их разработке целесообразно выбирать гомогенную модель течения многокомпонентного рабочего тела в каналах теплообменника. Выбор гомогенной модели при описании теплообмена и гидравлических потерь позволяет отказаться от детального описания этих процессов при движении двухфазных (парожидкостных) сред и использовать известные расчетные методы, в которые можно вносить коррективы для соответствия расчетных и экспериментальных данных.

В данной работе для учета осевой теплопроводности в матричном теплообменнике выбрана модель эффективной теплопроводности, в которой теплопроводность

теплообменной пластины, проставки и многокомпонентной оксидной прослойки заменена эффективной теплопроводностью, что позволяет существенно упростить расчет паразитных теплопритоков за счет осевой теплопроводности. Такая модель обобщает накопленный опыт разработки матричных теплообменников при работе на однокомпонентных гомогенных (газовых или жидких) потоках и обеспечивает приемлемую в инженерных расчетах точность.

С учетом того, что процессы теплообмена и особенности гидродинамических режимов течения в теплообменниках криогенных систем, работающих на многокомпонентных рабочих телах, недостаточно изучены, разработана сравнительно простая модель матричного теплообменника, которая позволяет вносить в нее изменения по результатам экспериментальных исследований.

В основе модели лежат следующие положения:

- теплообменная пластина имеет круглые отверстия перфорации;
- потоки низкого и высокого давления чередуются между собой;
- отверстия перфорации в смежных теплообменных пластинах выполнены со смещением;
- теплообменная пластина изготовлена из меди или алюминия;
- потоки рабочего тела в каналах теплообменника рассматривали как гомогенные; термодинамические и теплофизические свойства рабочего тела зависят от температуры и давления;
- процесс теплоотдачи между рабочим телом и теплообменной пластиной описывается конвективной моделью, процессы кипения и конденсации рабочего

тела не рассматривали; режим течения рабочего тела может быть как ламинарным, так и турбулентным;

- гидравлическое сопротивление каналов рассчитывали на базе гомогенных моделей с использованием принятых аппроксимационных зависимостей для ламинарных и турбулентных потоков;
- наличие паразитных теплопритоков, обусловленных осевой теплопроводностью теплообменника, учитывали с помощью модели эффективной теплопроводности.

Для выбранной модели матричного теплообменника разработана

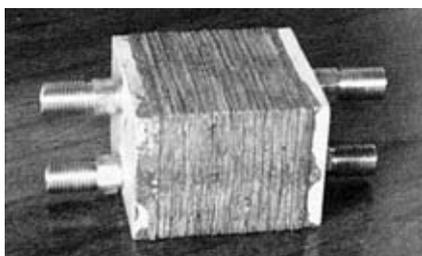


Рис. 1. Матричный теплообменник для криогенной системы на многокомпонентном рабочем теле с холодопроизводительностью 10 Вт

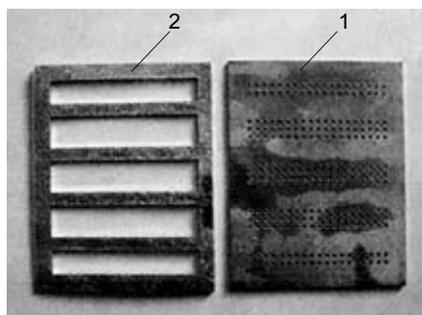


Рис. 2. Теплообменная пластина (1) и дистанционная проставка (2) матричного теплообменника

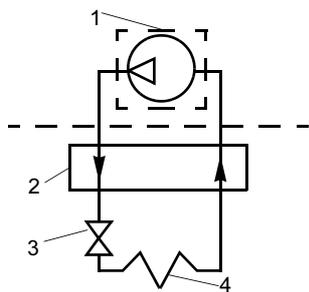


Рис. 3. Принципиальная схема криогенной системы: 1 — компрессорный блок; 2 — рекуперативный теплообменник; 3 — дроссель; 4 — испаритель

программа расчета, реализованная с помощью математического программного продукта Mathcad. В исходных данных программа позволяет задавать геометрические размеры теплообменной пластины, а также вид и размеры ее перфорации.

Программа расчета матричного теплообменника для заданного расхода многокомпонентного рабочего тела, тепловой нагрузки теплообменника и температур потоков, участвующих в теплообмене, позволяет рассчитать необходимую теплообменную поверхность (число пластин) и гидравлические потери давлений потоков.

Адекватность применяемой модели матричного теплообменника проверяли в вариантных расчетах матричных теплообменников, для различных по составу рабочих тел, различных расходов рабочего тела и температур и давлений потоков. Результаты расчетов свидетельствуют о том, что при работе на газовых рабочих средах модель теплообменника в первом приближении удовлетворительно описывает экспериментальные данные испытаний реальных матричных теплообменников. Адекватность модели применительно к многокомпонентным смесям может быть проверена только в процессе экспериментальных исследований.

Выполняли расчет матричного теплообменника для криогенной системы холодопроизводительностью 10 Вт на температурном уровне 80—120 К для следующих исходных данных:

- состав рабочего тела (мол. %): 48 аргона, 19 фреона 14, 10 фреона 23, 10 фреона 218, 13 фреона 31-10;
- расход рабочего тела 0,042 мол/с обеспечивается компрессором с объемной производительностью 3 нм³/ч;
- тепловая нагрузка теплообменника 920 Вт;
- для потока высокого давления температура на входе 295 К, на выходе — 112 К, давление потока 1,4 МПа; для потока низкого давления соответственно 100 и 292 К, 0,2 МПа.

Техническая характеристика матричного теплообменника

Тепловая нагрузка, Вт	920
Размеры теплообменной пластины (длина × ширина × × толщина), мм	49 × 39 × 0,5
Диаметр перфорации, мм	0,8
Число каналов, шт.:	
высокого давления	2
низкого давления	3
Средний коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² · К)	1300
Число пластин (равно числу проставок), шт.	145

По полученным расчетным данным на основе слоистого КМ алюминий—стекло способом диффузионной сварки изготовили матричный теплообменник (рис. 1). На рис. 2 приведены теплообменная пластина и проставка матричного теплообменника. При испытаниях дроссельной системы температура криостатирования равна 100 К, холодопроизводительность — 13 Вт.

Результаты испытаний матричного теплообменника показали, что по своим характеристикам теплообменник превосходит теплообменники типа "труба в трубе", которые широко применяют в настоящее время в криогенных системах небольшой производительности. Испытания проводили на многокомпонентном рабочем теле следующего состава (мольные доли): 0,05 гелия, 0,4 азота, 0,15 метана, 0,15 этана, 0,25 пропана. Теплообменник испытывали в составе оборудования дроссельной рекуперативной системы (рис. 3), работающей по циклу Линде, в основе которой лежит герметичный смазываемый холодильный компрессор с объемной производительностью 2 м³/ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боярский М. Ю., Лунин А. И., Могорычный В. И. Характеристики криогенных систем при работе на смесях / Под ред. В. М. Бродянского. М.: Изд-во МЭИ, 1990. 87 с.
2. Принципы создания композиционных материалов для криогенных теплообменников / О. А. Барабанова, В. И. Могорычный, В. А. Полуин, С. В. Набатчиков // Композиционные материалы в промышленности. Ялта-Киев: УИЦ "Наука, техника, технология", 2006. С. 18—19.

А. С. ЯМНИКОВ, д-р техн. наук, А. А. МАЛИКОВ, канд. техн. наук,
Е. Н. ВАЛИКОВ, д-р техн. наук, А. В. СИДОРКИН, аспирант
Тульский государственный университет

Ресурсосберегающие технологии изготовления цилиндрических зубчатых колес

Одним из перспективных направлений развития технологии машиностроения является использование заготовок, максимально приближенных по форме и размерам к готовой детали. Для заготовок зубчатых колес обычно используют заготовки номинально цилиндрической формы с необходимыми штамповочными или литейными уклонами. Попытки применения заготовок с предварительно оформленными зубьями широкого распространения не получили в основном из-за проблем, возникающих с чистовой зубообработкой. Высокопроизводительные процессы отделочной обработки зубьев обычно улучшают точность зубчатого венца на 1—2 степени, причем это относится к интервалу 10—8 степеней. Формообразование венцов в горячем состоянии заготовки позволяет получать точность на уровне 10—12 степеней, что требует применения получистового зубофрезерования или долбления, а это увеличивает трудоемкость и себестоимость обработки, сводя на нет все преимущества от экономии материала заготовки.

В ТулГУ разработан процесс шевингования-прикатывания для отделочной обработки прямозубых цилиндрических колес¹ [1, 2]. В результате кинематическая точность зубьев колеса увеличивается на 1 степень, а плавность зацепления — до 3 степеней, достигаемых за три-четыре рабочих цикла (оборотов заготовки при сближении с шевром-прикатником) и

один-два выхаживающих циклов обработки.

Процесс шевингования-прикатывания зубчатых венцов исправляет погрешности заготовки в основном за счет срезания припуска, а частично — за счет выдавливания. Поверхность зубьев получается гладкая, чистая. Отлично обрабатываются зубья, полученные резанием (фрезерованием или

долблением). Результаты экспериментов показывают, что удается получать удовлетворительные результаты по точности при обработке заготовок колес, полученных точной штамповкой (горячей или полугорячей).

Статистический анализ точности после чистовой обработки зубьев заготовок, полученных горячей штамповкой, проводили для

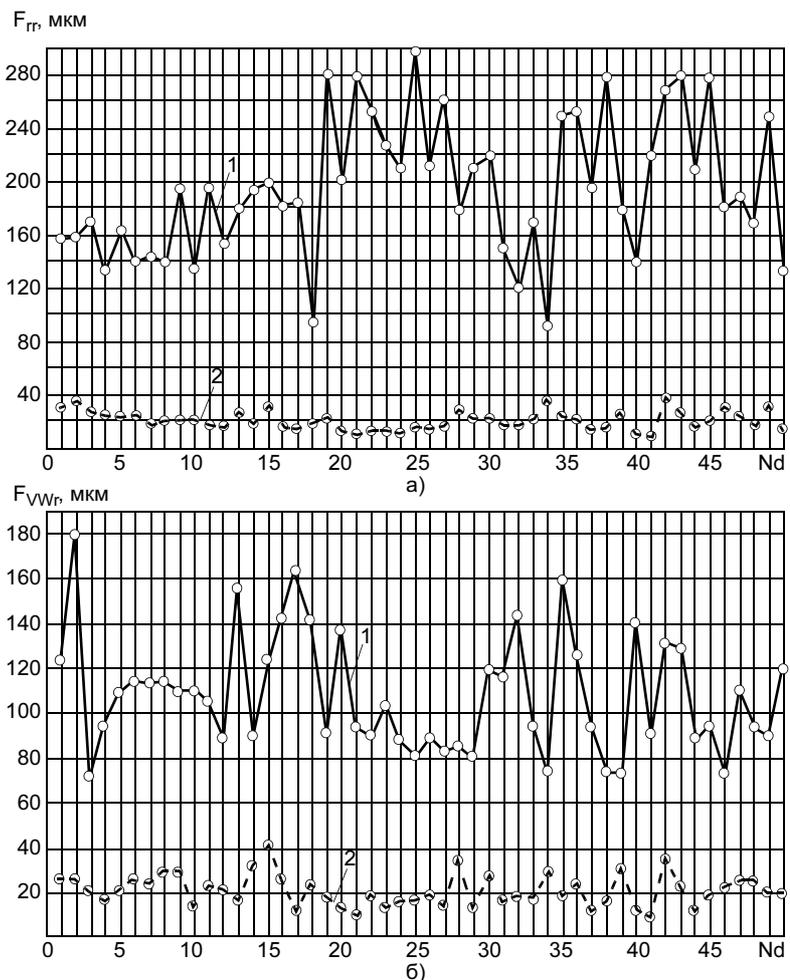


Рис. 1. Точечные диаграммы колебания радиального биения F_{rr} (а) и длины общей нормали F_{VWr} (б): 1, 2 — после штамповки и шевингования-прикатывания соответственно

¹ Патент 2230635, 2314183 (РФ).

партии из 50 шт. Задачей статистического исследования точности являлось выявление достижимой точности шевингования-прикатывания, а также исправляющей способности процесса. Данные об исходной точности заготовок и деталей после заключительной стадии обработки (шевингования-прикатывания) приведены в виде точечных диаграмм на рис. 1.

Обрабатываемая партия состояла из 50 прямозубых цилиндрических колес с модулем 2,5 мм и числом зубьев 37. Обработку выполняли цилиндрическим шевером-прикатником с числом зубьев 51. Шевингование-прикатывание производили на токарном станке (рис. 2) с использованием инструментального блока.

Процесс обработки заключался в совместной обкатке инструмента и заготовки. Шевер-прикатник устанавливался на оправке, закрепленной в трехлапчатом патроне и поддерживаемой задним центром, и вращался с частотой 315 мин⁻¹. Заготовка свободно вращалась на оправке приспособления и находилась в двухпрофильном (беззазорном) зацеплении с инструментом. После совершения инструментом числа оборотов, равного числу зубьев обрабатываемой заготовки, осуществлялось реверсирование. Обработку производили за три рабочих цикла с периодической подачей сближения заготовки и два цикла выхаживания без подачи заготовки. В результате обработки удалялся припуск 0,08—0,12 мм по толщине зуба. Параметр шеро-

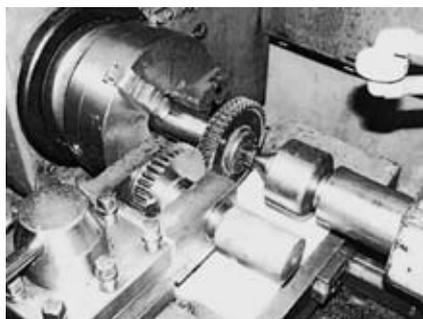


Рис. 2. Зона обработки цилиндрического зубчатого колеса на токарном станке

ховатости штампованных зубьев $Rz = 4,25$ мкм, после шевингования-прикатывания $Rz = 2,36$ мкм, а микротвердость при нагрузке 0,5 Н увеличилась на 16 %, при нагрузке 1 Н — на 7 %.

Колеса измеряли по следующим параметрам: радиальному биению зубчатого колеса F_{rr} ; наибольшему радиальному биению на одном зубе f_{ir}^* ; колебанию длины общей нормали F_{VWr} ; наибольшему колебанию длины общей нормали соседних зубьев f_{VWr}^* ; погрешности шага f_{pr} ; накопленной погрешности шага F_p [3] до и после шевингования-прикатывания.

Выполнен корреляционный анализ, в результате которого установили, что шевингование-прикатывание обладает высокой (на 2-3 степени точности) исправляющей способностью по радиальному биению зубчатого колеса и наибольшему радиальному биению на одном зубе, о чем свидетельствует отсутствие корреляционной связи между параметрами $F_{rrш.пр}$ и $F_{rrшт}$, $f_{irш.пр}$ и $f_{irшт}$.

Штампованные заготовки должны иметь точность зубчатого венца порядка 9-й степени точности. Такую точность могут обеспечить следующие способы получения заготовок.

В Германии запатентован инструмент для изготовления цилиндрических зубчатых колес методом горячей штамповки [4], в соответствии с которым формообразование зубьев цилиндрических колес осуществляется методом торцевой штамповки в штампе (рис. 3).

Штамп имеет пуансон, формирующий один торец изделия, и матрицу, расположенную в нижней половине штампа и выполненную в виде зубчатого кольца. Внутренней поверхности последнего придают форму, соответствующую внешнему периметру будущей шестерни. Посредине зубчатой матрицы помещается цилиндрический вкладыш. Он имеет подвижную посадку в нижнем бойке штампа и под воздействием выталкивателя может подниматься до верхнего

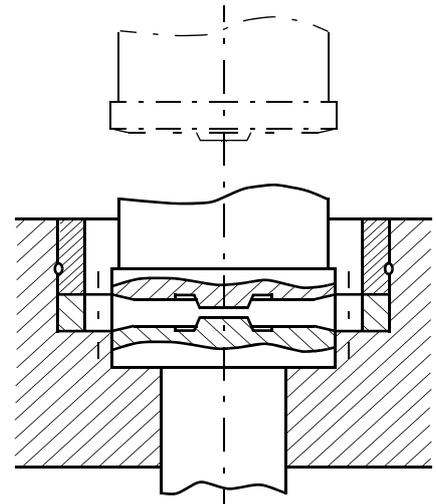


Рис. 3. Схема торцевой штамповки

пояска зубчатой матрицы. Пуансон штампа и вкладыш снабжены коническими кольцеобразными выступами, уклон которых к центру поковки крутой, а в направлении зубчатого венца более пологий. Их назначение — оформлять торцы изделия и способствовать течению металла в радиальных направлениях. Штамп имеет разъем в полости, совпадающий с торцевой поверхностью изделия.

Штамповка осуществляется следующим образом. Нагретая до температурыковки заготовка укладывается в гнездо нижней половины штампа и подвергается осадке. Сначала в тело заготовки внедряются выступы, расположенные на оси штампа, и формируется отверстие поковки. Затем по мере опускания пуансона в заготовку внедряются кольцевые выступы. При сближении верхней и нижней половин штампа кольцевые выступы образуют сужения на пути материала, текущего в радиальных направлениях, в результате возрастает скорость и, соответственно, кинетическая энергия перемещения металла в радиальном направлении.

Такая форма поверхностей вкладышей, формирующих ступичную часть шестерни, позволяет ускорять течение металла в направлении зубчатого венца, что обеспечивает более полное заполнение

гравюры матрицы. При этом обеспечивается хорошее воспроизведение ее профиля и получение поковки с высокой точностью зубьев. Сразу же после завершения формообразования поковка с помощью выталкивателя удаляется из штампа. Согласно данным работы [4], в штампе подобной конструкции можно получить зубчатые колеса, не требующие дальнейшей механической обработки зубьев.

Наиболее прогрессивным является метод получения заготовок зубчатых колес пластической деформацией при комбинировании известных способов.

На рис. 4 приведена схема штампа для комбинированного выдавливания с разъемными матрицами [4]. В раскрытом положении штампа (см. рис. 4, а) в нижнюю полуматрицу 4 укладывается заготовка. При движении ползуна вниз смыкаются верхняя 2 и нижняя 4 полуматрицы. Штмп запирается поворотом кулачков 1. При дальнейшем ходе ползуна осуществляется деформация заготовки под

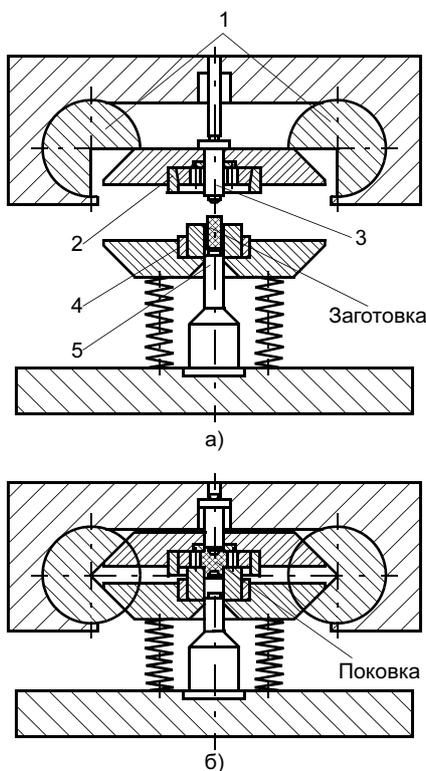


Рис. 4. Установка заготовки в штамп (а) и штамп в рабочем состоянии (б)

воздействием пуансонов 3 и 5. Во время деформации металл течет в направлении движения пуансонов (прямое выдавливание), противоположном движению пуансонов (обратное выдавливание) и перпендикулярном движению пуансонов (боковое или радиальное истечение).

Схема комбинированного выдавливания имеет следующие преимущества:

- характер истечения (прямое, обратное и радиальное) обуславливает хорошее заполнение полости матрицы при минимальных усилиях деформации. При таком характере истечения полностью исключаются дефекты, свойственные зубонакатыванию (плены, трещины, заусенцы, риски на профильной поверхности зубьев, незаполнение зубьев по всей длине зубчатого венца, искажение числа зубьев), которые связаны с особенностями течения металла при накатывании;
- штамповка производится в закрытом объеме, поэтому можно получать поковки без штамповочных уклонов и отхода металла в облой;
- разъемная конструкция матрицы позволяет получить форму поковки, максимально приближающуюся к форме готовой детали;
- применение универсального оборудования позволяет внедрить штамповку цилиндрических зубчатых колес без дополнительных капитальных вложений при минимальных затратах на технологическую оснастку.

Наряду с возможностью увеличения срока службы колес, имеющих штампованные зубья, данные преимущества определили выбор способа получения заготовок цилиндрических колес — штамповкой в штампах для комбинированного выдавливания с разъемными матрицами.

Отмечая прогрессивность описанных способов получения штампованных заготовок зубчатых ко-

лес, можно констатировать, что они неприемлемы для получения заготовок со сформированными круговыми зубьями вследствие невозможности их выталкивания из матрицы в осевом направлении. Это существенное ограничение не позволяет достичь эффективности и простоты конструкции штамповочной оснастки. При попытке реализовать возможность "раскрытия" пресс-формы в радиальном направлении по каждому зубу обрабатываемого колеса сложность конструкции, трудоемкость изготовления и себестоимость возрастают многократно при существенном снижении надежности и срока службы. Следовательно, способы получения штамповкой заготовок цилиндрических колес с круговыми зубьями являются малоэффективными и практического распространения не получили.

В нашей стране и за рубежом разрабатывали методы накатки зубчатых венцов [5]. Однако широкого промышленного применения они не получили. Это связано с тем, что необходимо путем горячей пластической деформации металла получать зубья такой высокой степени точности, которая достигается обычно обработкой резанием.

Одной из немаловажных проблем является отсутствие широкой номенклатуры прокатного оборудования и оснастки, обладающих высокой точностью. Для реализации рассматриваемого способа производства зубчатых колес зачастую приходится переоборудовать существующие универсальные металлорежущие станки в прокатные станы, использовать имеющуюся на производстве оснастку. Это также не способствует повышению точности накатываемых колес. Полученным в таких условиях заготовкам требуется дальнейшая обработка резанием: зубошлифование или точное зубофрезерование резцовыми головками. При этом время, затрачиваемое на весь процесс производства зубча-

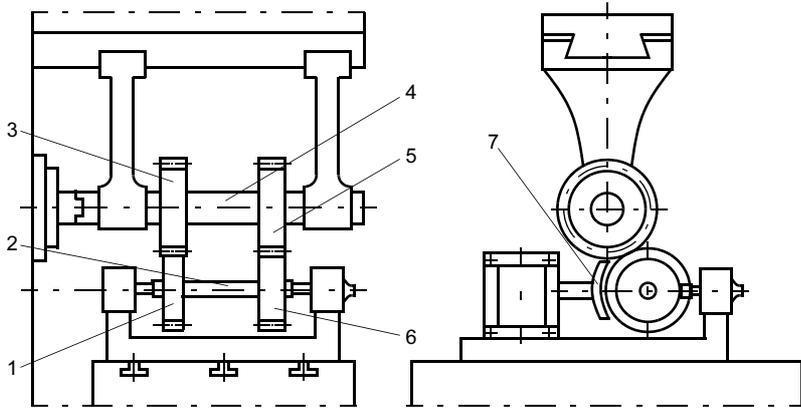


Рис. 5. Стан для накатки колеса с круговыми зубьями на базе горизонтально-фрезерного станка 6М80

того колеса, сопоставимо с тем, которое требуется для получения его только обработкой резанием. И основное преимущество получения предварительно сформированных зубьев методом пластической деформации — существенное сокращение времени производственного цикла — сводится на нет. Поэтому принципиально важно рассматривать методы получения заготовок и чистовой обработки зубьев неотрывно друг от друга. При решении данной задачи безусловно требуется нестандартный подход.

В настоящее время в ТулГУ разрабатывается метод накатывания цилиндрических колес с круговыми зубьями с последующей чистовой обработкой шевингованием-прикатыванием. Используется

конструкция стана [5], которая базируется на применении доработанного горизонтально-фрезерного станка типа 6М80.

Схема процесса накатывания приведена на рис. 5. Закаленный накатник устанавливается на оправку, закрепленную в шпинделе станка и отверстию серьги. Нагрев заготовки осуществляется с помощью индуктора. Обрабатываемая заготовка 1 закрепляется на валу 2, а накатник 3 — на валу 4. На концах валов насажены делительные шестерни 5 и 6, обеспечивающие передачу транспортного движения заготовке. Внедрение зубьев накатника в нагретую высокочастотным индуктором 7 заготовку осуществляется при поступательном движении стола стана.

Результаты экспериментов прокатки небольшой партии шестерен показали, что при невысокой точности получившихся заготовок исправляющие способности разработанного метода шевингования-прикатывания сопоставимы с результатами, полученными для прямозубых цилиндрических колес.

Таким образом, в результате теоретических и экспериментальных исследований установлено, что ресурсосберегающие технологии изготовления цилиндрических зубчатых колес могут быть предложены для реализации их на практике в условиях современного серийного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валиков Е. Н., Стаханов Н. Г., Белякова В. А. Определение припуска по толщине зуба при шевинговании-прикатывании цилиндрических колес // Изв. ТулГУ. Сер. Инструментальные и метрологические системы. Тула: ТулГУ, 2004. Вып. 1. Ч. 2. — С. 5—10.
2. Деформирующее шевингование зубчатых колес / Е. Н. Валиков, И. А. Коганов, А. С. Ямников и др. // СТН. 2002. № 3. С. 13—16.
3. Марков А. Л. Измерение зубчатых колес. 4-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1977. 240 с.
4. Коганов И. А., Федоров Ю. Н., Валиков Е. Н. Прогрессивные методы изготовления цилиндрических зубчатых колес. — М.: Машиностроение, 1977. — 240 с.
5. Изготовление цилиндрических зубчатых колес прокаткой / В. В. Половников, П. Ф. Филиппов, В. А. Бодажков, Г. Г. Семibrатов / Под ред. В. С. Смирнова. Л.: Машгиз, 1961. 186 с.

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

Классификация схем фрезоточения некруглых профилей

Согласно классификации схем фрезоточения резьбы [1] выявлены восемь основных схем обработки наружных поверхностей, которые могут быть использованы для фрезоточения некруглых профилей (табл. 1). В этой классификации рассмотрены схемы фрезоточения при одинаковой частоте вращения детали и инструмента, при этом соотношение диаметров детали и инструмента и число зубьев фрезы не учитывали.

При фрезоточении многогранников угловые скорости вращения детали и инструмента могут быть не равными, а кратными, соотношения диаметров детали и инструмента и число зубьев фрезы могут быть различными. Все это влияет на вид траектории относительного движения режущей кромки зуба фрезы и, следовательно, форму некруглого профиля.

Цель данной работы — разработка новой классификации схем фрезоточения некруглых профилей,

основными признаками которой являются вид касания детали и фрезы, виды главных движений, их направление, соотношение угловых скоростей и диаметров детали и инструмента, число зубьев фрезы.

Для выявления всех возможных вариантов схем фрезоточения построены две обобщенные модели.

На рис. 1, а приведена модель № 1 фрезоточения наружных поверхностей с внешним касанием детали и инструмента. Она включает возможные варианты схем 1.1; 2.1; 3.1; 4.1 (см. табл. 1). На рис. 1, б приведена обобщенная модель № 2 фрезоточения наружных поверхностей с внутренним касанием детали и охватывающего инструмента. Она включает возможные варианты схем 1.2; 2.2; 3.2; 4.2.

В табл. 2 приведены условия реализации возможных вариантов схем фрезоточения.

Таблица 1

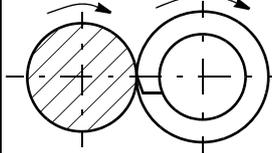
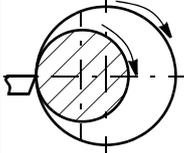
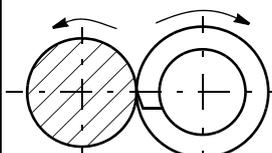
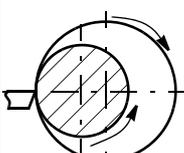
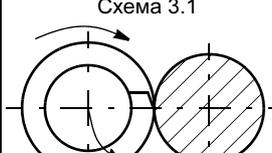
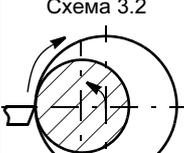
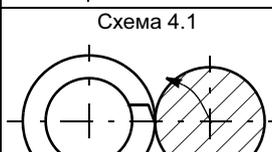
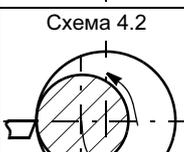
Вид главного движения	Внешнее касание	Внутреннее касание
Два вращательных движения в одну сторону	Схема 1.1 	Схема 1.2 
Два вращательных движения в разные стороны	Схема 2.1 	Схема 2.2 
Планетарное движение инструмента по контуру детали	Схема 3.1 	Схема 3.2 
Планетарное движение детали по контуру инструмента	Схема 4.1 	Схема 4.2 

Таблица 2

Номер схемы	Номер варианта	Условие реализации
1.1; 1.2 2.1; 2.2	1	$\omega_{1д}/\omega_{1и} = K; \omega_{2д} = 0; \omega_{2и} = 0$ $\omega_{1д}/\omega_{1и} = -K; \omega_{2д} = 0; \omega_{2и} = 0$
3.1; 3.2	1	$\omega_{2и} \neq 0; \omega_{2д} = 0; \omega_{1д} = 0; \omega_{1и} = 0$
	2	$\omega_{1и}/\omega_{2и} = K; \omega_{2д} = 0; \omega_{1д} = 0$
	3	$\omega_{1и}/\omega_{2и} = -K; \omega_{2д} = 0; \omega_{1д} = 0$
4.1; 4.2	1	$\omega_{2д} \neq 0; \omega_{1д} = 0; \omega_{1и} = 0; \omega_{2и} = 0$
	2	$\omega_{1д}/\omega_{2д} = K; \omega_{2и} = 0; \omega_{1и} = 0$
	3	$\omega_{1д}/\omega_{2д} = -K; \omega_{2и} = 0; \omega_{1и} = 0$

Процесс формообразования некруглых профилей фрезоточением исследовали с помощью метода графического моделирования [2]. Суть его заключается в том, что процесс обработки имитируют вращением графических изображений детали и инструмента в соответствии с выбранной схемой обработки. В результате определяют траектории относительного движения режущих кромок зубьев фрезы и профиль детали в рассматриваемом сечении.

Данный метод является простым и наглядным, с его помощью, не прибегая к дорогостоящему эксперименту, можно быстро определить профиль обработанной поверхности для любой схемы фрезоточения.

В процессе исследований построены более 60 графических моделей основных вариантов схем фрезоточения наружных поверхностей. На рис. 2 приведе-

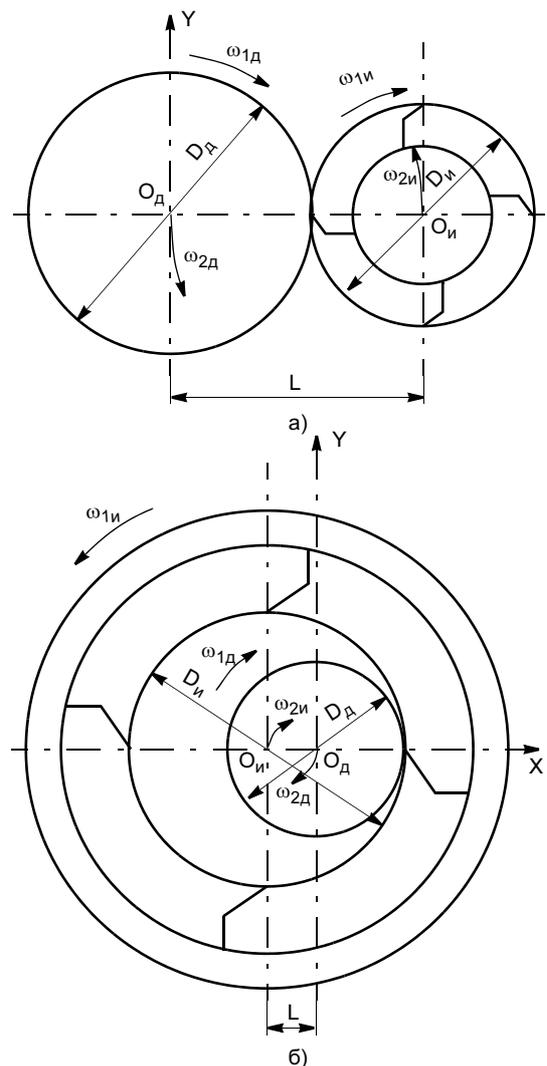


Рис. 1. Обобщенные модели фрезоточения № 1 (а) и № 2 (б) ($D_д, D_и$ — диаметр детали и инструмента, L — межцентровое расстояние, $\omega_{1д}$ — угловая скорость вращения детали вокруг своей оси, $\omega_{1и}$ — то же, инструмента вокруг своей оси, $\omega_{2д}$ — то же, центра детали вокруг центра инструмента, $\omega_{2и}$ — то же, центра инструмента вокруг центра детали)

на графическая модель одной из схем фрезоточения вала некруглого профиля. Анализ данных моделей с учетом применения той или иной схемы для получения заданного профиля позволил составить классификацию схем фрезоточения некруглых профилей, приведенную в табл. 3.

Для формализации условий реализации схем обработки разработали систему кодирования. Код состоит из набора цифр и символов. Первые две цифры кода указывают номер схемы по табл. 1, причем первая цифра обозначает вид движений, вторая — вид касания детали и инструмента (наружное, внутреннее). Далее следует шифр условий реализации данной схемы (см. табл. 2) (K — отношение угловых скоростей детали и инструмента; если направления вращения детали и инструмента совпадают, то значение K имеет знак "плюс", если не совпадают — знак "минус"; m — отношение диаметров детали инструмента; Z — число зубьев фрезы).

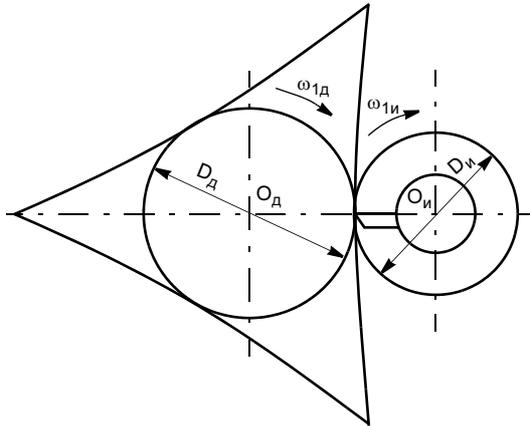


Рис. 2. Схема фрезоточения 1,1K + 1/3m1,6Z1

Таблица 3

Профиль торцевого сечения	Число граней	Схема фрезоточения
	1	1.1 $K \geq 1 m \leq 1 Z1$ 3.1 $K 0 m \leq 1 Z1$ 4.1 $K 0 m \leq 1 Z1$
	2	1.1 $K \geq 1 m \leq 1 Z2$ 1.1 $K + 1/2 m \leq 1 Z1$ 3.1 $K 0 m \leq 1 Z2$ 3.1 $K - 1 m \leq 1 Z1$ 4.1 $K 0 m \leq 1 Z2$ 1.2 $K + 1/2 m < 1 Z1$ 3.2 $K - 1 m < 1 Z1$ 3.2 $K + 3 m < 1 Z1$
	3 (выпуклые)	1.1 $K \geq 1 m \leq 1 Z3$ 3.1 $K 0 m \leq 1 Z3$ 4.1 $K 0 m \leq 1 Z3$ 1.2 $K + 1/3 m < 1 Z1$ 2.2 $K - 1/3 m < 1 Z1$ 3.2 $K - 2 m < 1 Z1$

Продолжение таблицы

Профиль торцевого сечения	Число граней	Схема фрезоточения
	3 (вогнутые)	1.1 $K + 1/3 m \leq 1 Z1$ 3.1 $K - 1/2 m \leq 1 Z1$ 4.1 $K - 1/2 m \leq 1 Z1$
	4 (выпуклые)	1.1 $K \geq 1 m \leq 1 Z4$ 3.1 $K 0 m \leq 1 Z4$ 4.1 $K 0 m \leq 1 Z4$ 4.2 $K + 1 m < 1 Z4$ 3.1 $K - 1 m \leq 1 Z2$ 1.1 $K + 1/2 m \leq 1 Z2$ 1.1 $K + 1/4 m \leq 1 Z1$ 3.1 $K - 1 m \leq 1 Z2$ 1.2 $K + 1/2 m < 1 Z2$ 1.2 $K + 1/4 m < 1 Z1$ 3.2 $K - 1 m < 1 Z2$
	4 (вогнутые)	1.1 $K + 1/4 m \leq 1 Z1$ 3.1 $K - 1/3 m \leq 1 Z1$ 4.1 $K - 1/3 m \leq 1 Z1$
	5 (выпуклые)	1.1 $K \geq 1 m \leq 1 Z5$ 3.1 $K 0 m \leq 1 Z5$ 4.1 $K 0 m \leq 1 Z5$ 4.2 $K 0 m \leq 1 Z5$ 1.2 $K + 1/5 m < 1 Z1$ 2.2 $K - 1/5 m < 1 Z1$ 3.2 $K - 4 m < 1 Z1$
	5 (вогнутые)	1.1 $K + 1/5 m \leq 1 Z1$ 3.1 $K - 1/4 m \leq 1 Z1$ 4.1 $K - 1/4 m \leq 1 Z1$
	6 (выпуклые)	1.1 $K \geq 1 m \leq 1 Z6$ 1.1 $K 0 m \leq 1 Z6$ 4.1 $K 0 m \leq 1 Z6$ 1.2 $K + 1/3 m < 1 Z2$ 2.2 $K - 1/3 m < 1 Z2$ 3.2 $K - 2 m < 1 Z2$ 1.1 $K + 1/2 m \leq 1 Z3$ 3.1 $K - 1 m \leq 1 Z3$ 1.2 $K + 1/2 m < 1 Z3$ 3.2 $K - 1 m < 1 Z3$ 3.2 $K + 3 m < 1 Z3$ 1.2 $K + 1/6 m < 1 Z1$ 2.2 $K - 1/3 m < 1 Z2$ 3.2 $K - 5 m < 1 Z1$
	6 (вогнутые)	1.1 $K + 1/3 m \leq 1 Z2$ 3.1 $K - 1/2 m \leq 1 Z2$ 4.1 $K - 1/2 m \leq 1 Z2$ 1.1 $K + 1/6 m \leq 1 Z1$ 3.1 $K - 1/5 m \leq 1 Z1$ 4.1 $K - 1/5 m \leq 1 Z1$

Пример. Код схемы 1.1K+1/3m1,6Z1 означает, что схема фрезоточения 1.1 (см. табл. 1), при которой $\omega_{2д} = 0$, $\omega_{2и} = 0$ (см. рис. 1, табл. 2); деталь и инструмент вращаются в одну сторону, отношения угловых скоростей их вращения $K = +1/3$, т. е. $\omega_{1д}/\omega_{1и} = +1/3$ (см. рис. 1, табл. 2); отношение диаметров детали и фрезы $m = 1,6$; число зубьев фрезы $Z = 1$ (см. рис. 2).

В результате проведенных исследований разработаны классификация схем фрезоточения некруг-

лых профилей и система кодирования вариантов схем и условий их реализации для получения заданного профиля торцевого сечения детали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов В. Н. Технологические возможности процесса фрезоточения // Автоматизация и современные технологии. 1999. № 3. С. 14—17.
2. Воронов В. Н., Бекасов Д. Л. Графическое моделирование схем фрезоточения // Материалы XVIII научно-техн. конф. КГТА. Ковров: КГТА, 1997.

Н. Н. ЗУБКОВ, д-р техн. наук, А. В. ЛОМАКИН, аспирант
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Получение гранных отверстий методом качающейся прошивки

В общем и специальном машиностроении применяют детали, имеющие гранные отверстия: крепежные детали, ключи к ним; в головках винтов и ключах выполняют трех-, четырех-, шестигранные и звездчатые отверстия. В крупносерийном и массовом производстве используют методы обработки давлением: прошивание, высадку, обсадку наружного диаметра на оправке. В мелкосерийном производстве и при широкой номенклатуре крепежных изделий применение этих способов экономически неоправдано. Например, на заводе экспериментального машиностроения РКК "Энергия" применяют электроэрозионную обработку фасонным электродом и прошивание на прессах. Оба метода требуют специализированного оборудования.

В данной работе предлагаются альтернативные способы получения гранных отверстий на широко применяемых металлорежущих станках на основе лезвийных методов обработки, в частности прошивания качающейся прошивкой, также инструментом, использующим свойства фигур равной ширины, и расточки по копиру.

Расточка по копиру основана на придании инструменту возвратно-поступательного радиального перемещения от копира при его вращении и движении вдоль оси. Также

могут использоваться специальные кинематические механизмы.

К недостаткам данного метода можно отнести принципиальную трудность получения острых углов гранных отверстий и необходимость применения достаточно сложных приспособлений.

Получение гранных отверстий инструментом, использующим свойства фигур равной ширины (рис. 1) [1], — это интенсификация огранки отверстия при нежестком закреплении инструмента или детали, когда число граней получаемых отверстий всегда на единицу больше числа граней инструмента. Если центру вращения инструмента с определенной траекторией движения, то возможно получение отверстий с правильной огранкой. Основными недостатками данного метода являются принципиальная невозможность полу-

чения острых углов для квадратных отверстий и необходимость использования накладных шаблонов для придания центру вращения инструмента необходимой траектории вращения.

