

# AIIMOCTPOEMA

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

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Гл. редактор В. А. Казаков

Зам. гл. редактора

Н. В. Посметная

В. Н. Алфеев

Н. П. Бирюкова

В. Д. Горбач

С. Н. Григорьев

Б. В. Гусев

А. В. Дуб

В. М. Ермаков

А. С. Зубченко

E. A. Калашников

В. В. Капустин

А. Л. Карунин

И. П. Ксеневич

А. Е. Лигачев

А. А. Лозован

В. П. Лялякин

Е. А. Мачнев

Н. А. Паничев

В. Н. Семенов

О. С. Сироткин

Н. В. Смирнов

А. В. Телушкин

А. Н. Феофанов

К. В. Фролов

В. А. Фролов

В. К. Шелег

И. Н. Шиганов

Редакция:

С. В. Богус,

Л. Т. Мартыненко,

Т. П. Маслик

Компьютерная верстка:

И. С. Павлова

Дизайн обложки:

Е. С. Благовидов

Специальные корреспонденты: А. Н. Иванов, А. В. Казаков,

Ан. А. Суслов

Редактор-переводчик

Е. О. Егорова

Корректор

М. Г. Джавадян

6 (60) Июнь 2007

#### УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр

"Технология машиностроения"

Журнал издается при содействии Министерства промышленности и энергетики РФ,

Министерства образования и науки РФ, Российской инженерной академии, Российского научно-технического общества машиностроителей, ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»

Адрес для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 01

Http://www.tm.folium.ru

Контактный тел.: (495) 796 2491

E-mail: tm@folium.ru (с пометкой для журнала "Технология машиностроения")

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

## COLLEDXXALLILE

| КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ   |                |
|---|----------------|
| <b>Забелин С. Ф., Забелин К. С.</b> — Системно-технологический анализ процессов синтеза объемных нанокристаллических материалов   | 5              |
| ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО  |                |
| <b>Еремин Е. Н., Филиппов Ю. О., Еремин А. Е., Лосев А. С.</b> — Совершенствование технологии изготовления изделий из жаропрочных сплавов   | 10<br>12       |
| ТЕХНОЛОГИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ   |                |
| <b>Иванов В. С.</b> — Анализ траекторий формообразования при лезвийной обработке по передаточным отношениям схемы технологического зацепления и вращений детали и инструмента                                       | 15             |
| СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО  |                |
| <b>Поляков А. Н., Каменев С. В., Михайлов В. Н.</b> — Реализация параметрических моделей в инженерном анализе металлорежущих станков  | 20             |
| МЕХАНОСБОРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО  |                |
| <b>Алпеева Т. В., Емельянов В. М., Котельников А. А.</b> — Операции при разработке перемещений для роботизированной сварки трубчатых элементов  | 24             |
| ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ   |                |
| Винклер Ф. — Эффективное применение порошковых проволок при дуговой сварке  | 28<br>32       |
| ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН   |                |
| Долбилин Е. В., Кокорин А. В. — Новые методы химико-термической обработки в электрическом разряде .   | 40             |
| СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ   |                |
| <b>Попов А. А.</b> — Равномерность посплайнового формирования остаточных напряжений при виброударном упрочнении.  | 46             |
| Сысоев С. К., Сысоев А. С., Левко В. А., Снетков П. А., Лубнин М. А. — Обеспечение точности расхода компонентов топлива через каналы деталей, обработанных экструзионным хонингованием                              | 48<br>52       |
| ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ, ИСПЫТАНИЯ  |                |
| Рыбаков Г. М. — Экспресс-метод контроля качества дробеструйной обработки сложнонагруженных деталей по критерию остаточных напряжений  | 55<br>59       |
| АВТОМАТИЗАЦИЯ И КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ   |                |
| <b>Харахнин К. А., Смыслова А. Л., Плашенков В. В.</b> — Подсистема управления станом непрерывной холодной прокатки при прохождении сварных соединений  | 61             |
| ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА   |                |
| <b>Хромченко Ф. А.</b> — Техническая диагностика сварных соединений трубопроводов. Ч. 2. Сварные соединения трубопроводов II—IV категорий   | 65             |
| ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА  |                |
| <b>Коршунов А. И.</b> — Оценка затрат на изготовление машиностроительного изделия на основе его конструктив-<br>но-технологической сложности и показателей организационно-технического уровня производственной сис- | 70             |
| темы  | 70<br>75       |
|   | 79             |
| ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ   |                |
| Потапова Г. С. — Содержание зарубежных журналов   | 82             |
| <b>РИЈАМЧОФНИ</b>   |                |
|   | 86<br>89<br>97 |
| ***   |                |
| Обращение Союза работодателей машиностроения России к предприятиям и организациям машиностроительного комплекса РФ ( <i>Открытое письмо</i> )   | 100            |



#### REVIEW-ANALYTICAL, SCIENTIFIC-TECHNICAL AND PRODUCTION JOURNAL

#### **EDITORIAL BOARD:**

V. A. Kazakov Editor-in-Chief

N. V. Posmetnaya Deputy Editor-in-Chief

V. N. Alfeev

N. P. Biryukova

V. D. Gorbach

S. N. Grigoryev

B. V. Gusev

A. V. Dub

V. M. Ermakov

A. S. Zubchenko

E. A. Kalashnikov

V. V. Kapustin

A. L. Karunin

I. P. Ksenevich A. E. Ligachev

A. A. Lozovan

V. P. Lyalyakin E. A. Machnev

N. A. Panichev

V. N. Semenov

O. S. Sirotkin

N. V. Smirnov

A. V. Telushkin

A. N. Feofanov

K. V. Frolov

V. A. Frolov

V. K. Sheleg

I. N. Shiganov

Editorial staff:

S. V. Bogus,

L. T. Martynenko, T. P. Maslik

Computerized making-up: I. S. Pavlova

Cover design: E. S. Blagovidov

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

Editor-translator E. O. Egorova

Proof-reader M. G. Dzhavadyan 6 (60) June

#### FOUNDER:

**Publishing Centre** 

"Tekhnologiya Mashinostroeniya"

Journal is published in collaboration with RF Ministry of Industry and Energetics, RF Ministry of Education and Science, Russian Engineering Academy, Russian Scientific-Technical Society of Machine Builders, TSNIITMASH, JSC

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

Tel.: (495) 796 2491

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

"Tekhnologiya Mashinostroeniya") Http://www.tm.folium.ru

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

Registration certificate ПИ № 77-7779

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

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

> Reference to "Tekhnologiya Mashinostroeniya" at reprint is obligatory

## CONTENTS

| STRUCTURAL MATERIALS  |                |
|---|----------------|
| Zabelin S. F., Zabelin K. S. — System technological analysis of 3D nano-crystalline material synthesis  | 5              |
| BLANK PRODUCTION  |                |
| Yeriomin Ye. N., Filippov Yu. O., Yeriomin A. Ye., Losev A. S. — New production technique for high-temperature alloy components   | 10             |
| Abramova N. B. — Study of the CCM-crystallizer copper slug surface condition  | 12             |
| FORMING TECHNOLOGIES  |                |
| <b>Ivanov V. S.</b> — Shaping contour consideration at cutting relative reduction ratio of tool part engagement and rotation processing diagram   | 15             |
| TOOLING PRODUCTION  |                |
| Polyakov A. N., Kamenev S. V., Mikhaylov V. N. — Parametric models implementation in machine-tool reverse engineering   | 20             |
| MACHINING-AND-ASSEMBLY PRODUCTION   |                |
| Alpeyeva T. V., Yemelyanov V. M., Kotelnikov A. A. — Displacement design steps for tubular robotized welding  | 24             |
| PERMANENT JOINTS PRODUCTION TECHNOLOGY  |                |
| Vinckler F. — Application effectiveness of slag-forming powder wire at butt welding   | 28<br>32       |
| MODIFEING PROCESSES OF MACHINE PARTS SURFACES   |                |
| Dolbilin Ye. V., Kokorin A. V. — New techniques of electric-discharge chemical-and-thermal treatment  | 40             |
| SPECIAL TECHNOLOGIES  |                |
| Popov A. A. — Steadiness of residual stress splain formation vibroimpact strengthening  | 46<br>48<br>52 |
| TECHNICAL DIAGNOSTICS, NONDESTRUCTIVE CHECK-AND-TESTING METHODS   |                |
| Rybakov G. M. — Grade express-control of complicatedly-loaded components grit blasting by the criterion of residual stress.  Biryukova N. P., Batov G. P., Kotova I. N. — Training and certification program for specialists on deflected mode determination and on resource residue estimation of technical installations. | 55<br>59       |
| PROCESSES AUTOMATION AND COMPUTERIZATION  |                |
| Kharakhnin K. A., Smyslova L. L., Plashenkov V. V. — Fully continuous tandem mill control subsystem at welded joints passing  | 61             |
| POWER INDUSTRY  |                |
| Khromchenko F. A. — Pipeline welded joints technical diagnostics. Part 2. Welded joints of the II—IV class pipelines  | 65             |
| ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION   |                |
| <ul> <li>Korshunov A. I. — Engineering product manufacturing costs estimate on the base of its structure and high-end technology, and indexes of manufacturing system managerial level</li></ul>  | 70             |
| neering objects   | 75<br>79       |
| FOREIGN EXPERIENCE  |                |
| Potapova G. S. — Foreign journals contents  | 82             |
| INFORMATION   |                |
| <b>Ivanov A. N.</b> — The 10 <sup>th</sup> International specialized exhibition "Inplastics'2007"   | 86<br>89       |

#### KOHCTPYKUNOHHBIE MATEPNAJIBI

С. Ф. ЗАБЕЛИН, д-р техн. наук, К. С. ЗАБЕЛИН, аспирант Забайкальский ГГПУ им. Н. Г. Чернышевского (Чита)

## Системно-технологический анализ процессов синтеза объемных нанокристаллических материалов

С созданием нового класса наноструктурированных материалов (НСМ) [1—3] и их разновидности — объемных нанокристаллических материалов (ОНКМ) [3—5], представляющих наибольший интерес для практического машиностроения, остро обозначилась проблема внедрения разработок в производство, выбора технологии и методологии технологической подготовки производства (ТПП), в частности проектирования технологических процессов изготовления таких материалов. В процессе ТПП необходимо решить задачи планирования всех этапов подготовки к производству нового изделия или материала, отработки технологичности, разработки операционных карт и технологических маршрутов, нормирования и конструирования оснастки по отдельным операциям технологии. При этом разработка технологических операций и технологического маршрута должна осуществляться на основе конкретных требований заказчика, технических условий и возможностей производителя.