По мнению авторов, наиболее перспективным методом механической обработки при получении гранных отверстий является метод прошивания качающейся прошивкой (КП). Упоминания о данном методе обработки приведены в работах [2, 3]. Патентный обзор отечественных и зарубежных изобретений не выявил конструкций инструмента и приспособлений, реализующих данный метод, а также исследований процесса КП.

Суть метода КП заключается в дополнительном придании прошивке качающегося движения. В этом случае ось инструмента описывает конус (рис. 2, а), исключается одновременная работа всего периметра режущих кромок прошивки, что позволяет предположить существенное снижение осевого усилия по сравнению с обычным прошиванием. Снижение усилия необходимо для реализации метода прошивания не только на прессах, но и на обычном металлорежущем оборудовании. Принципиально возможно использование двух кинематических схем реализации данного метода.

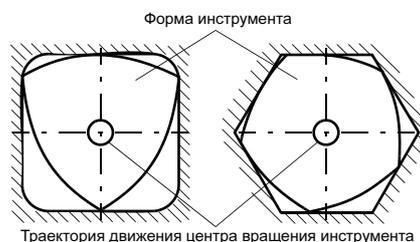


Рис. 1. Получение гранных отверстий инструментом, использующим свойства фигур равной ширины

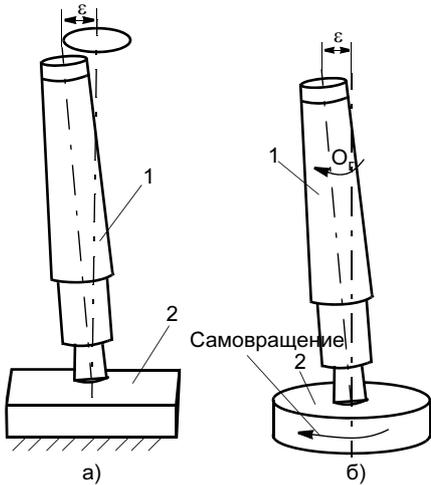


Рис. 2. Кинематические схемы реализации метода КП: 1 — инструмент; 2 — заготовка

Первая схема (см. рис. 2, а) — это придание непосредственно качательного движения инструменту, вторая (рис. 2, б) — основана на синхронном вращении инструмента и заготовки при отклонении оси инструмента и оси отверстия на угол качания. Синхронность вращения целесообразно обеспечивать самовращением детали или инструмента от сил прошивания.

Для токарных станков авторы предлагают три варианта реализации кинематической схемы относительно качательного движения (см. рис. 2, б), а именно: смещением заднего центра (рис. 3, а), поворотом его (рис. 3, б) и поворотом верхней каретки суппорта (рис. 3, в). Техническая реализация придания инструменту непосредственно качательного движения (см. рис. 2, а) на токарных станках трудно осуществима.

Для фрезерных станков применимы оба варианта как непосредственного, так и относительного качательного движения, для сверлильных станков, не имеющих возможности поворота шпинделя относительно оси отверстия, — приданием непосредственно качательного движения прошивки (см. рис. 2, а).

Для проверки гипотезы о возможности использования метода КП на обычном металлорежущем оборудовании проводили экспериментальные исследования с целью определения зависимостей осевого усилия прошивания от техно-

логических параметров обработки при прошивании гранных отверстий.

Инструмент для проведения экспериментов спроектирован и изготовлен на базе концевой быстрорежущей фрезы из быстрорежущей стали Р6М5 (рис. 4).

Для получения шестигранных отверстий методом КП выбрали кинематическую схему, реализуемую на фрезерном станке поворотом шпинделя. Выбор данной кинематической схемы обусловлен возможностью варьирования в широком диапазоне одним из основных технологических параметров обработки — углом качания инструмента. Экспериментальная установка на базе вертикально-фрезерного станка 2Р22 и динамометра УДМ 600 приведена на рис. 5. Для реализации данной кинематической схемы спроектировано и изготовлено приспособление, обеспечивающее возможность закрепления заготовки в динамометре при ее свободном вращении (рис. 6).

Предварительная оценка метода КП подтвердила возможность получения сквозных и глу-

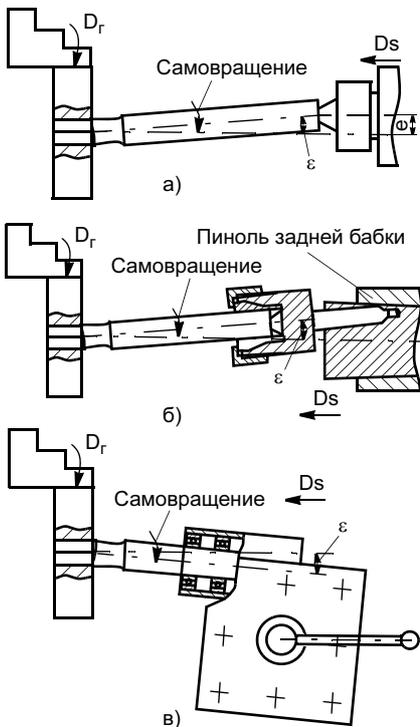


Рис. 3. Кинематические схемы реализации метода КП на токарном станке

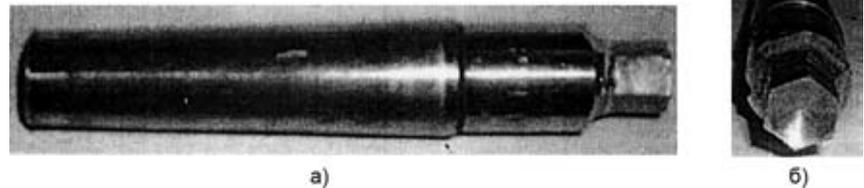


Рис. 4. Качающаяся прошивка: а — вид сбоку; б — вид спереди

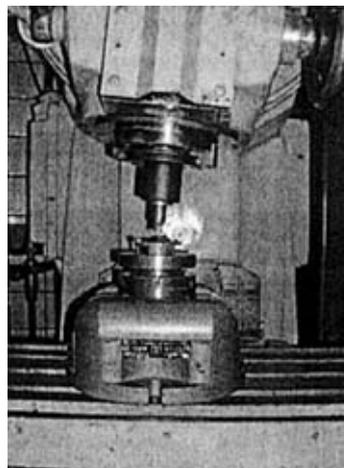


Рис. 5. Экспериментальная установка

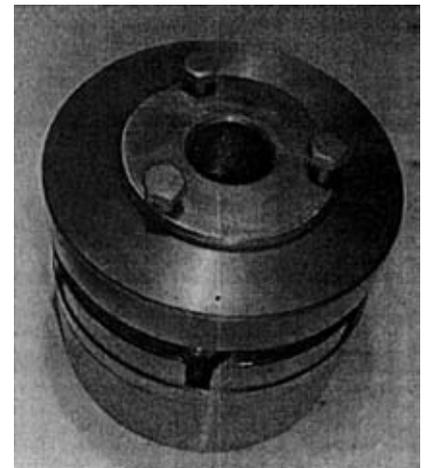


Рис. 6. Приспособление, обеспечивающее закрепление и самовращение заготовки

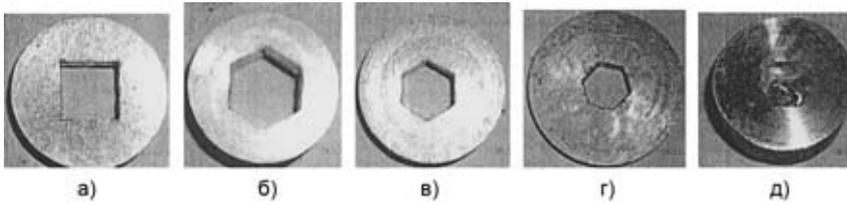


Рис. 7. Образцы отверстий, полученных методом КП: а — квадратной формы с размером под ключ 12 мм; б, в — шестигранной формы с размером под ключ 14 и 10 мм соответственно, г — шестигранной формы в заготовке из стали 45; д — глухое отверстие шестигранной формы с размером под ключ 10 мм

хих отверстий различной формы и размеров (рис. 7).

Для исследования влияния технологических и геометрических параметров инструмента на процесс обработки гранных отверстий методом КП выбран сплав Д16Т. Использование заготовок из стали в экспериментальных исследова-

ниях не позволяет варьировать технологические параметры обработки в широких диапазонах, поскольку при некоторых их сочетаниях осевая сила значительно превышает допустимое усилие (6000 Н) для динамометра УДМ 600. Оптимальные параметры режима при обработке сплава Д16Т являются основными для дальнейшей оптимизации технологических параметров при обработке конструкционных и коррозионно-стойких сталей.

При проведении экспериментов обрабатывали сквозное шестигранное отверстие с размером под ключ 10 мм и длиной 8 мм (рис. 7, в). Диаметр предварительного отверстия составлял 9,5 мм. Изменяли следующие параметры обработки: угол качания прошивки ε — в диапазоне от нуля до 2,0° с интервалом в 0,5°; вертикальную подачу стола станка $S_{\text{мин}}$ — в диапазоне от 25 до 630 мм/мин. Скорость обработки v во всех экспериментах, кроме определения зависимости осевого усилия P_0 от скорости обработки, составляла 4,51 м/мин. При построении зависимости $P_0 = f(v)$ скорость резания варьировали в диапазоне от 1,44 до 36,1 м/мин. Все проведенные эксперименты являются однофакторными.

Исследование зависимости осевого усилия прошивания P_0 от подачи $S_{\text{мин}}$ (рис. 8, а) показало, что осевое усилие возрастает до подачи $S_{\text{мин}} \approx 213$ мм/мин и затем не изменяется. При превышении данного значения $S_{\text{мин}}$ P_0 практически равно усилию прошивания без качания. При проведении данного эксперимента с углом качания

$\varepsilon \approx 1^\circ$ зафиксировано максимальное снижение осевого усилия в 3,3 раза по сравнению с прошиванием без качания.

При определении зависимости осевого усилия прошивания от угла качания прошивки эксперимент проводили при трех значениях подачи: 25 (3), 80 (4) и 160 (6) мм/мин (рис. 8, б). С увеличением ε и уменьшением $S_{\text{мин}}$ P_0 уменьшается. Зафиксировано тридцатикратное снижение осевого усилия при придании прошивке качания с углом 1,5—2°.

Исследовали также зависимость осевого усилия P_0 от скорости резания v (рис. 8, в). Для проведения однофакторного эксперимента необходимо выполнение условия неизменности подачи на оборот инструмента. Для этого величину оборотов шпинделя и вертикальной подачи стола станка подбирали таким образом, чтобы подача на оборот инструмента оставалась неизменной и составляла $S_0 \approx 0,64$ мм/об. При увеличении v P_0 незначительно снижается, что соответствует общим положениям теории резания.

ВЫВОДЫ

1. Доказана возможность снижения осевых усилий прошивания до 30 раз по сравнению с прошиванием без качательного движения, что позволяет использовать метод качающейся прошивки на обычном металлорежущем оборудовании при синхронном вращении установленных под углом друг к другу прошивки и детали.

2. Превышение предельных значений подачи не обеспечивает эффекта снижения усилий от качательного движения прошивки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://www.cut-the-knot.org/ctk/Barbier.shtml>.
2. Белецкий Д. Г., Моисеев В. Г., Шеметов М. Г. Справочник токаря-универсала / Под ред. М. Г. Шеметова. М.: Машиностроение, 1987. 560 с.
3. Справочник металлста. В 5 т. / Под ред. А. Н. Маслова. М.: Машгиз, 1961. Т. 5. 302 с.

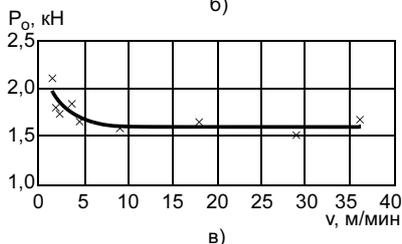
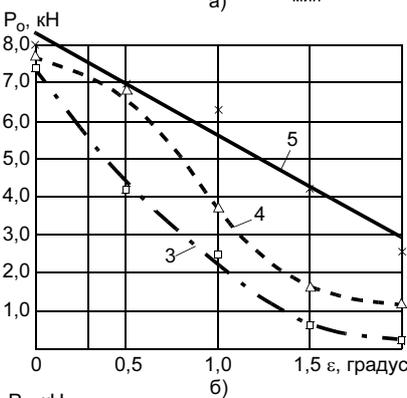
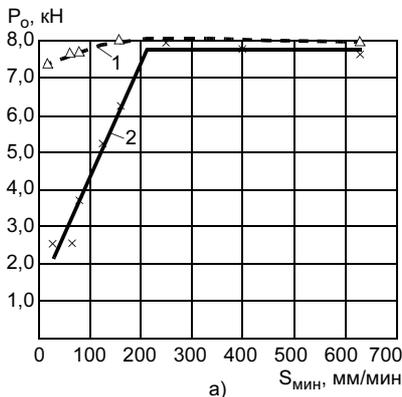


Рис. 8. Зависимость осевого усилия от подачи (1 — $\varepsilon = 0$; 2 — $\varepsilon = 10^\circ$) (а), угла качания прошивки (б) и скорости резания (в)

Н. С. ЗУБКОВ, д-р техн. наук, А. А. ЗОЛОТОВ, инж.
Тверской государственный технический университет

Технологическая прочность наплавленной быстрорежущей стали с повышенным содержанием серы

Опыт эксплуатации инструментов для холодной обработки давлением показывает, что одной из основных причин выхода инструмента из строя является изнашивание рабочих поверхностей матрицы и пуансона [1]. Для повышения стойкости инструмента рабочие детали штампов подвергают упрочнению: местной закалке, наплавке более твердого слоя, химико-термической обработке, вакуумному ионно-плазменному нанесению карбидов и нитридов тугоплавких металлов, поверхностному упрочнению режущих кромок с помощью лазера и др.

В условиях работы современных координато-револьверных прессов производительностью до 1200 мин^{-1} , когда разогрев режущих кромок достигает около $500 \text{ }^\circ\text{C}$, преобладает адгезионный износ [2].

Для снижения последнего используют смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС), обеспечивающие создание в зоне контакта пленок с пониженным сдвиговым сопротивлением. В процесс схватывания-сваривания не вовлекаются непосредственно инструмент и обрабатываемый металл. Каждый из них адгезионно связывается пленкой, которая вследствие низкого сдвигового сопротивления легко разрушается, предупреждая изнашивание инструмента. Однако из-за наличия значительных давлений и высоких температур в зоне контакта СОТС не всегда обеспечивают достаточно надежное образование пленок.

Другим способом повышения износостойкости штампового инструмента в условиях, когда жидкие смазки оказываются неэффективными, является применение твердых смазочных материалов (ТСМ). В качестве ТСМ применяют вещества, имеющие слоистую структуру (графит, дихалькогениды и диселениды тугоплавких металлов и др.), плоские пленки мягких металлов, их солей или оксидов, химические соединения, образованные непосредственно на поверхностях трения, полимеры и другие органические твердые смазки.

Для снижения адгезионного износа штамповых сталей авторы разработали состав шихты порошковой проволоки [3], при наплавке которой состав наплавленного металла приближен к составу быстро-

режущей стали Р9М4К8 (ГОСТ 19265—73), дополнительно легированной серой. При этом формируются наплавленные слои с мелкодисперсными равномерно распределенными сульфидами глобулярной формы (твердой смазкой). Последние выступают в роли "масленок", смазывающих поверхность наплавленного инструмента при его контакте с обрабатываемой сталью.

Однако сера является вредной примесью, так как, образуя легкоплавкие эвтектики, расширяет температурный интервал хрупкости (ТИХ) и тем самым повышает склонность наплавленного металла к образованию горячих трещин при наплавке, что приводит к снижению его технологической прочности.

В составе шихты разработанной порошковой проволоки присутствуют легирующие элементы (Mo, V, Cr), связывающие серу в тугоплавкие соединения и уменьшающие количество легкоплавких эвтектик, что должно сохранять технологическую прочность наплавленного металла.

В данной работе исследовали технологическую прочность направленной быстрорежущей стали с повышенным содержанием серы при наплавке рабочих частей разделительных штампов.

Исходя из анализа механических характеристик углеродистых конструкционных и низколегированных сталей в качестве основного металла для производства заготовок матриц и пуансонов применяли низколегированные стали 30ХГСА, 35ХГСА, 30ХМ и др. (ГОСТ 4543—71). Поскольку эти стали имеют ограниченную свариваемость, рекомендуется проведение подогрева и последующей термической обработки.

Для обеспечения оптимальных механических свойств заготовки матриц (пуансонов) в ряде случаев подвергают термической обработке — закалка + отпуск при различной температуре (от 200 до $560 \text{ }^\circ\text{C}$).

Для получения наплавленного металла в закаленном состоянии и исключения образования трещин наплавливали малые объемы металла при отсутствии или низком предварительном подогреве на режимах, обеспечивающих необходимый термический цикл. Наплавку режущих кромок матриц и пуансонов

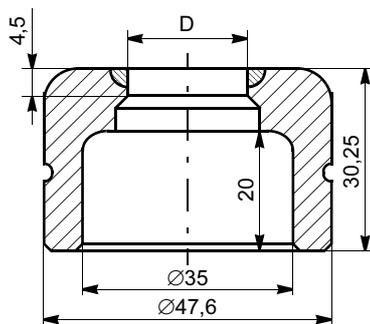


Рис. 1. Матрица с наплавленными режущими кромками

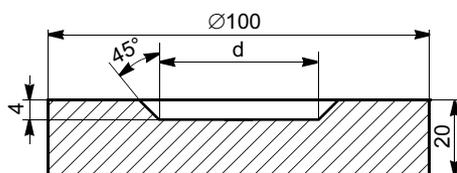


Рис. 2. Эскиз круговой пробы под наплавку

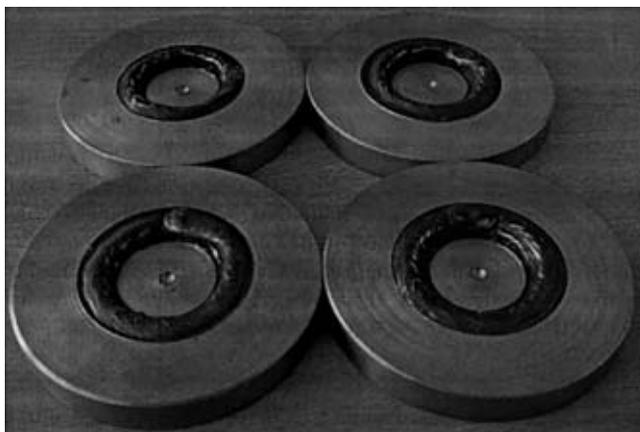


Рис. 3. Круговая проба после наплавки

выполняли по замкнутому контуру, что увеличивает жесткость наплавленной конструкции, которая влияет на деформационную способность наплавленного металла в области ТИХ вследствие общих деформаций всего изделия при местном нагреве сварочным источником теплоты.

Для оценки склонности металла швов к образованию горячих трещин применяют ряд проб и методик [4]. Технологические пробы основаны главным образом на определении сравнительных характеристик по сопротивляемости металла швов образованию кристаллизационных трещин, полученных при наплавке различными сварочными материалами в сопоставимых условиях (размеры и формы образца, режимы сварки и др.).

Количественные методики основаны на получении при испытаниях сравнительных численных показателей стойкости (или склонности) металла швов про-

тив образования горячих трещин. При проведении испытаний получают численный показатель стойкости, обычно скорости дополнительного принудительного деформирования свариваемого образца в период кристаллизации определенного участка сварочной ванны и последующего охлаждения.

Применительно к наплавке матриц с рабочим диаметром $D = 18 \div 28$ мм (рис. 1) наиболее точно процесс наплавки моделирует круговая проба. Проба обеспечивает возможность наплавки с большими скоростями (что характерно для технологического процесса изготовления наплавленных рабочих частей разделительных штампов), малую металлоемкость и значительную протяженность наплавленного валика.

Заготовки круговых проб под наплавку выполняли из стального проката диаметром 100 мм (30ХГСА, ГОСТ 4543—71) в соответствии с приведенным эскизом (рис. 2). Диаметр разделки под наплавку кругового валика варьировали в пределах $d = 18 \div 28$ мм.

В зависимости от предварительной термической обработки заготовки разделили на четыре группы (без термической обработки, закалка + высокий отпуск, закалка + средний отпуск, закалка + низкий отпуск).

Затем выполняли наплавку валика по кругу дугой прямого действия постоянным током обратной полярности в аргоне разработанной порошковой проволокой диаметром 2,0 мм. Основные режимы наплавки варьировали в следующих пределах: $I = 90 \div 180$ А, $v_n = 12 \div 24$ м/ч, $U_d = 22 \div 24$ В. Химический состав наплавленного металла приближен к составу быстрорежущей стали Р9М4К8.

После охлаждения круговых проб (рис. 3) проводили их макроанализ, который не выявил образование трещин на поверхности швов ни в одной из исследуемых групп.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что разработанные порошковая проволока и технология наплавки обеспечивают достаточную технологическую прочность и эксплуатационные свойства при наплавке заготовок рабочих частей разделительных штампов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скворцов Г. Д. Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. М.: Машиностроение, 1974.
2. Попов Е. А., Ковалев В. Г., Шубин И. Н. Технология и автоматизация листовой штамповки. М.: МГТУ им. Баумана, 2003.
3. Зубкова Е. Н., Булкин Д. В., Золотов А. А. Наплавленная инструментальная штамповая сталь повышенной износостойкости // Вестник Тверского государственного технического университета. 2004. Вып. 5.
4. Барчуков Д. А., Зубков Н. С., Беляков А. В. Технологическая прочность наплавленных теплостойких сталей высокой твердости // Вестник Тверского государственного технического университета. 2002. № 1. С. 20—22.

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

Особенности автоматизации сборочных работ в машиностроении

В структуре производственного цикла изготовления продукции в машиностроении наибольшую часть занимают технологические процессы механической обработки и сборки. На современном этапе развития машиностроения наблюдается существенное отставание уровня механизации и автоматизации сборочных работ относительно процессов механической обработки. Доля сборочных работ в общей трудоемкости изготовления продукции составляет от 20—30 (в массовом производстве) до 35—40 % (в мелкосерийном) [1]. Установлено, что большая часть сборочных работ (75—78 %) выполняется вручную и только 22—25 % — механизированным способом. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что при автоматизации сборки стоимость продукции снижается на 55—65 %. Несмотря на это, автоматизация сборочного производства в отечественном машиностроении не получила должного применения. Это объясняется рядом конструктивно-технологических особенностей. К ним можно отнести большое разнообразие конструктивных характеристик собираемых узлов и сборочных единиц, специфические требования технологичности продукции применительно к сборке, сложность базирования и контроля. Все это затрудняет изучение закономерностей и причинно-следственных связей, характерных для автоматизации сборочного процесса. Технические задачи, возникающие при проектировании технологии и средств автоматизации, характеризуются высоким уровнем сложности и надежности.

Технологический процесс сборки в обобщенном виде представляет часть производственного процесса, непосредственно связанную с взаимной ориентировкой, фиксацией и последовательным соединением деталей и узлов для получения изделия, удовлетворяющего установленным конструкторской документацией требованиям [1].

В состав технологического процесса сборки в качестве технологических операций или переходов включают разнообразные сборочные работы, соединение сопрягаемых деталей посредством приведения в соприкосновение их сборочных баз; проверку точности взаимного расположения собираемых деталей и узлов, обеспечение точности составляющих звеньев путем регулировки, пригонки или подбора;

фиксацию положения деталей и узлов, обеспечивающего правильность выполнения ими целевого назначения при работе машины. К технологическому процессу сборки относят также операции, связанные с проверкой правильности функционирования отдельных механизмов и узлов и машины в целом (точность, плавность движений, бесшумность, надежность функционирования смазочной системы и т. п.), и все необходимые операции по очистке, промывке, окраске, отделке и упаковке изделия или составляющих его сборочных соединений и деталей.

Типовой процесс автоматической сборки изделия состоит из следующих основных переходов: загрузки сопрягаемых деталей в бункерные загрузочные или транспортирующие устройства с предварительной их ориентацией при выдаче на сборочные позиции; ориентации в пространстве с требуемой точностью положения поверхностей сопрягаемых деталей на сборочной позиции; соединения и фиксации сопряженных деталей или сборочной единицы; контроля требуемой точности относительного положения сопряженных деталей или сборочной единицы; разгрузки и транспортировки готовой сборочной единицы [1].

Обобщенная блок-схема автоматизации сборочного процесса в машиностроении приведена на рис. 1. Видно, что большую часть занимают операции по перемещению, ориентации, установке и т. п., т. е. операции, автоматизация которых наиболее сложна технологически. Именно эти операции и являются ключевыми при принятии решения о целесообразности и эффективности автоматизации того или иного сборочного процесса. Положительное решение комплекса вспомогательных перемещений, связанных с подачей деталей, их точным направлением, установкой, фиксацией и др., является основным условием автоматизации сборочного процесса. Все этапы технологической подготовки производства выполняются с учетом реализации операций вспомогательного назначения.

Технологичность конструкции. В отличие от операций механической обработки технологичность деталей и узлов имеет существенное значение при автоматизации сборочного производства. При механической обработке необходимо и достаточно обеспечить принцип постоянства или совмещения



Рис. 1. Обобщенная блок-схема автоматизации сборочного процесса в машиностроении

технологических баз. Требования к технологичности при автоматической сборке существенно шире по номенклатуре, назначению и практической реализации.

Требования к технологичности конструкции собираемых элементов (сборочных единиц, соединений, деталей) можно разделить условно на две группы [2]:

- обеспечивающие с минимальными затратами реализацию непосредственного процесса автоматической сборки — загрузку, относительное ориентирование, закрепление, межоперационное перемещение и съем сборочных узлов и сборочных единиц;
- направленные на упрощение процесса сборки за счет рациональной конструкции.

При автоматизации сборки изделия, состоящие из большого числа сложных узлов, рекомендуется расчленять на небольшие самостоятельные сборочные узлы и единицы, так как автоматизировать их сборку проще. При этом появляется возможность организации параллельной сборки.

Технологичность конструкции выше, если обеспечиваются наиболее простые траектории сборочных движений для реализации сборочного процесса.

В этом случае проектирование и соответственно конструкции рабочих органов сборочного механизма упрощаются.

При проектировании изделия следует по возможности избегать применения соединений, которые трудно выполнять автоматически (например, шпоночных, шлицевых и др.). Рекомендуется применять соединения, которые получают с использованием простых сборочных движений (например, разъемные цилиндрические, конические, с зазором, неразъемные конические, плоские и др.).

В полном объеме требования к технологичности автоматически собираемых соединений и узлов приведены в работах [3, 4].

Базирование и относительное ориентирование деталей при автоматической сборке. При автоматической сборке собираемые детали должны располагаться относительно друг друга в необходимых положениях, определяемых прямолинейной и криволинейной системами координат. Задача базирования состоит в нахождении и применении таких схем базирования деталей, при которых технологически обеспечивается их автоматическая собираемость. Выбор способа базирования — сложная многофакторная задача. В любом случае

установка базовых деталей на сборочной позиции производится согласно правилу шести точек (лишение шести степеней свободы). При этом приходится учитывать колебания размеров сопрягаемых деталей в пределах полей допусков. В некоторых случаях возможна установка в два этапа: предварительная установка (ориентация) и окончательное фиксирование.

При сборке микроминиатюрных и прецизионных изделий необходимо обеспечить высокую точность относительного положения деталей в собранном изделии. Для этого необходимо исключить влияние температурных воздействий.

Организационная форма сборочных работ. Известно, что при ручной (или механизированной) сборке желательна такая конструкция изделия, которая позволяет собирать из предварительно подготовленных узлов или сборочных единиц. При автоматической сборке возникает необходимость ориентирования, захвата и перемещения отдельных узлов на место их присоединения к базовой детали (например станине). В этом случае узлы сложной формы и значительных габаритных размеров выдавать из различных питателей (бункеров, накопителей и др.), а затем перемещать их на место общей сборки крайне затруднительно. В связи с этим целесообразно заменить организационную форму сборки с узловой на промежуточную. В этом случае сборочные работы совмещаются с процессами изготовления сопрягаемых деталей на автоматических установках.

Разработку технологического процесса автоматической сборки необходимо выполнять по поточному принципу с чередованием сборочных операций с контрольными.

Сборочное оборудование. Для автоматизации сборочных работ применяют различные сборочные технологические системы (СТС). Они представляют комплексы универсального и специального оборудования и (или) устройств, установленные в порядке реализации сборочного процесса. Специальное сборочное оборудование — это различные сборочные бункеры, ориентирующие устройства, питатели, механизмы межоперационного транспортирования. При селективной сборке в СТС дополнительно встраивают контрольно-сортировочные автоматы.

В отличие от автоматических линий механической обработки в СТС не предусматривается создание заделов (резервов) собираемых узлов между отдельными сборочными позициями, так как не требуется частой смены и регулировки сборочного инструмента.

Внедрение автоматизации сборочных работ во многом сдерживается необходимостью проектиро-

вания и изготовления большого количества специального оборудования. Это удлиняет сроки технологической подготовки сборочного производства и увеличивает стоимость средств автоматизации.

По степени специализации сборочного оборудования возможны два направления автоматизации сборочных работ. Первое — разработка и использование универсальных технических средств. Вследствие их универсальности они должны воспроизводить многообразные функции сборщиков-операторов (перемещение на сборочную позицию, ориентирование деталей, сборку соединения, контроль качества, выдачу готового узла сборки и др.). При проектировании объединение таких разнонаправленных функций в пределах структуры одного технического средства является сложной конструкторской задачей. Примером такого универсального сборочного средства являются промышленные роботы. Поэтому первое направление получило название "роботизация сборочного процесса (оснащение роботами)".

Второе направление характеризуется разработкой и применением специальных и специализированных средств автоматизации, воспроизводящих отдельные функции сборщиков-операторов. Выделение отдельных функций из общей сборочной операции позволяет их реализацию более простыми рабочими органами сборочных устройств. При этом исключается возможность взаимного влияния параметров, неизбежного в многофункциональных устройствах. Разнообразные по сложности и траектории функции могут обеспечиваться устройствами разных принципов действия и уровня сложности.

Расположение сборочных устройств в сборочных линиях различной степени механизации и автоматизации определяется их компоновкой. В настоящее время различают последовательную, параллельную, последовательно-параллельную, параллельно-последовательную и комбинированную схемы компоновок. Схему компоновки выбирают исходя из типа сборочного производства, технологии сборки и необходимой надежности функционирования сборочной линии.

Рекомендуемое сборочное оборудование и различные типы сборочных линий в зависимости от объекта сборки приведены на рис. 2.

Методы достижения точности замыкающего звена определяют как возможность автоматизации сборки, так и технические параметры необходимого сборочного оборудования [2].

Для автоматической сборки метод полной взаимозаменяемости наиболее применим. Он обеспечивает выполнение требуемых технических условий на сборку. Конструкция автоматических сборочных устройств может быть относительно простой.

Объект сборки →	Сборочное соединение	Сборочный узел	Изделие в сборке
Оборудование для автоматизированной сборки →	<p>Однопозиционные сборочные полуавтоматы</p> <p>Многопозиционные станки линейной компоновки</p> <p>Комбинированные станки</p>	<p>Сборочные центры</p> <p>Сборочные работы</p> <p>Перенастраиваемые сборочные станки-автоматы</p> <p>Контрольно-сортировочные автоматы</p> <p>Многопредметные поточные линии</p> <p>Несинхронные сборочные линии</p>	<p>Механизированные линии</p> <p>Поточные сборочные линии</p> <p>Многопредметные поточные линии</p> <p>Несинхронные сборочные линии</p> <p>Автоматизированные линии</p> <p>Автоматические линии</p>

Рис. 2. Сборочное оборудование для сборочных технологических систем

Применение метода групповой взаимозаменяемости ограничено при автоматической сборке. Схема и конструкция автоматов должны быть более сложными в связи с необходимостью сортировки на группы и введения отдельных бункеров или магазинов для деталей различных размерных групп.

Метод селективной сборки (подбора сопрягаемых деталей) применяют при автоматизации сборки специальных узлов и изделий (например подшипников качения). Схема автомата значительно усложняется за счет введения измерительно-сортировочных и комплектующих устройств.

Метод регулировки посредством жестких и подвижных компенсаторов имеет ограниченное применение при наличии в собираемом узле малозвенных размерных цепей. Схема и конструкция автомата усложняются за счет введения регулировочных и контрольных устройств.

Метод сборки с применением пригоночных работ исключает возможность автоматизации сборочных работ.

ВЫВОДЫ

1. Сборочное машиностроительное производство является сложной производственной структурой, возможность автоматизации которой затруднена конструктивными, технологическими и организационными особенностями.

2. При разработке конструкторской документации сборочная технологичность изделия во многих

случаях рассматривается только исходя из условия собираемости узлов и единиц. При переходе к автоматической сборке возникает необходимость существенной корректировки конструкторской документации в направлении приспособленности к технологии автоматизированного производства.

3. Сборочная технологичность при автоматизированной сборке должна обеспечивать возможность автоматического базирования, ориентирования, перемещения на сборочные позиции, сопряжения, соединения и контроля.

4. Для внедрения автоматизированной сборки необходимо проектировать и изготавливать специальное сборочное оборудование. Конструктивное исполнение, степень механизации и автоматизации сборочного оборудования определяются технологией сборки, сборочной технологичностью изделия и методом достижения точности замыкающих звеньев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маталин А. А. Технология машиностроения. М.: Машиностроение, 1985. 496 с.
2. Новиков М. П. Основы технологии сборки и механизмов. М.: Машиностроение, 1980. 592 с.
3. Замятин В. К. Технология и автоматизация сборки. М.: Машиностроение, 1993. 464 с.
4. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Под ред. И. М. Капустина. М.: Высшая школа, 2007. 415 с.

В. А. КЛИМЕНОВ, д-р техн. наук, Ж. Г. КОВАЛЕВСКАЯ, канд. техн. наук

(Томский политехнический университет),

В. Ю. УЛЬЯНИЦКИЙ, д-р техн. наук

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

К. В. ЗАЙЦЕВ, аспирант, В. Ю. БОРОЗНА, аспирант

(Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета)

Влияние ультразвуковой обработки основы на формирование покрытия при детонационном напылении¹

Детонационное напыление покрытий характеризуется импульсным течением процесса, которое обусловлено использованием газового взрыва для разгона и разогрева частиц напыляемого порошкового материала [1]. Выделение теплоты при детонационном напылении вызывает нагрев продуктов детонации и их расширение, вследствие чего они под большим давлением истекают из ствола установки, увлекая за собой с высокой скоростью частицы наносимого на поверхность детали порошка. Вследствие термического и ударного взаимодействия частиц порошка с подложкой на ней происходит закрепление основной массы порошка и формирование слоя покрытия.

В технологиях газотермического напыления с целью активации поверхности и обеспечения механического сцепления покрытия с подложкой обязательным условием подготовки поверхности является придание ей определенной шероховатости путем пескоструйной обработки или нанесения рваной резьбы [2]. В работе [3] отмечается возможность микросварки частиц покрытия с основой, очаги приварки возникают, как правило, на гребнях шероховатости.

Эффективность газотермического напыления наиболее высока в случае напыления покрытий на наиболее ответственные, высоконагруженные детали машин, механизмов и оборудования. В то же время из практики известно, что существует ряд деталей и конструкций кузнечно-прессового оборудования, при изготовлении которых запрещена абразивная обработка, способная повлиять на снижение усталостной прочности изделия. Кроме того, для высокоскоростных методов напыления, к которым отно-

сится детонация, подготовка поверхности пескоструйной обработкой не является определяющей. Высокоскоростное напыление задает особые условия осаждения частиц материала на подложку со сверхвысокими скоростями, что обеспечивает высокое напорное давление при растекании частиц [4], вследствие этого возможны существенные изменения в механизме образования сцепления частиц покрытия с поверхностью детали.

В данной работе исследованы возможности ультразвукового модифицирования поверхностей конструкционных сталей [5] под напыление покрытий методом детонации. Применение данного метода обеспечивает формирование специфической морфологии поверхности, измельчение зеренной структуры, активизацию и упрочнение поверхностных слоев, вследствие чего снижается изменение свойств на границе раздела покрытие—основа и, следовательно, повышается работоспособность, особенно износостойких твердых покрытий [6, 7].

Напыление выполняли на детонационной установке, разработанной в Институте гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН. В качестве топлива использовали смесь газов, состоящую из ацетилена и кислорода. Для напыления покрытий применяли порошки чистых металлов: никеля, хрома, молибдена, а также сплав на основе никеля ПР-Н70Х17СР4. Установка позволяет разгонять частицы порошка до скоростей порядка 1000 м/с. Покрытия наносили без перемещения образца относительно ствола детонационной пушки в "пятно" толщиной 250 мкм. Напыляемую поверхность помещали на расстоянии 100 мм от среза ствола установки. Режимы напыления подбирали таким образом, чтобы достичь наиболее полного расплавления используемого порошка и обеспечить наилучшее качество покрытия.

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 06-08-01220а.

Предварительную подготовку поверхности под напыление после токарной обработки до шероховатости поверхности $R_z = 8,3$ мкм осуществляли несколькими способами. Пескоструйную обработку проводили в специальной камере пневматическим пистолетом, который направляет поток частиц электрокорунда на обрабатываемую поверхность при помощи струи сжатого воздуха. Шлифование поверхности основы проводили с помощью абразивной бумаги. Ультразвуковую обработку проводили устройством для ультразвуковой финишной обработки УЗГК-02 мощностью 200 Вт, с усилием прижима индентора 70—75 Н, частотой колебаний индентора 24 кГц [8], параметр шероховатости $R_z = 4,1$ мкм. Причем ультразвуковую обработку и шлифование проводили до достижения одного класса чистоты поверхности.

Для исследования морфологии и шероховатости поверхности основы и для анализа характера соединения покрытия с основой после отрыва покрытий применяли профилометрический комплекс Micro Measure 3D station. Шероховатость на данном комплексе измеряли бесконтактным способом с помощью лазерного луча, сканирующего поверхность. При построчном сканировании прибор позволяет получать изображение (морфологию) измеряемой области поверхности, с высокой степенью точности, задаваемой дискретностью перемещения лазерного луча по поверхности измеряемого образца. Шероховатость образцов измеряли в соответствии с ГОСТ 2789—73 на базовой длине 2,5 мм. С помощью графической программы проводили оценку площади очагов схватывания основы с покрытием, по величине которой прогнозировали адгезионную прочность. С помощью растрового электронного микроскопа Philips SEM 515 для топографического и качественного фазового анализа поверхностей металлических материалов исследовали состояние поверхности основы после отрыва покрытий. Микротвердость покрытия и основы измеряли на нанотвердомере Nano Hardness Tester с нагрузкой на пирамидку 30 и 50 г. С помощью оптического металлографического микроскопа Olympus GX-71 получены фотоизображения микрошлифов покрытия и основы в поперечном сечении.

Как показали результаты профилометрического анализа, поверхность образца после пескоструйной обработки имеет многочисленные выступы и кратеры, оставленные частицами абразивного материала после соударения с основой (рис. 1, а), хаотического зубчатого строения с параметром шероховатости $R_z = 24,2$ мкм.

Принципиально другое строение (рис. 1, б) имеет поверхность после ультразвукового выглаживания твердосплавным индентором.

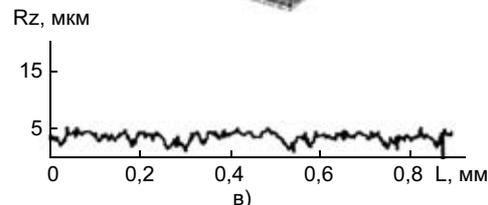
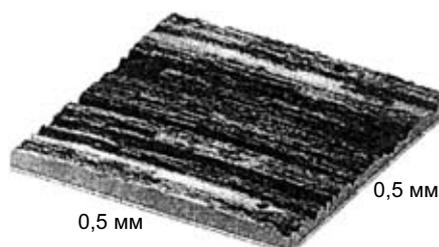
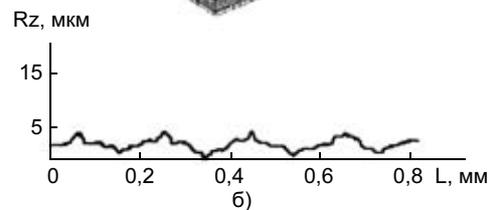
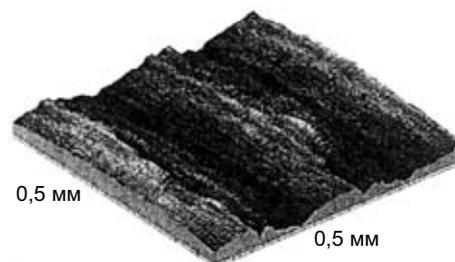
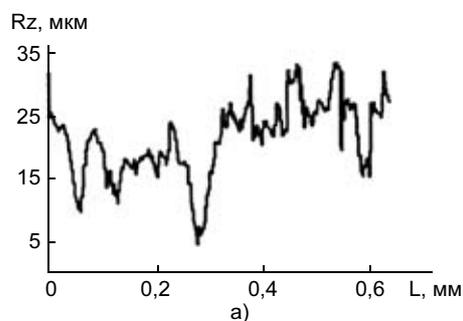
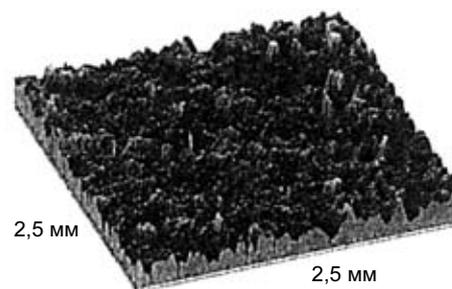


Рис. 1. Морфология (вверху) и профилограмма (внизу) поверхности образца после пескоструйной (а), ультразвуковой (б) обработки и шлифования (в)

Формируемый профиль микронеровностей имеет волнистое строение с шагом неровностей 0,2 мм, обусловленное подачей индентора относительно образца и $Rz = 4,1$ мкм. Вдоль движения инструмента формируется субмикрорельеф, образуемый многократным прерывистым импульсным воздействием индентора. Периодичность субмикрорельефа составляет около 5 мкм.

После шлифования (рис. 1, в) поверхность основы образована многочисленными рисками, оставленными частицами абразивного материала в процессе обработки, $Rz = 5,6$ мкм.

Структура границы раздела покрытия ПР-Н70Х17СР4 в поперечном сечении приведена на рис. 2. Значительные отличия наблюдаются на границе соединения покрытия с основой. Как и следовало ожидать, граница раздела на поверхности выглаженных ультразвуком образцов (рис. 2, а) по сравнению с обработанными электрокорундом ровная (рис. 2, б), не содержит резких выступов, несплошностей и оксидных включений. На травленных шлифах видно, что при пескоструйной обработке имеются следы деформации в поверхностных зернах, а в образцах, обработанных ультразвуком, измельчение и формоизменение отдельных зерен. Существенно отличается и распределение микротвердости (рис. 3) в композиции покрытие—основа при ультразвуковой финишной обработке (УФО) основы под напыление. Увеличение микротвердости в обработанных ультразвуком слоях свидетельствует как об измельчении зерен [5, 9] и повышении дефектности зеренной структуры, так и формировании напряжений сжатия в поверхностных слоях. Особо следует обратить внимание на сглаживание скачка значений микротвердости, который имеет место при напылении особенно твердых покрытий.

Эффективность соединения покрытия с основой исследовали при изучении строения поверхностных слоев образцов после отсоединения покрытий.

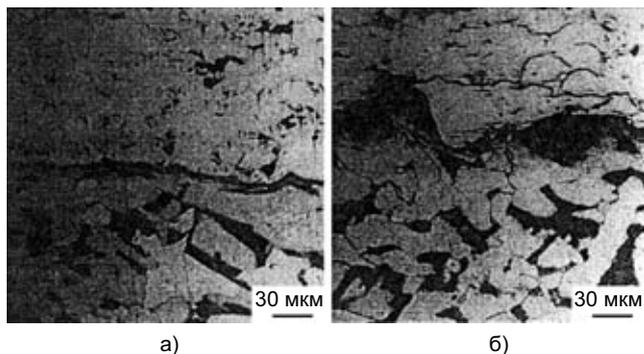


Рис. 2. Структура подложки и покрытия, напыленного на основу, подготовленную ультразвуковой модификацией (а) и пескоструйной обработкой (б)

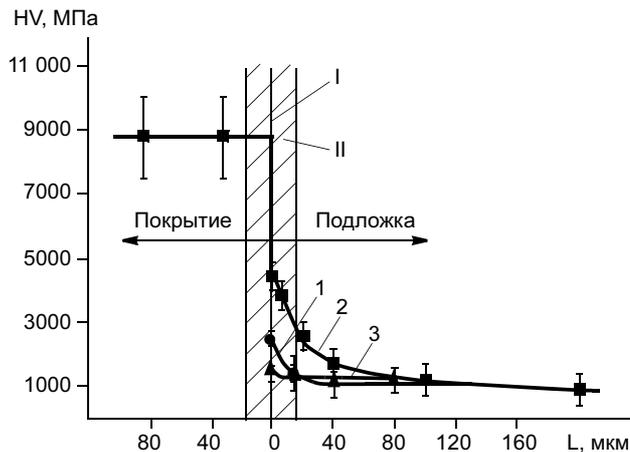


Рис. 3. Распределение микротвердости в композиции покрытие—основа (покрытие — ПР-Н70Х17СР4, подложка — сталь 20) после пескоструйной (1), ультразвуковой обработки (2) и шлифования (3): I — граница раздела при УФО и шлифовании; II — то же, при пескоструйной обработке

Во всех случаях очаги схватывания напыляемых частиц с основой, характеризующиеся когезионным разрушением покрытия, чередуются с участками, по которым произошло адгезионное отсоединение покрытия. Соотношение этих участков и определяет эффективность схватывания покрытия с основой [9].

Прочность сцепления напыленных покрытий оценивали по совокупной площади очагов схватывания напыленных частиц и основы. Известно, что чем больше площадь очагов схватывания напыленных частиц и основы, тем выше прочность сцепления покрытия [10].

На рис. 4 представлены изображения поверхности основы образцов после отрыва покрытий из хрома и молибдена, полученные с помощью растрового электронного микроскопа. Данные покрытия наносили на подложку, подготовленную ультразвуковой модификацией. Видно, что покрытия имеют раз-

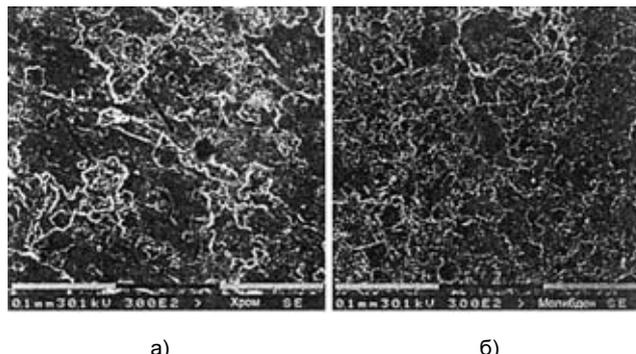


Рис. 4. Поверхность основы, подготовленной ультразвуковой модификацией, после отрыва покрытия, нанесенного с использованием порошков хрома (а) и молибдена (б)

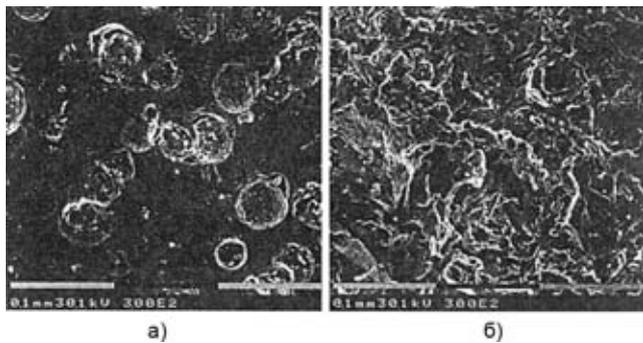


Рис. 5. Поверхности основы после отрыва покрытия: а — шлифование; б — пескоструйная обработка

личную площадь адгезионного взаимодействия и количество очагов схватывания. Стрелками обозначены частицы, оставшиеся на подложке после отрыва покрытия. На рис. 4, б видно, что практически вся поверхность основы покрыта частицами, оставшимися после отрыва покрытия.

С помощью графической программы определили, что при отрыве покрытия, напыленного с использованием молибденового порошка, площадь адгезионного взаимодействия составила около 80 %, а для покрытия, нанесенного с использованием порошка хрома, — около 40 %. У покрытия, сформированного с использованием порошка никеля, площадь очагов схватывания не более 20 %.

Объяснить такое различие в площадях адгезионного взаимодействия можно тем, что покрытия, сформированные из этих материалов, имеют различную температуру плавления. "Горячие" частицы молибдена ($t_{пл} = 2620 \text{ }^\circ\text{C}$) прогревают подложку до более полного проплавления, тем самым обеспечивая достаточную прочность сцепления. "Не горячие" частицы хрома ($1860 \text{ }^\circ\text{C}$) и никеля ($1455 \text{ }^\circ\text{C}$) не способны в процессе взаимодействия с подложкой достаточно прогреть ее и тем самым обеспечить надежную адгезионную связь.

На рис. 5 приведены изображения поверхности основы после отрыва покрытия ПР-Н70Х17РС4, напыленного на шлифованную поверхность (рис. 5, а) и после пескоструйной обработки (рис. 5, б). При нанесении покрытия на шлифованную поверхность происходит его отслаивание уже в процессе напыления, площадь очагов схватывания минимальная (менее 10 %). При таком способе подготовки подложки происходит взаимодействие лишь отдельных крупных частиц порошка, их растекание и одновременное затвердевание с формированием сплэтов, близких по форме к диску [11].

Совсем другой вид имеет поверхность после пескоструйной обработки. При отсоединении покрытия произошло когезионное разрушение, свидетельствующее о высокой прочности сцепления покрытия,

напыленного на пескоструйную подложку. Высокая прочность обеспечивается за счет проплавления выступов, образовавшихся после пескоструйной обработки.

Для подтверждения вышеизложенного после отрыва покрытия на основе никеля проводили повторный профилометрический анализ поверхностей исследуемых образцов. На основе профилометрического анализа установили, что увеличение шероховатости поверхности за счет выступов, сформированных напыленными частицами, оставшимися после отрыва покрытия, и фрагментами отдельных частиц свидетельствует о высокой прочности сцепления покрытия, напыленного на основу после пескоструйной обработки. Соединение покрытия на шлифованной поверхности обусловлено микроочагами схватывания, а для соединения покрытия на выглаженной ультразвуком поверхности характерен смешанный характер, когда наряду с участками микросхватывания присутствуют участки соединения отдельных частиц, но доля таких участков меньше, чем при традиционной подготовке поверхности, что и определяет более низкую прочность сцепления.

Во всех случаях на профилограммах наблюдается увеличение совокупного значения параметра шероховатости за счет выступов, сформированных напыленными частицами, оставшимися после отрыва покрытия (рис. 6). Совокупная шероховатость

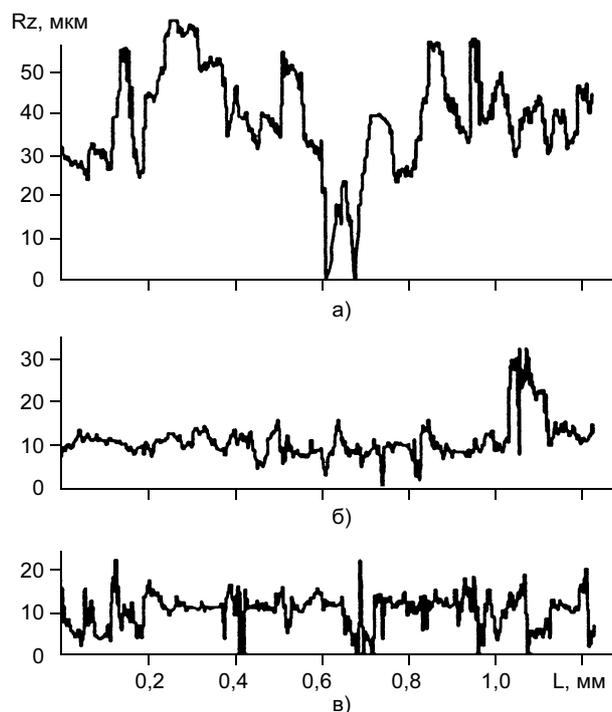


Рис. 6. Профилограммы поверхности основы после отрыва покрытия: а, б — пескоструйная и ультразвуковая обработка; в — шлифование

Предварительная обработка поверхности	Параметр шероховатости R_z , мкм		Совокупная площадь очагов схватывания частиц и основы, %
	основы	после отрыва покрытия	
Пескоструйная	34,2	57,9	80
Ультразвуковая финишная	4,1	36,2	47
Шлифование	5,6	21,8	14

включает шероховатость участков, имеющих исходный рельеф и покрытых не оторвавшимися частицами. Таким образом, по значениям параметра шероховатости поверхности после отрыва покрытия можно оценить прочность сцепления покрытия и основы, подготовленной разными способами.

На рис. 6, а приведена профилограмма поверхности основы после отрыва покрытия. При сравнении с рис. 1, а видно, что часть профиля сформирована напыленными частицами, а часть — рельефом основы. Профили поверхности основы, полученные после отрыва покрытия, нанесенного на шлифованную и обработанную ультразвуковым инструментом поверхность, имеют сложный вид. По рисунку полученных профилей трудно различить зоны, сформированные рельефом основы и напыленными частицами. Однако общая шероховатость в обоих случаях возрастает. В таблице приведены результаты анализа морфологии поверхности образцов после отрыва покрытия (на основе никеля) и значения совокупной площади очагов схватывания покрытия и основы.

Характер распределения микротвердости вблизи границы раздела, благоприятное влияние процесса измельчения структуры и формирования сжимающих напряжений при ультразвуковой обработке на упрочнение основы обуславливают перспективность применения такой обработки при нанесении износостойких покрытий, прежде всего на телах вращения.

ВЫВОДЫ

1. Пескоструйная обработка и ультразвуковая модификация поверхности основы перед детонационным напылением формируют на границе раздела покрытие—основа качественную адгезионную связь. При этом максимальная площадь очагов

схватывания между покрытием и основой формируется на поверхности после пескоструйной обработки, площадь очагов схватывания при ультразвуковой финишной обработке несколько меньше, при нанесении покрытия на шлифованную подложку связь между покрытием и подложкой не возникает, отслаивание покрытия происходит непосредственно в процессе напыления.

2. Ультразвуковая финишная обработка создает на поверхности основы волнистый субмикрорельеф и модифицированную структуру, обеспечивающие формирование надежной адгезионной связи между покрытием и основой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уляницкий В. Ю. Физические основы детонационного напыления. Автореферат дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск, 2001. 31 с.
2. Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов, С. Л. Сидоренко, Е. Н. Ардатовская. Киев: Наукова думка, 1987. 544 с.
3. Нанесение покрытий плазмой / В. В. Кудинов, П. Ю. Пекшев, В. Е. Белашенко и др. М.: Наука, 1990. 407 с.
4. Харламов Ю. А. О моделировании процесса соударения частиц с поверхностью при газотермическом нанесении покрытий // Физика и химия обработки материалов. 1990. № 4. С. 84—89.
5. Структура, фазовый состав и свойства стали 60, подвергнутой ультразвуковой финишной обработке / В. А. Клименов, О. Н. Нехорошков, П. В. Уваркин и др. // Физическая мезомеханика. 2006. Т. 9. С. 173—176.
6. Исследование адгезии покрытий, полученных высокоскоростным газопламенным напылением / В. А. Клименов, Ж. Г. Ковалевская, К. В. Зайцев, А. И. Толмачев // Известия Томского политехнического университета. 2007. Т. 310. № 3. С. 57—61.
7. Investigation of influence of surface roughness on the structure and properties of gas thermal coatings TANGER / V. Klimenov, Zn. Kovalevskaya, K. Zaitzev, V. Borozna. s. r. o., Keltickova 62, 710 00 Ostrava 10 ve spolupraci s MARQ, Ing. Jan Stefan, msgr. Sramka 6, 702 00 Ostrava.
8. Разработка технологии и оборудования для ультразвуковой обработки бандажей колес локомотивов / В. А. Клименов, П. П. Каминский, В. П. Толстов и др. // Технологии ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. С. 199—203.
9. Ультразвуковое модифицирование — метод подготовки поверхности перед газотермическим напылением / В. А. Клименов, Ж. Г. Ковалевская, Н. С. Агафонова и др. // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки. СПб., 2006. Ч. 1. С. 150—158.
10. Шмаков А. М., Ермаков С. С. Ударное взаимодействие частицы с основой при газотермическом напылении // Физика и химия обработки материалов. 1986. № 3. С. 66—71.
11. Солоненко О. П. Теплофизические основы формирования плазменных покрытий из порошков оксидов // Физическая мезомеханика. 2001. Т. 4. № 6. С. 45—56.

В. М. ОГОЛИХИН, канд. техн. наук, С. Д. ШЕМЕЛИН, инж.
Конструкторско-технологический филиал
Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН

Установка для обработки взрывом длинномерных изделий

Введение. Наличие поражающих факторов взрыва обуславливает необходимость их локализации в процессе сварки взрывом или ее проведение на открытых полигонах, удаленных от жилых и промышленных объектов. Как правило, для локализации взрывного воздействия при сварке взрывом с использованием зарядов ВВ массой не более 5—10 кг, обеспечения ритмичной и не зависящей от погодных условий работы применяют металлические взрывные камеры [1]. На многих алюминиевых заводах алюминий получают в процессе электролиза криолито-глиноземного расплава в мощных электролизерах с самообжигающимися непрерывными анодами и верхним токоподводом через анодные штыри. Анодный штырь представляет сталеалюминиевую конструкцию (рис. 1), состоящую из алюминиевой штанги, соединенной сваркой взрывом со стальным штырем. Сварку взрывом используют для получения качественного металлического соединения ме-

жду алюминием и сталью с целью уменьшения потерь электроэнергии при прохождении тока от алюминиевой штанги к стальному стержню. Вся сборка под сварку взрывом и сваренная конструкция сталеалюминиевого анодного штыря с габаритными размерами $2700 \times 160 \times 260$ мм занимает в горизонтальном положении установочную площадь около $0,4 \text{ м}^2$ и объем около $0,1 \text{ м}^3$.

В работе [2] приведена технологическая схема сварки трех сталеалюминиевых штырей путем подрыва шести зарядов в сборках, уложенных горизонтально на песчаном основании общей площадью не менее $3\text{—}4 \text{ м}^2$. По данной схеме возможно изготовление сталеалюминиевых штырей на полигоне или в специальной взрывной камере очень большого объема и протяженности из-за габаритных размеров сталеалюминиевого штыря. Технология не позволяет добиться производительности более 30—40 шт. штырей за смену. Данную проблему можно решить только при наличии специализированного компактного, высокопроизводительного и надежного в эксплуатации оборудования для сварки энергией взрыва сталеалюминиевых анодных штырей в цеховых условиях и разработки новой технологии сварки взрывом.

Сотрудниками КТФ ИГиЛ разработана новая технология сварки взрывом сталеалюминиевых штырей¹ во взрывных камерах шахтного типа².

Установка для обработки взрывом длинномерных изделий. Известно устройство для взрывной обработки материалов³. Взрывная камера состоит из корпуса с фланцем, установленного горизонтально, и подвижной крышки на тележке, скрепляемых перед взрывом байонетным замком. С подвижной крышкой связан стол, на котором возможна установка длинномерных изделий. В корпусе камеры размещены трубопроводы с запорным органом вентиляции. Для расположения устройства в производственном помещении требуется значительная площадь, а наличие трубопроводов и запорного ор-

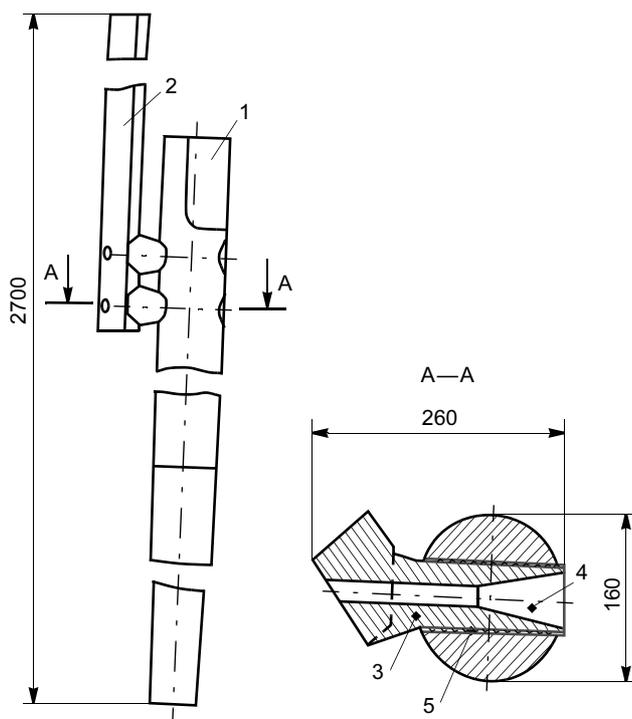


Рис. 1. Обработываемое изделие — анодный штырь

¹ Патент № 2059740 (РФ).

² Патент № 2074076 (РФ).

³ Патент № 2592818 (Франция).

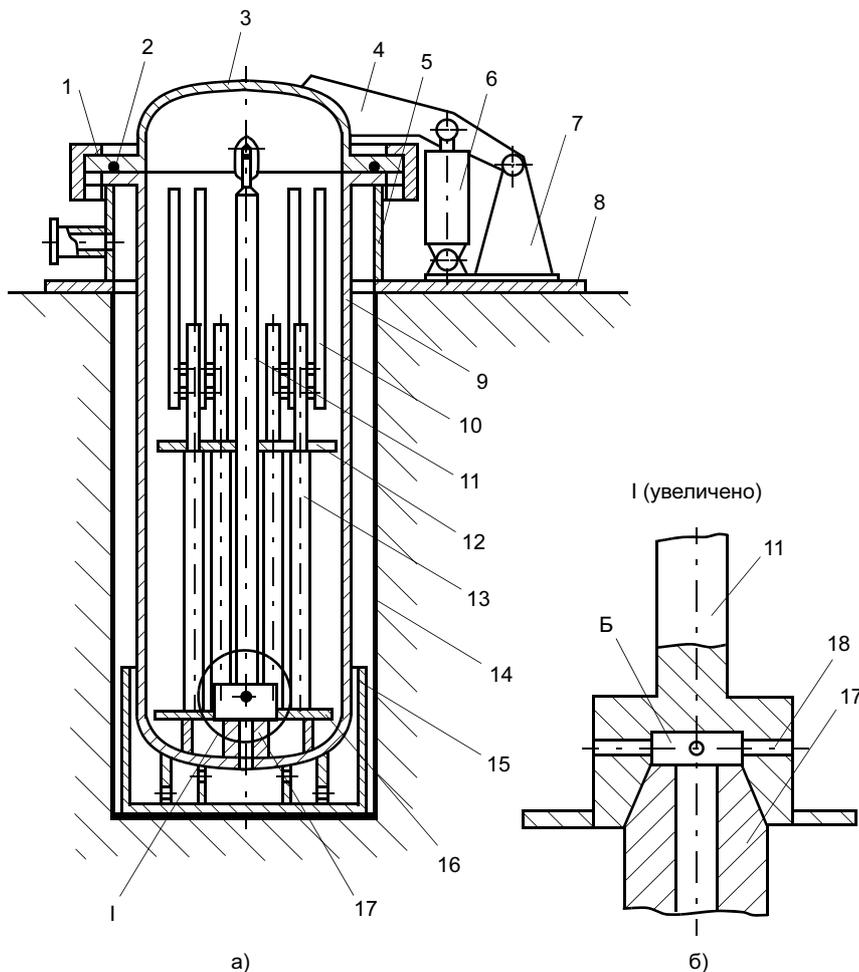


Рис. 2. Установка для обработки изделий взрывом

гана системы вентиляции внутри корпуса усложняет его изготовление и техническое обслуживание.

Известно также устройство для взрывной обработки⁴, которое содержит горизонтально установленный корпус с фланцем, подвижную крышку на тележке и привод крышки. Перед взрывом корпус и крышку скрепляют замковым устройством, а стык между ними герметизируется уплотнением. На боковой поверхности корпуса размещен стол. С крышкой нежестко связана рама с универсальными зажимами для крепления обрабатываемых длинномерных изделий, которая после ее перемещения в корпус устройства опускается на стол специальным механизмом. На цилиндрической части камеры размещены краны трубопроводов вентиляции. Установка занимает значительную площадь. Для обеспечения безопасности работы камеру изготавливают с большим запасом прочности. Для закрепления изделий на раме зажимами открывания и за-

крывания кранов трубопроводов вентиляции требуется время, что увеличивает продолжительность рабочего цикла.

Конструкция разработанной установки позволяет уменьшить необходимые производственные площади, обеспечить безопасность работы, повысить производительность труда и облегчить техническое обслуживание и эксплуатацию установки при сварке взрывом длинномерных изделий [4].

Положительный эффект достигается тем, что корпус снабжен оболочкой для установки в шахте, его фланец расположен над шахтой, рабочий стол выполнен в виде усеченного корпуса со сквозным центральным отверстием, а устройство для размещения обрабатываемых изделий выполнено в виде съемной кассеты, снабженной направляющими для изделия, соединенными концевыми фланцами и штангой, причем один конец штанги выполнен с коническим отверстием для ее размещения на рабочем столе и радиальными отверстиями для соединения с полостью корпуса. Кроме того, на корпусе

с зазором установлена обечайка с дном и концентрическими перфорированными перегородками, опирающимися в дно корпуса.

На рис. 2 приведена схема установки для обработки изделий взрывом. Корпус 9 установки за фланец подвешен на подставке 5, снабженной патрубком для присоединения к трубопроводам вентиляции. Фланец расположен над шахтой. Подставка установлена на основании 8, которое связано с оболочкой 14. Оболочка, установленная в шахте, вместе с корпусом образует замкнутую полость, соединенную через патрубок с трубопроводами вентиляции. Установка для взрывной обработки снабжена крышкой 3 с уплотнением 2, которое герметизирует стык между корпусом и крышкой. Замок 1 скрепляет корпус и крышку перед подрывом заряда взрывчатого вещества (ВВ) в установке (привод замка не показан). Для открывания и закрывания крышки предусмотрен механизм, состоящий из стойки 7, кронштейна 4 и гидроцилиндра 6. На дне корпуса установки размещен стол 17, выполненный в виде цилиндра с усеченным посадочным конусом и осе-

⁴ Патент № 4100783 (США).

вым отверстием. На столе установлена сменная кассета для размещения обрабатываемых изделий 10. Кассета содержит направляющие 13, связанные между собой верхним 12 и нижним 16 фланцами и штангой 11 с петлей для взаимодействия кассеты с подъемно-транспортным оборудованием. На другом конце штанги (см. рис. 1, 2) выполнен внутренний посадочный конус, соответствующий конусу на столе, а также радиальные отверстия, соединяющие полость корпуса с полостью Б, образующейся между штангой и столом. К нижней части корпуса примыкает обечайка 15 с дном и концентрическими кольцевыми перфорированными перегородками, опирающимися в дно корпуса. Обечайка установлена относительно корпуса с зазором.

Обрабатываемое изделие — анодный штырь электролизера (см. рис. 1) для производства алюминия — состоит из стального штыря 1 и алюминиевой штанги 2. Выступы 3 с полостями 4 алюминиевой штанги входят в отверстия стального штыря. Полость 4 предназначена для размещения заряда ВВ. Сварка при подрыве заряда происходит по поверхности 5.

Установка работает следующим образом. Обрабатываемые изделия 10 (см. рис. 2) устанавливаются в направляющих 13 сменной кассеты. В полостях 4 выступов 3 алюминиевых штанг (см. рис. 1) размещают заряды ВВ. Сменную кассету с обрабатываемыми изделиями посадочным конусом штанги устанавливают на конусную поверхность стола. Электродетонаторы с клеммами токоввода не показаны.

Корпус установки (см. рис. 2) закрывают крышкой и скрепляют их замком. Заряды ВВ детонируют при подаче высоковольтного импульса на клеммы токоввода. Происходит детонация зарядов и сварка выступов алюминиевых штанг 3 со стальными штырями 1 по поверхностям 5 (см. рис. 1). При взрыве зарядов ВВ давление в установке резко повышается. Продукты детонации за счет избыточного давления стравливаются через радиальные отверстия 18 в кассетной штанге в полость Б, далее через осевое отверстие стола, отверстия концентрических перегородок обечайки 15 и зазор между обечайкой и корпусом — в полость шахты, откуда через патрубок подставки 5 и трубопроводы отсасываются вентилятором (не показано). Далее открывают крышку и с помощью подъемно-тран-

спортного устройства извлекают кассету с обработанными изделиями. Проходное сечение системы вентиляции при этом резко увеличивается, продолжается интенсивное удаление остатков продуктов детонации из корпуса. Кассету отправляют на разгрузку сваренных анодных штырей и загрузку новой партии. Далее цикл работы установки повторяется. Различный мусор (остатки проводников, соединяющих токоввод и электродетонаторы, материала, в который были упакованы заряды ВВ, куски алюминия от выступов привариваемой штанги) выносятся продуктами детонации в обечайку и накапливаются в ней. При техническом обслуживании установки корпус и обечайку извлекают из шахты и удаляют накопившийся мусор.

Разработанная установка позволяет обрабатывать анодные сталеалюминиевые штыри электролизера длиной 2700 мм и массой 200 кг. Площадь, занимаемая установкой, равна 6 м², что в 2,5 раза меньше площади, необходимой для размещения оборудования аналогичного назначения с горизонтально установленным корпусом. Вертикальное расположение корпуса установки в шахте позволило снизить его металлоемкость. В сменную кассету устанавливают шесть заготовок штырей. Какое-либо закрепление штырей в кассете не требуется. Загрузка и выгрузка штырей из направляющих кассеты, размещение зарядов ВВ в штырях производятся вне корпуса установки. Привод механизмов установки гидравлический, мощность установленного электродвигателя 3,2 кВт.

Две установки смонтированы на участке реставрации сталеалюминиевых штырей на БрАЗ в Братске. В настоящее время установки находятся в опытно-промышленной эксплуатации, производительность каждой из них доведена до 60—80 штырей за смену.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демчук А. Ф., Исаков В. П. Металлические взрывные камеры. Красноярск.: РИО КрасГУ, 2006. 297 с.
2. Заряды для сварки взрывом сталеалюминиевых штырей электролизеров алюминия / Э. Б. Медзяновский, Г. И. Погорицкий, А. К. Комаровский и др. // Применение энергии взрыва в сварочной технике / Под ред. В. М. Кудинова. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1977. 164 с.

Ю. И. ДИДИК, инж.
(УНИИМ, Екатеринбург),
Ю. Е. ИОФФЕ, инж.
(ЗАО "Электрик-МИКС", Санкт-Петербург),
Д. К. СИМО, инж.
(ООО "МИЦ", Санкт-Петербург)

Метрологическое обеспечение измерения тока вторичного контура контактных машин

Современные системы обеспечения качества продукции предусматривают обязательную проверку всего производственного оборудования на точность и соответствие номиналам. Причем особое внимание должно уделяться параметрам оборудования, влияющим на основные характеристики качества продукции. Именно к таким основным параметрам относятся сварочный ток и усилие сжатия электродов контактных сварочных машин. Поэтому велика потребность в простых и надежных измерительных приборах, с помощью которых можно было бы как контролировать параметры вновь разрабатываемых и изготовляемых контактных машин, так и проводить периодическую аттестацию машин, находящихся в эксплуатации. Более того, необходимо иметь и образцовые измерительные приборы, позволяющие проводить периодическую калибровку указанных рабочих средств измерений.

В ЗАО "Электрик-МИКС" разработаны многофункциональный измеритель параметров контак-

ной сварки МИКС-2 и регистратор тока контактных сварочных машин РТКСМ, а также их модифицированные версии — измеритель МИКС-2М и регистраторы РРС-4 и РРС-8.

Измеритель МИКС-2М измеряет действующее и максимальное значения сварочного тока (в диапазоне 2—250 кА с точностью до $\pm 2,5\%$) и время протекания тока (в диапазоне 1—2000 мс с точностью до ± 1 мс), а также наибольшее (за время сварочного цикла) усилие сжатия электродов (в диапазоне 100—2500 даН с точностью до $\pm 2,5\%$). Измеритель является рабочим средством измерения, подлежащим ведомственной периодической калибровке.

Регистратор РТКСМ разработан как поверяемое средство измерения, предназначенное для калибровки токового канала измерителя МИКС-2М, а также для калибровки каналов измерения сварочного тока регуляторов типа РКМ.

Каналы измерения сварочного тока обоих измерительных приборов построены по одному и то-

му же принципу (рис. 1), предполагающему использование в качестве датчика тока пояса Роговского и интегрирование его выходного сигнала аналоговым интегратором. Разработанный еще в 1912 г. [1] пояс Роговского до сих пор является практически единственным датчиком тока, применимым при измерении сварочного тока контактных машин вследствие его весьма значительной величины (до 250 кА).

Датчик тока типа пояс Роговского представляет собой дифференцирующий воздушный трансформатор тока (ВТТ), выполненный в виде однослойной обмотки, намотанной на тороиде, охватывающем токоведущую шину вторичного контура сварочной машины. При прохождении сварочного тока $I_{CB}(t)$ в обмотке ВТТ индуцируется эдс

$$E_{ВТТ}(t) = M(dI_{CB}/dt), \quad (1)$$

где M — коэффициент взаимной индукции обмотки ВТТ с вторичным контуром сварочной машины, характеризующий чувствительность датчика.

Сигнал $E_{ВТТ}(t)$ поступает на вход аналогового интегратора ($R, C, ОУ$), на выходе которого формируется напряжение

$$U_{инт}(t) = 1/T \int_0^t E_{ВТТ}(t) dt = M/T I_{CB}(t), \quad (2)$$

где T — постоянная времени интегратора, равная RC .

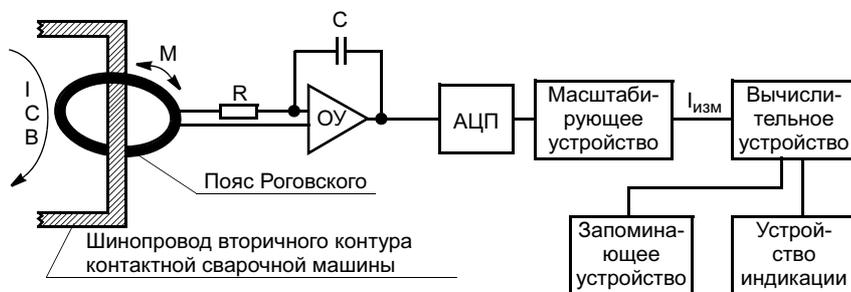


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема измерения сварочного тока

Далее выходное напряжение интегратора подвергается аналого-цифровому преобразованию (АЦП) и цифровому масштабированию, в результате чего формируется цифровая последовательность чисел:

$$I_{\text{изм}}(t) = M(K_M/T)I_{\text{св}}(t), \quad (3)$$

где t — дискретное время (дискретность определяется частотой выборки АЦП); K_M — коэффициент масштабирования, А/В.

Сформированная цифровая последовательность сохраняется в запоминающем устройстве и используется затем для вычисления параметров тока.

Очевидно, что $I_{\text{изм}}(t) \equiv I_{\text{св}}(t)$ только в том случае, когда $1/M = K_M/T$.

Величина K_M/T представляет собой скорость изменения $I_{\text{изм}}$ (скорость интегрирования), приведенную к одновольтовому значению входного сигнала. Поэтому формулу (3) можно представить в следующем виде:

$$I_{\text{изм}}(t) = Mv_{\text{ип}}I_{\text{св}}(t), \quad (4)$$

где $v_{\text{ип}}$ — приведенная скорость интегрирования.

Обычно принято производить сквозную градуировку и калибровку измерительного тракта, в который входят пояс Роговского, интегратор и масштабирующее устройство [2]. Такой принцип используется и в измерителе МИКС-2М. В регистраторах же принят иной подход: раздельная градуировка (калибровка, поверка) пояса Роговского и остальной части тракта канала (собственно регистратора).

Если обычно любые отклонения реального значения M от номинального $M_{\text{ном}}$ компенсируют при градуировке изменением $v_{\text{ип}}$, то в принятом подходе $v_{\text{ип}}$ имеет фиксированное значение, равное $1/M_{\text{ном}}$. При этом отклонение фактического значения $v_{\text{ип}}$ от $v_{\text{ип ном}}$ $1/M_{\text{ном}}$ принимается за метрологическую характеристику регистратора.

При начальной градуировке измерительного тракта регистратора контролируют приведенную скорость интегрирования при подаче на вход регистратора постоянного калибровочного напряжения. При этом добиваются равенства $v_{\text{ип}} = 1/M_{\text{ном}}$ путем изменения номинала резистора R (грубая аналоговая подстройка) и коэффициента K_M (точная цифровая подстройка). Так, для типичного номинального значения $M_{\text{ном}} = 0,2$ мкГн номинальная приведенная скорость интегрирования $v_{\text{ип ном}}$ составляет 5000 кА/с на 1 В.

Поскольку $v_{\text{ип}}$ должна быть константой, в процессе эксплуатации просто осуществить автоматическое поддержание метрологической характеристики регистратора в заданных пределах. Для этого лишь необходимо при включении регистратора (и периодически во время работы) выполнять сеанс регистрации при подключении входа интегратора к выходу встроенного высокостабильного источника опорного напряжения, вычислять фактическое значение $v_{\text{ип}}$ и при значимом отклонении от $v_{\text{ип ном}}$ выполнять коррекцию коэффициента K_M . Таким образом, все температурные и временные нестабильности R и C могут быть скомпенсированы.

Кроме того, при проведении калибровочных (поверочных) работ имеется возможность контролировать работу интегратора в рабочем диапазоне входных напряжений, соответствующем диапазону реальных скоростей нарастания сварочного тока. При сквозной калибровке это практически не осуществимо.

Что касается пояса Роговского, то для него характерны высокая линейность (нелинейность менее 0,1 %) и очень низкая температурная зависимость [2]. Проблема заключается в другом — в технологическом разбросе значений M (1—3 %). Однако и эта проблема легко преодолевается.

При работе регистратора с датчиком, имеющим значение коэффициента взаимной индукции $M_{\text{факт}}$, в алгоритме регистратора предусмотрено введение поправочного коэффициента $M_{\text{ном}}/M_{\text{факт}}$:

$$I_{\text{изм}}(t) = M_{\text{факт}}(M_{\text{ном}}/M_{\text{факт}}) \times v_{\text{ип ном}}I_{\text{св}}(t). \quad (5)$$

В результате действия этого коэффициента соотношение $I_{\text{изм}}(t) \equiv I_{\text{св}}(t)$ сохраняется.

Важно, что при $M_{\text{факт}} \neq M_{\text{ном}}$ изменяется предел измеряемых (регистрируемых) токов. Действительно, как следует из формулы (2), предел измеряемого тока $I_{\text{пред}}$ определяется следующим образом:

$$I_{\text{пред}} = (U_{\text{АЦП max}}/M)T, \quad (6)$$

где $U_{\text{АЦП max}}$ — максимальное напряжение на входе АЦП, соответствующее максимальному коду АЦП.

В результате датчику с $M_{\text{факт}} \neq M_{\text{ном}}$ соответствует отличное от номинального предельное значение измеряемого тока:

$$I_{\text{пред факт}} = (U_{\text{АЦП max}}/M_{\text{факт}})T. \quad (7)$$

Таким образом, принятый принцип построения регистратора позволяет применять датчики, чувствительность которых может варьироваться. Тем самым решается как проблема работы регистратора с датчиками, имеющими технологические разбросы чувствительности, так и проблема расширения диапазона регистрации сварочного тока при применении набора датчиков, имеющих существенно различающиеся чувствительности. Разумеется, управляющей программе регистратора должна быть сообщена информация о величине $M_{\text{факт}}$ для датчика, подключенного к регистратору в данный момент. В описываемых регистраторах предусматриваются автоматическое распознавание идентификационного номера подключенного датчика и выбор из таблицы соответствующего значения $M_{\text{факт}}$.

Ценою таких преимуществ является необходимость точного определения $M_{\text{факт}}$ для каждого

из датчиков, применяемых совместно с регистратором, и занесение его значения в таблицу. Для этой цели можно использовать измерительную установку, схема которой приведена на рис. 2.

В такой установке регулируемый трансформатор питается от промышленной сети, ток в выходном витке понижающего трансформатора контролируют высокочастотными измерительными трансформатором тока и амперметром, а в качестве измерителя обычно используют цифровой вольтметр. При этом чувствительность датчика тока определяется как отношение показаний вольтметра и амперметра. Предположив, что частота напряжения сети известна, а форма тока синусоидальна, можно рассчитать $M_{\text{факт}}$. Однако измерителем может служить и собственно регистратор, который будет показывать уже не напряжение, а величину тока. Поскольку для испытуемого датчика значение $M_{\text{факт}}$ еще не известно и при вычислении величины тока используется какое-то другое значение (например $M_{\text{ном}}$), то показание регистратора I_p в общем случае не должно совпадать с показанием амперметра, умноженным на коэффициент трансфор-

мации трансформатора тока $I_{\text{ат}}$. Таким образом,

$$M_{\text{факт}} = I_p / I_{\text{ат}} M_{\text{ном}}$$

Необходимо заметить, что в реальных условиях эксплуатации сварочных машин следует учитывать наличие методических погрешностей измерений тока, обусловленных чувствительностью датчиков ВТТ к смещениям относительно идеального положения в пространстве (плоскость, перпендикулярная направлению тока, причем последний протекает строго через центр датчика), а также к влиянию магнитных полей, вызванных расположенными вблизи ферромагнитными массами или ограниченной длиной прямого проводника, проходящего через центр датчика.

Теоретически эдс, индуцируемая в обмотке ВТТ, не зависит от ориентации обмотки по отношению к шинопроводу вторичного контура. Правда, при условии, что витки обмотки намотаны с постоянным шагом и магнитное поле тока достаточно равномерное [2]. Практика же использования ВТТ при измерении тока контактных машин показывает наличие такой зависимости (до 1 % и более). Этот факт, по-видимому, объясняется как неконтролируемой неравномерностью намотки, так и тем обстоятельством, что вторичный контур контактных машин, как правило, компактен и магнитное поле имеет сложную неоднородную конфигурацию (в том числе и из-за наличия близко расположенных ферромагнитных масс).

Так или иначе, но M нельзя считать константой. С целью повышения точности измерения необходимо закрепить датчик на вторичном контуре сварочной машины стационарно и провести коррекцию величины $M_{\text{факт}}$, указанной в паспорте датчика, используя схему на рис. 3.