Положительные аспекты реализации новых технологий синтеза ОНКМ оказались недостаточными для их внедрения в производство. Сложности промышленного освоения связаны не столько со специфическими особенностями междисциплинарных разработок и узкоспециальным технологическим оборудованием и оснасткой, сколько с отсутствием системного подхода к технологическому обоснованию таких процессов, особенно на этапе подготовки производства.

Большое разнообразие способов синтеза ОНКМ, постоянно расширяющаяся номенклатура материалов образуют особое технологическое многомерное пространство, реализацию свойств которого можно использовать для достижения различных целей: обеспечения требуемых физико-механических и функциональных свойств материала; повышения конструктивной прочности материала с высокой износо- и коррозионной стойкостью; обеспечения высокой технологичности, сверхпластичности и др. При этом для достижения определенного уровня конструкционных и функциональных свойств ОНКМ необходимо учитывать не только их состав, структурное строение, дисперсность структуры, но и технологию их получения. Кроме того, решение проблем внедрения и ТПП усложняется тем, что все научные поиски и практические разработки по нанокристаллическим материалам основаны на главной парадигме современного материаловедения — "от реальной микро- (нано) структуры материала к его физико-механическим макросвойствам", которая приобретает новое содержание благодаря новым подходам к синтезу иерархии структур, анализу термодинамического состояния системы и моделям процессов (деформации и разрушения, рекристаллизации и диффузии), характеризующих это состояние на макро-, мезо-, микро-, и наноуровнях и при переходах с одного уровня на другой.

Следовательно, без детального системно-технологического анализа процессов синтеза ОНКМ указанных проблем не решить.

#### Методология системного анализа технологии синтеза ОНКМ

Конкурентоспособность создаваемого научно-технического новшества (материала и/или технологии) определяет методические приемы анализа перспективных технологических решений от замысла до реализации, а также получение новых знаний. Процессы разработки и совершенствования методических приемов анализа и системных исследований для принятия решений при создании перспективных технологий, материалов и новых знаний следует считать актуальными и своевременными.

Системный подход позволяет структурировать технологическую систему на подсистемы, а их, в свою очередь, на функциональные блоки. Операции структурирования системы и объединения подсистем и блоков должны проводиться в соответствии с принципами системных методов.

Системным объектам свойственны общие характеристики как качественное свойство целостности, которое обеспечивается следующими его особенностями: общим научно-техническим языком (терминологией) информации; взаимосвязанной системой подачи отдельных положений и научно-технических решений; способностью образовывать основное, главное из совокупности важных взаимосвязанных элементов, образующих структуру системы. Структура системы должна отражать наиболее существенные отношения между элементами системы, которые устойчивы и обеспечивают ее существование и ее основные свойства.

На первом этапе исследований применен системный подход к анализу выбора критериев классификации НСМ и наноструктур [6]. В результате определены основные факторы влияния на формирование структуры и свойств НСМ [6] и показана необходимость обязательного учета метода и условий синтеза НСМ, влияющих на все установленные факторы [6]. Так как структура и свойства НСМ формируются на стадии их изготовления, то, естественно, что технология их синтеза является главным фактором, определяющим стабильность и уровень обеспечения конструкционных и функциональных характеристик НСМ.

Дальнейшее решение задач системно-технологического анализа процессов синтеза ОНМК можно рассматривать в следующем порядке.

- 1. Классификация технологий синтеза ОНКМ.
- 2. Создание морфологической системы технологического процесса, включающей цель реализации, исходные данные материала, технологические способы реализации, применяемые оборудование и оснастка, способы стабилизации структуры и свойств готовых изделий.
- 3. Определение показателей, характеризующих технологические параметры материала и его функциональные свойства, как в процессе отдельных операций изготовления, так и в готовом состоянии.
- 4. Выбор и обоснование алгоритма проектирования технологического процесса с учетом установленных закономерностей и особенностей технологических операций.
- 5. Формирование технологического классификатора и кода процессов синтеза ОНКМ.
- 6. Построение комплексной модели системнотехнологического анализа процессов синтеза ОНКМ.

#### Классификация технологий синтеза ОНКМ

Исходя из аналитической оценки информационных данных, многообразие технологий получения НСМ представляет сочетание металлургических, физических, химических и биологических методов, включая традиционные и принципиально новые технологические приемы и процессы [1—12]. Если большинство методов получения консолидированных НСМ достаточно традиционны, то изготовление наноструктур с помощью зондовых сканирующих туннельных (СТМ) и атомно-силовых (АСМ) микроскопов, формирование их самосборкой атомов или получение нанокомпозитов и использование ионно-трековой технологии основаны на принципиально иных технологических приемах [1—7]. Еще более разнообразны методы молекулярной химии [8] и биотехнологий [9].

Все это значительно затрудняет формирование основ технологии получения НСМ, в частности ОНКМ. Следует учитывать и то, что в изложении большинства технологических процессов присутствуют ноу хау авторов, сообщение о которых дается в общих чертах и часто носит рекламный характер. Исходя из указанного и анализа известных данных, классификацию технологий НСМ можно представить следующим образом [6]:

- технология консолидированных материалов, включающая порошковые технологии с последующими или совмещенными операциями прессования и спекания ультрадисперсных порошков, технология консолидации порошковых материалов (КПМ) [10];
- технология с использованием интенсивной пластической деформации (ИПД) с формированием наноструктуры за счет больших деформаций, достигаемых методами равноканального углового прессования и кручения при высоком давлении [11];
- технология контролируемой кристаллизации из аморфного состояния (ККАС), включающая методы получения аморфных материалов (конденсация из газовой фазы, закалка из жидкого состояния, ионная имплантация, высокоэнергетическое измельчение и др.), и режимов контролируемого рекристаллизационного отжига (т. е. с управляемыми процессами зарождения и роста кристаллитов) [12];
- технология пленок и покрытий с использованием как физических методов осаждения PVD (Physical Vapor Deposition), так и химических методов CVD (Chemical Vapor Deposition), а также электроосаждение и ряд других приемов [1—3, 13];
- технологии полупроводников, полимерных, пористых, трубчатых, биологических и других HCM, включающие особые специфические методы и технологические приемы их синтеза [7—9].

Если ограничить рассматриваемую проблему только для ОНКМ, то технологию их синтеза можно представить классификационно тремя основными способами: технологии КПМ, ИПД, ККАС [10—14]. Возможно получение ОНМК и другими способами, например, быстрым охлаждением из жидкого расплава (БОЖР) методами спинингования или газовой атомизации, а также гальваническим методом (ГМ) [2].

Следует отметить, что во всех случаях синтеза ОНКМ необходимым условием технологии является создание особых мелкодисперсных наноструктур (нанофаз): нанокристаллических, квазикристаллических, а также их комбинаций между собой и с аморфными образованиями или матрицей. Другим необходимым условием технологии является стабилизация достигнутого наноструктурного состояния материала и соответственно свойств ОНКМ.

#### Морфологическая система технологий синтеза ОНКМ

Реализация любого технологического процесса получения ОНКМ возможна на основе различного оборудования и способов для различных исходных материалов. Но в каждом случае процесс происходит в определенной технологической среде (системе), включающей следующие области:

- А. Цель реализации: достижение требуемых физико-механических и функциональных свойств материала, создание особо активированного состояния материала, например состояния сверхпластичности;
- Б. Характеристики класса и состава исходного материала: жидкий расплав, электроды, электролиты, различные по химическому составу и форме порошки и аморфные материалы с различной предварительной обработкой (химической, термической или механической);
- В. Методы предварительной (подготовительной) обработки (химической, термической, механической) исходных материалов;
- Г. Показатели процесса получения ОНКМ: способ и физико-химические особенности и закономерности технологических операций, их технологическое оснащение;
- Д. Показатели (характеристика) структурного состояния полученного материала: субмикрокристаллическая, нанокристаллическая, аморфная и их комбинации между собой;
- Е. Методы стабилизации структурного состояния ОНКМ: технологические операции изотермического или термоциклического отжига или старения и предварительная деформационная обработка, например для аморфных материалов;
- Ж. Показатели готового материала: его состояние и конструкционные и функциональные свойства.

Структуризация (схематизация) технологических операций процесса синтеза реализуется на принципе функционального дробления технологии, когда производственный процесс представлен комплексной моделью и отдельные операции — это функциональный блок системы с конкретной передаточной функцией преобразования объекта производства.

Структурный анализ отдельных технологических процессов технологии синтеза ОНКМ и их формализация производятся с целью автоматизации ТПП и облегчения задачи выбора оптимального варианта в многокомпонентной среде (системе). Следовательно, в первую очередь создается морфологическая система технологии синтеза, включающая исходные данные процесса, технологические способы реализации и технологическое оснащение. Затем определяется круг показателей, характери-



Рис. 1. Алгоритм проектирования технологического процесса синтеза ОНКМ

зующих технологические и функциональные параметры создаваемых материалов, включающий структурные параметры и достигаемый уровень функциональных свойств.

Принятая методология системно-технологического анализа достаточно эффективна для многооперационных процессов сложной технологии синтеза ОНКМ. Отдельная технологическая операция структурно достаточно проста, однако и она требует детального обоснования при выборе определяющего параметра.

Поэтому для проведения системно-технологического анализа процессов синтеза ОНКМ необходимо учитывать морфологическую систему технологии (комплексную модель) и определяющие параметры отдельных операций, а для разработки оптимального технологического процесса необходимо использовать алгоритм проектирования технологического процесса (рис. 1).

## Формирование технологического классификатора и технологического кода процессов синтеза ОНКМ

При разработке технологических процессов характерна многовариантность возможных решений, каждое из которых в той или иной степени удовлетворяет технологическим требованиям к

изделию. Сопоставление вариантов по критериям ожидаемого качества, производительности и рентабельности, выбор решения, наилучшего для конкретных производственных условий, — необходимый этап обеспечения высокой эффективности производства.