При жесткой фиксации датчика $M_{\text{факт}}$ в процессе эксплуатации изменяться не будет, но датчик

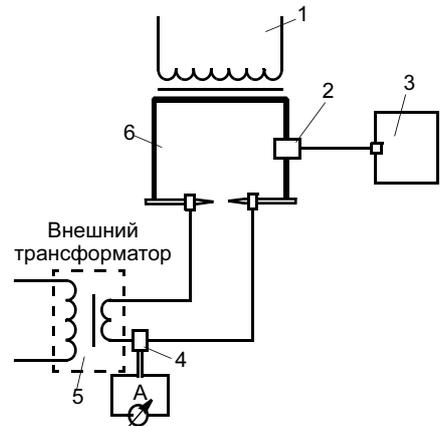


Рис. 3. Схема коррекции величины коэффициента взаимной индукции: 1 — сварочный трансформатор сварочной машины; 2 — датчик тока, закрепленный на шинопроводе вторичного контура, подлежащий градуировке; 3 — регистратор; 4 — измерительный трансформатор тока; 5 — внешний трансформатор; 6 — вторичный контур сварочной машины

становится принадлежностью сварочной машины. При использовании регистратора РТКСМ это не составляет проблемы, поскольку он рассчитан на работу с большим количеством датчиков (до 253).

Существует компромиссное решение — размещение обмотки пояса Роговского на токопроводящей шине, включаемой при измерениях между электродами сварочной машины. Подобные датчики не пригодны для измерения тока при реальной сварке, но с успехом применяются при калибровке каналов измерения тока регуляторов контактной сварки типа РКМ. Это датчики ИДТ-1 и ИДТ-2, разработанные специально для совместного использования с регистратором РТКСМ (рис. 4).

Датчик ИДТ-1 выполнен в виде однослойной измерительной обмотки, жестко закрепленной на токопроводящей медной шине прямоугольного сечения, свернутой в контур прямоугольной формы.

Датчик ИДТ-2 выполнен в виде однослойной измерительной обмотки, жестко закрепленной на центральной части выполненного из медного сплава массивного токопроводящего элемента, зажимаемого токоподводящими плат-

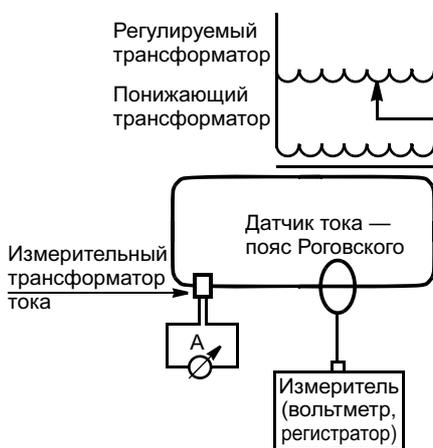


Рис. 2. Схема установки для определения коэффициента взаимной индукции обмотки датчика тока с охватываемым проводником



Рис. 4. Датчики ИДТ-1 (а) и ИДТ-2 (б)

формами рельефной сварочной машины.

Помимо решения проблемы с нестабильностью коэффициента взаимной индукции при плавающей ориентации датчики ИДТ-1 и ИДТ-2 повышают предел измеряемых регистратором РТКСМ токов: ИДТ-1 — до 70 кА, ИДТ-2 — до 250 кА. Расширение диапазона измерения происходит за счет того, что коэффициент взаимной индукции датчика ИДТ пропорционально меньше коэффициента взаимной индукции датчика, штатно входящего в комплект регистратора РТКСМ.

Метрологическое обеспечение измерений (регистрации) сварочного тока основано на поэлементном подходе, отраженном в формуле (4). Здесь под "регистрацией" будем подразумевать измерение ряда мгновенных значений тока в виде функции времени с последующей записью этих значений в устройство памяти. В дальнейшем эта запись может быть использована для вывода кривой тока на экран компьютера или распечатки в виде графика, а также для вычисления любых функционалов, характеризующих те или иные параметры зарегистрированного тока.

Погрешность регистрации включает в общем случае погрешность, связанную с дискретизацией во времени непрерывной функции тока, а также погрешность, характеризующую измерение тока (погрешность квантования по уровню посредством АЦП — только одна из

ее составляющих, причем не самая значительная).

Погрешность дискретизации измеряемого тока по времени определяется стабильностью частоты кварцевого генератора АЦП. Как показали испытания регистратора РТКСМ, она не превышает 0,1 % от периода колебаний сварочного тока и далее рассматриваться не будет.

Токовая погрешность [см. формулу (4)] включает составляющие погрешности коэффициента взаимной индукции M и погрешности приведенной скорости интегрирования $v_{\text{ип}}$.

Как показали результаты исследований при проведении испытаний регистратора сварочного тока РТКСМ, приведенная скорость интегрирования является адекватной характеристикой регистраторов, работающих с датчиками типа пояс Роговского. Имеется массив данных из 100 измерений в диапазоне от 25 до 3200 мВ. Эта характеристика неизменна для каждого экземпляра данного прибора в рабочем диапазоне входных сигналов, ее легко контролировать подачей на интегрирующий вход прибора постоянного напряжения, регулируемого в заданных пределах и измеряемого с необходимой точностью. Результаты испытаний показали, что значение $v_{\text{ип}}$ может быть установлено с погрешностью, не превышающей 0,4 % для данного типа средства измерений.

Что касается первичного преобразователя, то прямое сравне-

ние преобразователя ВТТ — пояса Роговского — с широко распространенными преобразователями большого тока — трансформаторами тока (ГОСТ 8.550—86) невозможно вследствие различия выходных сигналов этих устройств. В этом случае использована схема градуировки (калибровки) датчиков ВТТ на переменном токе, который измеряют амперметром достаточно высокой точности (класс 0,2) через эталонный измерительный трансформатор (И523 или ИТТ 3000.5), при этом сигнал ВТТ в штатном режиме подают на вход регистратора РТКСМ (см. рис. 2). Эта же схема может быть использована и для контроля линейности датчиков ВТТ в диапазоне реально достижимых в описываемой установке токов (до 10 кА).

Таким образом, в результате применения изложенного подхода успешно проведены в 1999 г. испытания с целью утверждения типа регистратора сварочного тока РТКСМ с датчиком до 20 кА. В 2004 г. диапазон регистратора был расширен до 250 кА с помощью датчиков тока ИДТ-1 и ИДТ-2 (зарегистрирован в Госреестре под № 27653-04).

Позднее успешно прошли метрологические испытания регистраторы РРС-4 (2004 г.) и РРС-8 (2005 г.), которые также были зарегистрированы в Госреестре средств измерений под № 27313-04 и 29796-05 соответственно.

Регистратор тока РТКСМ в настоящее время используется в качестве эталонного прибора, обеспечивая калибровку измерителей МИКС-2М и других рабочих средств измерения сварочного тока контактных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rogowski W., Steinhaus W. Die Messung der magnetischen Spannung // Arch. Elektrotech. 1912. Vol. 1. Pt. 4. P. 141—150.
2. Ковнерев М., Троицкий Ю. Использование катушки Роговского для токовых измерений // Электронные компоненты. 2005. № 5. С. 123—127.

Г. Х. МУРЗАХАНОВ, д-р техн. наук
(ООО "Терренсинжиниринг"),
Н. А. БЫСТРОВА, канд. техн. наук
("СертиНК" ФГУ НУЦСК при МГТУ им. Н. Э. Баумана),
С. Л. РЯБЦЕВ, канд. техн. наук
(МТУ Ростехнадзора по ЦФО)

Модель оценки остаточного ресурса резервуаров по критериям механики разрушения

Организация технического диагностирования резервуаров

Нормативной базой для осуществления диагностики технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров являются следующие нормативно-технические документы, действующие в Российской Федерации:

— ПБ 03-246—98 "Правила проведения экспертизы промышленной безопасности" (Гостехнадзор России, № 64 от 06.11.98);

— РД 03-484—02 "Положение о порядке продления срока безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений на опасных производственных объектах" (Гостехнадзор России, № 43 от 09.07.02);

— ПБ 08-624—03 "Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности" (Гостехнадзор России, № 56 от 05.06.03);

— ПБ 03-605—03 "Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов" (Гостехнадзор России, № 76 от 09.06.03);

— РД 39-30-1284—85 "Руководство по обследованию и дефектоскопии вертикальных стальных резервуаров";

— РД 08-95—95 "Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов";

— РД 153-112-017—97 "Инструкция по диагностике и оценке остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров";

— РД 03-421—01 "Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов";

— РД 09-539—03 "Положение о порядке экспертизы промышленной безопасности в химической,

нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности".

Международный опыт по диагностированию вертикальных стальных резервуаров наиболее полно отражен в стандарте Американского бюро стандартов API 650 "Сварные стальные резервуары хранения нефти" (10-е издание, включая Дополнение № 2).

Основными задачами контроля и диагностики резервуаров являются определение технического состояния на основе комплексного мониторинга в процессе создания и эксплуатации системы, оценка и прогнозирование динамики технического состояния с целью обеспечения надежной и безопасной эксплуатации резервуаров. Объектами технической диагностики являются все сооружения, установки, узлы и элементы в составе экосистемы резервуар—окружающая среда, мониторинг которой необходимо рассматривать как составную часть диагностики всей системы и ее элементов.

Диагностика технического состояния резервуара должна учитывать результаты контроля на всех этапах его жизненного цикла от изысканий, проектирования, сооружения, испытаний, сдачи в эксплуатацию, приработки и нормального функционирования до этапов старения системы, ее ремонта и восстановления работоспособности. Оценка технического состояния системы и ее параметров необходимо производить на основе специально разработанных методик с учетом строительных и технологических условий (указаний), инструкций, проектных решений и других нормативных требований.

Контроль и мониторинг технического состояния резервуаров включает:

— получение информации в предэксплуатационный период (ранняя диагностика) из проектных материалов, включая материалы изысканий, лабораторных исследований грунтов, материалов и элементов сооружений; заводских исследований изделий и оборудования, сертификатов, исполнительной документации; приемо-сдаточных испытаний резер-

вуаров, по которым устанавливается степень соответствия системы техническим требованиям и ее работоспособность;

— получение информации при текущей эксплуатации системы по материалам периодических (плановых или эпизодических) обследований, измерений, наблюдений за динамикой системы и окружающей среды и экологической ситуации в зоне расположения контролируемых объектов, включая получение информации при проведении ремонтных и восстановительных работ, а также реконструкции системы, используемой для принятия мер по поддержанию надежности и безопасности эксплуатации системы.

Модель коррозионного растрескивания резервуаров, основанная на критериях механики разрушения

Коррозионное растрескивание — один из наиболее опасных и важных видов повреждаемости металлов и их разрушения при совместном воздействии статически приложенных напряжений и коррозионных сред [1]. В отечественной литературе обычно используют термин "коррозионное растрескивание под напряжением" (КРН, стресс-коррозия).

В методике используется модель КРН, соединяющая модели накопления повреждений и модели механики разрушения. В основу положен объединенный подход к явлениям разрушения и повреждения, учитывающий как соотношения глобального энергетического баланса, так и накопление микроповреждений, уровень которых оказывает существенное влияние на удельную работу разрушения. В отличие от линейной механики разрушения, трещина рассматривается как узкая щель с конечным радиусом кривизны на фронте. Модель включает учет ряда эффектов: затупление фронта трещины при преобладании коррозионных повреждений и заострение при преобладании механических повреждений; образование оксидной пленки, замедляющей процесс коррозии, и образование ювенильных поверхностей, т. е. разрушение пленок и обнажение металла при чисто механическом продвижении фронта трещины.

Рассмотрим участок внутренней поверхности резервуара с краевой трещиной (рис. 1, а). Глубину трещины обозначим a , радиус кривизны на фронте ρ . Примем, что резервуар работает в условиях плоской деформации с номинальным окружным напряжением отрыва $\sigma_\theta = \sigma_\infty$ ($\sigma_\theta = pR/r$, где p , R и r — соответственно давление, радиус и толщина стенки резервуара). Поверхность

контактирует с активной средой, свойства которой характеризуем концентрацией активного агента на поверхности c_∞ . Радиус кривизны может изменяться в широких пределах. Его начальное значение обозначим ρ_0 . Характерные значения ρ составляют ρ_s для чисто механического микроповреждения у фронта неподвижной трещины и ρ_c — для коррозионного разъедания (рис. 1, б, в).

В отличие от линейной механики разрушения принимаем, что на фронте трещины возникают конечные напряжения. Их величину нетрудно связать с глубиной трещины и радиусом. Для одиночной трещины условие роста зависит от соотношения между активной обобщенной силой G , продвигающей трещину, и соответствующей силой сопротивления Γ :

$$G(t) \underset{<}{>} \Gamma(t). \tag{1}$$

Трещина не растет, если $G(t) < \Gamma(t)$. Это отвечает инкубационной стадии или стадии остановки из-за падения уровня нагрузки, встречи фронта с более прочным материалом и т. п. Трещина начинает расти при первом достижении равенства $G(t) = \Gamma(t)$. Процесс роста трещин управляется накоплением микроповреждений на их фронтах. Применительно к трещине коррозионного растрескивания (см. рис. 1) введем две феноменологические меры микроповреждений. Мера ψ_s описывает чисто механическое повреждение, ψ_c — чисто коррозионное. Обе меры принимают значения из отрезка $[0, 1]$, причем нижние значения соответствуют неповрежденному материалу, верхние — полностью поврежденному. В общем случае обе части в соотношении (1) зависят от ψ_s и ψ_c .

Чтобы вычислить меры микроповреждений на фронте трещины, нужно учесть предысторию нагружения. Обозначим меры микроповреждений на продолжении фронта трещины, т. е. при $x > a$ через $\varphi_s(x, t)$ и $\varphi_c(x, t)$. Тогда

$$\psi_s(t) = \varphi_s(a(t), t), \psi_c(t) = \varphi_c(a(t), t). \tag{2}$$

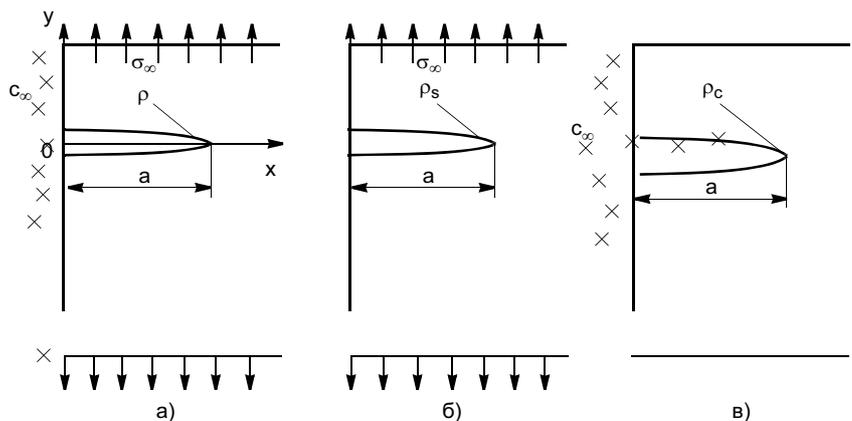


Рис. 1. Участок внутренней поверхности резервуара с краевой трещиной

Пренебрегая наследственными эффектами, примем, что процесс накопления микроповреждений описывается дифференциальными уравнениями

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi_s}{\partial t} &= \frac{1}{t_s} f_s(\sigma_\infty, c_\infty, a, \rho, \varphi_s, \varphi_c, x), \\ \frac{\partial \varphi_c}{\partial t} &= \frac{1}{t_c} f_c(\sigma_\infty, c_\infty, a, \rho, \varphi_s, \varphi_c, x), \end{aligned} \quad (3)$$

где t_s, t_c — постоянные времени; f_s, f_c — некоторые функции.

Чтобы замкнуть систему уравнений, нужно иметь выражение для радиуса кривизны на фронте трещины ρ . Этот радиус зависит от мер накопления повреждений.

Говоря о механических повреждениях, отметим, что процесс их накопления связан со значениями напряжений $\sigma_y(x, y, t)$ на продолжении фронта трещины $x \geq a, y = 0$. Простейшая модель накопления механических повреждений описывается уравнением порогово-степенного вида

$$\frac{\partial \varphi_s}{\partial t} = \frac{1}{t_s} \left(\frac{\sigma_y - \sigma_{th}}{\sigma_f} \right)^{m_f}, \quad (4)$$

где t — время; σ_y — напряжения отрыва на фронте трещины и ее продолжении; в правой части уравнения — параметры материала: t_s — постоянная времени; σ_f — характеристика сопротивления материала накоплению механических повреждений; σ_{th} — пороговое значение этого сопротивления; m_f — положительный показатель, по смыслу аналогичный показателю кривых усталости и/или показателю в правой части уравнения Пэриса—Эрдогана, описывающему рост усталостных трещин [2]. Характеристики материала $t_s, \sigma_f, \sigma_{th}$ и m_f зависят от параметров нагружения и температуры.

Если $\sigma_y \leq \sigma_{th}$, то правая часть выражения (4) обращается в нуль. Для вычисления напряжений σ_y при $x \geq a$ представим трещину как узкую эллиптическую щель с полуосями a и $b \ll a$ и радиусом кривизны на фронте ρ на конце большой полуоси. Согласно подходу Колосова—Мусхелишвили, распределение напряжений σ_y на продолжении большой полуоси представляется в следующем виде [3]:

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_y}{\sigma_\infty} &= \frac{\xi^2 + \mu}{\xi^2 - \mu} + \frac{(1 + \mu)^2 [\xi^4 + 3\xi^2 + \mu(\xi^2 - 1)]}{2(\xi^2 - \mu)^3}, \\ \xi &= \frac{(x/a) + [(x/a)^2 + (\rho/a) - 1]^{1/2}}{1 + (\rho/a)^{1/2}}; \mu = \frac{1 - (\rho/a)^{1/2}}{1 + (\rho/a)^{1/2}}. \end{aligned} \quad (5)$$

В инженерных расчетах для вычисления напряжений можно использовать формулу [3]

$$\begin{aligned} \sigma &= \sigma_\infty k \left[1 + 4 \frac{x-a}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}}; \\ k &= 1 + 2Y \left(\frac{a}{\rho} \right)^{1/2}, \end{aligned} \quad (6)$$

где Y — поправочная тарировочная функция.

Для поверхностной краевой трещины в резервуаре $Y = 1,12 - 0,232\lambda + 10,6\lambda^2 - 21,7\lambda^3 + 30,42\lambda^4$ ($\lambda = a/h$; h — толщина стенки резервуара).

Для описания процессов повреждения и разрушения при наличии физико-химических воздействий среды необходимо добавлять уравнение диффузии. Это уравнение вместе с основными уравнениями накопления повреждений и условиями страгивания трещины образует замкнутую систему уравнений. Обозначим c_t — концентрация активного агента (водородный показатель pH и т. п.) на фронте трещины $x = a$. Для мелких трещин $c_t \approx c_\infty$ (c_∞ — концентрация у поверхности резервуара, т. е. у входа в трещину). Для глубоких трещин $c_t < c_\infty$. Для определения c_t необходимо решить гидродинамическую задачу с учетом диффузии агента и его взаимодействия с концевой зоной, а также поверхностями трещины. Задача осложняется тем, что форма трещины изменяется из-за ее роста. Кроме того, реальные трещины извилисты и имеют неправильную форму. Хотя соответствующую гидродинамическую задачу можно рассматривать в одномерной постановке, ее включение в модель представляется нецелесообразным. Введем дифференциальное уравнение

$$\frac{dc_t}{dt} = \frac{c_a - c_t}{\lambda_c} \frac{da}{dt} + \frac{c_a - c_t}{t_a}, \quad (7)$$

где c_a — установившееся значение концентрации на неподвижном фронте; λ_c — параметр длины; t_a — временной параметр, характеризующий скорость изменения $c_t(t)$ при остановившемся фронте.

Концентрацию c_a введем как

$$c_a = \frac{c_\infty}{1 + a/a_\infty}, \quad (8)$$

где c_∞ — концентрация у входа в трещину; a_∞ — параметр материала, размерности длины. С углублением трещины концентрация c_a убывает из-за затруднения доступа свежего агента.

Таким образом, модель, описываемая формулами (7) и (8), оказывается достаточно гибкой, чтобы описать изменение концентрации на фронте с уче-

том основных факторов — глубины трещины и скорости ее роста. Зона с характерным размером λ_c , где происходит интенсивное накопление коррозионных повреждений, не совпадает с соответствующей зоной механических повреждений.

Введем меру коррозионных повреждений φ_c и $0 \leq \varphi_c \leq 1$, причем ее значение на фронте трещины обозначим ψ_c . При выборе модели, определяющей накопление коррозионных повреждений, необходимо учитывать ускорение процесса коррозионного повреждения вследствие образования ювенильных поверхностей и репассивацию — замедление процесса вследствие образования оксидной пленки.

Процесс накопления коррозионных повреждений будем описывать уравнением

$$\frac{\partial \psi_c}{\partial t} = \frac{1}{t_c} \left[\frac{c_t - c_{th}}{c_d} \right]^{m_c} \frac{1 - \psi_c}{1 - \psi_s}, \quad (9)$$

где t — время; c_t — концентрация активного агента в момент времени t ; здесь введены следующие параметры материала: c_d — концентрация, характеризующая сопротивление материала накоплению коррозионных повреждений; c_{th} — порог этой концентрации; m_c — положительный показатель, характеризующий скорость накопления коррозионных повреждений.

Характеристики материала t_c , c_d , c_{th} и m_c зависят от типа коррозионной среды, параметров нагружения и температуры. Если $c_t < c_{th}$, то правая часть выражения (9), определяющего процесс накопления коррозионных повреждений, равна нулю.

Как упоминалось ранее, центральный пункт теории роста трещин — учет влияния микроповреждений на сопротивление росту трещины. Микроповреждения распределены по всему объему тела неравномерно, но плотность их распределения достигает наибольших значений вблизи фронтов трещин, где концентрация напряжений особенно велика. В общем случае обе силы $G(t)$ и $\Gamma(t)$ зависят от $\psi_s(t)$ и $\psi_c(t)$. Поскольку активная обобщенная сила G характеризует высвобождение энергии во всей системе тело с трещиной — нагрузка, то влияние микроповреждений на значение этой силы весьма незначительно. Поэтому можно положить

$$G = K^2(1 - \nu^2)/E, \quad (10)$$

где K — коэффициент интенсивности напряжений; E — модуль Юнга; ν — коэффициент Пуассона материала.

При вычислении пассивной обобщенной силы Γ необходимо учитывать как механическую, так и коррозионную составляющие. Сила Γ выражается через удельную работу разрушения γ , равную энергии, которую нужно затратить для продвижения фронта

трещины на единицу площади. Простейшая модель — аддитивная, при этом

$$\Gamma = \gamma_0 [1 - (\varphi_s + \varphi_c)^\alpha], \quad (11)$$

где γ_0 — удельная работа разрушения для неповрежденного материала; α — некоторый положительный показатель.

В данной теории, как упоминалось ранее, придется отказаться от трактовки трещин как математических разрезов, поскольку такая трактовка приводит к сингулярностям. Для полного описания условий у фронта трещины необходимо ввести либо радиус кривизны на фронте ρ (в случае, если материал трактуется как упругий), либо раскрытие трещины на фронте δ (если, например, используется модель тонкой пластической зоны). В дальнейшем полагаем, что материал деформируется упруго, а радиус ρ имеет смысл некоторой характеристики, которая описывает концентрацию напряжений на фронте трещины при наличии сложной фрактографической картины и снижения жесткости материала в окрестности фронта.

Радиус кривизны на фронте трещины — величина переменная. Трещина затупляется, если она растет медленно при высоком уровне микроповреждений на фронте. При ускоренном росте трещины происходит ее заострение. Таким образом, уравнение относительно радиуса ρ должно включать две противоположные тенденции — заострение с увеличением скорости роста da/dt и затупление с увеличением скорости накопления микроповреждений $d\psi/dt$. В дальнейшем для ρ используем феноменологическую модель, аналогичную той, которая описана уравнением (7). Аналитическая модель, включающая эти тенденции, имеет вид

$$\frac{d\rho}{dt} = (\rho_f - \rho) \frac{d\psi_s}{dt} + \frac{\rho_s - \rho}{\lambda_\rho} \frac{da}{dt} + (\rho_c - \rho) \frac{d\psi_c}{dt}, \quad (12)$$

где ρ_s , ρ_f , ρ_c — радиусы "острой" трещины, "тупой" трещины от механических повреждений и от коррозии соответственно; λ_ρ — масштаб длины, характеризующий расстояние, которое должен пройти фронт трещины, чтобы заострение трещины стало заметным.

Очевидно, что λ_ρ имеет порядок зоны λ_s . Простейшая связь радиуса кривизны с мерами микроповреждений — конечное соотношение

$$\rho = \rho_s + \rho_f \psi_s + \rho_c \psi_c. \quad (13)$$

В правой части соотношения (13) второй член описывает процесс заострения до "острого" значения радиуса ρ_s , два других — процессы затупления до "тупых" значений ρ_f и ρ_c для механических и кор-

розионных повреждений соответственно. При этом $\rho_s \ll \min\{\rho_f, \rho_c\}$ (ρ_f и ρ_c могут иметь одинаковый порядок).

Целесообразно проводить различия между радиусами ρ_s , ρ_f и ρ_c , относящимся к микрорельефу поверхности, и радиусами закруглений у конструктивных концентраторов напряжений, которые на порядок и более превышают максимальные значения ρ . Возмущения, которые конструктивные концентраторы напряжений вносят в поле напряжений, следует учитывать в номинальных напряжениях.

Для медленно растущей трещины в квазистационарном приближении можно получить кинетическое уравнение роста трещины

$$\frac{da}{dt} = \left[\frac{\lambda_f(\sigma_y - \sigma_{th})}{t_f \sigma_d} \right]^{m_f} + \left[\frac{\lambda_c(c_t - c_{th})}{t_c c_d} \right]^{m_c} \times \left[\left(1 - \frac{K^2}{K_c^2} \right)^{1/2} - \Psi_{ff} \right]^{-1}; \quad (14)$$

$$K = Y\sigma_\infty(\pi a)^{1/2}, \quad (15)$$

где K_c — критическое (в смысле механического разрушения) значение коэффициента интенсивности напряжений: $K_c^2 = \gamma_0 E / (1 - \nu^2)$; Ψ_{ff} — значение меры механических микроповреждений в дальнем поле, т. е. значение, достигнутое до того, как частицы материала попали в концевую зону у вершины трещины с повышенным уровнем напряжений.

Предложенная модель позволяет определить инкубационную стадию зарождения коррозионной трещины, для которой $a = a_0 = \text{const}$. Остаточный ресурс резервуара состоит из инкубационной стадии зарождения коррозионной трещины и времени ее подрастания t_p до критической глубины a_c , определяемой из условия

$$K_{\max} = K_c(K_{1c}). \quad (16)$$

Данная модель также позволяет описать явление питтинг-коррозии. Пусть механические воздействия отсутствуют, т. е. $\sigma_\infty = 0$. Тогда $G = 0$ и условие равновесности принимает вид $\Gamma(t) = 0$. Отсюда для растущего макродефекта получаем уравнение $\Psi_{ff}(t) + \psi_c(t) = 1$. Время окончания инкубационной стадии определим как первый корень этого уравнения. Если $\Psi_{ff} \ll 1$, то радиус кривизны на дне коррозионной ямки в конце инкубационной стадии близок к ρ_c . Дальнейшее углубление ямки можно описать с помощью приближенного уравнения

$$\frac{da}{dt} = \frac{\lambda_c}{t_c} \left(\frac{c_t - c_{th}}{c_d} \right) (1 - \Psi_{ff})^{-1}, \quad (17)$$

которое следует как частный случай из уравнения (14) при $\sigma_\infty = 0$ и $K = 0$.

Большинство обнаруженных неразрушающим методом дефектоскопии коррозионных трещин можно аппроксимировать либо поверхностной краевой, либо полуэллиптической трещиной. Для поверхностной полуэллиптической трещины коэффициент интенсивности напряжений вычисляется по формулам [4]

$$K = \sigma_\infty \left(\frac{\pi a}{Q} \right)^{1/2} F \left(\frac{a}{b}, \frac{a}{h}, \frac{r}{h}, R, \phi \right);$$

$$Q = 1 + 1,464 \left(\frac{a}{b} \right)^{1,65};$$

$$F = 0,97 \left[M_1 + M_2 \left(\frac{a}{h} \right)^2 + M_3 \left(\frac{a}{h} \right)^4 \right] g f_\phi f_c;$$

$$M_1 = 1,13 - 0,09 \frac{a}{b};$$

$$M_2 = -0,54 + 0,89 \left(0,2 + \frac{a}{b} \right)^{-1};$$

$$M_3 = 0,5 - \left(0,65 + \frac{a}{b} \right)^{-1} + 14 \left(1 - \frac{a}{b} \right)^{24};$$

$$g = 1 + \left[0,1 + 0,35 \left(\frac{a}{h} \right)^2 \right] (1 - \sin \phi)^2;$$

$$f_\phi = \left[\sin^2 \phi + \left(\frac{a}{b} \right)^2 \cos^2 \phi \right]^{1/4};$$

$$f_c = \left[\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} + 1 - 0,5 \left(\frac{a}{h} \right)^{1/2} \right] \frac{h}{r}, \quad (18)$$

где a , b — глубина и длина трещины соответственно; h — толщина стенки; r , R — внутренний и наружный радиусы резервуара соответственно; ϕ — угол, определяющий точку, где вычисляется K (рис. 2).

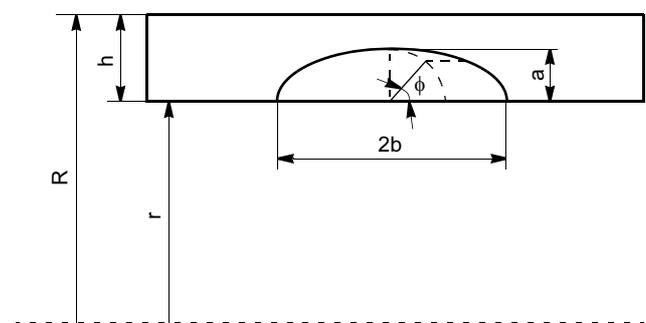


Рис. 2. Поверхностная полуэллиптическая трещина

В качестве примера приведем результаты сравнительного анализа расчета остаточного ресурса резервуара по предлагаемой методике и существующим нормам (РД 153-112-017—97, РД 03-421—01). Приведем геометрические размеры и физико-механические характеристики вертикального стального резервуара для хранения нефти: диаметр резервуара $D = 4,0$ м, высота стенки резервуара $H = 21,0$ м, высота заполнения $H_n = 20,0$ м, толщина стенки резервуара $h = 10,0$ мм, плотность хранимого продукта $\rho = 1000$ кг/м³, материал резервуара — сталь 09Г2С-12, предел прочности $\sigma_B = 460$ МПа, предел текучести $\sigma_T = 380$ МПа, критическое значение коэффициента интенсивности напряжения $K_{Ic} = 45,0$ МПа · м^{1/2}. После десяти лет эксплуатации резервуара в стенке нижнего пояса обнаружена краевая стресс-коррозионная трещина глубиной $a_0 = 2,0$ мм. Расчет остаточного ресурса по существующим нормам — 35 лет, по предлагаемой методике — 10 лет. Верификация результатов оценки остаточного ресурса по предлагаемой методике может быть осуществлена после внедрения методики в практику расчетов резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов.

Заключение. В отличие от традиционных методов диагностики резервуаров, в которых приоритет отдается приборным неразрушающим методам, предлагаемая методика реализует комплексный подход. Исходные данные неразрушающего контроля и лабораторного исследования физико-механических свойств металла являются основой для расчетной оценки остаточного ресурса резервуаров.

Расчетная методика базируется на продвинутых моделях механики разрушения. Исследуется весь процесс нагружения резервуара с начала эксплуатации до настоящего момента, широкий спектр дефектов. В методике реализованы современные универсальные модели коррозионного износа, усталости и растрескивания. Расчет напряженно-деформированного состояния проводят с учетом реальных условий эксплуатации резервуаров. Прогнозирование долговечности и остаточного ресурса включает как инкубационную стадию зарождения трещин, так и стадию развития трещин до критических размеров. Данная методика обладает научной новизной и имеет ряд преимуществ по сравнению с другими нормативными документами.

В разработанной расчетной методике:

- предложены модели схематизации реальных трещиноподобных дефектов набором типовых трещин, основанные на теоремах сравнения механики разрушения;
- в качестве критериев трещиностойкости используются нелинейные модели, позволяющие опи-

сывать процессы развития дефектов при наличии в зонах концентраторов напряжений существенных пластических деформаций. В существующих отраслевых нормах применяются модели квази-хрупкого разрушения линейной механики разрушения;

- предложены усовершенствованные модели, описывающие рост дефектов при циклических и длительно действующих постоянных нагрузках;
- разработана иерархическая система моделей и критериев коррозионного износа, растрескивания и усталости. Используемые критерии позволяют оценивать остаточный ресурс при наличии одиночных и распределенных локальных коррозионных дефектов типа коррозионных язв, питтингов, ручейковой коррозии и т. д.;
- предложенные модели коррозионного разрушения основаны как на критериях остаточной прочности, так и многопараметрической механики разрушения;
- использованные модели являются универсальными, позволяют описывать процесс коррозионного разрушения для различных коррозионно-активных сред, действующих как внутри, так и снаружи резервуара;
- в разработанных моделях коррозионного разрушения скорость локальной коррозии не является постоянной величиной, а существенно возрастает в процессе развития дефектов и накопления повреждений.

Оценка остаточного ресурса резервуаров по рекомендованной методике реализована в виде ряда управляющих компьютерных программ и программных комплексов. Программные комплексы созданы в системе визуального объектно-ориентированного программирования и позволяют в интерактивном режиме проводить расчеты остаточного ресурса резервуаров широкого класса и назначения, содержащих различные дефекты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотин В. В. Ресурс машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1990. 447 с.
2. Мурзаханов Г. Х. Математическое моделирование процессов разрушения. М.: МЭИ, 1989. 105 с.
3. Мурзаханов Г. Х., Шипков А. А. Математические модели коррозионно-механического разрушения материалов. М.: МЭИ, 2003. 72 с.
4. Мурзаханов Г. Х. Диагностика технического состояния и оценка остаточного ресурса магистральных трубопроводов / Под ред. А. И. Владимировой, В. Я. Кершенбаумана. М.: Национальный институт нефти и газа, 2005. 105 с.
5. Мурзаханов Г. Х., Быстрова Н. А. Модели оценки остаточного ресурса трубопроводов. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. 112 с.

В. А. ВАСИН, канд. техн. наук

Московский институт электроники и математики (технический университет)

Функциональные устройства вакуумного оборудования электронного машиностроения на основе приводов управляемой упругой деформации¹

Развитие и совершенствование новых технологий предъявляет новые и ужесточает действующие требования к оборудованию. Так, для микро- и нанoeлектроники максимальные размеры частиц загрязнения в технологической среде составляют 0,005—0,008 мкм при топологических размерах микросхемы 0,045—0,065 мкм ([®] INTEL, Taiwan Semiconductor Manufacturing).

В конструкциях функциональных механизмов устранить генерацию микрочастиц износа трущихся пар возможно при применении, в частности, различных исполнительных устройств и систем с использованием принципа управляемой упругой деформации, при которой эффект функционирования механизмов создается в результате внутреннего трения².

Автором данной работы впервые в мировой практике разработан комплекс такого оборудования и внедрен в производство.

Механизмы этого типа основаны на использовании герметичных полых трубчатых элементов различной конфигурации (приводов) с различными по форме поперечными сечениями и пространственной ориентацией в составе законченного устройства или системы.

Для приведения в действие приводов в каждый из них независимо подается газообразный или жидкий энергоноситель, создающий в герметичной полости необходимое давление для деформации в упругой области. Величиной создаваемых давления и деформации легко управлять.

Примеры конструкций, выполненных на основе приводов управляемой упругой деформации

Исключительно простой является конструкция устройства захвата пластин (рис. 1). Подбирая определенным образом диаметр D_1 приводного элемента, можно удерживать пластины различного диаметра D . Захват и перенос пла-

стин может осуществляться как в атмосфере, так и в вакууме.

Привод захвата состоит из приводного элемента 1 с плоскооформенной формой нормального поперечного сечения. Свободные концы приводного элемента загерметизированы заглушками. К заглушкам крепятся винтами 2 сменные зажимные губки 5. Сжатый воздух в приводные элементы подается через трубопровод 3 и штуцер 4. При этом дуги приводных элементов раскрываются и в зону их действия вводится пластина. При сбрасывании давления губки сходятся и удерживают кромки пластины (например кремниевой) с малым усилием сжатия, что гарантирует ее неповреждаемость. Размеры губок должны охватывать края пластины в преде-

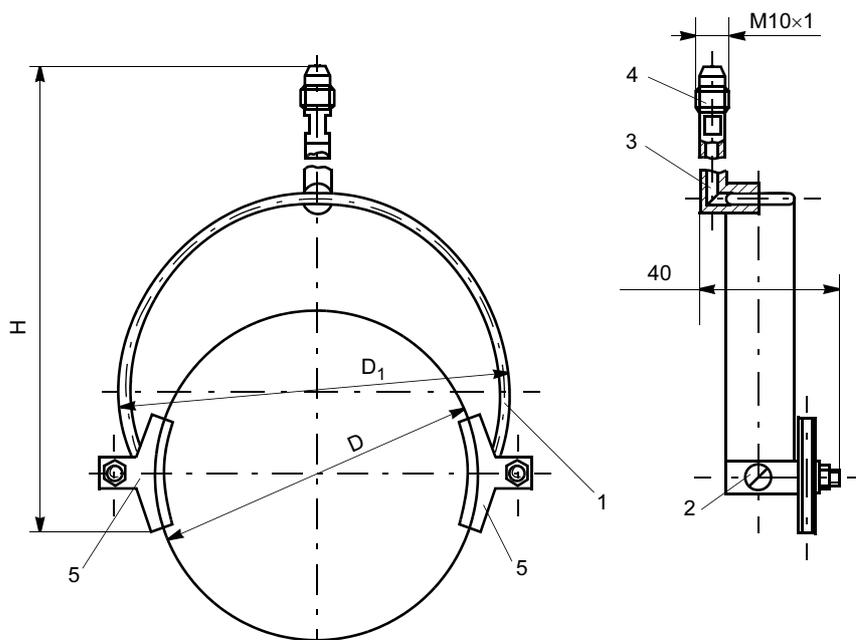


Рис. 1. Устройство захвата пластин

¹ Приведенные конструкции разработаны под руководством или с участием д-ра техн. наук, профессора А. Т. Александровой.

² Александрова А. Т. Теоретические основы расчета и конструирования функциональных устройств и систем оборудования высоких вакуумных технологий на основе приводов управляемой упругой деформации: Учебное пособие. М.: Московский государственный институт электроники и математики, 2003. 48 с.

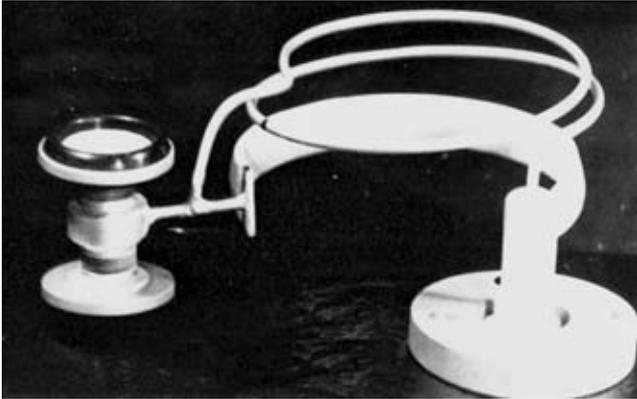


Рис. 2. Бескорпусной вакуумный прямопролетный клапан

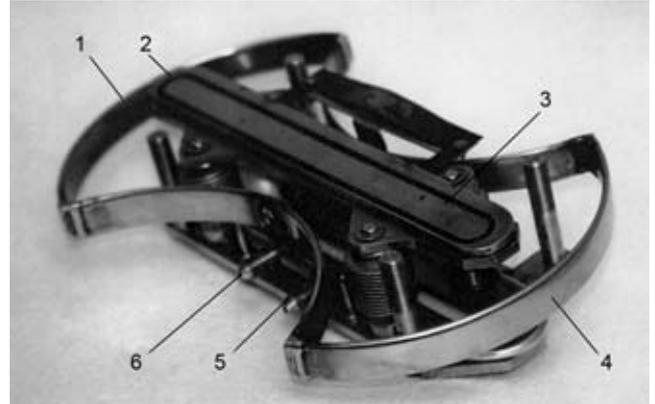


Рис. 3. Бескорпусной вакуумный щелевой затвор

лах угла $\alpha = 15 \div 20^\circ$ по обе стороны главной оси, обеспечивая при этом возможность манипулирования ею в любом положении. Штуцер и трубопровод герметично соединены с приводом лазерной сваркой.

На рис. 2 приведен бескорпусной вакуумный прямопролетный клапан двустороннего действия для герметичного перекрытия последовательно соединенных вакуумных камер в шлюзовых устройствах, например, камер источника электронов и приемной технологической камеры в электронно-лучевом и другом вакуумном оборудовании для перекрытия малых газовых потоков на уровне $10^{-7} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} \cdot \text{с}^{-1}$.

Уплотнительный узел состоит из двух сильфонов, переходной втулки и фланцев с уплотнителем.