При выполнении подобного системного анализа необходимо упорядочение каждой из входящих подсистем, в их числе:

- классификация исходных материалов;
- классификация технологических решений предварительной обработки исходных материалов;
- классификация технологических процессов и операций самого синтеза ОНКМ;
- классификация технологических процессов и операций стабилизации структурного строения и свойств ОНКМ.

Классификация процессов и операций образует массив упорядоченной информации, которая путем последовательной детализации может быть доведена до любых технологических подробностей. Подготовленная для адекватной передачи информация кодируется и может вводиться в системы автоматизированного проектирования и управления производством.

Эффективная разработка технологических процессов может быть осуществлена только на базе конструкторско-технологической классификации, включающей типизацию технологических процессов и формирование общего технологического классификатора и технологического кода процесса синтеза материала.

Типизация устраняет многообразие технологических процессов обоснованным сведением их к ограниченному числу типов и является базой для разработки стандартов на типовые технологические процессы.

Под типизацией технологических процессов следует понимать комплекс следующих работ:

- систематизацию и анализ возможных технологических решений синтеза каждого классификационного подразделения (классификация исходных материалов, классификация основного и вспомогательного производства, классификация технологических операций, классификация средств технологического оснащения (оборудования, приспособлений, контрольных приборов и инструмента);
- проектирование оптимального для данных производственных условий технологического процесса обработки.

Общий технологический классификатор состоит из кода основных признаков технологии (посто-

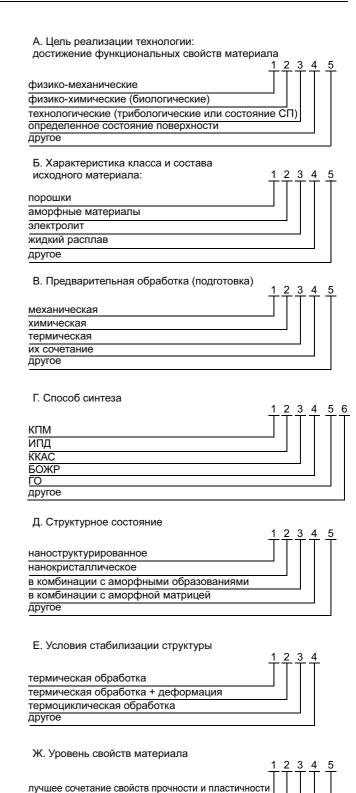


Рис. 2. Структура и значность общего технологического классификатора процессов синтеза OHKM

высокие показатели поверхностной твердости высокие показатели коррозионно- и износостойкости

степень дисперсности структуры

другое

янная часть кода) и кода классификационных признаков, определяющих вид изделия (переменная часть кода), и включает:

- технологические признаки, характеризующие размеры изделия (характеристика толщины, массы) и структуру материала (характер и размеры);
- технологические требования, характеризующие реальные условия технологии (вид операции обработки или воздействий, требования к поверхности, сплошности и др.);
- технологические возможности, характеризующие возможности производства обеспечивать определенный уровень и комплекс конструкционных и функциональных свойств материала.

Кодирование технологии синтеза ОНКМ осуществляется буквенно-цифровым кодом. В структуре технологического кода за каждым признаком закрепляются определенная позиция и значность.

При использовании технологического классификатора и типовых технологических процессов достигается снижение трудоемкости и сокращение сроков технологической подготовки производства. Например, структуру и значность общего технологического классификатора процессов синтеза ОНКМ можно представить в следующем виде (рис. 2).

Предложенная комплексная модель системно-технологического анализа технологии позволяет сформировать технологический код любого процесса синтеза ОНКМ. Например, технологию получения ОНКМ методом контролируемой кристаллизации из аморфного состояния с обеспечением свойств сверхпластичности материала можно представить таким технологическим кодом: АЗБ2В4Г3Д4Е2Ж4, который отражает все технологические признаки изделия, технологические требования производства и технологические возможности принятой технологии обработки.

Представленные в работе подход и методология системно-технологического анализа позволяют выбрать оптимальный процесс и маршрут технологии синтеза ОНКМ в зависимости от цели реализации, технологических признаков, требований к материалу и возможностей конкретного производства. С учетом основных принципов систематизации определены задачи системно-технологического анализа и методика их решения:

- создание морфологической системы технологии;
- определение общей технологической среды (системы) процессов;
- определение основных показателей, характеризующих состояние материала;

- обоснование алгоритма проектирования технологического процесса;
  - построение комплексной модели анализа.

Предложен общий классификатор признаков технологии синтеза ОНКМ, включающий технологические признаки и требования к материалу и возможности технологии производства. Сформирован технологический код синтеза ОНКМ.

Использование результатов системно-технологического анализа процессов синтеза ОНКМ поможет специалистам-технологам в выборе и разработке технологических процессов производства, а главное, упростит и ускорит этап технологической подготовки производства новых конструкционных наноматериалов. С другой стороны, данный анализ поможет в изучении проблем технологии ОНКМ и использовании этой информации для получения новых знаний.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Нанотехнология в ближайшем десятилетии: прогноз направления исследований / Под ред. М. К. Роко, Р. С. Уильямса, П. Аливисатоса. М.: Мир, 2002. 292 с.
- 2. Пул Ч., Оуэн Ф. Нанотехнологи. М.: Техносфера, 2005. 336 с.
- 3. *Наноматериалы* и нанотехнологии / Ж. И. Алферов, А. А. Асеев, С. В. Гапонов и др. // Микросистемная техника. 2003. № 8. С. 3—13.
- 4. *Лякишев Н. П.* Нанокристаллические структуры новое направление развития конструкционных материалов // Вестник РАН. 2003. Т. 13. № 5. С. 422—427.
- 5. Лякишев Н. П., Алымов М. И., Добаткин С. В. Объемные наноматериалы конструкционного назначения // Металлы. 2003. № 3. С. 3—16.
- 6. *Забелин С. Ф., Забелин К. С.* Системный анализ и критерии классификации наноструктурированных материалов // Технология машиностроения. 2006. № 3. С. 5—10.
- 7. *Андриевский Р. А., Рагуля А. В.* Наноструктурные материалы: Учебное пособие для вузов. М.: ИЦ "Академия", 2005. 192 с.
- 8. Лен Ж. М. Супрамолекулярная химия: концепции и перспективы: Пер. с анг. / Под ред. В. В. Власова, А. А. Вернека. Новосибирск: Наука, 1998. 334 с.
- 9. *Глик Б., Пастернак Дж.* Молекулярная биотехнология. Принципы и применение: Пер. с англ. / Под ред. Н. К. Янковского. М.: Мир, 2002. 589 с.
- Алымов М. И., Зеленский В. А. Методы получения и физико-механические свойства объемных нанокристаллических материалов: Учебное пособие. М.: МИФИ (ГУ), 2005. 52 с.
- 11. Валиев Р. З., Александров И. В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Логос, 2000. 272 с.
- 12. Ковнеристый Ю. К. Объемно-аморфизирующиеся металлические сплавы. М.: Наука, 1990. 80 с.
- 13. *Гусев А. И., Ремпель А.* А. Нанокристаллические материалы. М.: Физматлит, 2000. 224 с.
- 14. Забелин С. Ф., Алымов М. И. Металловедение и технология наноструктурированных материалов: Учебное пособие. Чита: ЗабГГПУ, 2006. 127 с.

#### SATOTOBITETISHOE IIPOMSBOZGTBO

Е. Н. ЕРЕМИН, д-р техн. наук, Ю. О. ФИЛИППОВ, инж., А. Е. ЕРЕМИН, инж., А. С. ЛОСЕВ, инж. Омский государственный технический университет

## Совершенствование технологии изготовления изделий из жаропрочных сплавов

Жаропрочные никелевые сплавы широко используют для изготовления деталей ответственного назначения, в том числе некоторых видов протяжек, штампов, ножей горячей обработки металлов и другого инструмента, работающего при высоких температурах. Основным процессом производства данных изделий является литье по выплавляемым моделям в горячие керамические формы в вакуумных индукционных печах. Однако плохие литейнотехнологические свойства жаропрочных сплавов, высокие требования к качеству отливок и сложность самой технологии неизбежно влекут за собой низкий выход годного от жидкого металла и высокий процент брака. Большая часть отходов литейного производства составляет безвозвратные потери производства, с чем едва ли можно мириться, особенно, если учесть высокую стоимость сплавов и острую дефицитность входящих в них компонентов.

В последние годы в производстве изделий из высоколегированных сталей и сплавов одно из ведущих мест занимают технологии, основанные на электрошлаковой плавке металла, в частности электрошлаковое литье [1]. Это объясняется экономическими преимуществами, обусловленными более дешевым оборудованием, низкими эксплуатационными расходами и, главное, более высокими качественными показателями получаемого металла.

Вместе с тем, традиционное электрошлаковое литье жаропрочных сплавов, осуществляемое путем переплава электрода в тигле с последующим его переворотом и переливом шлако-металлического расплава в форму, имеет ряд трудностей [2]. Это обусловлено прежде всего вторичным окислением жидкого металла, в результате чего в отливке не достигается необходимый химический состав и не обеспечиваются в полной мере требуемые служебные характеристики литого металла [3]. Поэтому совершенствование литейных электрошлаковых технологических процессов является актуальной задачей.

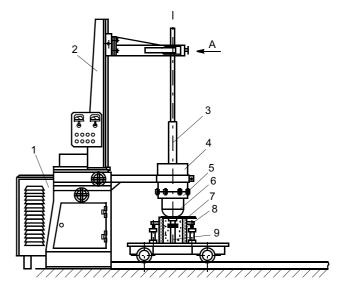
В связи с этим были проведены исследования по отработке технологии фасонного электрошлакового литья (ФЭЛ) в керамические формы. В комплекс оборудования и оснастки, необходимых для осуществления ФЭЛ, входят установка А-550У для электрошлакового переплава расходуемого элек-

трода с трансформатором ТШС-3000, плавильная емкость для накопления жидкого металла, печь для подогрева формы и устройство заливки металла в форму, обеспечивающее разделение металла и шлака и регулирование скорости заливки.

Жидкий металл накапливался в медной водоохлаждаемой плавильной емкости, обеспечивающей "стерильные" условия плавки жаропрочных сплавов.

В связи со значительным "вторичным" окислением легирующих элементов при разливке жаропрочных сплавов на воздухе применили схему донного слива расплава в литейную форму, которая устанавливалась по оси плавильной емкости. Для этого использовали сливное устройство, состоящее из водоохлаждаемого поддона с пробкой. После накопления требуемой массы металла пробка проплавляется и расплав сливается в заливочную чашу, а затем в форму. Схема комплекса для ФЭЛ в керамические формы приведена на рисунке.

Технология электрошлакового литья включает переплав электрода в плавильной емкости под высокофторидным флюсом, накопление жидкого металла и последующую его заливку в форму. Технологию отрабатывали на сплаве X12H65K5B5M5Ю5T3. Рас-



Комплекс для ФЭЛ в керамические формы: 1 — трансформатор ТШС-3000-1; 2 — установка А-550У; 3 — электрод; 4 — плавильная емкость; 5 — поддон; 6 — заливочная чаша; 7 — затвор; 8 — печь подогрева; 9 — керамическая форма

Таблица 1

| Объект исследования           | Содержание элементов, %   |                             |                     |                         |                         |                         |                         |  |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--|
| Оовект исследования           | С                         | Cr                          | Со                  | W                       | Мо                      | Ti                      | Al                      |  |
| Электрод<br>Отливка ФЭЛ<br>ТУ | 0,18<br>0,17<br>0,13—0,20 | 11,74<br>11,62<br>10,5—12,5 | 4,84<br>4,41<br>4—5 | 5,11<br>4,84<br>4,5—5,5 | 3,92<br>3,78<br>3,5—4,5 | 2,96<br>2,58<br>2,5—3,0 | 5,87<br>5,37<br>5,0—6,0 |  |

ходуемый электрод собирали из забракованных деталей, сваренных аргонодуговой сваркой в плеть. Плавку осуществляли с жидкого старта под флюсом АНФ-1П, отличающимся наименьшей окислительной способностью по отношению к таким активным легирующим элементам, как титан и алюминий, которые в значительной мере определяют механические свойства и длительную прочность никелевого сплава. Оптимальный режим переплава: U = 39 B,  $I = 2200 \div 2300 \text{ A}$ .

Сплав X12H65K5B5M5Ю5T3 относится к группе литейных сложнолегированных многокомпонентных жаропрочных сплавов. Основными упрочняющими фазами являются  $\gamma'$ -фаза, представляющая собой интерметаллид, и карбиды, поэтому свойства литого сплава определяются его химическим и фазовым составами. Проведенный химический анализ показал, что по основным легирующим элементам состав сплава при ФЭЛ с донным сливом изменяется незначительно и укладывается в требования технических условий (табл. 1).

Свойства литого сплава, полученного донным сливом без дополнительной термической обработки, исследовали в сравнении со свойствами сплава, полученного вакуумно-индукционным литьем (ВИЛ). Из отлитых такими способами слитков изготовляли образцы для испытаний и металлографических исследований. Результаты испытаний образцов (табл. 2) показали, что механические свойства отливок ФЭЛ близки к свойствам отливок ВИЛ. Вместе с тем жаропрочность отливки ФЭЛ оказалась даже несколько выше отливки ВИЛ. Это можно объяснить тем, что при 850 °C количество упрочняющей у'-фазы в отливках находится приблизительно на одном уровне и свойства литого металла определяются размером зерна и изменением морфологии карбидов [4]. Анализ макро- и микроструктуры сплава Х12Н65К5В5М5Ю5Т3 показал, что размер макрозерна в отливке ВИЛ составляет 1,0—3,5 мм, а в отливке  $\Phi$ ЭЛ — 3—5 мм, что, видимо, связано с перегревом расплава в плавильной емкости. В то же время средний размер карбидов компактной формы в отливке ФЭЛ 4—8 мкм, а максимальный — до 30 мкм, в то время как у отливки ВИЛ — до 100 мкм (в продольном направлении).

Таблица 2

| Состояние   | Темпе-                       | Механическ           | Жаро- |                                   |  |
|-------------|------------------------------|----------------------|-------|-----------------------------------|--|
| металла     | ратура<br>испыта-<br>ния, °С | σ <sub>в</sub> , МПа | δ, %  | прочность<br>т <sub>400</sub> , ч |  |
| Отливка ВИЛ | 20                           | 94                   | 4,3   |                                   |  |
| Отливка ФЭЛ | 20                           | 987                  | 3,8   | _                                 |  |
| Отливка ВИЛ | 850                          | 882                  | 2,9   | 76                                |  |
| Отливка ФЭЛ | 850                          | 876                  | 2,3   | 88                                |  |
|             |                              |                      |       |                                   |  |

Очевидно, это и оказывает основное влияние на длительную прочность.

Наилучшее сочетание структуры и свойств сплава X12H65K5B5M5Ю5T3 получено в случае разливки расплава в форму при 1600—1620 °C. Такой режим обеспечил получение структуры с наиболее мелкими карбидами (4—6 мкм), равномерно распределенными в матрице сплава. Микроструктура такого сплава характеризуется наличием мелких компактных выделений эвтектики  $\gamma$ — $\gamma$ ′, расположением карбидов в межосных пространствах кристаллов и мелкодисперсными выделениями  $\gamma$ ′-фазы.

Результаты проведенной работы легли в основу технологии фасонного электрошлакового литья заготовок вставок-ножей пресс-ножниц "Эрфурт", обеспечившей существенное повышение их износостойкости при горячей резке проката из высокопрочных сталей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Патон Б. Е., Медовар Б. И.* Электрошлаковая тигельная плавка и разливка металла. Киев: Наукова думка, 1988. 214 с.
- 2. *Башнин Ю. А., Исакина В. Н., Масленкова Е. А.* Влияние переплавных процессов на структуру и свойства стали. М.: Металлургия., 1991. 240 с.
- 3. Патон Б. Е., Медовар Б. И., Цыкуленко А. К. Металлургическое качество металла как основа его физико-механических и технологических свойств // Проблемы специальной электрометаллургии, 1989. № 2. С. 3—8.
- Прогнозирование влияния структурных факторов на механические свойства жаропрочных сплавов / А. В. Логунов,
   П. В. Петрушин, Е. А. Кукшова, Ю. М. Должанский // Металловедение и термическая обработка металлов, 1987. № 6.
   С. 16—20

Н. Б. АБРАМОВА, канд. техн. наук Орский гуманитарно-технологический институт

## **Исследование качества поверхности медных гильз кристаллизаторов МНЛЗ**

Для машиностроения характерно непрерывное повышение эксплуатационных характеристик материалов деталей машин — прочности, твердости, ударной вязкости, жаро- и эрозионной стойкости.

Качество машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) в значительной степени связано с конструктивно-технологическими параметрами сталлизаторов и их эксплуатационными характеристиками. Срок службы кристаллизатора предопределяет себестоимость конечного продукта. Кристаллизатор — самый ответственный узел машин непрерывного литья. В кристаллизаторе формируется слиток. Он служит аппаратом для отвода теплоты при кристаллизации затвердевающего металла. От качества кристаллизатора зависит качество продукции и производительность МНЛЗ. Кристаллизаторы МНЛЗ работают в условиях циклических интенсивных тепловых потоков (плотность тепловых потоков достигает 20 МВт/м²), интенсивного износа, циклических термодинамических напряжений, разных типов коррозии, при температуре 293—863 К. Срок службы кристаллизаторов значительно меньше срока службы других сменных деталей. Отказы приводят к простоям, авариям на производстве, влияют на экологическую безопасность и безопасность труда.

Наибольшее распространение получили гильзовые кристаллизаторы (ГК), рабочим элементом которых является гильза. Основные преимущества применения гильзовых кристаллизаторов: отсутствие стыков в рабочем элементе, являщихся причиной зависания корочки слитка; высокая интенсивность теплоотвода, что позволяет разливать стали с более высокими скоростями; менее трудоемкая технология замены рабочего элемента. Гильзы кристаллизаторов, изготовленные по традиционным технологиям, выдерживают около 200 плавок.

На качество рабочей поверхности гильзы влияет множество факторов: марка меди и ее химический состав, вид и метод получения заготовки, технология изготовления гильзы. В результате технологических операций формируется поверхностный слой гильзы, значительно влияющий на ее эксплуатационные характеристики.

Производство гильз для кристаллизаторов является сложной технологической задачей. Техно-

логии изготовления ГК весьма разнообразны. На машиностроительном концерне "ОРМЕТО-ЮУМЗ" (Орск) разработана технология изготовления гильз кристаллизаторов, состоящая из механической обработки и пластического деформирования внутренней рабочей поверхности дорном специальной конструкции. В качестве заготовки использовали холоднокатаную трубу из меди М2Р.

Эксперименты по определению технологических параметров финишной операции протягивания внутренней поверхности медной гильзы кристаллизатора проводили на горизонтально-протяжном станке модели 7Б57 усилием 400 кН. Перед протягиванием внутреннюю поверхность гильзы смазывали индустриальным маслом ИМ-20. Параметр шероховатости поверхности после протягивания Ra = 0.8 мкм.

Эксплуатационные свойства поверхности гильз кристаллизаторов зависят от формы микрорельефа и их можно задать путем направленного формирования микрорельефа. Такие возможности дает международный стандарт DIN 4776, который позволяет параметризовать опорную линию профиля с помощью параметров  $R_{pk}$ ,  $R_k$ ,  $R_{vk}$ . Они позволяют управлять усредненной высотой выступов  $R_{pk}$ , основой профиля  $R_k$  и усредненной глубиной впадин  $R_{vk}$ .

В настоящее время состояние поверхностного слоя рассматривается как внешнее проявление интегративных свойств формообразующей системы, которое может быть описано совокупностью характеристик качества: микрогеометрии, напряженно-деформированного и фазоструктурного состояний [1].

Микрогеометрия в целом представляет собой совокупность шероховатости, волнистости и макроотклонений формы. К макроотклонениям относятся единичные, нерегулярные отклонения реальной поверхности от номинальной: выпуклость; вогнутость; отдельные царапины; крупные следы, повторяющие профиль режущего инструмента. Волнистость представляет собой совокупность периодических, регулярно повторяющихся выступов и впадин, расстояние между которыми значительно больше высоты неровностей. Под шероховатостью понимается совокупность микронеровностей с относительно малым шагом, образующим рельеф поверхности [2].