Конструкция бескорпусного вакуумного щелевого затвора³ комбинированного типа приведена на рис. 3, в котором так же, как и в предыдущем случае (см. рис. 2), перемещение уплотнительного узла осуществляется приводом управляемой упругой деформации 1 (в данном случае приводом замкнутого контура), а уплотнение — сильфонами 4. Затвор этого типа позволяет герметизировать газовые потоки на уровне $10^{-7} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} \cdot \text{с}^{-1}$.

При этом внутреннее свободное пространство привода замк-

нутого контура 1 позволяет свободно передавать изделия в вакуумную технологическую камеру специальными манипуляторами в момент открытия щели. Усилие уплотнения, передаваемое на планку 3 с уплотнителем 2, создается четырьмя сильфонными прижимами 4. Планка закреплена на гиб-

кой подвеске для компенсационной развязки в момент ее прижима. Подвод сжатого воздуха осуществляется через трубки 6 и 5. Затворы этого типа успешно могут быть применены, например, в кластерном оборудовании.

На рис. 4, 5 приведены принципиальная схема и внешний вид

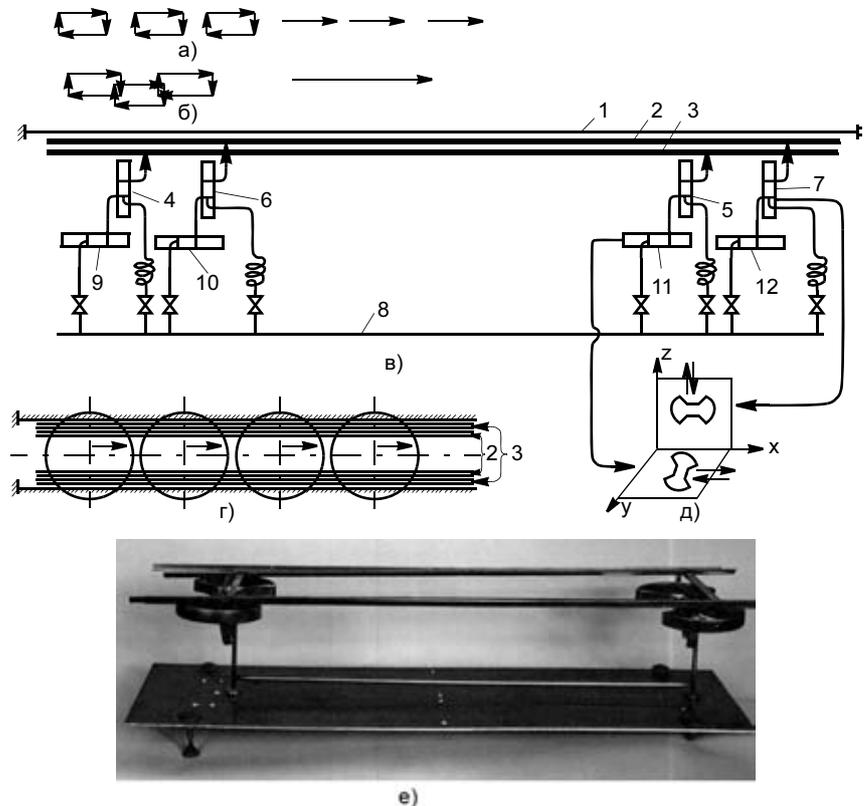


Рис. 4. Принципиальная схема (а—д) и внешний вид (е) системы транспортирования в вакууме на основе приводов замкнутого контура

³ Патент 2109196 (РФ).

системы транспортирования в вакууме⁴, позволяющей реализовать два режима перемещения изделий: дискретный (см. рис. 4, а) и непрерывный (см. рис. 4, б). Система транспортирования (см. рис. 4, в) состоит из неподвижной (базовой) направляющей 1 и двух подвижных направляющих 2 и 3, действующих от независимых приводов в соответствии с алгоритмом управления. Вертикальное перемещение направляющих осуществляется от приводов 4—7, горизонтальное — от приводов 9—12. Расстояние между приводами устанавливается из конструктивных соображений, т. е. размеров опорной поверхности изделий. Подача сжатого воздуха к приводам от общего коллектора 8 осуществляется электромагнитными клапанами. Для каждого привода вертикального перемещения предусмотрена компенсационная развязка за счет спирального участка трубки подачи сжатого воздуха. Схема ориентации приводов с указанием направления перемещения при деформации приведена на рис. 4, д. Дискретный или непрерывный режим перемещения изделий по циклам а) или б) (см. рис. 4, а, б) предусматривает использование любой из двух пар приводов подвижных планок, реализующих цикл "взял—перенес—положил".

Транспортирование изделий по круговой траектории, например пластин при осаждении многослойных покрытий, представляется легко осуществимым при применении устройства, приведенного на рис. 5.

Данное устройство позволит заменить тяжелые металлические карусели, размещенные в вакуумных камерах. Устройство транспортирования состоит из привода дискретного кругового перемещения 2 с жестко связанными с ним несущим кольцом 1, неподвижных кольцевых направляющих 8 и сильфонного двигателя 4 вертикально-

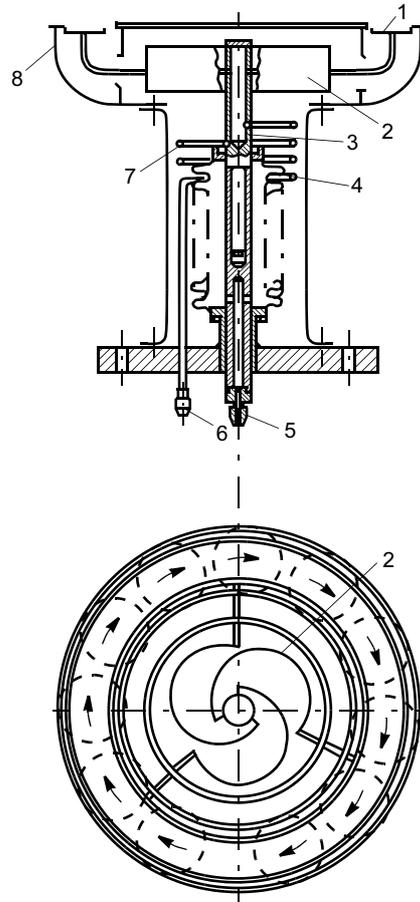


Рис. 5. Транспортное устройство перемещения по круговой траектории

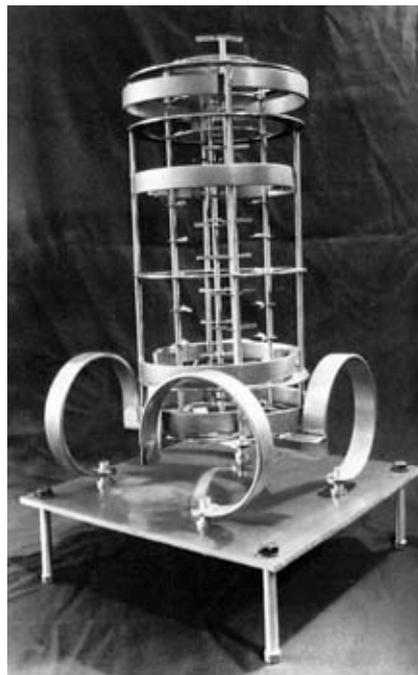


Рис. 6. Транспорт-накопитель

го перемещения. Несущее кольцо совершает круговое и вертикальное перемещения и дискретно переносит пластины по направляющим, также реализуя принцип "взял—перенес—положил". Питание энергоносителем сильфонного двигателя осуществляется через штуцер 5, а привода поворота 2 — через штуцер 6, трубопровод с компенсатором 7 и трубчатый коллектор 3.

Накопитель-транспорт вертикального перемещения дискретного действия предназначен для накопления пластин и передачи по технологическому маршруту (рис. 6). Накопление и дискретное перемещение пластин осуществляется на четырех штангах, оснащенных губками. На встречном квартете штанги губки смещены на полшага. Штанги попеременно осуществляют движение вниз и в сторону. При этом за один цикл изделия перемещаются на один шаг. Отвод штанги осуществляется приводами управляемой упругой деформации незамкнутого контура, вертикальное перемещение на величину шага может формироваться сильфонными двигателями, приводами замкнутого контура и приводами незамкнутого контура (см. рис. 6).

Приводы с прямолинейной осью целесообразно использовать для формирования малых перемещений и сравнительно небольших усилий при давлении во внутренней полости не более 0,5 МПа.

Возможно их применение в прецизионных устройствах для дозирования газовых потоков, датчиках давления, измерительных устройствах и др.

Эффект работы устройства для дозирования газовых потоков на основе данного привода состоит в изменении геометрической формы его поперечного сечения под действием подаваемого во внутреннюю полость избыточного давления. Деформируемая оболочка привода в этом случае непосредственно контактирует в направле-

⁴ Патент 2133706 (РФ).

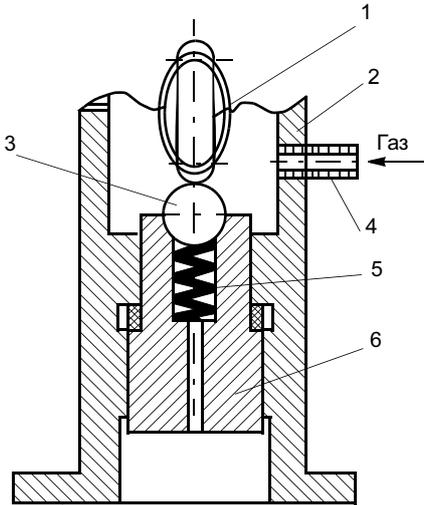


Рис. 7. Схема устройства дозирования газовых потоков: 1 — привод; 2 — корпус; 3 — шариковый клапан; 4 — штуцер; 5 — пружина; 6 — седло

нии одной из осей с перепускным клапаном.

Вариант схемы такого устройства (натекателя) приведен на рис. 7.

В исходном положении привод в направлении большой оси прижимает с соответствующим усилием шариковый клапан к седлу и создает необходимое уплотнение. При увеличении давления во внутренней полости привода изменяется профиль его нормального сечения. В данной схеме большая ось в результате упругой деформации уменьшается, а малая — увеличивается. При уменьшении большой оси шариковый клапан отжимается пружиной, и через образовавшийся зазор технологический газ в определенной дозе поступает в камеру. Поток газа дозируется регулированием кольце-

вого зазора клапана за счет увеличения или уменьшения давления внутри привода. Для обеспечения точности регулирования зазора привод соединен с сильфоном, образуя общую герметичную полость, заполненную малосжимаемой жидкостью. При сжатии сильфона давление в замкнутой полости увеличивается. Требуемая доза поступления газа через зазор легко и точно регулируется за счет деформации сильфона при сжатии, которая может осуществляться или вручную, или автоматически с использованием шагового двигателя.

Следует подчеркнуть, что благодаря краевым эффектам максимальная деформация сечения привода с прямолинейной осью имеет определенную область равных перемещений, равноудаленную от герметичных заделок (заглушек) по обоим торцам. В тех же случаях, когда область контакта должна быть достаточно протяженной, необходимо знать не только величину максимального перемещения, но и область равных перемещений вдоль оси.

Исследованиями установлено, что для гарантированного получения области равных перемещений, достаточной для взаимодействия с приводом исполнительных элементов системы (без потери величины перемещения), отношение длины привода к большей оси поперечного сечения должно быть не менее 5. Для натекателя, однако, необходимо знать и применять лишь максимальное перемещение в середине длины привода, так как



Рис. 9. Устройство для измерения пучков заряженных частиц

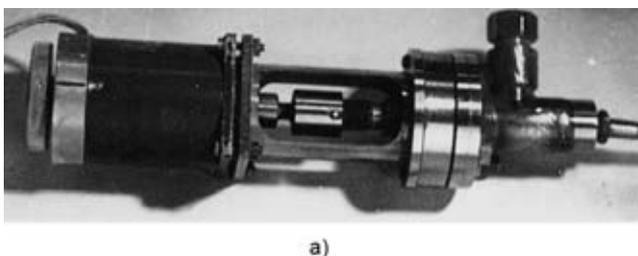
в этом случае используется точечный контакт.

Натекатель может быть выполнен как в нормально открытом⁵, так и нормально закрытом⁶ вариантах. Натекатель, серийно изготовленный до 1993 г. на заводах электронного машиностроения, был широко внедрен на различных предприятиях электронной промышленности. С 2002 г. в модернизированном варианте выпускается штучно и мелкосерийно для предприятий электронной, медицинской, тонкой химической промышленности и др. (рис. 8).

Для института экспериментальной и теоретической физики разработано устройство измерения параметров электронного пучка в ускорителе (рис. 9). Измерительная сетка, прикрепленная к кольцу этого устройства, вводится в момент измерения параметров в камеру ускорителя, а по окончании измерительной процедуры выводится из него.

⁵ А. с. 1566155 (СССР).

⁶ Патент 2224156 (РФ).



а)



б)

Рис. 8. Натекатель в корпусе (а) и без корпуса (б)

Перемещение сетки осуществляется от многовиткового привода, который рассчитан на значительное угловое перемещение в 40—50°, устанавливаемое регулируемыми упорами, для чего в кронштейне предусмотрены соответствующие пазы. Кронштейн смонтирован на трубке, через которую подается энергоноситель.

Экранирующие устройства

Простейшими функциональными механизмами на основе приводов управляемой упругой деформации незамкнутого контура являются устройства экранирования, широко применяемые во многих видах технологического оборудования для экранирования электронных и ионных пучков, тепловых и молекулярных потоков, защиты смотровых окон от пленок испаряющихся материалов и др.

Упрощенное устройство экранирования, конструкция которого близка к конструкции на рис. 9, не содержит узлов трения и направляющих (в отличие от традиционных) и, как показал опыт эксплуатации в камерах откачных постов, оборудования для осаждения тонких пленок и др., работает безотказно.

Во многих случаях для экранирования разработаны двухстворчатые экраны, а для экранирования больших площадей прямоугольной формы разработано двухстворчатое устройство, в котором использован принцип суммирования перемещений (рис. 10).

Одновременное срабатывание системы приводов, которые зеркальны друг другу и соединены между собой полрой трубкой, и наличие выравнивающего рычага, связанного с приводом, формируют результирующее прямолинейное перемещение экранов в противоположном направлении. С рычагом соединена одна из сторон экранирующего устройства, совершающая вместе с ним при подаче через коллектор в полости приводов избыточного давления плоскопараллельное перемещение.

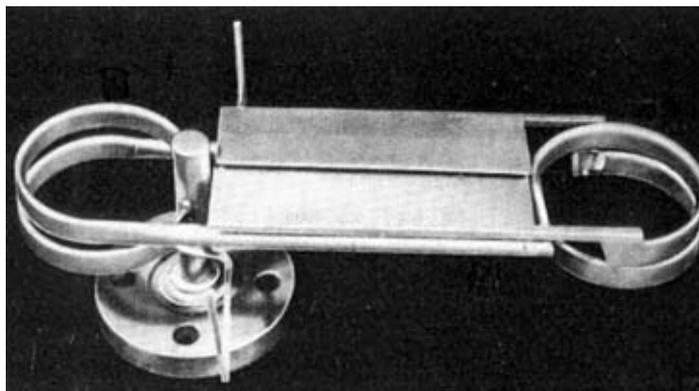


Рис. 10. Устройство для экранирования молекулярных потоков



Рис. 11. Коллиматор

Вторая пара приводов расположена зеркально по отношению к первой и формирует аналогичное плоско-параллельное движение, направленное в противоположную сторону.

Данное экранирующее устройство разработано по договору с НИИ "Полюс" и внедрено в оборудование для осаждения многослойных оптических покрытий с лазерным испарителем.

По типу рассмотренных экранирующих устройств разработано устройство для коллимации ионного пучка.

Коллимирующие устройства позволяют работать в широком диапазоне интенсивности ионных пучков от 10^{-8} до 10^{-2} А и являются важными функциональными механизмами ионно-лучевого оборудования.

Конструкция коллиматора выполнена на основе приводов управляемой упругой деформации взамен применявшегося электромеханического с обилием пар трения качения и скольжения.

Как и все приведенные конструкции, разработанный коллиматор не содержит ни одной пары трения (рис. 11). Максимальный ход каждой пластины коллиматора составляет 24 мм, с учетом предельных деформационных характеристик при тройном запасе прочности полное раскрытие по диагонали — 48 мм. В качестве конструкционного материала приводов использован сплав 36НХТЮ. Коллиматор через герметичное соединение вводится в тракт ионно-лучевой установки. Штуцер подачи энергоносителя выведен на атмосферу.

Манипуляторы

Серия манипуляторов разработана для перегрузки изделий массой от 0,05 до 0,2 кг и более.

На основе приводов незамкнутого контура разработан манипулятор универсального типа, имеющий три степени подвижности и рабочую зону в виде цилиндрической поверхности (рис. 12, а).

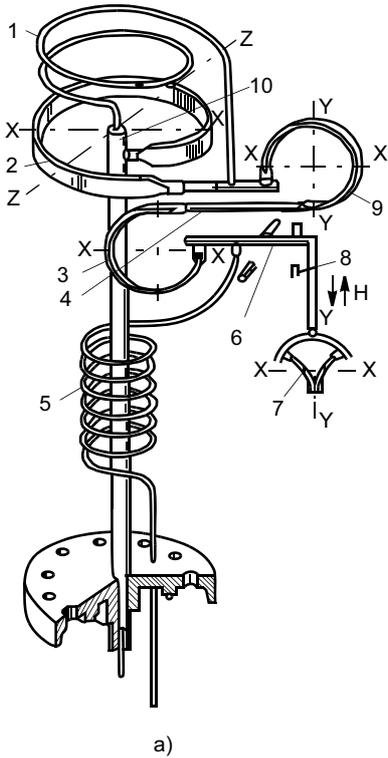


Рис. 12. Схема (а) и внешний вид (б) манипулятора с тремя степенями подвижности для загрузки изделий на позицию

Перемещение схвата 7 в горизонтальной плоскости по круговой траектории осуществляется приводом незамкнутого контура 2, имеющего ромбическую форму нормального поперечного сечения для повышения чувствительности.

Вертикальное перемещение формируется герметичной системой, состоящей из приводных элементов 3 и 9 и полых трубок, выполняющих одновременно роль передаточных рычагов.

Принцип формирования перемещений аналогичен используемому в двустворчатом экранирующем устройстве (см. рис. 10) и коллимирующем устройстве (см. рис. 11).

Захват изделия осуществляется схватом, состоящим из коллектора и двух элементов управляемой упругой деформации. Каждое из указанных действий осуществляется независимо друг от друга в результате отдельной подачи энергоносителя по трубкам 10,

1, 5, из которых две последних содержат спиральные участки компенсаторов, обеспечивающих развязку по степеням подвижности. Положение схвата при перемеще-

нии на заданный угол позиционируется упором. Число степеней подвижности рассматриваемого и других манипуляторов определяют по следующей формуле:

$$Z = n - k + m,$$

где n — общее число приводов в составе механизмов; k — число приводов в системах формирования однонаправленного движения; m — число систем, формирующих независимое однонаправленное движение.

Манипулятор с комбинированной системой приводов отличается от предыдущей модели лишь тем, что вертикальное перемещение схвата осуществляется сифонным пневмодвигателем.

Четырехпозиционный манипулятор-перегрузчик кремниевых пластин диаметром 200 мм разработан в составе комплексной системы транспортирования, перегрузки и ориентации пластин в приемных камерах оборудования ионной имплантации. Манипулятор (рис. 13) имеет многовитковый привод незамкнутого контура, обеспечивающий угловое перемещение схватов на 90° .



Рис. 13. Четырехпозиционный манипулятор

Позиционирование крайних положений манипуляторов осуществляется при взаимодействии упора с пазом диска.

Схват приводов выполнен в виде двухъярусной конструкции для обеспечения равновеликого расхождения губок, на которые укладывается пластина. В момент загрузки пластин подъемным устройством (рис. 14) схваты находятся в раскрытом состоянии, подъемное устройство поднимает пла-

стину над губками, схваты сводятся и при опускании подъемного устройства пластины медленно опускаются на губки. При этом соблюдается принцип "взял—перенес—положил", в процессе которого повреждение пластин исключается.

Разработан манипулятор для вытягивания и юстировки ионного пучка взамен традиционного, содержащего значительное число шарнирных соединений и пар тре-

ния движения зубчатых, червячных, винтовых передач и др.

Манипулятор (рис. 15) на основе приводов управляемой упругой деформации незамкнутого контура имеет четыре степени подвижности и состоит из диафрагмы 1, приводов 2 и 3, формирующих линейное перемещение по осям X , Y , коллекторов 4 и 5, кольцевой платформы 6, пластинчатых пружин 7 и 8, упругих опорных элементов 9 и 10 для перемещения по углу и вдоль оси Z и содержит пружинную развязку 11.

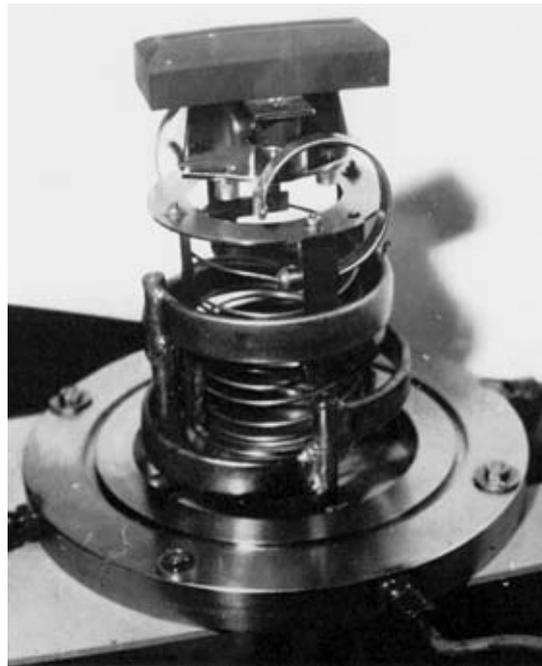
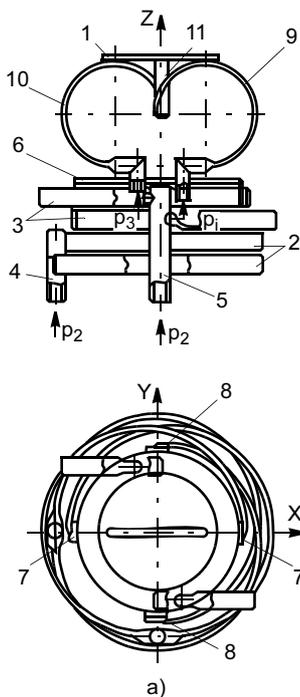
Сформированное перемещение суммируется на щелевой диафрагме в последовательности, задаваемой гибкой системой управления. Приводы симметричны, жестко соединены с коллектором и связаны с кольцевой платформой пластинчатыми пружинами. Вертикальное перемещение диафрагмы по оси Z формируется идентичными опорными приводами при одновременном их действии. Эти приводы связаны диафрагмой, угловое перемещение диафрагмы формируется при односторонней подаче давления в приводы.

Разработан манипулятор для серийного варианта установок ионной имплантации завода "Элмаш" (Саратов), предназначенный для перекладки кремниевых пластин из кассеты на карусель с углом наклона ее рабочей плоскости 7° . Несущий привод формирует угловое перемещение схватов в положение, параллельное плоскости карусели, после чего осуществляется раскрытие схватов, также состоящих из приводов управляемой упругой деформации, и происходит перекладка пластин в гнезда карусели. Крайние положения несущего привода и, соответственно, схватов контролируются упорами.

Разработана также полная система исполнительных и коммутационных устройств без узлов трения вакуумного технологического оборудования и безмасляных средств создания вакуума.



Рис. 14. Подъемное устройство



б)

Рис. 15. Схема (а) и внешний вид (б) манипулятора для вытягивания и юстировки электронного пучка

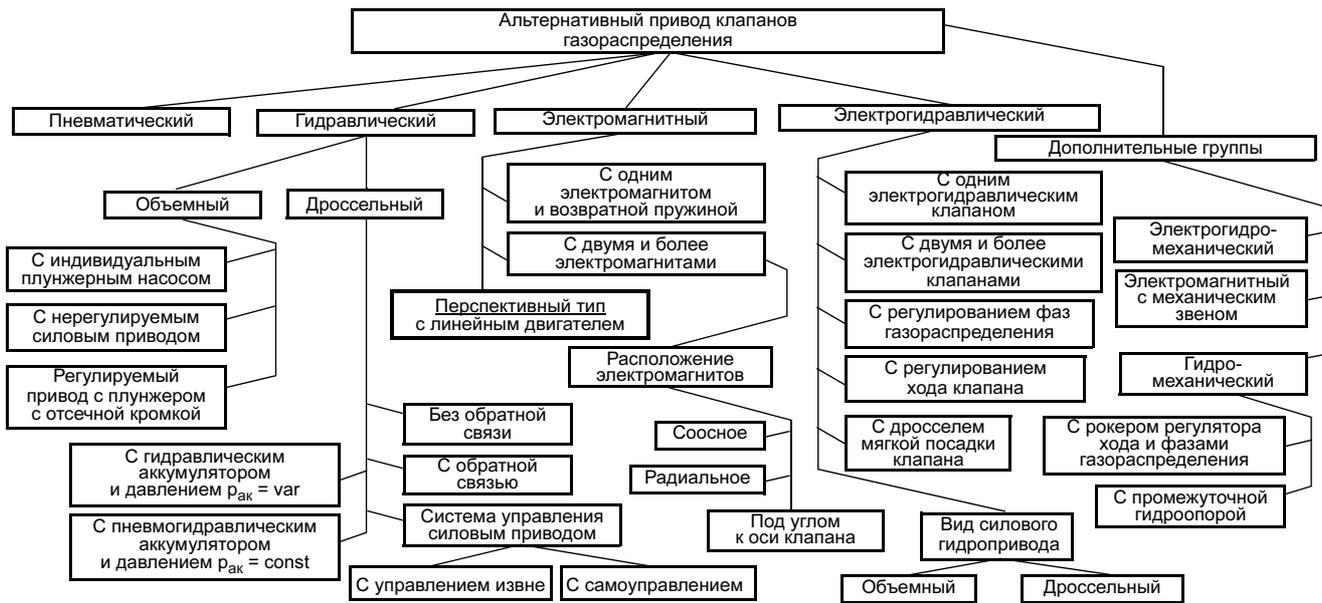


Рис. 1. Классификация систем немеханического привода клапанов газораспределения

клапана и временем его вы-
стоя в крайних положениях;

- достаточно высокими значе-
ниями КПД всего привода.

Электромагнитный привод кла-
панов (ЭМПК) применяют начи-
ная с конца 80-х годов XX века.
Особенно большое число патент-
ных публикаций принадлежит Япо-
нии и США. Применение ЭМПК
обеспечивает широкий диапазон
регулируемого ФГР, высокое бы-

стродействие, удобство контроля
работы привода, большую надеж-
ность элементов электронной сис-
темы управления и электропри-
вода, а также возможность при
необходимости установки дубли-
рующих схем формирования управ-
ляющих сигналов.

ЭМПК позволяет получить оп-
тимальные энергетические и эко-
логические показатели дизеля при
любых режимах работы, без до-
полнительных затруднений ревер-
сировать дизель, осуществлять
декомпрессию при пуске и режим
противовращения.

Современный электрогидрав-
лический привод (ЭГПК) совме-
щает достоинства гидравлическо-
го и электромагнитного способов
привода клапанов газораспреде-
ления по требуемому быстродей-
ствию и возможности регулирова-
ния ФГР (или закона движения)
клапанов, при этом обеспечива-
ются необходимые значения пара-
метра "время—сечение" клапанов.

ЭГПК обладает рядом преиму-
ществ по сравнению с другими
альтернативными типами приво-
дов, в частности, быстродействи-
ем, необходимым для качествен-
ного протекания рабочего про-
цесса двигателей (особенно бы-
строходных), и малой массой воз-
вратно-движущихся частей.

Исследование работы ЭГПК
применительно к транспортным
дизелям проводили на модель-
ной одноклапанной и двухклапан-
ной установках, а также на стен-
довой установке с транспортным
дизелем, один цилиндр которого
оборудован ЭГПК.

На рис. 2 приведен общий вид
стендовой установки ЭГПК крыш-
ки цилиндра дизеля Д49.

Несмотря на сложную конст-
рукцию альтернативного привода
клапанов газораспределения, оп-
тимизация ФГР и закона движе-
ния клапанов позволяет снизить
среднеэксплуатационный рас-
ход топлива тепловозным дизе-
лем не менее чем на 8—12 %.

На установку получены 12 ав-
торских свидетельств и патентов,
данная разработка неоднократно
награждалась на отраслевых вы-
ставках и выставках, проводимых
под эгидой ВВЦ (ВДНХ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжов В. А. Перспективы развития
дизелестроения и совершенствование
конструкции дизелей с обеспечени-
ем их ремонта // Тез. докл. Коломна:
ОАО "Коломенский завод", 2005.
2. Коссов В. С. Перспективы повышения
эффективности тепловозов за счет
усовершенствованных конструкций
дизелей // Тез. докл. Коломна: ОАО
"Коломенский завод", 2005.



Рис. 2. Стендовая установка ЭГПК
крышки цилиндра дизеля Д49

А. Ю. КУДРЯВЦЕВ, канд. техн. наук
ЗАО "НПВФ "Сварка" (Чебоксары)

Автоматизация сварочного процесса в стройиндустрии при внедрении линии "АЛИКС-2601"

Арматурные сетки и каркасы, используемые в строительной индустрии, изготавливают на многих предприятиях по производству изделий из бетона и железобетона, сталепрокатных заводах и специализированных фирмах. На многих из них до сих пор используются технологии 30—40-летней давности с применением устаревшего оборудования, в то время как на рынке строительного оборудования присутствуют автоматические линии, позволяющие быстро, качественно и с высокой рентабельностью изготавливать сварную сетку и каркасы.

Некоторые специалисты могут возразить, что имеющееся оборудование вполне работоспособно и позволяет производить весь ассортимент необходимой сетки, а покупка нового оборудования потребует больших финансовых вложений. При этом не рассматриваются качество сетки и, соответственно, долговечность железобетонных изделий. Распад крестообразных соединений из-за непровара, разлом проволок вследствие пережога сетки сильно влияют на качество и долговечность железобетонных изделий.

Система контроля автоматических линий контактной сварки "АЛИКС" не позволяет допустить формирование таких дефектов, так как весь процесс изготовления сетки автоматизирован и, следовательно, не подвержен человеческому фактору. Качественно-количественные показатели на современных линиях контролируются системой управления, при отклонении от заданных параметров линия просто останавливает производство сетки до устранения причин.

Технология производства на многих заводах по производству железобетонных изделий значительно усложнена в связи с большим ассортиментом, сложностью сеток, нехваткой площадей, а самое главное, используется морально и физически устаревшее оборудование, не способное решить все эти проблемы. В итоге себестоимость изготавливаемых сеток очень высока.

Говоря о качестве и себестоимости сетки, следует подчеркнуть новые возможности, заложенные в современных автоматизированных линиях. При проектировании сетки появляется возможность изготавливать ее с применением различных шагов и выпусков в автоматическом режиме, оптимальном на данной линии. А это обуславливает производство качественной и недорогой сетки.

Трудозатраты при изготовлении сеток на различном оборудовании

Многие предприятия по изготовлению железобетонных изделий, особенно расположенные в Москве, испытывают острую нехватку площадей, в связи с этим для складирования изготавливаемой продукции на домостроительных комбинатах (ДСК) вынуждены ограничивать темпы производства и организовывать двух- и трехсменную работу.

Внедрение современной линии "АЛИКС" позволит решить эту проблему.

Совместно со специалистами одного из ведущих ДСК Москвы фирмой "Сварка" были проведены исследования существующей технологии изготовления сеток на оборудовании ДСК. При изготовлении сеток на заводе применяют следующее оборудование:

- по две машины для изготовления широких и узких сеток;
- восемь правильно-отрезных станков;
- три перематывающих установки;
- два тельфера;
- устройство загрузки.

Сравнение операций изготовления сетки на имеющемся оборудовании и на линии "АЛИКС" приведено на рис. 1.

Процесс изготовления сеток на линии "АЛИКС" принципиально отличается отсутствием производственных операций по перематке бухт на малые катушки и нарезке поперечных прутков. Лишние операции приводят к снижению производительности работы оборудования: из-за несоответствующей плотности намотки проволоки в катушках происходят ее частые запутывания даже на малых скоростях. Поскольку подача продольных и поперечных стержней осуществляется с бухт, оператору необходимо лишь установить бухты, выбрать программу, определяющую параметры и процесс изготовления сетки. Других операций с бухтами рабочие не осуществляют, поэтому отпадает необходимость применения дополнительного оборудования: перематывающих установок, правильно-отрезных станков, устройств загрузки.

Число рабочих и обслуживающего персонала при использовании современной линии сокращается в 3 раза, что сказывается на общих затратах по оп-

Оборудование ДСК		Линия «АЛИКС»
3 перематывающие установки	8 правильно-отрезных станков	
3 человека	8 человек	
Установка бухт для перемотки	Установка бухт для нарезки поперечных прутков	
Перемотка бухт для продольных подач	Нарезка поперечных прутков	
Складирование бухт	Складирование прутков	
2 машины для широких сеток; 2 машины для узких сеток		Линия «АЛИКС»
8 человек		6 человек
Установка продольных бухт Заправка поперечных прутков Изготовление сеток		
Съем сеток Складирование		
187 т		187 т
19 человек		6 человек
Затраты по оплате труда, руб.		
363 945		114 930

Рис. 1. Основные операции технологии изготовления сеток на различном оборудовании

плате труда. Линия "АЛИКС" полностью автоматизирована, и для обеспечения бесперебойной работы линии обслуживающий персонал должен быть соответствующим образом подготовлен. Подготовку персонала ДСК проводили на фирме "Сварка".

Затраты по оплате труда на рассматриваемом предприятии составляют 363,9 тыс. руб., при внедрении в производство линии "АЛИКС" — 114,9 тыс. руб.

Анализ затрат электроэнергии

Существенное преимущество автоматических линий контактной сварки перед устаревшим оборудованием заключается в том, что они потребляют значительно меньше электроэнергии.

Согласно постановлению Энергетической комиссии, при двухставочном тарифе предприятия должны платить за мощность и потребленную энергию. Для

Москвы на 2006 г. для предприятий с потребляемой мощностью более 750 кВт · А были установлены следующие ставки на электроэнергию: плата за мощность — 193,163 руб/кВт; плата за энергию — 45,54 коп/(кВт · ч). Ставка платы за мощность устанавливается за 1 кВт и не меняется для конкретного оборудования. Потребленная энергия (кВт · ч) напрямую зависит от отработанного оборудованием времени. В определенные часы к ставке за потребленную энергию применяются дифференцированные коэффициенты, для простоты расчетов в исследованиях применяли коэффициент, равный 1.

Суммарные затраты по электроэнергии при использовании в производстве различного оборудования приведены в табл. 1. Потребленная электроэнергия рассчитана исходя из двухсменной работы линий по 8 ч за 22 рабочих дня в месяц при изготовлении 187 т сеток.

Установленная мощность линии "АЛИКС" всего 228 кВт, это в 13 раз меньше, чем установленная мощность оборудования ДСК. Для изготовления 187 т сеток в месяц линия "АЛИКС" потребляет почти в 40 раз меньше электроэнергии, чем имеющееся оборудование завода: расход энергии на линии 15 521 кВт · ч, на устаревшем оборудовании — 617 734 кВт · ч.

Разница в расходе электроэнергии объясняется избыточным количеством применяемого на ДСК оборудования. Поскольку предприятие должно платить за установленную мощность и потребленную энергию, то ему выгоднее работать на энергосберегающем оборудовании.

Годовая экономия электроэнергии при производстве арматурных сеток и каркасов на линии "АЛИКС" составляет более 9,5 млн руб. в год. Помимо этого у завода имеется возможность увеличения товарооборота сеток и каркасов за счет использования дополнительных ресурсов линии, поскольку ее производительность в 2,4 раза выше, чем производительность существующих на ДСК машин, объем производства сеток на линии "АЛИКС" может достигать 380 т в месяц.

Таблица 1

Показатель	Оборудование ДСК		Линия "АЛИКС"	
	Установленная мощность	Потребленная энергия	Установленная мощность	Потребленная энергия
Суммарная установленная мощность, кВт	2967	—	228	—
Потребленная электроэнергия за месяц, кВт · ч	—	617 734	—	15 521
Плата за мощность при двухставочном тарифе в месяц, руб.	573 115	—	44 041	—
Плата за энергию при двухставочном тарифе в месяц, руб.	281 316	—	7068	—
ИТОГО, затраты на электроэнергию в месяц, руб.	854 431	—	51 109	—
ИТОГО, затраты на электроэнергию в год, руб.	10 253 166	—	613 313	—

Дополнительная прибыль от освобожденной площади

Установка автоматической линии "АЛИКС" на месте одной из существующих на предприятии машин для изготовления широких сеток позволит не только сохранить имеющийся объем производства, освободить дополнительные производственные площади, но при необходимости увеличить объемы производства в результате увеличения времени работы линии. На многих предприятиях, производящих сетки, организована круглосуточная работа в связи с большим спросом, особенно в летний период.

В ходе совместной работы ДСК и фирмы "Сварка" был предложен план размещения, позволяющий эффективно использовать в производстве площади, не задействованные из-за отсутствия в них грузоподъемного механизма (рис. 2). Таким образом, замена устаревшего оборудования на автоматические линии контактной сварки позволит предприятию не только освободить производственные площади для дальнейшего расширения производства, но и эффективно использовать незадействованные площади.

Аренда недвижимости производственно-складского назначения, особенно в московском регионе, из года в год дорожает. Если учесть, что аренда 1 м² производственных площадей в Москве стоит не менее 160 долларов США в год, годовая сумма экономии по аренде составит более 45 000 долларов США. Ниже приведен подробный расчет аренд-

Таблица 2

Показатель	Месяц	Год
Производственные площади под имеющимся оборудованием, м ² , в том числе:	282	282
под одной машиной для широких сеток	126	126
под двумя машинами для узких сеток	68	68
под восемью правильно-отрезными станками	48	48
под тремя перематывающими установками	40	40
Сумма платежей за аренду производственных площадей, доллар	3760	45 120
Сумма платежей за аренду производственных площадей, руб. (1 \$ = 28,60 руб.)	107 536	1 290 432

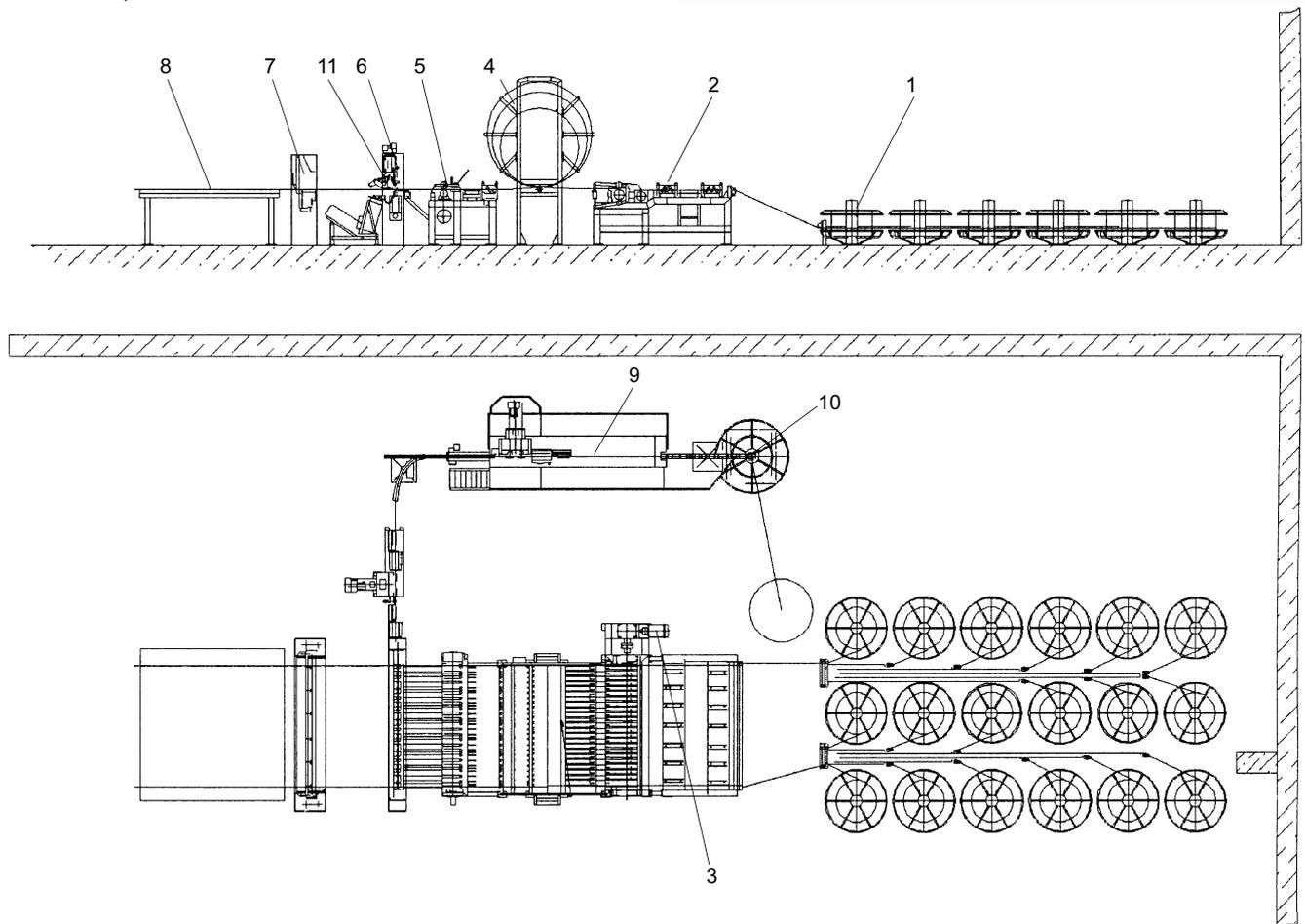


Рис. 2. Схема автоматической линии контактной сварки (габаритные размеры 21,3 × 7,8 × 3,5 м): 1 — блок бухтодержателей; 2 — силовой вал; 3 — накопитель петлевой; 4 — вал позиционный; 5 — сварочная машина; 6 — центральный пульт; 7 — комбинированные ножницы; 8 — пакетирующий; 9 — блок поперечной подачи; 10 — пульт местного управления; 11 — электрические шкафы

Таблица 3

Показатель, руб.	Оборудование ДСК	Линия "АЛИКС"	Снижение затрат
Зарботная плата рабочих по видам работ, в том числе:	225 000/1203,21	60 000/320,86	165 000/882,35
перемотка бухт	30 000/160,43		30 000/160,43
правильно-отрезные станки	75 000/401,07		75 000/401,07
изготовление сеток	120 000/641,71	60 000/320,86	60 000/320,86
Зарботная плата обслуживающего персонала	60 000/320,86	30 000/160,43	30 000/160,43
Итого	285 000/1524,07	90 000/481,29	195 000/1042,78
Отчисления от заработной платы 27,7 %	78 945/422,17	24 930/133,32	54 015/288,85
Итого, затраты по оплате труда	363 945/1946,24	114 930/614,61	249 015/1331,63
Затраты на электроэнергию для производства сеток	—	—	—
Плата за установленную мощность при двухставочном тарифе	573 115/3064,78	44 041/235,51	529 073/2829,27
Плата за потребленную электроэнергию	281 316/1504,36	7068/37,80	274 248/1466,57
Итого, затраты на электроэнергию	854 431/4569,15	51 109/273,31	803 321/4295,84
Затраты на запасные части, резинотехнические изделия, масла и прочие материалы для обслуживания линий (определены из опыта эксплуатации линий)	19 074/102,00	4782/25,57	14 292/76,43
Итого, затраты на материалы для обслуживания линий	19 074/102,00	4782/25,57	14 292/76,43
ИТОГО, затраты по изготовлению	1 237 450/6617,38	170 821/913,48	1 066 629/5703,90

Примечание. В числителе приведены затраты на производство сеток в месяц, в знаменателе — на 1 т.

ной платы при аренде производственных площадей в Москве для установки высвобождающегося оборудования ДСК (табл. 2).

Фирма "Сварка" помимо разработки и изготовления линий также производит и поставляет сетки во многие регионы России, в том числе и в Москву. Экономисты фирмы подсчитали, увеличение производственной площади фирмы "Сварка" на 100 м² и размещение на ней новой линии для производства кладочной сетки увеличит прибыль на 392 тыс. руб. в месяц, а за год — на 4,7 млн руб. Установка линии "АЛИКС" на ДСК в Москве позволит организовать производство другой сетки или использовать высвободившиеся площади под другое рентабельное производство.

Анализ затрат

Сравним себестоимость сетки, изготовленной на старом оборудовании, и линии "АЛИКС" (табл. 3). В результате снижения трудозатрат на 249 015 руб. в месяц затраты по оплате труда на 1 т сетки составят 614,61 руб. (см. рис. 1, 2).

Значительное снижение себестоимости сетки произойдет вследствие снижения затрат на электроэнергию. На рис. 2 видно, что наибольшую долю затрат на изготовление 1 т сетки на оборудовании ДСК занимают затраты на электроэнергию. При изготовлении сетки на линии "АЛИКС" наибольшую долю затрат составляют затраты по оплате труда. Общие прямые затраты на изготовление 1 т сетки на имеющемся оборудовании составят 6617,38 руб., на линии "АЛИКС" — 913,48 руб. на 1 т, т. е. в 7,2 раза ниже. Затраты ДСК на изготовление 187 т сетки на имеющемся оборудовании за месяц составляют 1 237 450 руб. Затраты на изготовление такого же

объема сеток на линии "АЛИКС" за месяц составят 170 821 руб.

Таким образом, за год экономия за счет снижения затрат составит 12,8 млн руб.

В данной работе проанализировано снижение затрат только по основным статьям расходов и не учтены накладные (общепроизводственные и общехозяйственные) расходы в связи с тем, что снижение данных затрат является опосредованным и не таким значительным. Помимо этого накладные затраты индивидуальны для каждого предприятия и во многом зависят от его финансово-хозяйственной политики.

Результаты анализа показали, что при установке линии "АЛИКС" затраты на изготовление 187 т сетки в месяц сократятся на 1 066 629 руб. Экономия от снижения себестоимости ежемесячно будет покрывать затраты на приобретение линии.

При установке линии "АЛИКС" себестоимость изготовления 1 т сетки сократится с 6617 до 913 руб., т. е. экономия при внедрении линии "АЛИКС" на 1 т сетки составит 5704 руб. При годовом объеме производства 2244 т экономия от замены оборудования составит 12 799 776 руб. Таким образом, при замене оборудования затраты на приобретение и установку только по приведенным статьям затрат окупятся в течение двух лет. Примерно такие же затраты предприятия несут из-за несовершенства схем армирования железобетонных изделий и качества исполнения арматурных каркасов. По схеме армирования производственники, проектанты армокаркасов и разработчики автоматических линий, объединившись в один коллектив, могут разработать экономичные схемы армирования с учетом достижений разработчиков линий.

В итоге линия окупится в течение первого года эксплуатации.

Ю. А. ЦУМАРЕВ, канд. техн. наук
Белорусско-Российский университет (Могилев)

Оптимизация геометрии паяного телескопического соединения путем расчета напряженного состояния с использованием пакета прикладных программ "Cosmos-M"

В настоящее время возникла тенденция расширения применения пайки для получения неразъемных соединений. Это обусловлено увеличением объемов использования цветных металлов, специальных сталей и сплавов, при соединении которых пайка обеспечивает ряд преимуществ перед сваркой [1]. Поэтому вопросы обеспечения равнопрочности паяных соединений в современных условиях имеют особенное значение. Основным препятствием для достижения высоких характеристик работоспособности является более низкая прочность многих применяемых припоев и получаемых паяных соединений [1]. При пайке нахлесточных соединений, обладающих хорошей технологичностью [2], обеспечивается получение равнопрочных соединений за счет рационального выбора длины нахлестки l .

Распределение рабочих напряжений в паяном нахлесточном соединении носит неоднородный характер. Опубликованные данные свидетельствуют о наличии концентрации рабочих напряжений у крайних областей нахлестки. В работе [3] проведен расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) паяного нахлесточного соединения методом конечных элементов. Установлено, что напряжения в паяном шве нахлесточного соединения распределены крайне неравномерно. Наиболее нагруженными областями паяного шва являются галтели и зоны, непосредственно прилегающие к ним. В средней части шва напряжения снижаются практически до нуля. При увеличении растягивающей рабочей нагрузки напряжения резко возрастают также только в зоне паяного шва, включающей галтель и область, непосредственно примыкающую к ней. Низкий уровень напряжений от растягивающей рабочей нагрузки в средней части паяного шва отмечен в соединениях с галтелями и без них [3].

В то же время в работе [4] хотя и подтверждается важная роль галтелей в работе нахлесточного

паяного соединения под нагрузкой, однако исключается неравномерность распределения напряжений по длине паяного шва. Отмечается, что прочностные характеристики припоя не зависят от величины нахлестки l . Очевидно, что такое утверждение справедливо только при равномерном распределении рабочих напряжений по длине нахлестки.

Учитывая отсутствие единого мнения по столь важному для прочности паяных соединений вопросу, в данной работе предпринята попытка получить новые данные о характере распределения напряжений. При этом учитывали, что в работе [3] не приведены важные для правильного конструирования паяных соединений данные о характере распределения напряжений в основном металле. Ввиду отсутствия разногласий в оценке роли галтелей их влияние в данной работе не рассматривали.

В работе выполнены расчеты телескопических соединений применительно к трубам из одинакового материала с модулем упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа и пределом текучести $\sigma_T = 250$ МПа. Растягивающую равномерно распределенную нагрузку принимали близкой к пределу текучести основного металла (240 МПа). Наружный диаметр охватывающей трубы составлял 24,4 мм, внутренний — 20,4 мм. Толщина прослойки припоя составляла 0,2 мм, внутренний диаметр охватываемой трубы — 16 мм, величина нахлестки $l = 10$ мм. Модуль упругости материала припоя принят равным $6 \cdot 10^4$ МПа, что соответствует сплаву состава Cd—17 % Zn.

НДС рассчитывали с применением метода конечных элементов (МКЭ) с помощью пакета прикладных программ "Cosmos-M". На первом этапе считывали телескопическое соединение, состоящее из двух труб без подготовки кромок. На рис. 1 приведено распределение главных нормальных напряжений от приложенной нагрузки в элементах паяного соединения труб: напряжения концентрируются

у краев нахлестки. Причем наблюдается неравномерность их распределения по толщине труб. В соединяемых элементах наиболее высоконагруженными являются области, прилежащие к той поверхности детали, которая контактирует с паяным швом. Наиболее высокий уровень рабочих напряжений наблюдается на наружной поверхности внутренней трубы и на внутренней поверхности охватывающей трубы. В углах продольного сечения, удаленных от паяного шва, рабочие напряжения практически отсутствуют. Таким образом, расчет выявил в паяном соединении нахлесточного типа наличие зон значительного размера, практически не воспринимающих рабочую нагрузку. Согласно результатам расчета, уровень напряжений от рабочей нагрузки составляет всего 35 МПа, в областях максимальной концентрации напряжений они в 12—15 раз больше и достигают 550 МПа.

Еще одной особенностью, которую следует учитывать при расчете паяного соединения на полезную нагрузку и при рациональном конструировании паяных соединений, является наличие в каждой из соединяемых деталей слабо нагруженных областей, расположенных напротив зон наибольшей концентрации напряжений. Если область концентрации напряжений в охватываемой детали расположена на наружной ее поверхности, то ей соответствует слабо нагруженная рабочими напряжениями область, прилежащая к внутренней поверхности. Как и следовало ожидать, уровень рабочих напряжений и степень их концентрации у охватываемой детали выше, чем у охватывающей. Это объясняется тем, что при одинаковой величине растягивающей силы и равных толщинах стенки охватываемая труба имеет меньшую площадь поперечного сечения.

На рис. 2 приведено распределение главных нормальных напряжений вдоль нахлестки. Видно,

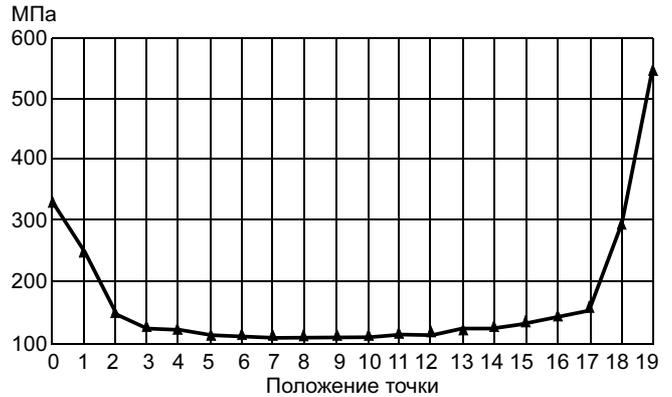


Рис. 2. Зависимость главных нормальных напряжений от положения точки при МКЭ

что рабочая нагрузка воспринимается только крайними участками паяного шва, тогда как средняя часть его практически не нагружена. В крайних зонах напряжения составляют 325 МПа (со стороны трубы большего диаметра) и даже 550 МПа (со стороны трубы меньшего диаметра). Практически вся средняя часть шва находится под воздействием незначительных напряжений около 100 МПа. Протяженность зоны с незначительными рабочими напряжениями составляет не менее 70 % величины нахлестки.

Для данного паяного соединения, находящегося под действием осевой нагрузки, характерно практически линейное напряженное состояние. Это нашло отражение и в полученных с помощью программы "Cosmos-M" результатах, так как распределение интенсивности напряжений практически полностью идентично распределению, приведенному на рис. 1 и 2. Для сравнения на рис. 3 приведено распределение интенсивности рабочих напряжений, характер-

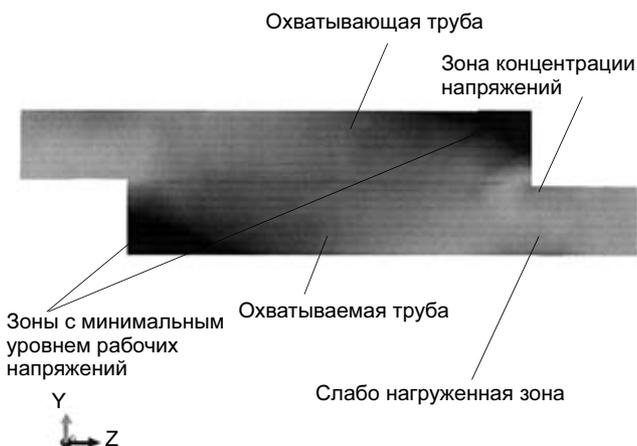


Рис. 1. Распределение главных нормальных напряжений в продольном сечении паяного телескопического соединения

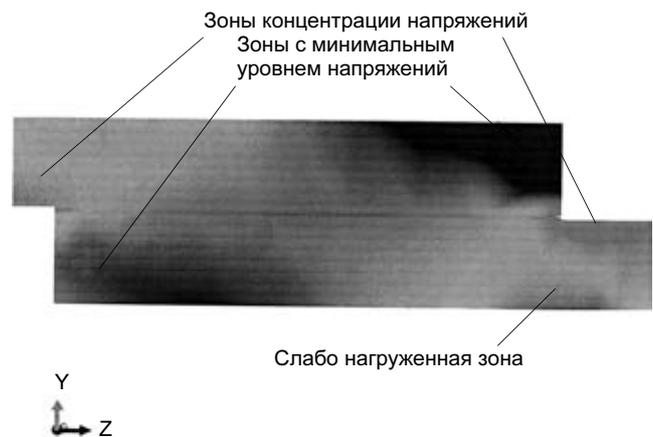


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений от рабочей нагрузки в паяном телескопическом соединении

ное для линейного напряженного состояния. Поэтому при их исследованиях оценивали только распределение интенсивности напряжений.

Для количественной оценки эффекта концентрации напряжений примем отношение максимальных

напряжений к минимальным: $\beta = \frac{\sigma_{\text{экв}}^{\text{max}}}{\sigma_{\text{экв}}^{\text{min}}}$.

В соответствии с данными рис. 2 коэффициент концентрации напряжений для паяного соединения без подготовки кромок $\beta_1 = 550/125 = 4,4$.

Это значение меньше, чем приведенное в работе [3], что можно объяснить меньшим значением модуля упругости используемого припоя. Как следует из данных работы [3], уменьшение модуля упругости припоя приводит к более равномерному распределению напряжений.

Таким образом, в соединении без специальной подготовки кромок соединяемых деталей имеет место значительная концентрация напряжений, свидетельствующая о нерациональном использовании конст-

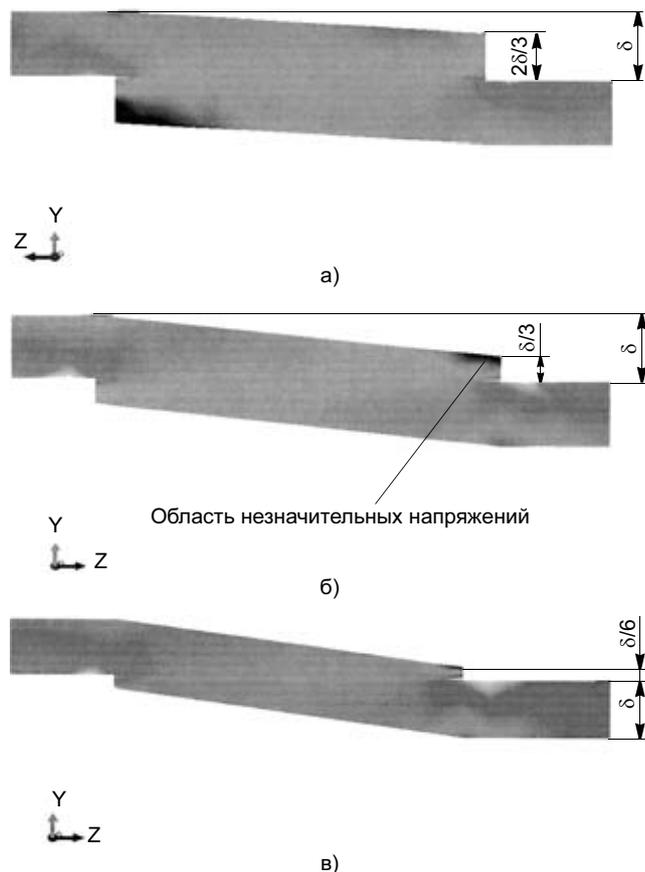


Рис. 4. Распределение рабочих напряжений в паяном телескопическом соединении с притуплением срезаемых кромок, равным $2\delta/3$ (а), $\delta/3$ (б) и $\delta/6$ (в)

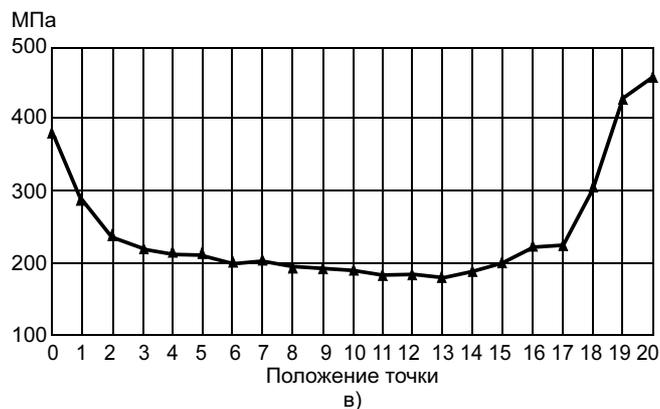
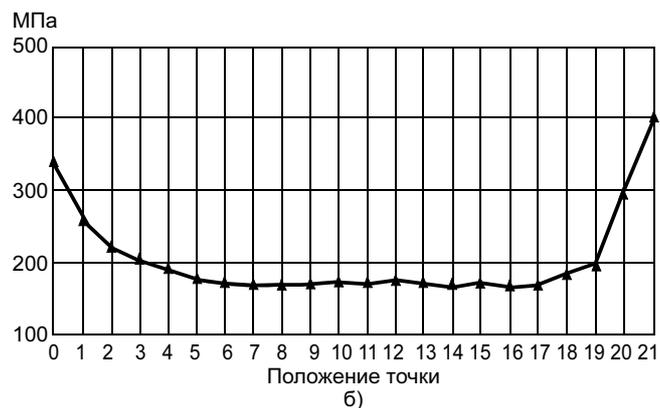
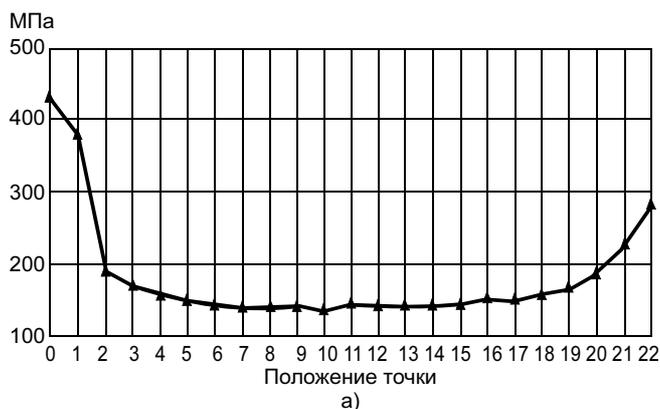


Рис. 5. Зависимость интенсивности напряжений от положения точки в паяном телескопическом соединении с притуплением срезаемых кромок $2\delta/3$ (а), $\delta/3$ (б) и $\delta/6$ (в)

рукционного материала. Основанием для разработки более рациональной конструкции паяного соединения с меньшей концентрацией напряжений является наличие слабо нагруженных зон (см. рис. 1, 3). Важным для практической реализации полученных расчетных данных является и то, что эта область ограничена на продольном разрезе контуром, близким к прямолинейному, и расположена целиком в области, доступной для механической (токарной) обработки. С учетом полученных данных принято решение о возможности удаления слабо нагруженных

зон соответствующей механической обработкой заготовок¹.

На рис. 4, а приведено распределение интенсивности рабочих напряжений в паяном телескопическом соединении, в котором выполнена разделка кромок и оставлено притупление величиной 2/3 толщины детали. На рис. 5, а приведено распределение интенсивности напряжений данного соединения. Как следует из приведенных данных, размеры области без напряжений стали значительно меньше. При этом изменилось и значение коэффициента концентрации напряжений: $\beta_2 = 440/145 = 3,03$.

Таким образом, распределение рабочих напряжений стало более однородным, а коэффициент концентрации напряжений уменьшился в 1,45 раза.

При уменьшении притупления до $\delta/3$ произошло дальнейшее выравнивание поля рабочих напряжений и уменьшение коэффициента их концентрации (рис. 4, б, 5, б). Для рассматриваемого случая $\beta_3 = 400/170 = 2,35$.

По отношению к схеме пайки без скоса кромок произошло снижение коэффициента β в 1,87 раза.

При притуплении величиной $\delta/6$ центральная часть паяного шва оказалась нагруженной еще больше, чем в предыдущем случае (рис. 4, в, 5, в).

¹ Патент 6248 (РФ).

Коэффициент β при этом остался практически неизменным и равен $450/190 = 2,36$. Необходимо отметить, что произошло увеличение максимального значения интенсивности напряжений от 400 до 450 МПа, поэтому величину притупления $\delta/6$ можно рассматривать как минимальную.

ВЫВОД

В результате расчета напряженно-деформированного состояния паяных телескопических соединений с использованием пакета прикладных программ "Cosmos-M" установлено, что концентрация напряжений при воздействии осевой рабочей нагрузки уменьшается при подготовке кромок с притуплением. Оптимальная величина притупления составляет 1/6—1/3 толщины соединяемых деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лашко С. В., Лашко Н. Ф. Пайка металлов. М.: Машиностроение, 1988. 376 с.
2. Шапиро А. Е. Количественная оценка технологичности паяных конструкций // Сварочное производство. 1982. № 5. С. 17—18.
3. Томлин О. В., Журавлев Ю. А., Киселев О. С. Расчет напряженно-деформированного состояния паяного нахлесточного соединения методом конечных элементов // Автоматическая сварка. 1987. № 8. С. 18—20.
4. Никитинский А. М., Герасимов Е. А., Пигалов С. А. Исследование прочности нахлесточных паяных соединений // Сварочное производство. 2005. № 6. С. 21—25.

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.

Система стандартов безопасности труда

Вибрационная безопасность Общие требования (ГОСТ 12.1.012—2004)

Стандарт разработан ОАО "Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем". Внесен Госстандартом России. Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации по переписке (протокол № 15 от 4 февраля 2004 г.).

В настоящем стандарте учтены основные нормативные положения следующих европейских стандартов:

— EN 12096:1997 "Вибрация. Заявление и подтверждение заявленных характеристик вибрационной активности машин и оборудования";

— EN 12096:1999 "Безопасность машин. Руководство по составлению разделов вибрационной безопасности в общих стандартах безопасности".

Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 декабря 2007 г. № 362-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 12.1.012—2004 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2008 г. взамен ГОСТ 12.1.012—90.

1. Область применения

Настоящий стандарт устанавливает общие требования к обеспечению вибрационной безопасности на производстве, транспорте, в строительстве, горных и других работах, связанных с неблагоприятным воздействием вибрации на человека.

Настоящий стандарт устанавливает также структуру комплекса стандартов в области вибрационной безопасности и требования к этим стандартам.

Настоящий стандарт распространяется на различные аспекты профессиональной деятельности, когда вибрация оказывает непосредственное неблагоприятное воздействие на человека в результате его прямого контакта с вибрирующей поверхностью машины, через объекты обработки (например обрабатываемое изделие) или через объекты, имеющие с источником вибрации механическую связь и (или) связь других видов.

Настоящий стандарт распространяется на вибрацию всех видов: периодическую, случайную, переходные процессы. Стандарт не распространяется на воздействие кратковременной вибрации в виде

ударов и переходных процессов большой мощности, имеющих место в результате аварий и поломок машин, транспортных средств, механизированного инструмента и оборудования (далее — машины), которые могут повлечь за собой получение травм.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие межгосударственные стандарты:

— ГОСТ ИСО 8041—2006 "Вибрация. Воздействие вибрации на человека. Средства измерений";

— ГОСТ ИСО 10326-1—2002 "Вибрация. Оценка вибрации сидений транспортных средств по результатам лабораторных испытаний. Часть 1. Общие требования";

— ГОСТ 16519—2006 (ИСО 20643:2005) "Вибрация. Определение параметров вибрационной характеристики ручных машин и машин с ручным управлением. Общие требования";

— ГОСТ 24346—80 "Вибрация. Термины и определения";

— ГОСТ 30873.2—2006 (ИСО 8662-2:1992) "Ручные машины. Измерения вибрации на рукоятке. Ч. 2. Молотки рубильные и клепальные";

— ГОСТ 31191.1—2004 (ИСО 2631-1:1997) "Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Ч. 1. Общие требования";

— ГОСТ 31191.2—2004 (ИСО 2631-2:2003) "Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Ч. 2. Вибрация внутри зданий";

— ГОСТ 31191.4—2006 (ИСО 2631-4:2001) "Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Ч. 4. Руководство по оценке влияния вибрации на комфорт пассажиров и бригады рельсового транспортного средства";

— ГОСТ 31192.1—2004 (ИСО 5349-1:2004) "Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Ч. 1. Общие требования";

— ГОСТ 31192.2—2005 (ИСО 5349-2:2001) "Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Ч. 2. Требования к проведению измерений на рабочих местах";

— ГОСТ 31193—2004 (ЕН 1032:2003) "Вибрация. Определение параметров вибрационной характеристики самоходных машин. Общие требования";

— ГОСТ 31194.1—2004 (ИСО 13090-1:1998) "Вибрация и удар. Меры безопасности при проведении испытаний с участием людей. Общие требования";

— ГОСТ 31319—2006 (ЕН 14253:2003) "Вибрация. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Требования к проведению измерений на рабочих местах".

Примечание. При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов на территории государства по соответствующему указателю стандартов, составленному по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ ИСО 8041 и ГОСТ 24346, а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1. Вибрационная безопасность: отсутствие условий, приводящих или способных привести к ухудшению состояния здоровья человека или к значительному снижению степени комфортности его труда в результате неблагоприятного воздействия вибрации.

3.2. Машина типа 1: машина, которая в процессе работы может передавать вибрацию непосредственно на тело человека.

Примеры:

- шлифовальная машина;
- экскаватор.

3.3. Машина типа 2: машина, которая в процессе нормального функционирования не находится в контакте с телом человека, но может передавать на него вибрацию через механическую связь и (или) связь других видов.

Примеры:

- компрессор для подачи сжатого воздуха в троллейбусе;
- турбогенератор в машинном зале.

3.4. Виброизолирующее изделие типа 1: изделие, не являющееся источником вибрации, но применяемое в соответствии со своим назначением таким образом, что вибрация от машин типа 1

передается через них непосредственно на тело человека.

Примеры:

- сиденье в салоне электропоезда;
- виброизолирующие перчатки.

3.5. Виброизолирующее изделие типа 2: изделие, не являющееся источником вибрации и не находящееся в условиях нормального применения в контакте с телом человека, но предназначенное для ослабления вибрации от машин типа 2.

Примеры:

- упругие опоры вентилятора;
- гибкие вставки в трубопроводе.

3.6. Вибрационная характеристика изделия: количественный показатель, отражающий способность изделия производить или передавать вибрацию и устанавливаемый при испытаниях типа изделия в соответствии с испытательным кодом по вибрации (3.11).

Примечания:

1. Вибрационная характеристика состоит из одного или нескольких параметров вибрационной характеристики u (3.7) и соответствующих им неопределенностей K (3.8).

2. С точки зрения вибрационной безопасности различают несколько групп изделий, для которых заявляют вибрационную характеристику (см. 4.3): машины типа 1 (3.2), машины типа 2 (3.3), виброизолирующие изделия типа 1 (3.4) и виброизолирующие изделия типа 2 (3.5).

3. Вибрационную характеристику машины получают для некоторых типичных условий ее применения (по объекту обработки, характеристикам вставного инструмента, динамическим характеристикам тела оператора, позе и приемам его работы и т. д. для машин типа 1; по режиму работы, применяемым виброизоляторам, динамическим свойствам опоры и т. д. для машин типа 2), поэтому на ее основе, как правило, можно только ориентировочно оценить вибрацию, которая будет воздействовать на оператора на его рабочем месте.

3.7. Параметр вибрационной характеристики u : скалярная величина, получаемая в результате измерения и обработки сигнала (сигналов) вибрации в заданных точках изделия.

Примеры:

- полное среднеквадратичное значение скорректированного виброускорения на заданном периоде интегрирования;
- переходная динамическая жесткость для поступательной вибрации.

Примечания:

1. В некоторых случаях для описания степени виброактивности или передаточных свойств изделия используют величину, представляющую собой

вектор (например вектор трехкомпонентной вибрации) или функцию (например переходная динамическая жесткость изделия). В этих случаях данную величину представляют в виде совокупности параметров, например составляющих вибрации по каждому из направлений измерения, составляющих частотной характеристики в узких или третьоктавных полосах частот.

2. В целях получения параметра (параметров) вибрационной характеристики вибрацию измеряют:

— для машин типа 1 — в предполагаемых местах контакта машины с телом человека;

— для машин типа 2 — в точках, где вибрация передается на опорную или присоединенную конструкцию.

3. Для получения параметра вибрационной характеристики изделия помимо измерений вибрации могут потребоваться измерения других физических величин, например силы или момента силы. Это позволяет определить такие частотные характеристики изделия, как входной и переходный импедансы, жесткость, подвижность и т. д. Знание частотной характеристики виброизолирующего изделия позволяет на основе вибрационной характеристики изолируемой машины оценить вибрационную мощность, передаваемую машиной в присоединенную систему.

3.8. **Неопределенность K** : величина, определяющая меру неточности измерения (оценки) параметра вибрационной характеристики u .

3.9. **Вибрационная активность [виброактивность] машины**: свойство машины производить вибрацию во время работы.

Примечание. Машину, обладающую свойством виброактивности, называют виброактивной.

3.10. **Виброопасная машина**: Виброактивная машина, способная в условиях нормального применения производить вибрацию выше той, что допускает не заявлять и не подтверждать ее вибрационную характеристику (см. 4.3).

3.11. **Испытательный код по вибрации**: стандарт, устанавливающий требования по проведению испытаний (испытаний типа для заявления или сертификационных или иных испытаний для подтверждения) с целью определить вибрационную характеристику изделия конкретного вида.

Примечание. Испытательный код по вибрации относится к стандартам безопасности типа С (см. раздел 5).

3.12. **Общая вибрация**: вибрация, передаваемая на тело стоящего, сидящего или лежащего человека в точках его опоры (ступни ног, ягодицы, спина, голова).

Примечания:

1. Общую вибрацию определяют обычно в базисцентрической системе координат (см. ГОСТ 31191.1).

2. Воздействие общей вибрации на человека может быть рассмотрено в более широком контексте, нежели безопасность труда (например, вибрация, воздействующая на пассажиров транспортных средств или на людей в здании). В этом случае в качестве критерия оценки выступает не риск ухудшения состояния здоровья, а, например, неприятные ощущения в результате воздействия.

3.13. **Локальная вибрация**: вибрация, передаваемая через кисти рук человека в местах контакта с управляемой машиной или обрабатываемым изделием.

Примечания:

1. Локальную вибрацию определяют обычно в базисцентрической системе координат (см. ГОСТ 31192.1).

2. В отличие от общей вибрации локальную вибрацию обычно рассматривают только с позиции ее воздействия (реального или потенциального) на рабочем месте оператора.

3.14. **Виброопасная профессия**: профессия, связанная с условиями труда, при которых воздействие на человека вибрации может представлять собой потенциальную опасность для его здоровья.

3.15. **Рабочее место**: область пространства (участок, маршрут и т. п.), где работник выполняет рабочее задание.

Примечание. Под измерениями или оценкой вибрации на рабочем месте понимают задачу охарактеризовать условия выполнения работником рабочего задания с точки зрения воздействующей на него вибрации, а не вибрацию в конкретной области пространства.

4. Ответственность сторон в обеспечении вибрационной безопасности

4.1. Общие положения

Основным средством обеспечения вибрационной безопасности является создание условий работы, при которых вибрация, воздействующая на человека, не превышает некоторых установленных пределов (гигиенических нормативов). Порядок установления предельных значений и документы, в которых они должны быть установлены, определяются национальным законодательством. Гигиенические нормативы устанавливают для параметров, характеризующих действие вибрации, которые определены в следующих стандартах:

— ГОСТ 31191.1 — для общей вибрации;

— ГОСТ 31191.2 — для вибрации внутри зданий;

— ГОСТ 31191.4 — для вибрации внутри железнодорожных транспортных средств;

— ГОСТ 31192.1 — для локальной вибрации.

Данный перечень может быть дополнен при разработке стандартов, определяющих нормируемые параметры для конкретных условий воздействия вибрации и конкретных видов вибрации.

Значения нормируемых параметров вибрации определяют по результатам измерений на рабочих местах: локальной вибрации — по ГОСТ 31192.2; общей вибрации — по ГОСТ 31319. В отдельных случаях допускается определять значения нормируемых параметров на основании расчетов (см. 4.5). Контроль за соблюдением установленных гигиенических нормативов по вибрации осуществляют соответствующие уполномоченные организации в ходе периодического контроля за соблюдением безопасных условий труда, аттестации рабочих мест и др. (см. 4.5).

Примечание. Значения нормируемых параметров вибрации, полученные в результате измерений на рабочих местах, непосредственно сравнивают с гигиеническими нормативами. Этим данная процедура отличается от сравнения значения измеренного параметра вибрации с заявленным значением, где в расчет дополнительно принимают неопределенность измерений.

4.2. Ответственность работодателя

Ответственность за соблюдение установленных гигиенических нормативов по вибрации на рабочих местах лежит на работодателе. Для этого он должен оценить риск, связанный с воздействием вибрации на рабочих, и принять меры, необходимые для снижения вибрационной нагрузки. Эти меры включают в себя, в частности:

- проектирование рабочих мест с учетом максимального снижения вибрации;
- использование машин с меньшей виброактивностью;
- использование материалов и конструкций, препятствующих распространению вибрации и воздействию ее на человека;
- оптимальное размещение виброактивных машин, минимизирующее вибрацию на рабочем месте;
- создание условий труда, при которых вредное воздействие вибрации не усугубляется наличием других неблагоприятных факторов (см., например, ГОСТ 31192.1);
- использование в качестве рабочих виброопасных профессий лиц, не имеющих медицинских противопоказаний, и обеспечение прохождения ими регулярных медицинских обследований;
- обучение рабочих виброопасных профессий правильному применению машин, уменьшающему риск получения вибрационной болезни;
- оповещение рабочих виброопасных профессий о мерах, принимаемых работодателем, позволяю-

щих снизить риск ухудшения состояния здоровья рабочего вследствие неблагоприятного воздействия вибрации, и санкциях, которые могут быть наложены на рабочего при несоблюдении указанных мер (см. 4.4);

- контроль за правильным использованием средств виброзащиты;
- проведение периодического контроля вибрации на рабочих местах и организация на основе полученных результатов режима труда, способствующего снижению вибрационной нагрузки на человека, а также контроль за его соблюдением;
- проведение послеремонтного и, при необходимости¹, периодического контроля виброактивных машин;
- организацию профилактических мероприятий, ослабляющих неблагоприятное воздействие вибрации.

Эти, а также другие меры, позволяющие снизить риск ухудшения состояния здоровья рабочих, в том числе появления у них вибрационной болезни, должны быть отражены в регламенте безопасного ведения работ. Регламент безопасного ведения работ разрабатывает работодатель с привлечением специалистов разного профиля (медицинских работников, конструкторов, технологов и др.).

Полноту мероприятий, направленных на обеспечение вибрационной безопасности и включенных в регламент безопасного ведения работ, а также эффективность их выполнения оценивают соответствующие уполномоченные организации при проведении аттестации рабочих мест и периодическом контроле требований по соблюдению безопасных условий труда.

Работодатель должен обеспечивать условия работы организаций, уполномоченных на проведение контроля вибрации на рабочих местах, и предоставлять этим организациям данные медицинских наблюдений за лицами виброопасных профессий (см. 4.5).

Примечания:

1. Периодический контроль на рабочих местах рекомендуется проводить в соответствии с требованиями ГОСТ 31192.2 для локальной и ГОСТ 31319 для общей вибрации.
2. Рекомендуется не допускать к применению ручную машину (относящуюся к машинам типа 1), если в процессе контроля максимальное значение измеряемого по ГОСТ 31192.1 параметра (среднеквадратичного значения скорректированного виброускорения) более чем в 4 раза превосходит пре-

¹ Периодический контроль виброактивности рекомендуется проводить для машин, параметры вибрации которых существенно (например, более чем в 1,5 раза в течение 3 мес) изменяются в процессе работы.

дельное значение для нормируемого параметра (вибрационной экспозиции за смену), определяемого в соответствии с ГОСТ 31192.2.

3. Периодичность контроля вибрации на рабочих местах, проводимого самим работодателем, рекомендуется устанавливать по согласованию с организациями, осуществляющими санитарно-эпидемиологический надзор, и указывать в регламенте безопасного ведения работ.

4. Послеремонтный (или периодический) контроль может заключаться в проведении испытаний в соответствии с испытательным кодом по вибрации для машины данного вида или в измерении вибрации непосредственно на рабочем месте.

4.3. Ответственность изготовителей (поставщиков) машин и виброизолирующих изделий

Машины, которые в процессе работы производят вибрацию, неблагоприятно воздействующую на оператора, следует конструировать и изготавливать с учетом самых современных достижений технологии, позволяющих снизить вред от вибрационного воздействия. Изготовители машин (типов 1 и 2) так же, как и изготовители виброизолирующих изделий (типов 1 и 2), предназначенных для снижения передаваемой машинами вибрации, несут ответственность за заявление их вибрационных характеристик.

П р и м е ч а н и е. На национальном уровне могут быть установлены перечни изделий, подлежащих обязательной сертификации с подтверждением заявленных значений вибрационных характеристик или требующих выдачи гигиенических заключений. Как правило, к ним относят все виброопасные машины типа 1 и виброизолирующие изделия типа 1, а также часть виброопасных машин типа 2 (в том числе устанавливаемые на транспортных средствах). Особые условия заявления и подтверждения вибрационных характеристик изделий могут быть определены в договоре между изготовителем и покупателем.

Информацию о вибрационной характеристике машины или виброизолирующего изделия представляют в эксплуатационных документах.

Машину не относят к виброопасным, если в любых режимах работы и любых условиях ее нормального применения максимальное полное среднеквадратичное значение скорректированного виброускорения не превышает $0,5 \text{ м/с}^2$ для локальной и $0,1 \text{ м/с}^2$ для общей вибрации. Вибрационные характеристики таких машин допускается не заявлять и не подтверждать.

Для машин типа 2 вибрация на пути к рабочему месту оператора может усиливаться из-за резонансов элементов конструкции помещения и установленного в нем оборудования. Ответственность за

выбор динамических свойств помещения и размещение в нем оборудования лежит на работодателе (см. 4.2), поэтому решение о заявлении или незаявлении вибрационных характеристик машины следует принимать без учета возможного усиления вибрации по пути ее распространения.

Если максимальное значение полного скорректированного виброускорения, производимого ручной машиной, не превышает $1,25 \text{ м/с}^2$, допускается, отразив это в эксплуатационных документах, не приводить числовые значения вибрационной характеристики.

Для самоходных машин допускается не приводить числовых значений вибрационной характеристики (но отразив в эксплуатационных документах низкую виброактивность машины) в следующих случаях:

— для локальной вибрации — если максимальное значение полного скорректированного виброускорения не превышает $1,25 \text{ м/с}^2$;

— для общей вибрации — если максимальное значение полного скорректированного виброускорения не превышает $0,25 \text{ м/с}^2$.

Если вибрация машины имеет импульсный характер или форму переходного процесса короткой длительности, то все числовые значения, указанные в настоящем пункте, следует сравнивать с текущим полным среднеквадратичным значением скорректированного виброускорения, причем время интегрирования следует выбирать таким образом, чтобы на него приходилось 90 % энергии сигнала.

Заявленное значение вибрационной характеристики может быть использовано для выбора машины, которая будет в наименьшей степени оказывать неблагоприятное (с точки зрения вибрации) воздействие на человека, а также в целях ориентировочной оценки вибрации, которая будет воздействовать на оператора машины во время ее применения. Однако при этом следует учитывать, что для многих машин производимая ими вибрация сильно зависит от условий применения (установка, объект обработки, способ использования и т. д.), что не позволяет по значению вибрационной характеристики точно оценить последствия воздействия вибрации на оператора.

4.4. Ответственность работника

Работник обязан соблюдать относящиеся к нему меры вибрационной защиты и правила, которые предписаны регламентом безопасного ведения работ.