При решении частных задач применяют более 30 параметров микрогеометрии. Многообразие параметров и непараметрических характеристик используют для того, чтобы оценить не только высотные характеристики микрогеометрии, но и форму микропрофиля, от которой в значительной степени зависят эксплуатационные свойства изделия [3].

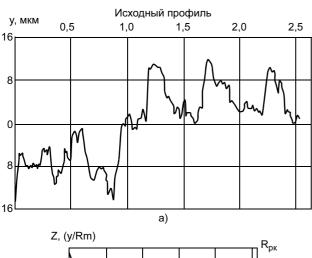
Микрогеометрию поверхности оценивали на основании результатов анализа профилограммы методом фильтрации. Фильтрацию осуществляли путем построения амплитудного спектра профиля с использованием разложения в тригонометрический ряд Фурье [4]. Амплитудный спектр включал гармонические составляющие, определяющие макроотклонения, волнистость, шероховатость, шумы электрической части контрольно-измерительного прибора.

Наиболее перспективным является определение микрогеометрии поверхности с использова-

нием опорной линии (кривой Аббота—Файерстоуна) [3].

Исследование микрогеометрии поверхности медных труб после токарной обработки и гильз кристаллизаторов, изготовленных протягиванием, выполняли с помощью измерительно-вычислительного комплекса, изготовленного на базе профилометра-профилографа К-201. В состав комплекса включены компьютер, интерфейс связи профилографа с компьютером и пакет прикладных программ. Прибор настраивали путем пробного прохода измерительной головки по исследуемой поверхности и визуального наблюдения изображения на экране монитора.

Измерение начиналось с идентификации на экране монитора установок прибора коэффициента усиления, скорости перемещения головки, базовой длины измеряемого участка. Базовую длину определяли на основе использования в расчетном алгоритме преобразования Фурье. Обработка ре-



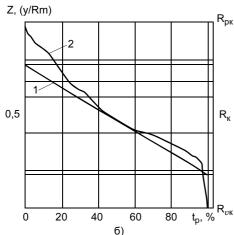
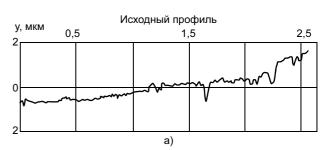


Рис. 1. Качество поверхности гильзы после токарной операции (Ra=2,94 мкм; Rz=11,83 мкм; Rg=3,36 мкм; Rm=16,45 мкм; S=34,53 мкм; Sm=283,89 мкм): a — профилограмма; b — результаты обработки профилограммы; b — база профиля; b — кривая Аббота



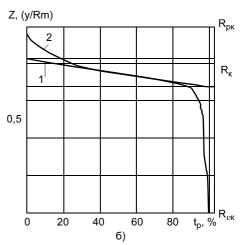


Рис. 2. Качество поверхности гильзы кристаллизатора после операции протягивания ( $Ra=0.08\,$  мкм;  $Rz=0.62\,$  мкм;  $Rg=0.12\,$  мкм;  $Rn=1.14\,$  мкм;  $S=23.23\,$  мкм;  $Sn=53.23\,$  мкм) (обозначения — см. рис. 1)

зультатов измерения включала уточнение срединной линии, фильтрацию, определение параметров шероховатости и непараметрическую оценку профиля. Уточнение срединной линии выполняли для исключения погрешности установки образца. Фильтрация профиля необходима для исключения погрешности установки и шума прибора, не связанного с микрогеометрией, а также отделения волнистости и шероховатости поверхности.

Непараметрическая оценка профиля состояла из вычисления графического отображения опорной линии профиля, плотности распределения ординат и тангенсов углов наклона как в размерной, так и безразмерной форме. Безразмерная форма позволила осуществить количественное и качественное сравнение профилей, имеющих различный микрорельеф. Непараметрическая оценка профиля дала возможность установить не только его высотные и периодические характеристики, но и форму микрорельефа, которая существенно влияет на эксплуатационные свойства поверхности.

Параметры микрогеометрии поверхности и формы профиля измеряли в соответствии со стандартом DIN 4776 с использованием кривой Аббота. Результаты исследования качества поверхности заготовки гильзы после токарной обработки кованой трубы и гильзы после финишной протяжной операции приведены на рис. 1 и 2.

Кривую Аббота 2 строили с использованием базы 1 профиля, которую вначале устанавливали на уровне самой большой впадины профиля. Это соответствовало относительной опорной длине профиля  $t_p = 100\,$ %. Перемещая базу 1 профиля относительно уровня наибольшего пика профиля и изменяя  $t_p$  от 0 до 100 %, получили кривую Аббота 2. Математически кривая Аббота представляет собой кривую суммарной частоты ординат профиля.

На основании анализа кривой Аббота получены следующие параметры качества поверхности гильзы кристаллизатора:  $R_{pk}$  — усредненная высота выступов, быстро изнашивающаяся в начальный период эксплуатации;  $R_k$  — глубина неровностей профиля поверхности, являющаяся основой

профиля поверхности, длительное время находится в работе и оказывает решающее влияние на срок службы и качественные показатели работы изделия;  $R_{vk}$  — усредненная глубина впадин профиля, определяющая смазывающую способность поверхности.

Данные параметры шероховатости поверхности по кривой Аббота определяли в следующей последовательности. На кривой выделяли прямолинейный участок, разность ординат начала и конца выделенного участка длины кривой соответствует искомому параметру шероховатости. Критерием выбора участка длины кривой являлось наименьшее значение разности ординат в пределах кривой Аббота. Если несколько участков имели одинаковый наклон, то выбирали наиболее высокий из них.

Параметры профиля микрорельефа, полученные при растачивании медной трубы, в исследованиях, приведенных в качестве примера на рис. 1, следующие:  $R_{pk}=3,70$  мкм,  $R_k=9,87$  мкм,  $R_{vk}=2,88$  мкм. После процесса протягивания данные параметры приняли следующие значения:  $R_{pk}=0,20$  мкм,  $R_k=0,17$  мкм,  $R_{vk}=0,77$  мкм (см. рис. 2).

Поверхность гильзы кристаллизатора в результате операции протягивания приняла платообразный микрорельеф, обеспечивающий высокую износостойкость гильзы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Васильков Д. В., Печенюк Д. Ю. Эффективность использования международных стандартов при контроле микрогеометрии поверхностей деталей // Инструмент, 2002.
   № 12. С. 6—7.
- 2. *Демкин Н. Б., Рыжов Э. В.* Качество поверхности и контакт деталей машин. М.: Машиностроение, 1981. 244 с.
- 3. *Автоматизированная* система непараметрической оценки микрогеометрии поверхности / В. А. Валетов, Д. В. Васильков, А. В. Воронин и др. // Машиностроение и автоматизация производства. С.-Пб.: СЗПИ, 1995. С. 54—67.
- 4. *Бендат Д., Пирсол А.* Измерение и анализ случайных процессов. М.: Мир, 1971. 404 с.
- Осинцев О. Е., Федоров В. Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки: Справочник. М.: Машиностроение, 2004. 336 с.

#### ТЕХНОЛОГИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

В. С. ИВАНОВ, канд. техн. наук МГТУ им. Н. Э. Баумана

# Анализ траекторий формообразования при лезвийной обработке по передаточным отношениям схемы технологического зацепления и вращений детали и инструмента

Кинематическая структура схем обработки при тангенциальном точении и фрезеровании в общем виде содержит два вращательных и одно поступательное движения, сообщаемые детали, и может быть отражена структурными формулами  $\Phi_{12}(B_1)$ ,  $\Phi_{s}(B_{2}), \; \Phi_{s}(B_{3}). \; \mathsf{C} \; \mathsf{точки} \; \mathsf{зрения} \; \mathsf{формообразования}$ поперечного профиля детали тангенциальное точение и фрезерование относятся к циклоидальным способам, так как траектории формообразования, ограничивающие профиль детали, являются циклоидами — циклическими кривыми, образуемыми фиксированными на вращающемся объекте точками (например вершинами резцов), в координатах, связанных с другим вращающимся объектом — деталью [1, 2]. Основным признаком, определяющим термин циклоидальное формообразование, является циклоидальная форма траектории формообразующего движения резца относительно центра  $O_{\mathrm{Д}}$  профиля детали.

Одним из выходных параметров формообразования, определяющих точность обработки, является траектория движения точки зацепления взаимодействующих профилей детали и инструмента относительно центра детали.

Как известно из теории зацеплений [1, 2], траектория движения точки, фиксированной на вращающемся объекте в координатах, связанных с другим вращающимся объектом, в общем случае представляет собой трохоиду — циклическую кривую, образованную точкой, связанной с окружностью, перекатываемой без скольжения по другой окружности. Поэтому для схем обработки с циклоидальным формообразованием фиксированная относительно инструментального шпинделя точка, например вершина резца, описывает в координатах, связанных со шпинделем детали, также трохоиду.

Для анализа формы циклоидальных траекторий формообразования—трохоид воспользуемся понятием центроид [1, 2], под которыми в данном случае понимаются мнимые окружности, связанные со шпинделями детали и инструмента, перекатывающиеся без относительного скольжения. Назовем зацепление центроид кинематическим зацеплением, в отличие от технологического зацепления детали и инструмента.

Соотношения радиусов центроид и радиусов ре-

ально зацепляемых детали и инструмента определяют вид трохоидьн (эпи-, гипо-, перициклоида) и ее форму (нормальная, удлиненная, укороченная) [1, 2]. Так как радиусы центроид обратно пропорциональны угловым скоростям, то кинематическое передаточное отношение *і* однозначно определяет схему зацепления центроид, следовательно, и вид трохоиды.