Средства вибрационной защиты, применяемые для снижения уровня действующей на рабочем месте вибрации до допустимого, могут вызывать неудобство в работе и, иногда, приводить к снижению производительности труда. Это может служить причиной отказа работника в их применении. Националь-

ное законодательство может устанавливать применение санкций к работнику, нарушающему регламент безопасного ведения работ. Работник должен быть проинформирован работодателем о возможных санкциях, определенных национальным законодательством, а также о различных мерах взыскания, установленных работодателем в регламенте безопасного ведения работ.

4.5. Надзор со стороны контролирующих организаций и гигиеническое нормирование

Условия труда с точки зрения воздействия вибрации на рабочих местах контролируют надзорные органы, определенные национальным законодательством. Эти органы могут осуществлять, в частности, санитарно-эпидемиологический контроль предприятия и аттестацию рабочих мест.

Организации санитарно-эпидемиологического контроля регулярно (рекомендуемая периодичность — 1 раз в год) проводят измерения вибрации на рабочих местах в соответствии с требованиями ГОСТ 31192.2 и ГОСТ 31319 и сравнивают полученные результаты с гигиеническими нормативами.

Примечание. Проведение работ, относящихся к санитарно-эпидемиологическому контролю, обычно связано с большими финансовыми затратами. Поэтому периодичность 1 раз в год представляется разумным компромиссным решением, позволяющим снизить затраты на контроль и, в то же время, обеспечить требования по санитарно-эпидемиологическому благополучию работников.

Поскольку для большинства машин производимая вибрация сильно зависит от условий их применения (установка, объект обработки, способ использования и т. д.), следует избегать при контроле вибрации применения расчетного метода. Только в обоснованных случаях, когда вибрация машины незначительно изменяется в разных режимах и условиях ее работы, допускается проводить контроль вибрации на рабочих местах путем расчета нормируемого параметра на основе значения заявленной и подтвержденной вибрационной характеристики и времени действия вибрации. При этом следует установить, какое именно значение параметра вибрации должно быть взято для расчета. При отсутствии других обоснованных предложений в качестве параметра вибрации для расчета следует брать сумму $u + K$.

Поскольку механизм воздействия вибрации на организм человека сложен и известен не во всех подробностях, стандарты, устанавливающие методы измерения и оценки вибрации, воздействующей на человека, и гигиенические нормативы, устанавливающие предельно допустимые уровни этого воздействия, со временем могут изменяться (см., например,

ГОСТ 31192.1). Проведение исследовательских работ в целях обновления стандартов и гигиенических нормативов требует от органов, ответственных за эти работы, регулярного пополнения базы данных о влиянии вибрации на организм человека. Такие данные должны предоставлять организации, осуществляющие санитарно-эпидемиологический надзор, и работодатели, проводящие медицинское обследование своих работников. Исследовательские работы (например анализ отклика организма человека на вибрацию различного частотного состава) могут быть проведены в ходе планового санитарно-эпидемиологического контроля. При этом проведение указанных работ не должно быть причиной увеличения общего времени измерений и создавать дополнительные неудобства работнику, чье рабочее место обследуют.

4.6. Обеспечение безопасности при испытаниях

Особым случаем вибрационного воздействия является участие человека в испытаниях (исследованиях), в ходе которых он должен преднамеренно или неизбежно подвергаться воздействию вибрации. Лицо, участвующее в таких испытаниях, также подвергается риску ухудшения состояния здоровья, в том числе получения профессионального заболевания, поэтому, где возможно, следует проводить испытания без участия человека (например с заменой его имитатором). Если участие человека в испытаниях такого рода является частью его профессиональной деятельности, ответственность за обеспечение вибрационной безопасности лежит на сторонах в соответствии с требованиями 4.2—4.5. В противном случае при определении ответственности сторон за обеспечение вибрационной безопасности следует руководствоваться требованиями ГОСТ 31194.1.

5. Структура комплекса стандартов в области вибрационной безопасности

Стандарты в области вибрационной безопасности подразделяют на три вида:

— **стандарты типа А** (основополагающие стандарты по вибрационной безопасности) устанавливают общие понятия и правила обеспечения вибрационной безопасности, измеряемые величины (включая функции частотной коррекции для конкретных условий применения), общие методы измерения и оценки вибрации, которые распространяются на различные условия ее воздействия на человека;

— **стандарты типа В** (стандарты групповых вопросов вибрационной безопасности) устанавливают методы измерения и оценки вибрации в конкретных условиях ее действия или для больших групп

изделий, а также отдельные частные аспекты вибрационной безопасности безотносительно к группам изделий или условиям действия вибрации;

— **стандарты типа С** (стандарты по вибрационной безопасности, связанные с отдельными объектами) распространяются на отдельные виды изделий.

К стандартам типа А относят, например: настоящий стандарт, ГОСТ 31191.1, ГОСТ 31192.1.

К стандартам типа В относят, например: ГОСТ 31192.2, ГОСТ 31319, ГОСТ 31191.4, ГОСТ 16519, ГОСТ 31193, ГОСТ ИСО 10326-1.

К стандартам типа С относят испытательные коды по вибрации.

При проведении измерений в соответствии с любым из стандартов в области вибрационной безопасности следует использовать средства измерений, отвечающие требованиям, которые установлены в ГОСТ ИСО 8041.

6. Требования по вибрационной безопасности в стандартах для машин отдельных видов

Стандарты для машин отдельных видов могут быть полностью посвящены вибрационной безопасности или, устанавливая общие требования по безопасности, включать в себя отдельные разделы (пункты) по вибрационной безопасности. В последнем случае, если вибрационная активность машины низка и она не представляет собой опасности для здоровья оператора, рекомендуется в общем перечне факторов риска использовать для вибрации формулировку: "Вибрация для машин данного вида в качестве источника риска не рассматривается".

Стандарт, распространяющийся на машины конкретного вида, может представлять собой испытательный код по вибрации и, кроме того, включать в себя следующие разделы (пункты):

— методы снижения вибрации машины (использованием оптимальной конструкции машины или применением защитных устройств) с указанием эффективности метода и процедуры подтверждения этой эффективности;

— средства индивидуальной защиты от вибрации, которые могут быть использованы при работе с машиной;

— требования к представлению информации, связанной с вибрационной безопасностью машины, в эксплуатационных документах.

Не рекомендуется устанавливать в стандартах на машины конкретных видов какие-либо предельные или допустимые значения для вибрационных характеристик².

Примечание. Обычно рассматривают предельные характеристики двух видов — соответствующие гигиеническому и техническому нормированию. Гигиенические нормативы устанавливают в специальных документах (см. 4.1); что касается технических норм, то их широкое использование в прошлом объяснялось, в первую очередь, нерыночным характером экономики. В любом случае технические нормы могут иметь только рекомендательный характер, поскольку требование к изготовителям машин заявлять их вибрационные характеристики и, в случае необходимости, принимать меры для снижения вибрации представляется достаточным с точки зрения обеспечения вибрационной безопасности.

Ссылка на данный материал как официальный документ не допускается

² Здесь вибрационную характеристику понимают в том смысле, как она определена в 3.6. Не следует путать ее с критериями вибрационного состояния машины — при установлении последних влияние вибрации машины на человека не рассматривают.

Вниманию подписчиков!

Напоминаем, 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.

Ю. А. ПЫКИН, канд. техн. наук, С. В. АНАХОВ, инж.
АОЗТ НПФ "Полигон Лтд." (Екатеринбург)

Факторы снижения шумов при работе плазменного оборудования

При плазменной обработке материалов возникают звуковые колебания, интенсивность которых может достигать 120—125 дБ, что превышает допустимый уровень на 20—30 дБА.

В результате исследований, проведенных авторами, установлены амплитудно-частотная характеристика шума и его зависимость от параметров процесса и производственно-технических факторов. Задача снижения общего уровня шума включает в себя исследование его характера и структуры, выявление основных источников, разработку и внедрение комплекса мероприятий по борьбе с шумом (в источнике его образования и на пути его распространения в окружающей рабочей зоне).

Данная статья посвящена исследованию механизма генерации шума непосредственно в плазмотроне, являющемся одним из основных источников образования шума.

Исследовали акустические поля, создаваемые в процессе работы плазмотронами прямого действия. Измерения интенсивности звука, звукового давления, их спектральный и пространственный анализ проводили в заглушенной и реверберационной камерах с использованием акустической аппаратуры фирмы "Брюль и Кьер". Исследование узкополосного спектра звуковой мощности в диапазоне до 16 кГц выявило наличие двух пиков, определяющих общий уровень шума в данном частотном диапазоне. Как показали результаты исследований, при аэродинамически подобных условиях расположение пиков и их величина существенно зависят от геометрии соплового узла. Например, увеличение длины канала сопла приводит к росту величины пиков и их смещению в область более низких частот, так же как и увеличение диаметра сопла при его постоянной длине. В то же время зависимость шумоизлучающей способности плазмотрона от диаметра соплового узла свидетельствует об увеличении звуковой мощности пропорционально кубу диаметра сопла d^3 . Однако согласно теории турбулентного шумообразования Лайтхилла звуковая мощность пропорциональна квадрату сопла d^2 . Отсюда следует, что турбулентность струи не является оп-

ределяющим источником шума плазмотрона. В целом результаты исследований показали, что непосредственно плазмотрон генерирует 70—72 % общей звуковой мощности при горячем истечении плазмообразующего газа (ПОГ) и 60—62 % при истечении холодной струи.

Предположили, что причиной появления пиков в спектре звуковой мощности является резонансное возбуждение пульсаций газового потока при его прохождении по газозвуковому тракту (ГВТ) плазмотрона на собственных частотах соплового узла с последующим излучением через сопловой канал. Характерным для ГВТ соплового узла плазмотрона является наличие расширений (камер) и сужений (отверстий). Поскольку ПОГ в расширениях обладает упругой реакцией, а в сужениях — инерционной, то каждый из участков является отдельным звукоизлучателем, а сопловой узел плазмотрона — колебательной системой. Исследовали различные физические модели генерации звука в тракте плазмотрона для определения собственных частот колебательной системы и изучения влияния геометрии ГВТ на характер шума.

В случае, когда характерная длина ГВТ короче длины звуковой волны (что справедливо для низких частот и нижней части ультразвукового спектра), уравнения колебательного движения в источнике генерации звука можно записать следующим образом

$$\begin{aligned} m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} &= -k_1 x_1 + k_2 y_1, \\ m_2 \frac{d^2 y_1}{dt^2} &= -k_2 y_1 + k'_2 x_1, \end{aligned} \quad (1)$$

где m_1, m_2 — акустические массы ПОГ в сужениях и равные, соответственно, $\rho S_1 l_1$ и $\rho S_2 l_2$ (S_1 и S_2, l_1 и l_2 — поперечные площади и длины сужений); k_1, k_2 — жесткости расширений, равные соответственно $\rho c^2 S_1^2 / V_1$ и $\rho c^2 S_2^2 / V_2, k'_2 = \rho c^2 S_1^2 / V.$

Решая систему уравнений в виде $x = Ae^{-i\omega t}$; $y = Be^{-i\omega t}$, получили выражения для собственных частот колебаний системы:

$$\omega_{10, 20} = \left[\frac{1}{2}(\omega_1^2 + \omega_2^2) \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\omega_1^2 - \omega_2^2)^2 + 4\mu^2 \mu_1^2 (2\pi)^4} \right]^{1/2}, \quad (2)$$

где $\omega_1^2 = k_1/m_1$; $\omega_2^2 = k_2/m_2$; $\mu^2 = \frac{k_2}{4\pi \sqrt{m_1 m_2}}$;

$$\mu_1^2 = \frac{k_2}{4\pi^2 \sqrt{m_1 m_2}}.$$

Интенсивность и уровень звуковой мощности определяются из выражений:

$$J = 0,5 \operatorname{Re}(PV^*);$$

$$L_p = 10 \lg \frac{JS}{P_0} = 10 \lg \frac{P_{10}^2 k_2 \omega^4 \rho S_2 S_1^2 \times}{4\pi c m_1 m_2^2 \left[(\omega^2 - \omega_{10}^2)^2 (\omega^2 - \omega_{20}^2)^2 + \times (\omega_1^2 - \omega^2) + \frac{\omega^6 \rho^2 S_2^4}{4\pi^2 c^2 m_2^2} (\omega_1^2 - \omega^2)^2 \right]} P_0. \quad (3)$$

Таким образом, возникающие в спектре звуковой мощности резонансные пики обусловлены совпадением частот возбуждающей силы, вызванной движением ПОГ по ГВТ — с собственными частотами ω_{10} и ω_{20} камер — резонаторов соплового узла.

В то же время из выражения (2) следует, что наличие в колебательной системе двух акустических масс и жесткостей не обязательно приводит к появлению в спектре двух резонансных пиков (частота ω_{20} может быть мнимой в зависимости от геометрии системы).

Экспериментальные данные подтверждают подобное изменение характера спектра при разных расстояниях между катодом и соплом плазмотрона. При работе на больших мощностях (при высокой температуре плазменной струи) экспериментально установлено, что резонансные эффекты могут экранироваться турбулентным движением самой струи и другими источниками звуковых колебаний. К тому же данная модель не объясняет появления резонансных пиков в ультразвуковой части спектра звуковой мощности. Поэтому предложили модель,

в которой звук генерировался в результате резонансных явлений внутри цилиндрической части соплового канала.

Сопловой канал представлял собой волновод длиной l и диаметром a , на одном конце которого расположен колеблющийся гипотетический поршень, а другой конец открыт и является источником звука. Звуковое давление $P(x, t)$ и колебательную скорость $v(x, t)$ частиц воздуха в сопловом канале можно записать в виде:

$$P(x, t) = P_+ [e^{-ikx - ik(c+v)t} - e^{-2\psi} e^{-ikx - ik(c-v)t}],$$

$$v(x, t) = \frac{P_+}{\rho c} [e^{-ikx - ik(c+v)t} + e^{-2\psi} e^{-ikx - ik(c-v)t}], \quad (4)$$

где v — скорость потока; $\psi = \pi\alpha_0 + i\pi\beta_0$ — характеризует отношение амплитуд и разность фаз прямых и отраженных волн. Неизвестную величину ψ в формуле (4) можно найти, если импеданс, вычисленный по определению $Z(x, t) = \frac{P(x, t)}{v(x, t)}$, приравнять к импедансу открытого конца трубы:

$$Z_1 = \rho c \left[1 - 2 \frac{J_1(2ka)}{2ka} \right] - i\rho c M(2ka) = \rho c(\theta - i\chi). \quad (5)$$

В результате получаем:

$$\alpha_0 = \frac{1}{4\pi} \ln \frac{[(1+\theta)^2 + \chi^2]^2}{(1-\theta^2 - \chi^2)^2 + 4\chi^2}, \quad (6)$$

$$\beta_0 = -\frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{2\chi}{(1-\theta^2 - \chi^2)} - \frac{k}{\pi} (1 - vt) + \frac{n}{2}.$$

Интенсивность излучения с открытого конца соплового канала

$$J_1 = 0,5 \operatorname{Re}[P(l, t)V^*(l, t)] = \frac{2P_+^2}{\rho c} \frac{\theta}{(1+\theta)^2 + \chi^2}, \quad (7)$$

а уровень звуковой мощности

$$L_p = 10 \lg \frac{2SP_+^2}{P_0 \rho c} \frac{\theta}{(1+\theta)^2 + \chi^2}. \quad (8)$$

При этом существенно, что уровень звуковой мощности для выбранной системы не зависит от скорости потока v .

Амплитуда звукового давления P_+ , создаваемого гипотетическим поршнем, является функцией час-

тоты ω (или k) и согласно экспериментальным данным может быть аппроксимирована выражением

$$P_+(ka) = P_{+0}ka e^{-mka}, \quad (9)$$

с учетом которого выражение (8) запишется в виде:

$$L_p = 10 \lg \frac{2SP_{+0}^2}{P_0 \rho c} - 20mka + 20 \lg(ka) + 10 \lg \frac{\theta}{(1+\theta)^2 + \chi^2}. \quad (10)$$

Результаты исследований, проведенных для плазмотрона ПВР-402У4, показывают удовлетворительное совпадение измеренного уровня звуковой мощности и вычисленного по формуле (10) при $m = 0,45$ в высокочастотной области спектра (5—50 кГц). При этом в спектре звуковой мощности появляется ряд гармонически повторяющихся пиков, амплитуда которых убывает с ростом номера гармоники $\sim n^{-1,5}$. Практически регистрируются только первые две-три гармоники с наибольшей амплитудой. Частота первой гармоники существенно зависит от диаметра канала соплового узла и может быть аппроксимирована зависимостью $f = f_0 a^{-0,7}$.

Частоту появления первой резонансной гармоники анализировали с точки зрения влияния на нее связанных акустических масс и жесткостей ГВТ плазмотрона. Результаты расчетов, проведенных с учетом аэродинамических потерь по тракту плазмотрона, показали, что колебаниями воздушного потока в завихрителе можно пренебречь с точностью до 4—5 % по сравнению с влиянием последующих по тракту плазмотрона акустических масс и жесткостей. Учет аэродинамических потерь по ГВТ плазмотрона позволяет определить зависимость частоты пика от входного давления:

$$\Delta\omega = \Delta P \frac{\gamma-1}{2\gamma}. \quad (11)$$

При больших входных давлениях положение пика в спектре может измениться на 10—15 % из-за больших потерь в ГВТ.

Таким образом, для уменьшения генерируемой плазмотроном звуковой мощности в нормируемом диапазоне слышимых частот (31,5—8000 Гц) необходимо исключить резонансные явления, возникающие в ГВТ. Наиболее рациональным решением является устранение сужающихся и расширяющихся объемов внутри ГВТ. Задачу одновременного уст-

ранения источников звука (отрывов потока и вихреобразования) и условий его усиления в камерах-резонаторах авторы решили путем профилирования проточной части ГВТ плазмотрона следующим образом: площадь проходного сечения газового тракта постоянна (или близка к этому) либо линейно изменяется (уменьшается); схема профилирования ГВТ комбинированная.

Используя расчеты, в НПП "Полигон Лтд." разработали и внедрили малозумные плазмотроны, позволяющие снизить средний уровень производимого ими шума на 8—12 дБ по сравнению с выпускаемым промышленностью плазмотроном ПВР-2УХЛ4. Это плазмотроны ПМВР-2* (с водяным охлаждением для автоматической резки при токах до 500 А), УГПР-400 (с водяным охлаждением для ручной и автоматической резки при токах до 400 А) и УГПР-150 (с воздушным охлаждением для ручной резки при токах до 150 А), позволяющие вести разделку металла различных толщин в различных технологических режимах.

На основе проведенных исследований и пространственного анализа звукового поля в окружающей рабочей зоне разработан способ борьбы с резонансными пиками в спектре звуковой мощности. Измеренные диаграммы направленности звука показывают, что максимальное излучение звука направлено под углом 45° к оси плазмотрона, где уровень звука на 10—15 дБ выше. Разработан и внедрен звукопоглощающий насадок с камерами-резонаторами, входные отверстия которых расположены концентрично оси плазмотрона в зоне максимальной интенсивности распространения прямых и отраженных от обрабатываемой поверхности звуковых волн**. Помимо снижения общего уровня шума и амплитуды резонансных пиков на 6—10 дБ, применение насадка позволяет также снизить вредное влияние радиационного излучения вследствие экранирования и выброса аэрозолей в окружающую атмосферу при использовании газового отсоса из камер-резонаторов.

Таким образом, представленные в данной работе расчеты и практический опыт эксплуатации оборудования, разработанного НПП "Полигон Лтд.", обеспечивают успешное решение проблемы резонансных шумов и в целом создания высокоэффективного и экологически безопасного плазменного оборудования.

* А. с. 1370893 (РФ).

** А. с. 1436350 (РФ).

В. В. КЛОЧКОВ, д-р экон. наук
МФТИ (ГУ)

Модели рынков услуг и работ по модернизации авиатехники

Среди различных видов производственной деятельности авиационной промышленности важное место занимает *модернизация авиатехники*. Согласно распространенному определению [1], "модернизация — это изменение конструкции, состава бортового оборудования, вооружения и т. п. для улучшения характеристик летательного аппарата без изменения его целевого предназначения". В ходе модернизации ранее выпущенные изделия могут приобретать новые эксплуатационные свойства, может повышаться их надежность или снижаться уровень эксплуатационных затрат.

Для оценки спроса на этот вид работ и услуг необходимо построить модель принятия решения о модернизации авиатехники. Рассмотрим распространенную в гражданском секторе рынка авиатехники ситуацию, когда модернизация направлена на снижение уровня эксплуатационных затрат, в частности, техническое обслуживание и ремонт (ТОиР), авиатопливо и др. Эксплуатирующие организации принимают решение при наличии следующих альтернатив:

- продолжить эксплуатацию старой авиатехники до выработки ею ресурса без модернизации;
- списать старую авиатехнику немедленно и заменить на изделия нового поколения;
- модернизировать старую авиатехнику.

Предположим, что старое изделие имеет остаток ресурса, равный $\delta T^{\text{стар}}$ (δ — неизрасходованная на данный момент доля ресурса). Обозначим цену изделий нового поколения $P^{\text{нов}}$, их ресурс в летных часах $T^{\text{нов}}$, а текущие операционные затраты (затраты на ТОиР и авиатопливо) в расчете на летный час — $C_{\text{опер}}^{\text{стар}}$ и $C_{\text{опер}}^{\text{нов}}$ для старого и нового поколений авиатехники соответственно. Разовые вложения в модернизацию изделия обозначим ΔP , уровень операционных расходов модернизированных изделий (в расчете на летный час) — $C_{\text{опер}}^{\text{мод}}$. Как правило, выполняется соотношение

$$C_{\text{опер}}^{\text{нов}} < C_{\text{опер}}^{\text{мод}} < C_{\text{опер}}^{\text{стар}}$$

Остаток ресурса модернизированных изделий $\Delta T^{\text{мод}}$ мог как остаться неизменным, т. е. равным $\delta T^{\text{стар}}$, так и увеличиться. При этом весьма распространенный в странах бывшего СССР и некоторых других регионах мира вид услуг, называемый *продлением*

*ресурса авиатехники*¹, можно рассматривать как частный случай модернизации, когда $\Delta T^{\text{мод}} \gg \delta T^{\text{стар}}$, но $C_{\text{опер}}^{\text{мод}} = C_{\text{опер}}^{\text{стар}}$. Аналогичным образом эта общая модель позволяет описать случай, когда модернизация направлена на улучшение экологических характеристик самолетов и авиадвигателей. Например, установка звукопоглощающих устройств (ЗПК) на авиадвигатели Д-30КУ-154 позволяет самолетам Ту-154М уложиться в более жесткие требования по шуму на местности и тем самым продлить период их коммерческой эксплуатации на международных авиалиниях [2], что также можно представить как $\Delta T^{\text{мод}} \gg \delta T^{\text{стар}}$ и $C_{\text{опер}}^{\text{мод}} = C_{\text{опер}}^{\text{стар}}$.

Необходимо сравнить суммарные затраты на каждую альтернативу. Решение в пользу модернизации будет принято, если затраты в этом случае будут минимальными. За период, соответствующий сроку исчерпания остатка ресурса старого изделия $\delta T^{\text{стар}}$, суммарные затраты составят:

- при эксплуатации старого изделия без модернизации —

$$TC^{\text{стар}} = \delta T^{\text{стар}} C_{\text{опер}}^{\text{стар}}; \quad (1)$$

- при немедленной замене старых изделий на изделия нового поколения —

$$TC^{\text{нов}} = \delta T^{\text{стар}} \left[\frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} + C_{\text{опер}}^{\text{нов}} \right]; \quad (2)$$

- при модернизации старого изделия —

$$TC^{\text{мод}} = \delta T^{\text{стар}} \left[\frac{\Delta P}{\Delta T^{\text{мод}}} + C_{\text{опер}}^{\text{мод}} \right]. \quad (3)$$

¹ Продление ресурса, как правило, выполняется предприятием-изготовителем или разработчиком изделия, который, анализируя техническое состояние отдельных экземпляров изделий в парке, принимает решение о возможности продолжения эксплуатации тех экземпляров, износ которых (за счет относительно благоприятных условий эксплуатации, технического обслуживания и т. п.) меньше ожидавшегося при установлении единого ресурса всем изделиям данного типа. При этом разработчики и производители принимают на себя ответственность за безопасность эксплуатации экземпляров с продленным ресурсом за пределами установленного ресурса.

Если остаток ресурса в результате модернизации не увеличивается, затраты за указанный период можно выразить более простой формулой:

$$TC^{\text{мод}} = \Delta P + \delta T^{\text{стар}} c_{\text{опер}}^{\text{мод}}. \quad (4)$$

Модернизация будет предпочтительнее эксплуатации старого изделия при условии

$$TC^{\text{мод}} < TC^{\text{стар}}$$

или

$$\frac{\Delta P}{\Delta T^{\text{мод}}} < c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{мод}}. \quad (5)$$

Однако модернизация авиатехники также должна быть предпочтительнее замены на новое поколение изделий, что соответствует условию

$$TC^{\text{мод}} < TC^{\text{нов}}$$

или

$$\frac{\Delta P}{\Delta T^{\text{мод}}} < \frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} + c_{\text{опер}}^{\text{нов}} - c_{\text{опер}}^{\text{мод}}. \quad (6)$$

При выполнении неравенства

$$\frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} + c_{\text{опер}}^{\text{нов}} < c_{\text{опер}}^{\text{стар}} \quad (7)$$

условие (6) заведомо жестче условия (5), поэтому достаточно рассмотреть лишь его. Как показано в работах [3, 4], если выполняется последнее неравенство, новое поколение изделий можно назвать "прорывным", т. е. его появление на рынке делает эксплуатацию изделий старого поколения заведомо невыгодной.

Если же $\frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} + c_{\text{опер}}^{\text{нов}} > c_{\text{опер}}^{\text{стар}}$ (новое поколение

изделий не является "прорывным"), достаточно проверить лишь выполнение условия (5), а условие (6) при этом выполняется автоматически. Следовательно, модернизация изделия старого поколения будет наиболее предпочтительной альтернативой, если ее цена ΔP будет не выше определенного порога

$$\Delta P_{\text{max}} =$$

$$= \Delta T^{\text{мод}} \min \left\{ c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{мод}}; \frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} + c_{\text{опер}}^{\text{нов}} - c_{\text{опер}}^{\text{мод}} \right\} \quad (8)$$

или, иначе говоря, если остаток ресурса модернизируемого изделия будет не меньше определенного порога

$$\Delta T_{\text{min}} = \frac{\Delta P}{\min \left\{ c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{мод}}; \frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} + c_{\text{опер}}^{\text{нов}} - c_{\text{опер}}^{\text{мод}} \right\}}. \quad (9)$$

Заметим, что при $\Delta T_{\text{min}} = T^{\text{стар}}$ невыгодно модернизировать даже самые "молодые" изделия в парке.

Таким образом, соответствующее значение цены можно считать запретительной ценой для данного рынка:

$$\Delta P_{\text{запр}} = T^{\text{стар}} \min \left\{ c_{\text{опер}} - c_{\text{опер}}^{\text{мод}}; \frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} + c_{\text{опер}}^{\text{нов}} - c_{\text{опер}}^{\text{мод}} \right\}. \quad (10)$$

С другой стороны, иногда превосходство нового поколения изделий над модернизированными изделиями в части операционных затрат может быть настолько

велико $\left(c_{\text{опер}}^{\text{мод}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}} > \frac{P^{\text{нов}}}{T^{\text{нов}}} \right)$, что модернизация

становится невыгодной даже при нулевой цене.

В реальных расчетах необходимо учитывать временную стоимость денег. Учет этого фактора дает модернизации дополнительные преимущества по сравнению с покупкой изделий нового поколения, поскольку начальные затраты на модернизацию, как правило, существенно ниже, чем на приобретение новых изделий ($\Delta P \ll P^{\text{нов}}$). Также повышению привлекательности более консервативных стратегий поведения эксплуатирующих организаций (т. е. модернизация вместо покупки новых изделий) могут способствовать рыночные механизмы: повышенный спрос на изделия нового поколения может привести к росту их цены, и, как следствие, — большей вероятности выполнения условия (6).

В данной модели определяющим фактором при принятии решения о модернизации или списании авиатехники становится остаток ресурса. Для оценки суммарного спроса на модернизацию необходимо знать распределение парка изделий данного типа по остатку ресурса. Введем следующие обозначения: N — общая численность парка изделий данного типа, не исчерпавших к настоящему моменту свой ресурс; $n(\delta)$ — число изделий, имеющих к настоящему моменту долю остаточного ресурса, равную δ . Тогда доля изделий, имеющих остаток ресурса не менее ΔT , может быть вычислена по формуле

$$F(\Delta T) = \frac{1}{N} \sum_{\delta = \Delta T / T^{\text{стар}}}^{\delta = 1} n(\delta). \quad (11)$$

Если цена модернизации будет установлена на уровне ΔP , суммарный спрос на услуги по модернизации можно оценить, объединив формулы (9) и (11):

$$Q^{\text{мод}}(\Delta P) = NF\{\Delta T_{\text{min}}(\Delta P)\}. \quad (12)$$

Чем выше доля изделий со значительным остатком ресурса, тем выше спрос на модернизацию при заданном уровне цены. Поэтому возрастная структура парка характеризует так называемый *модернизационный потенциал* данного типа изделий, т. е. емкость рынка работ по модернизации. Если постоянные затраты производителя на программу модернизации обозначить FC , материальные затраты на модерни-

зацию одного изделия — $c_{\text{мат}}$, а удельные трудовые затраты на модернизацию одного изделия сокращаются с ростом накопленного выпуска вследствие эффекта обучения по закону $c_{\text{тр}}(q)$, тогда ожидаемая прибыль от реализации всей программы модернизации

$$\Pi = [\Delta P - c_{\text{мат}}] Q^{\text{мод}}(\Delta P) - \sum_{q=1}^{q=Q^{\text{мод}}(\Delta P)} c_{\text{тр}}(q) dq - FC. (13)$$

Если приблизительно известны параметры, входящие в эту формулу, можно оценить оптимальный уровень цены работ по модернизации из условия

$$\frac{\partial \Pi}{\partial (\Delta P)} = 0.$$

Приступая к разработке программы модернизации изделий того или иного типа, производитель должен прежде всего оценить их модернизационный потенциал и перспективы безубыточной реализации программы. По очевидным причинам (см. формулы (9), (12) и (13)) прибыль будет выше, если удастся достичь существенного сокращения эксплуатационных затрат, заменяя или дорабатывая сравнительно небольшую (в стоимостном выражении) долю элементов изделия.

На практике одним из основных рынков модернизации авиатехники является рынок *ремоторизации* воздушных судов [5], т. е. замены авиадвигателей на более совершенные. Основные причины популярности ремоторизации носят технико-экономический характер. С одной стороны, ресурс планера, как правило, выше характерного ресурса авиадвигателей. С другой стороны, в последние десятилетия удалось достичь существенного повышения технико-экономического совершенства авиадвигателей (сокращения расхода топлива, увеличения надежности, улучшения экологических характеристик), в то время как конструкция и уровень аэродинамических, массовых и др. характеристик планера не претерпевали столь существенных изменений.

Возникает вопрос: что следует считать ценой модернизации, а что необходимо включать в состав операционных затрат после ремоторизации? Затраты на переделку планера (усиление пилонов, крыла и т. п.), топливной системы, систем управления и т. д. однозначно следует включать в цену модернизации. Затраты на капитальный ремонт двигателей (в расчете на летный час) следует включить в состав операционных затрат наряду с затратами на ГСМ и текущее ТО. Что касается затрат на приобретение новых авиадвигателей, их отнесение к той или иной категории требует тщательного анализа. Как правило, ремоторизацию производят в момент, когда выработали свой ресурс авиадвигатели старого поколения. Если остаток ресурса планера столь значителен, что предполагает неоднократную полную выработку назначенного ресурса авиадвигателей нового поколения, тогда затраты на приобретение и периодическую замену старых и новых авиадвигателей корректнее включать (предварительно при-

водя к летному часу) в состав операционных затрат старого и модернизированного изделий $c_{\text{опер}}^{\text{стар}}$ и $c_{\text{опер}}^{\text{мод}}$. Если же новые авиадвигатели устанавливаются вместо старых (возможно, имеющих остаток ресурса) и предполагается их списание вместе с планером самолета, затраты на приобретение новых авиадвигателей следует относить к разовым затратам на ремоторизацию ΔP .

В качестве примера применения предлагаемой модели рынка модернизационных услуг рассмотрим рынок ремоторизации парка четырехмоторных грузовых самолетов. Разумеется, пример носит условный, иллюстративный характер (в том числе и по причине конфиденциального характера многих исходных данных, необходимых для расчетов), хотя на практике подобные ситуации весьма распространены [5—7]. Предположим, что в эксплуатации находится 1000 воздушных судов данного типа, имеющих остаток ресурса. Распределение парка по остатку ресурса предполагается равномерным, т. е.

$$F(\Delta T) = \frac{T^{\text{стар}} - \Delta T}{T^{\text{стар}}} = 1 - \frac{\Delta T}{T^{\text{стар}}} = 1 - \delta.$$

Эксплуатирующим организациям предлагаются следующие альтернативы:

- приобретение грузовых самолетов аналогичного класса, имеющих при той же грузоподъемности более низкие операционные затраты на летный час (л. ч.);
- ремоторизация эксплуатируемых в настоящее время самолетов путем замены авиадвигателей на более совершенные.

Технико-экономические параметры всех альтернатив (характеристики четырехмоторных грузовых самолетов старого и нового поколений, а также самолетов, прошедших ремоторизацию) приведены в таблице.

Цена изделий старого поколения не является принципиальной, поскольку она уже уплачена, а предстоящие затраты не оказывают влияния на решения, принимаемые в данный момент (что и отраже-

Параметр	Старое поколение	Модернизированные изделия	Новое поколение
Назначенный ресурс, л. ч.	30 000	30 000	60 000
Цена нового самолета, млн долл.	—	10 (стоимость ремоторизации)	90
Средняя стоимость ТОиР самолета и силовой установки, долл./л. ч.	500	400	300
Средний часовой расход топлива самолета, т/л. ч.	6	4	3
Межремонтный ресурс авиадвигателей, л. ч.	4000	8000	12 000
Цена капремонта авиадвигателя, млн долл.	1,5	2,0	4,0
Итого, операционные затраты на л. ч. (при цене авиатоплива 700 долл. за 1 т)	6200	4200	3400

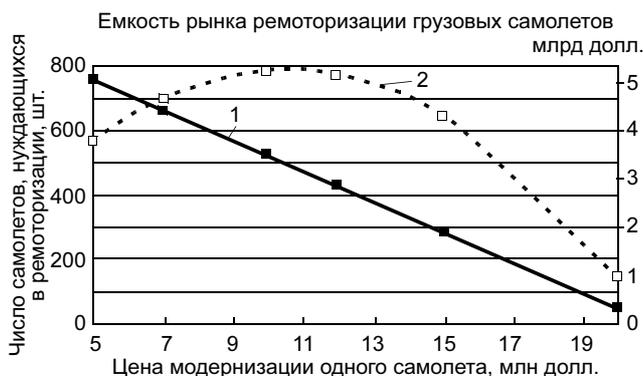


Рис. 1. Натуральные и стоимостные характеристики емкости рынка ремоторизации грузовых самолетов (пример)

но в приведенной модели, вообще не содержащей цены старых изделий). Условие (7) при таких параметрах старого и нового типов изделий выполняется, поэтому для каждого самолета в парке решается дилемма — модернизировать или списать немедленно и заменить изделием нового поколения. Согласно формуле (6), модернизация при стоимости 10 млн долл. оказывается более предпочтительной по сравнению с заменой самолетов на новые, если остаток ресурса изделия не менее 14 300 л. ч. (48 %). При данном распределении парка по остатку ресурса это означает, что в ремоторизации нуждаются 520 самолетов. На рис. 1 приведены полученные в данном примере графики зависимости суммарных спроса (1) и выручки (2) (по вспомогательной оси ординат) от стоимости ремоторизации грузовых самолетов рассмотренного типа.

Замена авиадвигателей или бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) в ходе модернизации может быть обусловлена не только экономическими факторами, как в приведенной модели, но и неэкономическими — например, ужесточением экологических стандартов (что, в основном, касается авиадвигателей), требований по безопасности полетов и эргономике (что характерно при замене БРЭО²). В этих случаях можно говорить о принудительной модернизации изделий. Также неэкономические причины нередко стимулируют модернизацию авиатехники военного назначения — замену БРЭО, систем управления вооружением, самого вооружения и др. При этом планер, как правило, не нуждается в замене по причине относительно медленно улучшающихся его параметров по сравнению с прочими элементами воздушных судов. В связи с этим чрезвычайно показателен пример основного даль-

него бомбардировщика В-52 ВВС США, стоящего на вооружении с 1950-х гг. Последний экземпляр модификации В-52Н был выпущен в 1962 г., а окончательное списание самолетов этого типа планируется лишь в 2040-х гг. [8]. Разумеется, столь длительный жизненный цикл сопровождается постоянной модернизацией силовой установки, бортового оборудования, систем вооружения, а также тщательным контролем технического состояния планера.

По оценкам российских и зарубежных экспертов, отечественные боевые самолеты и вертолеты многих типов также обладают существенным модернизационным потенциалом. Значительное число этих изделий, находящихся в эксплуатации в ВВС зарубежных стран, делает рынок их модернизации чрезвычайно емким и привлекательным. По оценкам специалистов ОКБ "МиГ" [9], только емкость рынка модернизации истребителей отечественного производства, эксплуатируемых зарубежными странами, превышает в настоящее время 3,5 млрд долл. Помимо значительной емкости привлекательность рынка модернизации авиатехники для авиастроительных и авиаремонтных предприятий обусловлена следующим фактором. Нередко эксплуатирующие организации прибегают к модернизации принадлежащей им авиатехники в периоды дефицита средств на закупку изделий нового поколения, когда спрос на продукцию авиастроения падает. Следовательно, поток выручки от модернизации авиатехники способен частично демпфировать колебания выручки от продажи новых изделий в неблагоприятные для авиационной промышленности периоды.

В связи с этим услуги и работы по модернизации отечественной авиатехники военного назначения активно предлагают не только (и, к сожалению, не столько) российские предприятия — разработчики и производители, но и зарубежные компании. Ряд независимых предприятий за рубежом, как правило, выросших из авиаремонтных предприятий, в настоящее время специализируются на глубокой модернизации авиатехники. Прежде всего, следует упомянуть одного из лидеров мирового рынка модернизации авиатехники как гражданского, так и военного назначения — израильскую компанию IAI (Israel Aircraft Industries), имеющую годового оборот порядка 3 млрд долл. [10, 11]. Как авиастроительные компании, так и независимые производители разрабатывают современные технологии модернизации не только планера, но также авиадвигателей³

³ Так, например, в ходе капитального ремонта авиадвигателей Д-30КУ-154 возможна установка вместо штатной камеры сгорания новой, малозмиссионной камеры сгорания, разработанной ОАО "НПО "Сатурн" совместно с ЦИАМ им. П. И. Баранова [2, 7]. Такая модернизация, по сообщению разработчика, позволяет самолетам Ту-154М не только уложиться в современные нормы по эмиссии вредных веществ (и тем самым продлить период коммерческой эксплуатации на международных авиалиниях), но и сократить средний расход топлива на несколько процентов.

² При этом и замена БРЭО иногда может объясняться экономическими причинами. Например, если при установке нового комплекса БРЭО удастся сократить число членов экипажа данного типа ВС и, как следствие, — снизить потребный уровень затрат на оплату труда.

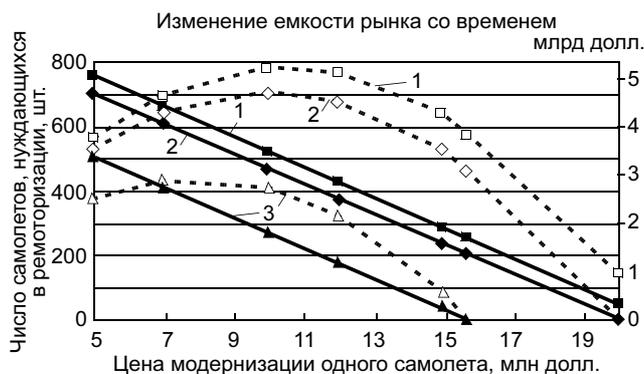


Рис. 2. Изменение емкости рынка ремоторизации со временем

и бортового оборудования. Таким образом, современные рынки услуг по модернизации, как и рынки прочих видов послепродажного сопровождения авиатехники [3], характеризуются чрезвычайно жесткой конкуренцией, и статус разработчика изделия отнюдь не гарантирует предприятию монопольное положение на рынке его модернизации.

Анализируя выражение (12) для емкости рынка модернизации, можно сделать еще один важный качественный вывод. Поскольку весь потенциальный спрос на модернизацию, не может быть удовлетворен мгновенно, старые изделия продолжают эксплуатироваться, сокращается остаток их ресурса, а вместе с ним и модернизационный потенциал изделий данного типа. В рамках приведенного примера рассмотрим динамику емкости ремоторизации парка грузовых самолетов, если среднегодовой налет на одно воздушное судно η составляет 1500 л. ч. Тогда (при условии, что производство самолетов данного типа прекращено и новых изделий в эксплуатацию не поступает) распределение парка по остатку ресурса останется равномерным. Однако каждый год доля неизрасходованного ресурса δ будет сокращаться на величину $\frac{\eta}{T_{стар}} = 5\%$. Таким образом, через год в парке

останется 950 самолетов, остаток ресурса которых будет равномерно распределен от 0 до 28 500 л. ч., через 5 лет — 750 самолетов (от 0 до 22 500 л. ч.) и т. д.