Рассмотрим схемы зацепления центроид вращения шпинделей детали 1 и инструмента 2 (рис. 1—3). Введем по аналогии с технологическим

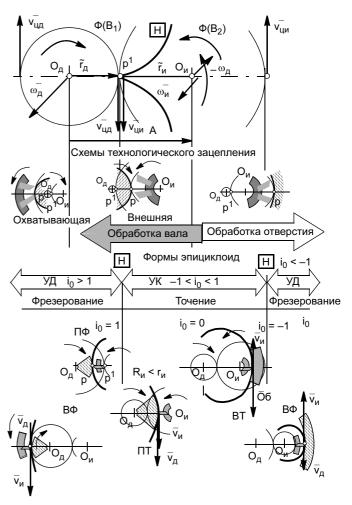


Рис. 1. Эпициклоидальные траектории формообразования для различных схем технологического зацепления

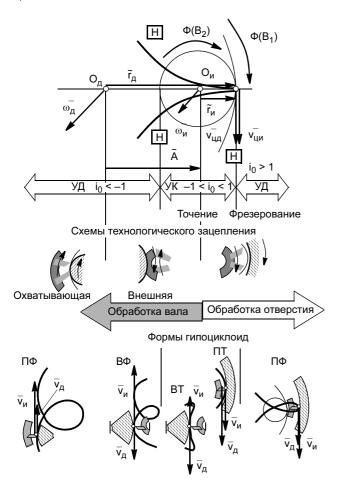


Рис. 2. Гипоциклоидальные траектории формообразования для различных схем технологического зацепления

зацеплением детали и инструмента векторные параметры для кинематического зацепления:  $\overline{r_{\rm d}}$  — кинематический радиус (радиус центроиды) вращения шпинделя детали;  $\overline{r_{\rm u}}$  — кинематический радиус вращения инструмента.

Технологическое зацепление, т. е. зацепление детали и инструмента, можно представить в векторном виде:

$$\overline{A} + \overline{R}_{\text{N}} = \overline{R}_{\text{\Pi}},$$
 (1)

где  $\overline{A}$  — вектор расположения центра инструмента  $O_{\rm u}$  относительно начала координат  $O_{\rm g}$ , направленный из  $O_{\rm g}$  в  $O_{\rm u}$  и численно равный межцентровому расстоянию A;  $\overline{R_{\rm g}}$  — вектор расположения полюса зацепления p относительно  $O_{\rm g}$ , направленный из  $O_{\rm g}$  в p и численно равный номинальному радиусу детали,  $\overline{R_{\rm u}}$  — вектор расположения полюса p относительно  $O_{\rm u}$  и численно равный радиусу инструмента.

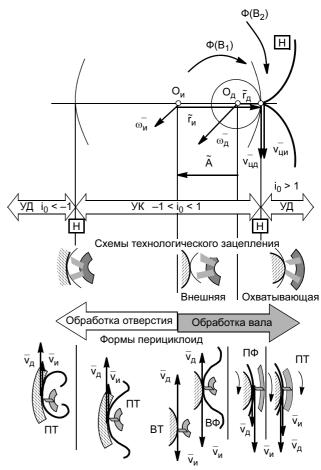


Рис. 3. Перициклоидальные траектории формообразования для различных схем технологического зацепления

Так как векторы коллинеарны, т. е. расположены на одной прямой, то для их координат выполняется условие

$$A + R_{\mathsf{N}} = R_{\mathsf{D}}.\tag{2}$$

Соотношение геометрических координат детали и инструмента можно представить геометрическим передаточным отношением  $i_1$  схемы технологического зацепления, тождественно равным приведенному радиусу инструмента  $_{\rm u}$ :

$$i_1 = {}_{\mathsf{M}} = R_{\mathsf{M}}/R_{\mathsf{M}}. \tag{3}$$

Для координат кинематического зацепления по аналогии с геометрическими координатами

$$A + r_{\mathsf{M}} = r_{\mathsf{\Pi}}.\tag{4}$$

С другой стороны, условию перекатывания центроид в полюсе p соответствует соотношение

$$v_{\mathsf{N}} = v_{\mathsf{D}}$$
 или  $\omega_{\mathsf{N}} r_{\mathsf{N}} = \omega_{\mathsf{D}} r_{\mathsf{D}}.$  (5)

Задаваясь координатной осью угловых скоростей с единичным вектором е, можно записать

$$\overline{\omega}_{\Pi} = e\omega_{\Pi}; \quad \overline{\omega}_{N} = e\omega_{N},$$
 (6)

где  $\omega_{\rm д},\ \omega_{\rm u}$  — координаты соответствующих векторов на оси  $\omega$  или кинематические координаты. Соотношение вращений  $\Phi_v(B_1)$  и  $\Phi_{\rm s}(B_2)$  шпинделей детали и инструмента можно представить кинематическим передаточным отношением координат  $\omega_{\rm u}$  и  $\omega_{\rm w}$ :

$$i = \omega_{\mathbf{\Pi}}/\omega_{\mathbf{N}}.\tag{7}$$

С учетом соотношения (5) зависимость (7) можно выразить через радиусы центроид:

$$i = r_{\mathsf{N}}/r_{\mathsf{D}}.\tag{8}$$

Из соотношений (4), (8) можно выразить кинематические радиусы  $r_{\rm D}$  и  $r_{\rm N}$ :

$$A = r_{\Delta} - r_{N} = r_{\Delta} - i r_{\Delta} = r_{\Delta} (1 - i)$$
 (9)

или  $A = r_{\text{N}}/i - r_{\text{N}} = r_{\text{N}}(i^{-1} - 1)$ , откуда

$$r_{\rm L} = A/(1-i), \quad r_{\rm N} = A/(i^{-1}-1).$$
 (10)

В приведенном к радиусу детали виде с учетом соотношения (3)

$$_{\mathbf{\Pi}} = r_{\mathbf{\Pi}}/R_{\mathbf{\Pi}}, \qquad _{\mathbf{N}} = r_{\mathbf{N}}/R_{\mathbf{\Pi}}, \tag{11}$$

а с учетом соотношений (3) и (10)

$$_{\Lambda} = A/(1-i)R_{\Lambda} = (1-i_1)/(1-i),$$
 (12)  
 $_{\Lambda} = A/(i^{-1}-1) = (1-i_1)/(i^{-1}-1).$ 

При внешнем зацеплении центроид 1 и 2 (см. рис. 1) траектория относительного движения точки, фиксированной на центроиде инструментального шпинделя (ось  $O_{\rm u}$ ), т. е. точки, геометрический радиус которой равен кинематическому, в координатах, связанных с деталью, представляет собой нормальную H эпициклоиду. Если эта точка расположена внутри центроиды, т. е. геометрический радиус меньше кинематического, то форма эпициклоиды будет укороченной YK, если вне центроиды — удлиненной YD. Критерием для оценки формы циклоидальной кривой может служить передаточное отношение  $i_0$  геометрической координаты  $R_{\rm u}$  к кинематической координате  $r_{\rm u}$ :

$$i_0 = R_{\rm M}/r_{\rm M} = {}_{\rm M}/{}_{\rm M}.$$
 (13)

С использованием соотношений (3), (7), (12) зависимость (13) принимает вид

$$i_0 = {}_{\mathsf{N}}/{}_{\mathsf{N}} = i_1(i^{-1} - 1)/(1 - i_1) = (i^{-1} - 1)/(i_1^{-1} - 1).(14)$$

На рис. 1—3 приведены различные схемы зацепления центроид (внешняя, внутренняя, охватывающая) и соответствующие им различные по форме эпи-, гипо- и перициклоиды для различных схем технологического зацепления. Траектория относительного движения (движения формообразования) фиксированной на центроиде инструмента точки представляет собой нормальную циклоидальную кривую (кривая *H*).

Значение критерия для нормальной формы циклоидальной кривой можно записать в виде

$$|i_0| = 1$$
 или  $i_0 = \pm 1$ . (15)

Интервал  $0 < |i_0| < 1$  или  $-1 < i_0 < 1$  соответствует укороченной УК, а интервал  $|i_0| > 1$  или  $-1 > i_0 > 1$  — удлиненной УД формам циклоидальных кривых.

Области нормальной формы Н циклоид

$$i_0 = \pm 1$$
 или  $(i^{-1} - 1)/(i_1^{-1} - 1) = 1$   
и  $(i^{-1} - 1)/(i_1^{-1} - 1) = -1$ .

Решениями уравнений (16) относительно  $i_1$  являются функции

$$i_1 = i$$
 — прямая линия;  
 $i_1 = \frac{1}{2 - i^{-1}}$  — гипербола.

В поле передаточных отношений  $(i_1, i)$  (рис. 4) эти линии — границы областей существования укороченной и удлиненной форм циклоидальных траекторий формообразования. В зависимости от значений критериев  $i_1$  и i в поле передаточных отношений  $(i_1, i)$  можно выделить зоны, соответствующие различным схемам технологического зацепления (координатная ось  $i_1$ ), различным по виду (координатная ось i) и форме (критерий  $i_0$ ) циклоидаль-

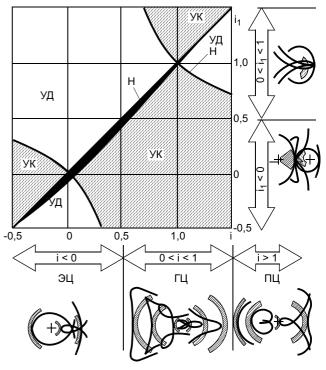


Рис. 4. Виды циклоидальных траекторий формообразования и области их определения в поле передаточных отношений

ным траекториям формообразования. Зона, ограниченная интервалом  $i_1 < 0$ , соответствует схеме внешнего зацепления технологической пары, зона  $0 < i_1 < 1$  — зацеплению при обработке отверстий,  $i_1 > 1$  — охватывающей схеме зацепления при обработке валов.

Зоне, ограниченной интервалом i < 0, соответствуют эпициклоиды  $\mathcal{G}\mathcal{L}$ , зоне 0 < i < 1 — гипоциклоиды  $\mathcal{\Gamma}\mathcal{L}$ , i > 1 — перициклоиды  $\mathcal{\Pi}\mathcal{L}$ .

В зависимости от значения критерия  $i_0$  можно выделить зоны с различными по форме циклоидальными траекториями (см. рис. 4). Граница зон  $i_0 = 1$  соответствует нормальной форме, зона  $0 < |i_0| < 1$  — укороченной форме,  $-1 > i_0 > 1$  — удлиненной форме.

Задаваясь кинематическим передаточным отношением i вращения детали и инструмента и варьируя геометрию технологического зацепления  $i_1$ , можно получить все виды зацепления, а также виды и формы циклоидальных траекторий формообразования. Например, для i=-0,5 при  $i_1=-0,5$  (компоновка шпинделей по разные стороны от полюса зацепления, т. е. обработка вала инструментом с выпуклой поверхностью)  $i_0=1$ . Это соответствует попутной обработке и, в частности, операции накатывания, траектория формообразования соответствует нормальной форме эпициклоиды  $(H \ni U)$ .