На рис. 2 приведены графики зависимости суммарного спроса (сплошная) и выручки (штриховая) (вспомогательная ось ординат) от цены ремоторизации грузовых самолетов, если начать реализацию программы в данный момент (1), через год (2) и через 5 лет (3).

Несмотря на то, что за 5 лет будет списано лишь 25 % воздушных судов из состава данного парка, максимально возможная выручка сократится приблизительно на 45 %, т. е. стоимостная емкость рынка модернизации сокращается существенно быстрее, чем натуральная. Это легко объяснить, поскольку,

помимо сокращения общей численности парка, со временем сокращается и остаток ресурса каждого изделия, что делает выполнение условия (6) все менее вероятным. Так, уже через 5 лет стоимость модернизации, равная 15,6 млн долл., станет запретительной для самолетов в данном парке, хотя в данный момент она является приемлемой более чем для 250 самолетов.

Таким образом, рынок услуг и работ по модернизации авиатехники предъявляет чрезвычайно высокие требования к оперативности реагирования предприятий авиационной промышленности на динамично изменяющийся спрос. На этом рынке, как и на многих других рынках продукции авиастроения, большое значение приобретает так называемая конкуренция временем.

ВЫВОДЫ

1. Существуют определенные пороговые значения остатка ресурса изделия, требуемых затрат на его модернизацию, сокращения эксплуатационных затрат в результате модернизации, при которых модернизация авиатехники еще может быть экономически эффективной. Эти пороговые значения взаимосвязаны: чем выше затраты на модернизацию, тем выше должны быть ожидаемый выигрыш в эксплуатационных затратах и минимальный остаток ресурса модернизируемых изделий.

2. Модернизационный потенциал изделий определенного типа определяется распределением парка изделий по остатку ресурса. По мере выработки ресурса парка изделий емкость рынка работ и услуг по их модернизации сокращается в стоимостном выражении быстрее, чем в натуральном.

3. Рынок работ и услуг по модернизации авиатехники может стать одним из существенных источников выручки и прибыли российских авиастроительных и авиаремонтных предприятий, снижающим риск потерь в периоды сокращения спроса на новую авиатехнику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аветушко Н. Вертолетная модернизация // сайт www.aviaport.ru, 10.01.2004.
2. Кузьменко М., Элькес А., Буров М. Двигатель Д-30КУ-154: экологические проблемы и пути их решения // Аэрокосмический курьер. 2003. № 2. С. 24—26.
3. Ключков В. В. Организация конкурентоспособного производства и послепродажного обслуживания авиадвигателей. М.: Экономика и финансы, 2006. 464 с.
4. Ключков В. В., Гусманов Т. М. Проблемы прогнозирования спроса на перспективные гражданские самолеты российского производства // Проблемы прогнозирования. 2007. № 2. С. 16—31.
5. Елисаветский В., Фомин А. Ремоторизация Ил-76: "Бурлак" против ПС-90 // Взлет. 2005. № 5.
6. www.avid.ru
7. www.npo-saturn.ru
8. Ильин В. Е., Левин М. А. Бомбардировщики. В 2 т. М.: Виктория АСТ, 1996.
9. Позняков П., Монахов А. П. Будет ли "цивилизована" российская авиация? // Вестник воздушного флота. 2002. № 1—2.
10. Волков К. Летать по-новому // сайт www.aviaport.ru, 13.06.2006.
11. www.iai.co.il

В. А. ДЕМИН, д-р техн. наук, В. В. УЖВА, канд. техн. наук
Московский государственный индустриальный университет

Университетский комплекс как интегрированная система обучения

Одной из основных задач инженерного образования в настоящее время является обеспечение промышленности высококвалифицированными специалистами, способными эффективно решать различные научно-технические, технологические и экономические проблемы в условиях жесткой конкуренции на внутреннем и международном рынках. Поэтому необходимо совершенствовать университетское техническое образование, искать и применять новые формы и технологии обучения, позволяющие объединить образовательную, научную и производственную деятельность с целью подготовки специалистов для высокотехнологичных производств. Большие возможности для этого в современных условиях открывают университетские комплексы. Создание университетских комплексов определено постановлением Правительства РФ от 17.09.2001 г. № 676 в виде

объединения образовательных, научных, производственных и иных организаций, дающих основу для повышения эффективности и качества образовательного процесса, более полному использованию имеющихся интеллектуальных, материальных и производственных ресурсов. Однако для успешной работы необходим эффективный механизм функционирования, определяющий взаимодействие подразделений университетского комплекса. Одним из возможных вариантов такого механизма является интегрированная система обучения (ИСО), по которой традиционно осуществляется подготовка специалистов в МГИУ со дня его основания. Интегрированная система предполагает органичное соединение теоретического обучения студента в вузе с производственной подготовкой по избранной специальности на предприятии, организации или фирме.

В дополнение к постановлению Правительства приказом Министерства образования РФ от 01.08.2001 г. № 2853 принято решение о проведении эксперимента по разработке моделей и механизмов функционирования университетских комплексов. Данным приказом МГИУ присвоен статус "Федеральная экспериментальная площадка — Университетский комплекс" и наряду с другими вузами разрешен эксперимент по созданию университетского комплекса по интегрированной системе обучения. В настоящее время в рамках университетского комплекса МГИУ на основе ИСО взаимодействует с АМО—ЗИЛ, ГУН "Мосгортранс", АО "Московский подшипник", академическими институтами ИМАШ РАН и ИМЕТ РАН. Конфедерацией промышленников и предпринимателей Москвы, 40 школами и колледжами, другими организациями. Схема реализации ИСО в рамках университетского комплекса приведена на рисунке. Одним из

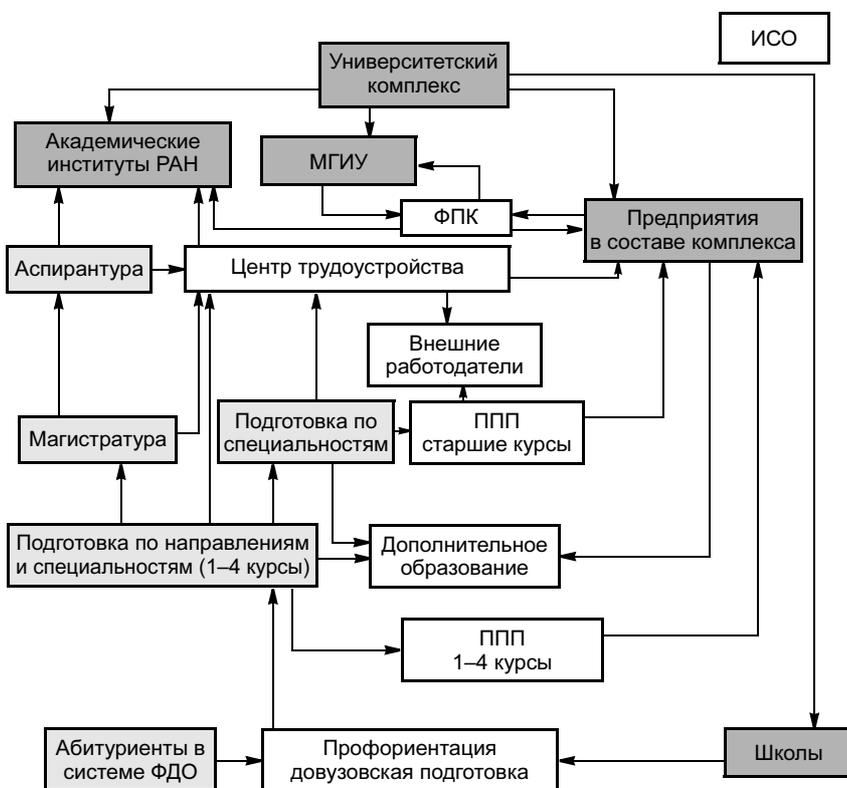


Схема реализации ИСО в рамках университетского комплекса

основных элементов ИСО является профессиональная производственная подготовка (ППП) — обучение в сочетании с личным участием студентов в трудовом процессе, реализуемом на предприятии.

Интегрированная система обучения наряду с традиционными возможностями позволяет:

- подготовить выпускника средней школы к осознанному выбору будущей специальности;
- студентам младших курсов оценить правильность сделанного выбора и определить траекторию обучения в определенных законодательством ступенях высшего профессионального образования с присвоением квалификации "бакалавр", "дипломированный специалист", "магистр";
- студентам старших курсов в процессе ППП сочетать практическую деятельность с обучением, что способствует формированию профессиональных навыков, позволяет в результате взаимодействия с работодателем оценить перспективы дальнейшего трудоустройства;
- осуществлять целевую подготовку "под заказ", что позволяет провести трудоустройство большинства выпускников по специальности с перспективой карьерного роста и приемлемым уровнем заработной платы;
- обеспечить вузу обратную связь с предприятиями и отслеживать выпускников после окончания университета с целью корректировки содержания учебного процесса.

Рассмотрим более подробно реализацию основных элементов ИСО в рамках университетского комплекса. Серьезной проблемой в настоящее время является привлечение на инженерные специальности выпускников средних учебных заведений, имеющих необходимый для обучения в высшей школе уровень подготовки по естественно-научным дисциплинам. Во многих инженерных вузах пришли к убеждению, что для обеспечения приема необходимо систематически работать с учащимися средней школы. Наиболее распространенными формами такой работы являются подготовительные курсы и профильные классы в школах. Поэтому включение в состав университетского комплекса средних учебных заведений является очевидным и необходимым. В университетском комплексе МГИУ специализированные классы формируются совместно с дирекцией школы на базе выпускников девяти классов.

В настоящее время более 100 преподавателей университета работают в штате 40 московских школ.

Другим важным направлением является профориентация и довузовское профессиональное обучение, позволяющее предопределить выбор будущей профессии. Этому способствует наличие в расписании школьников 1 раз в неделю вузовского

дня, когда кроме изучения профильных предметов проводятся занятия на предприятиях и в лабораториях университета по основам технических специальностей, устройству и обслуживанию отечественных и зарубежных автомобилей, комплектации, ремонту и модернизации компьютеров, информационным технологиям и др. В этой работе принимают участие все партнеры по университетскому комплексу.

В соответствии с Концепцией модернизации российского образования на период до 2010 г. в вузах наряду с одноступенчатой структурой высшего образования, связанной с подготовкой дипломированных специалистов, внедряется двухступенчатая структура, обеспечивающая реализацию образовательных программ по направлениям подготовки с присвоением степени бакалавра или магистра. Вузы накопили опыт по комбинированию указанных образовательных программ и в настоящее время осуществляют их реализацию по различным схемам: независимой — траектория подготовки по специальностям и направлениям не имеет общих частей; линейной — траектории накладываются одна на другую; разветвляющейся — траектории обучения на первых курсах совмещены с последующим разветвлением на старших.

Наибольшее распространение на современном этапе получила последняя схема, очевидно, в силу меньших ресурсных затрат, а конкретные варианты реализации в различных вузах отличаются лишь точками разветвления после второго, третьего или четвертого курсов. МГИУ в реализации учебного процесса тоже придерживается этой схемы. Это требует унификации учебных планов с целью оптимизации учебного процесса, например изучение большинства дисциплин бакалаврами в единых потоках с будущими инженерами. Однако цикл специальных дисциплин бакалавриата в стандартах задан лишь общим объемом часов на все дисциплины, а в стандартах специальностей приводится перечень обязательных дисциплин. Возможны два варианта создания взаимосвязанных планов. Первый, менее затратный, предполагает расширение фундаментальной подготовки бакалавров и введение дисциплин, являющихся общими для всех специальностей, входящих в данное направление. Второй основан на том, что введение учебных дисциплин по выбору студентов определяет направленность той или иной образовательной программы и при формировании учебных планов бакалавриата принимается, что это есть дисциплины, присущие только отдельным специальностям, входящим в данное направление. В этом случае, с одной стороны, ограничиваются права студента на свободу выбора траектории обучения, так как проблематично изменить ранее выбранную специаль-

ность на другую в рамках одного направления из-за необходимости досдачи ряда специальных дисциплин. С другой стороны, это содействует подготовке бакалавра к профессиональной работе после четвертого курса, оставляет возможность перехода с направления на специальность и, наоборот, до окончания четвертого курса, а при взаимосвязанных стандартах на подготовку дипломированных специалистов и магистров — даже позже. Это позволяет корректировать образовательную траекторию в зависимости от склонности студента к научной или практической деятельности, от отношения работодателей к квалификации "бакалавр" или "магистр" (не всегда положительного в настоящее время). Более подробно проблемы совмещения образования по специальностям и направлениям в технических вузах изложены в работе [1].

МГИУ, реализуя обучение по направлениям и специальностям, придерживается последнего варианта в сочетании с ИСО, хотя и имеет свои особенности, предусмотренные Типовым положением об образовательном учреждении высшего профессионального образования [2]. В соответствии с п. 30 "допускается сочетание различных форм получения образования, в том числе соединение очной формы обучения с работой на предприятии, в учреждении, организации". Срок освоения образовательной программы в этом случае в соответствии с п. 32 может быть увеличен. На этом основании в МГИУ срок подготовки дипломированных специалистов по очной форме обучения в соответствии с лицензией составляет 5,5 лет. Это позволяет при обязательном выполнении образовательных стандартов, начиная с 8-го семестра для очной формы, перейти на обучение в вечернее время с одновременным оформлением студентов в штат предприятий на полный рабочий день. Подобный подход существенно отличается от традиционной практики студентов возможностью трудоустройства и адаптации к условиям реальных производственных отношений до завершения обучения в вузе и регламентируется утвержденным в университете Положением о профессиональной производственной подготовке студентов МГИУ. Трудоустройство и прохождение ППП осуществляется под руководством Центра трудоустройства, преподавателей профилирующих кафедр и специалистов предприятий и организаций. Таким образом, в 8-м семестре студенты, вы-

бравшие обучение по специальности, переходят на рассмотренный график обучения и теряют возможность получения степеней бакалавра и магистра, а продолжающие обучение по направлению подготовки проходят итоговую аттестацию и получают квалификацию бакалавра. В дальнейшем бакалавры могут продолжить обучение как в магистратуре, так и для получения квалификации дипломированного специалиста. При обучении в магистратуре содержание ППП приобретает научно-исследовательский характер и реализуется в академических институтах, НИИ или на кафедрах университета.

Существенную роль при реализации ИСО играет дополнительное образование, необходимость которого объясняется как дополнительными требованиями предприятий при подготовке специалистов "под заказ", так и спросом со стороны студентов университета, партнеров по университетскому комплексу, сторонних организаций. В перечень образовательных услуг входит второе высшее экономическое образование в дополнение к техническому, углубленное изучение иностранных языков, современных информационных технологий, элитная подготовка и научно-исследовательская работа студентов и многое другое, что обеспечивает успешное трудоустройство выпускникам и перспективы карьерного роста работникам предприятий. Важное место в системе образования в настоящее время занимает повышение квалификации как работников предприятий, так и преподавателей вузов. Требуется постоянный обмен знаниями в области новых технологий, что наиболее эффективно осуществлять в рамках университетского комплекса, когда одни и те же преподаватели и сотрудники могут быть как учащимися, так и учителями.

В заключение можно сделать вывод об эффективности применения ИСО в качестве механизма функционирования и взаимодействия подразделений университетского комплекса в современных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Научно-методические основы и практика организации учебного процесса в вузе* / И. А. Новаков, Ю. В. Попов, В. Н. Подлеснов и др.: Учеб. пособие. Волгоград ВолгТУ, 2003. 316 с.
2. *Хохлов Н. Г. О роли высшей школы на переломном этапе // Машиностроение и инженерное образование. 2005. № 1. С. 40—46.*

Содержание зарубежных журналов¹

American Machinist
(N 12, 2007, США)

Bates Ch. Станки для обработки по пяти осям, с. 57—59, ил. 3.

Станки, обрабатывающие по пяти осям, эффективны при обработке деталей с одной установки, которая не всегда является наиболее точной. Альтернативой одновременного перемещения по пяти осям является перемещение только по трем осям X, Y и Z при обработке по схеме 2 + 3. Две другие оси вращения (вторичные оси) используются только для позиционирования. Приведены примеры станков, работающих по данной схеме.

Kline D. Повышение эффективности работы станка, с. 59, 60, ил. 1.

Рассматривается пример оптимизации высокопроизводительного многоцелевого станка за счет применения твердосплавных режущих инструментов с покрытием КНБ. Высокая термическая стабильность и химическая стойкость обеспечивает эффективную обработку черных металлов, для которых нецелесообразно применять алмазные инструменты.

Установки для обработки водной струей, с. 64.

Приведены технические характеристики восьми установок для обработки водной струей, включая размеры рабочей зоны, давление в гидравлической системе, число программируемых осей.

(N 1, 2008, США)

Matysiak P. Обработка резанием — "know-how", с. 12—13, ил. 1.

В настоящее время эффективность производств, связанных с обработкой резанием, их конкурентоспособность во многом зависят от квалификации инженерно-технического персонала, который должен быть постоянно в курсе последних новаций в области инструментальных материалов, конструкции и покрытия режущих инструментов и технологии обработки. В этой связи большое значение приобретают центры обучения и повышения квалификации, создаваемые производственными фирмами. В качестве примера описывается центр обучения фирмы Emuge.

Haftl L. Беспроводные системы программного обеспечения, с. 22, 23, ил. 2.

Описываются ЧПУ типа CNC фирмы Computer Integrators, разработанные в соответствии с технологией беспроводной передачи информации для простейшей замены кабельных систем. Помехоустойчивые технические средства и ПО новых систем достаточны для надежной передачи управляющих сигналов программы к контроллеру металлорежущего станка в он-лайнном режиме во время работы станка. ЧПУ имеет открытую архитектуру, что позволяет использовать его в сочетании с широкой номенклатурой аналоговых и числовых датчиков и контроллеров.

Bates C. Промышленные роботы, с. 36—39, ил. 5.

Описываются примеры применения роботов для выполнения различных технологических операций на машиностроительных предприятиях. Роботизированный участок Force Control Machining со специальным программным обеспечением и датчиками рабочих усилий решает проблемы автоматизации зачистки, шлифования и удаления заусенцев при окончательной обработке отливок. Установка для воздушно-абразивной очистки деталей фирмы Guyson оснащена роботом для загрузки и выгрузки обрабатываемых деталей, цикл работы которого синхронизирован с циклом обработки. Фирма FKI Logistex предлагает роботизированные системы с несколькими манипуляторами для транспортировки обрабатываемых деталей и укладывания их на поддоны.

Bates C. Повышение эффективности токарной обработки, с. 40—43, ил. 2.

Эффективность токарной обработки можно повысить за счет сокращения простоя оборудования, который может достигать 20 % общего времени работы станка. В качестве примера описывается четырехшпиндельный станок Kitako MT4-200 с ЧПУ фирмы SB Machine Tools с четырьмя кулачковыми патронами, обслуживаемый роботом. Когда верхние два шпинделя и робот обеспечивают загрузку и выгрузку деталей, станок продолжает обработку деталей, закрепленных в патронах других шпинделей. Время простоя оборудования из расчета обработки одной детали сократилось с 60 до 1 с.

Cutting Tool Engineering
(N 1, Vol. 59, 2007, США)

Модульная автоматизация сборки, с. 76, 77, ил. 1

Описана модульная автоматическая система фирмы De-Sta-Co Robohand, предназначенная для сборки компонентов, таких как направляющие, толкатели, схваты и опорные стойки, между собой без

¹ Раздел подготовлен инж. Г. С. Потаповой (по вопросам получения материалов обращаться по тел./факсу: (495) 6112137, e-mail: stankoinform@mail.ru).

установочных плит. Отмечена возможность обеспечения до четырех степеней подвижности.

Токарные обрабатывающие центры, с. 77, 78.

Описаны токарные центры серии BNJ фирмы Miyano Machinery USA Inc., имеющие конфигурацию для обработки с перекрытием или одновременной обработки поверхностей. Станок имеет два шпинделя — главный с револьверной головкой осей X, Y и Z и шпиндель с управляемыми осями X и Z. Во время работы револьверной головки на главном шпинделе второй шпиндель может выполнять вспомогательные операции с помощью главной или задней револьверной головок, причем главный шпиндель допускает обработку 12 инструментами, а второй шпиндель — до 18.

(N 2, Vol. 59, 2007, США)

Исследование обрабатываемости резанием, с. 10—12, ил. 1.

Описаны исследования, проводимые Литейным обществом (AFS, США) по обрабатываемости резанием чугунного литья. Исследования проводили на специально разработанных стандартных дисковых образцах диаметром 203 мм, толщиной 38 мм со ступицей диаметром и длиной 76 мм, позволяющих измерять детали в процессе резания. Ступицу диска закрепляли в патроне и с помощью твердосплавных пластин CNMG 432 фирмы Kennametal выполняли обработку торца диска, погруженного в водный раствор СОЖ.

Технологическая оснастка фирмы Schunk USA, с. 89, ил. 5.

Представлен обзор деятельности фирмы Schunk USA по поставкам режущего твердосплавного инструмента, технологической оснастки и систем автоматизации металлообрабатывающего оборудования для точения, фрезерования и сверления, а также твердосплавных режущих пластин PCBN и PCD.

Rooks A. Фрезерная микрообработка, с. 13, ил. 1.

Вследствие роста рынка миниатюрных деталей рассматриваются требования к обработке миниатюрных деталей мобильных телефонов или медицинских имплантатов объемом до 50 мм². Указывается на необходимость обеспечения контролируемой температуры в цехе и использование прогрессивной технологической оснастки на обрабатывающих центрах, фрезерных и других станках. Обзор оборудования для микрообработки представлен на с. 14 и 15.

Оборудование для микрообработки, с. 14, 15, ил. 9.

Фирма Kyocera Micro Tools выпускает серию специальных инструментов диаметром от 0,4 до

6,4 мм для растачивания и прорезания канавок при обработке мелких деталей из пластика. Серия включает миниатюрные сверла, концевые фрезы, инструмент для удаления заусенцев и инструменты для обработки внутренних поверхностей. Фирма Harvey Tool выпускает типоразмерный ряд миниатюрных сверл диаметром режущей части от 1 мм (диаметр хвостовика 3,4 мм) с углом при вершине 140° и внутренними каналами для подвода СОЖ в зону резания. Сверла имеют покрытие TiAlN и режущую часть длиной 12D. Фирма Walter USA предлагает цельнотвердосплавные миниатюрные сверла Titex-brand Alpha 2 Plus Micro с внешним охлаждением и фирменным покрытием TiAlN Micro Line. Диаметр сверл от 0,5 до 2,9 мм. Описан центр 2007-TC фирмы Cameron Micro Drill Presses для микрообработки, имеющий точность позиционирования 2,54 мкм, повторяемость 4,83 мкм и биение шпинделя в пределах 1 мкм. Трёхкоординатный микрофрезерный станок 310-S фирмы Microlution Inc. предназначен для единичного и мелкосерийского производства деталей в рабочем объеме 62,5 × 62,5 × 62,5 мм с пневмоприводом при точности позиционирования 1 мкм с частотой вращения шпинделя до 160 000 мин⁻¹, разрешением 0,02 мкм и ускорением 5g.

DIMA (Die Maschine)

(N 3, Vol. 61, 2007, Германия)

Поворотные смотровые окна для станков, с. 22, ил. 1.

Фирма Nema Schutz GmbH в течение 15 лет занимается изготовлением смотровых иллюминаторов типа Visiport, которые обеспечивают визуальный контроль рабочего пространства в высокоскоростных станках с ЧПУ. Для предотвращения загрязнений стекла стружкой и каплями СОЖ окна вращаются с частотой 2200 мин⁻¹ (электродвигатель постоянного тока) или 5000 мин⁻¹ (пневмодвигатель). Для предотвращения запотевания предусмотрена циркуляция воздуха. Диаметр окна 215 мм, масса 2,1 кг; смазка подшипников качения рассчитана на весь срок службы.

Сокращение вспомогательного времени в станках, с. 55, ил. 2.

Производительность самых современных станков, особенно в мелкосерийном производстве, в значительной степени определяется величиной вспомогательного времени. Для его сокращения фирма E. Zoller (Германия) предлагает установочно-измерительное устройство типа hyperion с поворотным столом на 16 инструментов, пригодное для одно- и многшпиндельных станков и повышающее их производительность минимум на 12,5 % в год.

(N 5, Vol. 61, 2007, Германия)

Механизм для точной установки инструмента, с. 49, ил. 1.

Фирма Iscar Germany (Германия) разработала зажим инструмента с механизмом для установки инструмента с высокой радиальной и осевой точностью, благодаря которой его радиальное биение снижено до 0,001 мм. Практические результаты — повышение точности обработки и качества поверхности, а также стойкости инструмента. Основу механизма составляют четыре радиальных установочных, осевых и фиксирующих винта.

Расточные мини-головки, с. 50, ил. 1.

Фирма Hartmetall-Werkzeugfabrik Paul Horn (Германия) выпускает расточную головку Supermini 105 для растачивания отверстий диаметром от 0,2 мм. Она имеет две режущие пластины из материала MG 12 и растачивает отверстия глубиной до 1 мм.

Ferting

(N 1/2, Vol. 34, 2007, Германия)

Горизонтальный обрабатывающий центр для авиационной промышленности, с. 6.

Центр изготовлен фирмой Handtmann A-Punkt Automation (Германия) и имеет стол размером 4000 × 2000 мм и шпиндель мощностью 100 кВт. Особенность станка — специальная система быстрой замены спутников.

Борштанги фирмы Kieninger (Германия), с. 24—25, 27, ил. 3.

Фирма Deutz AG является мировым изготовителем дизельных и газовых двигателей мощностью 4—4000 кВт. Для получения высококачественных отверстий в коленчатых и распределительных валах разработана специальная трехступенчатая технология, для реализации которой используются борштанги с поворотными режущими пластинами, перемещающимися с помощью регулировочной гайки в радиальном направлении с шагом по 0,01 мм.

Обрабатывающие центры фирмы StarragHeckert, с. 48, 49, ил. 5.

Описан опыт работы фирмы Herold Maschinertbau, специализирующейся на изготовлении станков и печатных машин. Фирма в течение многих лет успешно применяет центры фирмы StarragHeckert (Германия), начиная от первой модели CW630 и кончая новейшей HEC 1250 H/V Athletic. Последние комплектуются горизонтально-вертикальной фрезерной головкой и башенным магазином максимум на 240 инструментов, а также системой

управления Sinumeric 840D фирмы Siemens, которые вместе позволяют поднять производительность труда на 30—40 %.

Werkstatt und Betrieb

(N 1/2, Vol. 14, 2007, Германия)

Крепление HSK для неподвижного токарного инструмента, с. 32, 33, ил. 2.

Крепление HSK (полый конус) применимой для вращающегося инструмента. В настоящее время крепления HSK решено использовать и для неподвижного инструмента при токарной обработке. Фирма Mapal Dr. Kress KG выпускает данное крепление для токарных станков с револьверной головкой и фрезерно-токарных центров. Время смены инструмента в новом креплении снижается до 30 с по сравнению с прежними 10—15 мин.

(N 3, Vol. 14, 2007, Германия)

Klingauf W. Применение программного обеспечения при токарной обработке, с. 59—61, ил. 5.

Рассматривается пример использования ПО "Manual Guide 1" фирмы Fanuc Automation CNC Deutschland GmbH. Управление обработкой производится от компактного компьютера с использованием системы CAD/CAM. ПО позволяет в ускоренном режиме задавать параметры обработки при комбинировании точения и фрезерования. При настройке циклов обработки прослеживаются изображение формоизменения заготовки и ее геометрическая характеристика. При обработке возможно внесение коррекций в технологический процесс.

Hintze W. et al. Чистовое фрезерование спеченных твердых сплавов, с. 63, 64, 66, 67, ил. 7, библ. 9.

Ценные потребительские свойства спеченных твердых сплавов открывают перед ними широкие области применения. Однако сейчас оно сдерживается определенными трудностями их механической обработки после спекания заготовок сложной геометрии. Приведены результаты исследования твердых сплавов НМ А и НМ В твердостью 920 и 1100 НВ и с содержанием кобальта 27 и 20 %. Использовали концевую фрезу с тремя лезвиями из поликристаллического алмаза (описана их геометрия). Установлено, что, несмотря на износ инструмента, параметр шероховатости получаемой поверхности оставался примерно постоянным и равным $0,6 < Rz < 1,0$ мкм.

(N 4, Vol. 14, 2007, Германия)

Damm H. Портальный обрабатывающий центр PBZ HD, с. 24—27, ил. 5.

Пятикоординатный центр фирмы Handtmann A-Punkt Automation GmbH (Германия) предназначен для высокопроизводительной обработки профилей деталей из алюминиевых сплавов в авиационной промышленности. Длина профилей достигает 5,1 м, плоскостность стола, на которой они укладываются, — 0,1 мм, параллельность направляющих — 0,05 мм на всей длине. Перемещения по осям более 4000, 1500 и 1000 мм, скорость 70, 40 и 40 м/мин, мощность шпинделя 45 кВт, частота вращения до 30 000 мин⁻¹.

Oppelt P. Оригинальный шлифовальный станок Prokos, с. 40—43, ил. 6.

Станок Prokos, разработанный фирмой Blohm Maschinenbau GmbH, является оптимальным сочетанием станков, работающих по методам маятникового и глубинного шлифования. Станок работает с высокими скоростями (до 190 м/мин) и ускорениями (до 50 с/м²), которые достигаются применением линейных приводов. Размер обрабатываемых деталей до 300 × 300 × 300 мм. Предусмотрена автоматическая замена 24 кругов. После обработки в деталях сохраняется минимум внутренних напряжений.

(N 12, Vol. 14, 2007, Германия)

Mücke K. Эффективность специальных инструментов, с. 18—20, ил. 5.

Эффективность специальных инструментов (сверла, развертки и фрезы) и инструментальной оснастки рассматривалась на примере серийной обработки деталей из труднообрабатываемых вязкотвердых сталей 42CrMoV4 и X38 для автомобильной и пищевой промышленности на предприятиях фирмы Hermann Bilz GmbH. Обработку осуществляют на токарно-фрезерных центрах, оснащенных фрезерными головками мощностью 15 кВт, перемещающимися по оси Y и поворачивающимися относительно оси B, а также 12-позиционными револьверными головками для приводных инструментов мощностью 5,5 кВт и 80-позиционным инструментальным магазином.

Damm H. Производство миниатюрных деталей, с. 42—44, ил. 5.

Фирма Jürgen Behrendt Feinmechanik обрабатывает миниатюрные детали механических систем и платы для различных устройств и приборов на микрофрезерном станке фирмы Haas Automation

с 20-позиционным инструментальным магазином карусельного типа. Описана технология обработки, которая осуществляется фрезами диаметром 0,2 мм и сверлами диаметром 0,5 и 0,8 мм.

Металлорежущие станки, с. 49—51, ил. 4.

Описаны многоцелевой станок M10 с ЧПУ фирмы Datron-Electronic с рабочей зоной 700 × 1000 × 240 мм и частотой вращения шпинделя 40 000 мин⁻¹ для обработки алюминиевых листов по трем осям и токарно-фрезерный центр Take5 фирмы Carl Benzinger для обработки по пяти осям, который имеет наклонную чугунную станину с ребрами жесткости, два шпинделя, две независимых каретки — продольную с длиной хода 190 мм и поперечную с длиной хода 370 мм и 16-позиционную револьверную головку.

Микрофрезы, с. 52—53, ил. 2.

Фирма Kempf предлагает цельнотвердосплавные микрофрезы диаметром от 0,1 мм с длиной режущей части 1,5D, обеспечивающие обработку на глубине до 15 мм. Для обработки материалов твердостью свыше 56 HRC предлагаются фрезы с покрытием Z3 (TiAlN); для обработки графита, алюминия с 9 % кремния и композиционных материалов предлагаются микрофрезы с покрытием Semecop (CCDia04) толщиной 0,004 мм.

Электроэрозионная обработка, с. 55, ил. 2

Для обработки мелких отверстий для СОЖ в режущих инструментах с высокой твердостью фирма Hirschmann разработала рабочую головку с вращающимся шпинделем HDC1000-H для копирующе-прошивочного электроэрозионного станка. Частота вращения шпинделя 1000 мин⁻¹; давление в системе 10 МПа.

Steinbock B. et. al. Эффективность мелкосерийного производства, с. 56—58, ил. 5.

Эффективность использования металлорежущих станков при мелкосерийном производстве можно повысить за счет выбора соответствующих режущих инструментов. Описывается опыт фирмы Geissler Präzisionsdrehteile, изготавливающей детали для медицинской промышленности, по применению режущих пластин DCET фирмы Sandvik Coromant для обработки отверстий диаметром от 0,3 мм и длиной (20—50)D.

Struwe M. Режущие инструменты для изготовления часов, с. 59—67.

Описываются микроинструменты фирмы LMT Fette: фрезы диаметром 100 мкм с плоским и сферическим торцом и сверла диаметром 30 мкм из твердого сплава зернистостью около 0,4 мкм и покрытием толщиной около 1 мкм. Срок службы инструментов увеличивается за счет геометрии, уменьшающей изгибающий момент, и острозаточенных режущих кромок.

Региональная политика частногосударственного партнерства развития российского автопрома

Какова стратегия развития российского автопрома? Как формируются автомобильные кластеры в регионах? Каковы потенциальные возможности и инвестиционная привлекательность инновационных компаний в промышленных регионах? Насколько эффективны создаваемые свободные экономические зоны в регионах России?

Эти и другие вопросы, в значительной степени определяющие развитие производства автомобильной техники и автокомпонентов в России, были в центре внимания 1-го Московского международного форума "Развитие производства автокомпонентов в России", который прошел в феврале 2008 г. в рамках Деловой программы 2-го Международного автомеханического салона—2008 в МВЦ "Крокус-Экспо".

Организатором форума является ОАО "АСМ-холдинг" совместно с ТПП РФ, НП "ОАР" и НАПАК.

В работе форума участвовали руководители органов исполнительной власти и администраций Санкт-Петербурга, Самарской, Нижегородской и Липецкой областей, Удмуртской Республики.

С докладом "Концепция формирования кластера автокомпонентов в С.-Петербурге" на форуме выступил заместитель исполнительного директора созданной региональной Ассоциации производителей автокомпонентов (СПБАПАК). Докладчик отметил, что в регионе уже работают заводы компаний Ford и Toyota. К строительству своих заводов в городе приступают крупнейшие мировые автоконцерны, такие как Nissan, General Motors, Suzuki и Hyundai, в связи с чем о Санкт-Петербурге стали говорить как о новом "российском Детройте". Первые автомобили сойдут с конвейеров новых заводов уже в 2009 г., а к 2012 г. в городе будет производиться от 800 тыс. до 1 млн автомобилей в год.

СПБАПАК создан целевой Фонд поддержки инвестиционных проектов в сфере производства автокомпонентов с первоначальным капиталом в размере 1,3 млрд руб. В 2008 г. размер фонда планируется увеличить до 10 млрд руб. (около 300 млн евро).

В целях реализации мастер-плана кластера создается управляющая компания кластера в виде совместного предприятия с участием европейского партнера.

Представленный на форуме доклад "Создание Тольяттинского промышленно-технологического парка как прорывное направление развития автомобильного кластера Самарской области" был посвящен объединению усилий власти и бизнеса в решении масштабной модернизации существующих произ-

водств региона, в котором автомобилестроение является одной из системообразующих отраслей экономики. Докладчик отметил, что более 300 предприятий области поставляют продукцию для крупнейшего автопроизводителя России ОАО "АвтоВАЗ". В Самарской области в настоящее время выпускается 60 % отечественных легковых автомобилей. В планах ОАО "АвтоВАЗ" к 2015 г. довести объемы годового выпуска автомобилей до 1,5 млн штук.

Правительством Самарской области совместно с бизнес-сообществом (в первую очередь с ОАО "АвтоВАЗом") принято решение о создании Тольяттинского промышленно-технологического парка.

Еще один регион, который выбрал приоритетной стратегией развития до 2020 г. автомобильной отрасли, был представлен докладом "Перспективы развития автомобильной промышленности Нижегородской области". С целью определения основных принципов и направлений совершенствования автомобилестроения в регионе Правительством области разработана и принята "Программа развития автомобильной промышленности и производства автокомпонентов в Нижегородской области на 2007—2010 гг.", которая является частью программы развития всей промышленности региона.

Минимальный объем инвестиций в экономику региона до 2010 г. только по действующим производствам должен составить не менее 1 млрд 300 млн евро. Сюда входит модернизация модельного ряда, разработка новых моделей автомобилей, модернизация, и создание новых двигателей, организация производства комплектующих и т. д. Одной из форм реализации идей, заложенных в программу развития автомобилестроения, является создание в регионе автомобильного кластера, который обеспечит конкурентоспособность, автомобильной промышленности Нижегородской области.

Докладчик подробно охарактеризовал перспективные инновационные проекты в автомобилестроении Нижегородской области.

"Группа ГАЗ" планирует вложить порядка 100 млн евро в создание производства новых легковых автомобилей "GAZ Siber" в ОАО "ГАЗ". Проводится совместная работа с компанией LDV Holdings (Великобритания) по организации производства легких коммерческих автомобилей "Maxus" к 2009 г. Завершена подготовка производственной площадки на Павловском автобусном заводе в рамках совместного проекта с компанией Marcopolo (Бразилия) по производству автобусов "Real".

"Группа ГАЗ", "Русские машины" и Magna International подписали меморандум о стратегическом партнерстве в организации производства и логистики автомобильных узлов и компонентов. Проект позволит изготавливать высококачественные лицевые панели и их компоненты (бамперы, головную светотехнику, приборные панели, панели дверей и крыш, комплекты сидений).

Планируется организация производства дизельных двигателей "ISUZU" автобусов и грузовых автомобилей средней грузоподъемности.

Группа компаний "КОМ" производит коробки отбора мощности для автомобилей. В рамках развития компании в Богородске (Нижегородская область) организуется производство грузовых автомобилей "РУСАК-5354", разрабатываются проекты "Спецшасси автобуса" для дальнейшего производства автобусов разных классов; "Коробки передач для грузовых автомобилей и автобусов" и "Ведущие мосты".

ОАО "ЗМЗ" (ОАО "Северсталь-авто") и Fiat Power Train Technologies создали совместное предприятие по производству дизельных двигателей "F1A" для автомобилей "FIAT Ducato", "UAZ Patriot" и "IVECO Daily".

Таким образом, совместный проект ОАО "Северсталь-авто" и Fiat Powertrain Technologies станет первым в российской автомобильной промышленности примером локализации двигателей для машин, собираемых в России.

В стадии реализации совместные проекты с другими предприятиями Нижегородской области: ПГ "Самолтор-НН" (легкие коммерческие автомобили), компанией RM Systems (автомобильные радиаторы и теплообменники, пассажирские сидения и пластиковые детали), ООО "ИВК" (жгуты проводов), компанией "Линотех-плюс" (уплотнительные системы для автомобилей) и др.

В потенциале промышленного комплекса Удмуртской Республики, представленном докладом "Потенциальные возможности и инвестиционная привлекательность компаний Удмуртской Республики", производство автокомпонентов — одна из его традиционных специализаций.

Среди машиностроительных предприятий ОАО "Концерн "Аксион", ОАО "Сарапульский радиозавод-Холдинг", ФГУП "Ижевский механический за-

вод", ООО "Ижевское УПП "Спутник" ВОС", ООО "Глазовское УПП ВОС", ОАО "Сарапульский электрогенераторный завод", ООО "Ижтехмаш" и ОАО "Удмуртторф".

Из металлургических предприятий — ОАО "Ижсталь", ООО "Мегалит", ЗАО "Ижевский опытно-механический завод", ОАО "НИИ металлургической технологии".

В плане производства автокомпонентов широко представлены предприятия химической промышленности — ОАО "Ижевский завод пластмасс", ЗАО "Луч", ООО "Эргон", ОАО "Элеконд".

Правительство УР уделяет производству автомобильных компонентов серьезное внимание. Технологии производства автокомпонентов для современного автомобилестроения включены в Перечень критических технологий. В рамках РЦП "Развитие машиностроения и металлообработки в УР на 2006—2010 гг." предприятиям, осваивающим производство автокомпонентов, оказываются различные виды государственной поддержки, включая финансовые.

Перспективные планы предприятий УР по развитию производства автокомпонентов включают организацию производства металлокомпозитных баллонов для природного газа для передвижных автомобильных газовых заправщиков (ЗАО ПО "Джет"), внедрение новых технологий производства автокомпонентов и электродвигателей (ООО "НПК" "Прогресс"), приобретение и ввод в эксплуатацию комплектной линии для вспенивания полиэтилена низкой плотности (ОАО "Ижевский завод пластмасс") и др.

Для сохранения имеющихся и развития новых хозяйственных связей между производителями автомобилей и автокомпонентов заключено Соглашение о сотрудничестве между Правительством УР и ОАО "АвтоВАЗ".

Анализ работы форума показал, что российское автомобилестроение имеет высокий потенциал и хорошие перспективы дальнейшего развития.

Е. С. ДОБРинский, канд. техн. наук
(Академия проблем качества РФ),
В. А. Сеин, инж.
(ОАО "АСМ-холдинг")

Издательский центр "Технология машиностроения"

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 04.05.2008. Подписано в печать 09.06.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл.-печ. л. 10,00. Уч.-изд. л. 10,79. Заказ 07/08.

Отпечатано в типографии издательства "Фолиум", 127238, Москва, Дмитровское ш., 58, тел./факс: (495) 482 5590.

Подписные индексы журнала "Технология машиностроения":

79494 в каталоге Агентства "Роспечать" **27869** в Объединенном каталоге "Пресса России" **60190** в каталоге "Почта России"