Задаваясь схемой зацепления  $(i_1)$  и варьируя соотношение i вращательных движений рабочих

шпинделей, можно получить различные как по виду, так и по форме траектории формообразования. Например, для  $i_1=-0.8$  (обработка валов инструментом с выпуклой поверхностью — внешняя схема зацепления) при разнонаправленных вращениях шпинделей i<-0.8 (0 <  $i_0<1$ ) реализуется укороченная форма эпициклоиды — УК ЭЦ (рис. 5). При -0.8 < i < 0 (1 <  $i_0 < \infty$ ) — удлиненная форма эпициклоиды — УД ЭЦ.

Увеличение i приводит к трансформации формы эпициклоиды в удлиненную  $Y\!\mathcal{J}$   $\mathcal{J}\mathcal{U}$ , что соответствует диапазону -0.8 < i < 0. Граница i = 0 соответствует обработке вращающимся инструментом без вращения детали. Траектория формообразования трансформируется в окружность O радиусом  $R_{\rm u}$  с центром  $O_{\rm u}$ . При дальнейшем увеличении i эпициклоида трансформируется в гипоциклоиду, первоначально в удлиненную, а затем в укороченную. Интервалу 0 < i < 0.8 ( $1 < i_0 < \infty$ ) соответствует удлиненная форма  $Y\!\mathcal{J}$   $\Gamma \mathcal{U}$ , интервалу 0.8 < i < 1 — укороченная форма  $Y\!K$   $\Gamma \mathcal{U}$ , а границе i = 0.8 ( $-\infty < i_0 < -1$ ) — нормальная форма гипоциклоиды H  $\Gamma \mathcal{U}$ . В области i > 1 траектория принимает вид укороченной перициклоиды  $Y\!K$   $\Gamma \mathcal{U}$ .

Процесс трансформации траектории формообразования и методов обработки для рассмотренного технологического зацепления с параметром  $i_1 = -0.8$  (обработка вала с внешним зацеплением) (см. рис. 5) можно представить схемой УК ЭЦ (попутное точе-

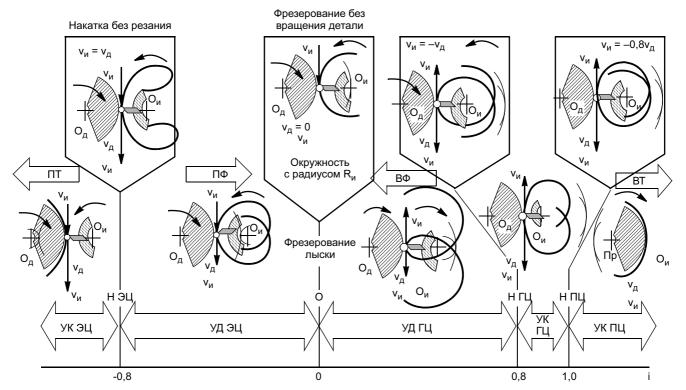


Рис. 5. Изменение траектории формообразования для технологического зацепления при обработке валов с параметром  $i_1 = -0.8$ 

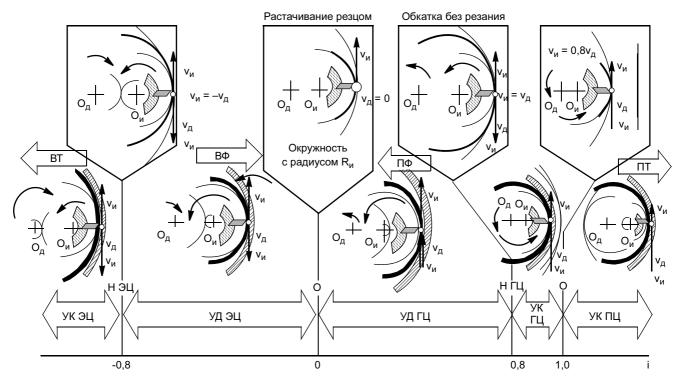


Рис. 6. Изменение траектории формообразования для технологического зацепления при обработке отверстий с параметром  $i_1 = 0.8$ 

ние  $\Pi T) \to H \; \mathcal{I} \mathcal{U}$  (накатка)  $\to \mathcal{Y} \mathcal{I} \; \mathcal{I} \mathcal{U}$  (попутное фрезерование  $\Pi \Phi$ )  $\to O$  (фрезерование невращающейся заготовки)  $\to \mathcal{Y} \mathcal{I} \; \Gamma \mathcal{U}$  (встречное фрезерование  $\mathcal{B} \Phi$ )  $\to H \; \Gamma \mathcal{U}$  (встречное строгание)  $\to \mathcal{Y} \mathcal{K} \; \Gamma \mathcal{U}$  (встречное строгание)  $\to \mathcal{Y} \mathcal{K} \; \Gamma \mathcal{U}$  (встречное точение  $\mathcal{B} T$ ).

Схема трансформации применительно к обработке отверстий при  $i_1$  = 0,8 (обработка отверстий) приведена на рис. 6.

При разнонаправленном вращении шпинделей i < -0.8 ( $-1 < i_0 < 0$ ) реализуется укороченная форма эпициклоиды YK  $\mathcal{I}U$ . Увеличение i приводит к трансформации формы эпициклоиды в удлиненную  $Y\mathcal{I}$   $\mathcal{I}U$ , что соответствует диапазону -0.8 < i < 0. При дальнейшем увеличении i эпициклоида трансформируется в гипоциклоиду, первоначально удлиненную  $Y\mathcal{I}U$ , а затем в укороченную  $Y\mathcal{I}U$ . При сочетании  $I_1 = 0.8$  и 0 < i < 0.8 ( $1 < I_0 < \infty$ ) наблюдается удлиненная форма гипоциклиды —  $Y\mathcal{I}U$ .

Дальнейшее увеличение i в интервале 0,8 < i < 1 ( $0 < i_0 < 1$ ) приводит к трансформации траектории формообразования в укороченную гипоциклоиду *УК ГЦ*. В интервале i > 1 ( $0 < i_0 < 1$ ) траектория трансформируется в укороченную перициклоиду — *УК ПЦ*.

Для приведенной схемы технологического зацепления ( $i_1 = 0.8$ ) трансформация видов и форм траекторий формообразования при непрерывном увеличении значения кинематического передаточного отношения i происходит по следующей схеме. При

сочетании  $i_1=0.8$  и 0.8 < i < 1 ( $0 < i_0 < 1$ ) наблюдается укороченная форма гипоциклоиды — УК ГЦ. При сочетании  $i_1=0.8$  и i > 1 ( $0 < i_0 < 1$ ) — укороченная перициклоида — УК ПЦ.

Процесс трансформации траектории формообразования и методов обработки для рассмотренного технологического зацепления (обработка отверстий  $i_1=0,8$ ) можно представить схемой YK 3U (встречное точение BT)  $\to H$  3U (встречное строгание)  $\to Y\mathcal{I}$  3U (встречное фрезерование  $B\Phi$ )  $\to O$  (фрезерование невращающейся заготовки)  $\to Y\mathcal{I}$   $\Gamma U$  (попутное фрезерование  $\Pi \Phi$ )  $\to H$   $\Gamma U$  (обкатка)  $\to YK$   $\Gamma U$  (попутное строгание)  $\to YK$   $\Pi U$  (попутное точение  $\Pi T$ ).

Таким образом, вектор передаточных отношений является комплексной характеристикой, а различные комбинации передаточных отношений определяют тип технологического зацепления, вид обработки, вид и форму траекторий формообразования. В связи с этим предложенные передаточные отношения являются основой для математического моделирования и исследования процессов циклоидального формообразования для различных способов обработки резанием.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Савелов А. А. Плоские кривые. М.: Физматгиз, 1960. 293 с.
- 2. *Литвин Ф. Л.* Теория зубчатых зацеплений. М.: Наука, 1968. 584 с.

#### CTAHKOCTPOEHME

#### и инструментальное производство

А. Н. ПОЛЯКОВ, д-р техн. наук, С. В. КАМЕНЕВ, инж., В. Н. МИХАЙЛОВ, канд. техн. наук Оренбургский государственный университет

#### Реализация параметрических моделей в инженерном анализе металлорежущих станков

Точность металлорежущего станка является важнейшим показателем его качества. Решению задачи обеспечения точности станка на различных этапах его жизненного цикла способствует широкое использование компьютерных технологий. В настоящее время ведущие станкофирмы на этапе проектирования активно используют результаты инженерного анализа конструкции станка, полученные с применением различных автоматизированных систем, реализующих метод конечных элементов, таких как CAE-системы "ANSYS", "NASTRAN", "COSMOS" и др. Универсальность САЕ-систем позволяет использовать их для проведения инженерного анализа различных элементов конструкции станка, включая определение статических и динамических характеристик, собственных частот и форм колебаний, тепловых характеристик и т. д.

Обычно детали несущей системы станка имеют сложную геометрическую форму, поэтому типовая методика конечно-элементного анализа на основе применения САЕ-систем предполагает использование нерегулярной сетки тетраэдрических конечных элементов, нанесенной на твердотельную геометрию модели. В этом случае количество конечных элементов модели может достигать десятков и сотен тысяч, что требует значительного объема вычислительных ресурсов и приводит к существенным вычислительным затратам. В качестве альтернативного варианта моделирования несущей системы станка во многих случаях анализа может быть применена методика, основанная на использовании сетки оболочковых конечных элементов, нанесенной на поверхностную геометрию модели. Модели, сформированные на основе оболочковых элементов, позволяют почти на порядок сократить вычислительные затраты при приемлемой погрешности результатов расчета (до 10 % по сравнению с твердотельными аналогами).

Многофакторный анализ конструкции станка связан с многовариантным моделированием,

предполагающим варьирование геометрических параметров модели. Изменение этих параметров в САЕ-системах возможно либо путем полного перестроения расчетной модели средствами препроцессора самой системы, либо с использованием внешних автоматизированных систем твердотельного моделирования. При расчете громоздких моделей несущей системы станка, усложненных большим количеством моделей стыков, такое перестроение чрезвычайно трудоемко. При этом определяющим фактором роста затрат на перестроение расчетной модели в САЕ-системе является модель стыка. Решение данной проблемы было найдено путем использования параметрических моделей, реализуемых с помощью макроязыка САЕ-системы. Для этого на макроязыке APDL CAE-системы "ANSYS" был разработан ряд макросов. Данные макросы обеспечили построение полностью параметризованной конечно-элементной модели несущей системы фрезерного станка 6Р11МФ3-1. Параметризованная модель несущей системы станка включала модели шести базовых деталей станка (основание, станина, консоль, салазки, стол, фрезерная головка) в совокупности с пятью моделями стыков и четырьмя моделями приводов подвижных деталей.

Разработанные макросы можно разделить на три основные группы: реализующие модели кор-

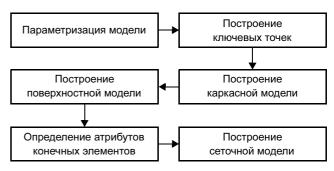


Рис. 1. Структура макроса, реализующего модель базовой детапи

пусных базовых деталей станка, стыков и обеспечивающие формирование моделей приводов.

Макросы, отвечающие за формирование моделей деталей, представляли последовательность команд, обеспечивающих поэтапное построение оболочковой конечно-элементной модели детали. Каждой из шести деталей станка соответствовал свой макрос. Структура каждого макроса рассматриваемой группы приведена на рис. 1 в виде шести блоков: в первом блоке осуществлялась параметризация модели, т. е. каждому геометрическому параметру моделируемой детали присваивался уникальный символьный идентификатор; второй содержал набор команд, создающих ключевые точки модели; третий — набор команд построения отрезков для создания каркасной модели по ключевым точкам; четвертый — построения поверхностей по сформированной каркасной модели; пятый — определяющих атрибуты конечно-элементной сетки — тип используемых конечных элементов, параметры моделей материала, наборы действительных констант выбранных элементов; шестой — отвечающих за нанесение конечно-элементной сетки на поверхностную геометрию модели. Эти команды формировали сетку оболочковых элементов с учетом действительных констант, необходимых для конечно-элементного представления каждой конкретной поверхности модели.

Макросы, обеспечивающие реализацию моделей стыков, также имели блочную структуру, приведенную на рис. 2, и разрабатывались на основе использования дискретной модели стыка. Для формирования модели стыка применяли конечные элементы в виде нелинейных пружин, обладающих возможностью использования различных параметров жесткости при растяжении и сжатии. Предварительно перед разработкой макросов был произведен ряд расчетов, направленных на определение параметров контактной жесткости стыков, жесткости винтовых соединений и т. п., не-

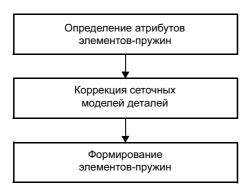


Рис. 2. Структура макроса, реализующего модель стыка

обходимых для определения констант элементов-пружин. Команды данной группы макросов можно объединить в три блока. Команды первого блока обеспечивали выбор необходимых типов конечных элементов (нелинейные и линейные пружины) и формирование наборов действительных констант, определяющих параметры жесткости пружин. Во втором блоке использовался набор команд, отвечающих за коррекцию сетки оболочковых элементов на контактирующих поверхностях сопряженных деталей. Данная коррекция заключалась в преобразовании сетки таким образом, чтобы ее форма на контактной поверхности одной детали полностью соответствовала форме сетки на контактной поверхности сопряженной детали. Команды третьего блока обеспечивали автоматическую генерацию элементов-пружин между контактирующими поверхностями деталей в количестве, равном количеству совпадающих узлов оболочковых эпементов

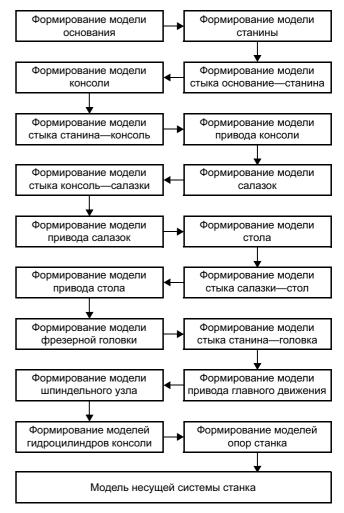


Рис. 3. Последовательность инициализации макросов при построении модели несущей системы

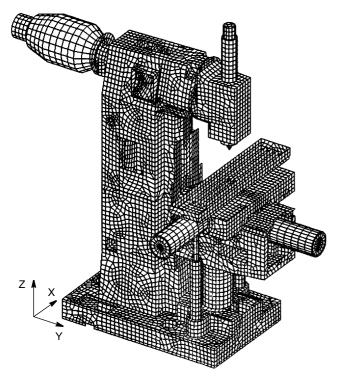


Рис. 4. Сеточная модель несущей системы станка

Макросы третьей группы содержали набор команд, инициализация которых обеспечивала построение моделей приводов на основе использования твердотельной геометрии и объемных конечных элементов. Основное назначение моделей приводов заключалось в обеспечении учета массоинерционных характеристик двигателя привода главного движения и электромеханизмов, служащих приводами подач. Модели электромеханизмов дополнительно обеспечивали учет параметров жесткости шарико-винтовых пар, что было

реализовано подбором значений модулей упругости и сдвига материала.

Кроме рассмотренных макросов были разработаны дополнительные макросы, реализующие построение моделей гидроцилиндров подпора консоли, шпиндельного узла и моделей виброопор станка. Эти модели являлись комбинированными и строились на основе сочетания различных типов элементов: объемных, оболочковых и элементов-пружин.

Процесс построения совокупной модели несущей системы станка в соответствии с описанным подходом осуществлялся в автоматизированном режиме непосредственно в среде системы "ANSYS" путем инициализации макросов в строго определенной последовательности. Для рассматриваемой компоновки станка последовательность построения модели представлена в виде восемнадцати этапов, приведенных на рис. 3.

В результате использования разработанных макросов получена модель несущей системы станка, приведенная для произвольного расположения подвижных деталей (консоль, салазки и стол) на рис. 4. Изменение этого расположения в пределах возможных перемещений осуществлялось путем повторной инициализации совокупности описанных макросов и перестроения модели при назначении новых значений для параметров, определяющих относительное положение деталей.

Количественной оценкой эффективности разработанного подхода может служить время построения модели. Например, для данной модели станка при использовании персонального компьютера Pentium IV 3200 МГц, ОЗУ 1024 Мб оно составило около 3 мин.

Для подтверждения адекватности модели выполнен сравнительный анализ результатов выполненствения выполненствения в подтавления в

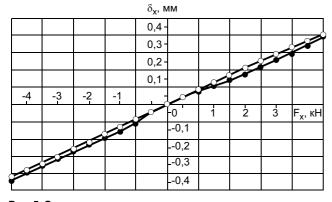


Рис. 5. Относительное перемещение стола и шпинделя станка в направлении оси X ( $\bullet$ ,  $\circ$  — экспериментальные и расчетные данные соответственно)

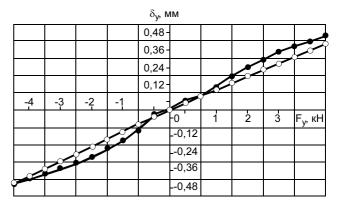


Рис. 6. Относительное перемещение стола и шпинделя станка в направлении оси У (обозначения — см. рис. 5)

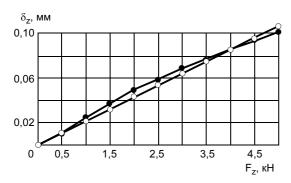


Рис. 7. Относительное перемещение стола и шпинделя станка в направлении оси Z (обозначения — см. рис. 5)

числительного эксперимента с результатами натурного эксперимента. В качестве анализируемых результатов рассматривались параметры статической жесткости станка. Статическую жесткость в ходе натурного эксперимента измеряли в соответствии с типовой методикой. Согласно методике в шпинделе станка закрепляли оправку, к которой прикладывали нагружающую силу, создаваемую нагружающим устройством, закрепленным на столе станка. Величину нагружающей силы измеряли при помощи камертонного динамометра, а величины перемещений оправки относительно стола — при помощи индикаторных головок. Измерения перемещений оправки были выполнены для трех точек рабочего пространства станка в трех координатных направлениях. При выполнении вычислительного эксперимента модель станка воспроизводилась в конфигурации, соответствующей реальной конфигурации рабочего пространства станка, использованной в ходе натурного эксперимента. Условия нагружения станка моделировали посредством наложения на модель соответствующих граничных условий. Результаты экспериментов приведены на рис. 5—7. На данных рисунках приведены зависимости относительных перемещений от приложенной нагрузки в трех координатных направлениях станка. Эти зависимости даны только для одной рассмотренной точки рабочего пространства станка, так как для остальных двух точек наблюдалась аналогичная картина.

Анализ приведенных результатов расчета показывает, что расхождение с экспериментальными данными в среднем составляет 12,7 % в направлении оси *X*, 18,2 % в направлении оси *Y* и 6,3 % в направлении оси *Z*. Как видно, максимальная погрешность расчета наблюдалась в направлении оси *Y* и связана с нелинейным характером полученной экспериментальной кривой. Нелинейный характер этой кривой можно объяснить выборкой зазоров в стыках деталей станка при постепенном увеличении нагрузки. Использованная модель стыка не позволила качественно учесть эту нелинейность, что и привело к увеличению погрешности.

В настоящее время проводятся вычислительные эксперименты по использованию предложенного подхода для автоматизированного построения динамических характеристик станка в его различных точках рабочего пространства.

#### вывод

Представленный и практически реализованный подход к созданию параметрических моделей в системах инженерного анализа позволяет существенно сократить затраты на перестроение геометрической модели станка или другой сложной технической системы (время перестроения модели измеряется минутами) и расширяет возможности использования САЕ-систем в технических приложениях при проведении многовариантных расчетов.

#### МЕХАНОСБОРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Т. В. АЛПЕЕВА, студентка, В. М. ЕМЕЛЬЯНОВ, д-р техн. наук, А. А. КОТЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук Курский государственный технический университет

## Операции при разработке перемещений для роботизированной сварки трубчатых элементов

Технология изготовления решетчатых конструкций из трубчатых элементов связана с применением ручного труда и простейших приспособлений. Например, укладка раскосов и их сборка с поясами в сборочном стенде, оснащенном винтовыми прижимами, выполняются вручную, сварка ферм производится также вручную покрытыми электродами или сварочными полуавтоматами в углекислом газе, а транспортные операции с тяжелыми деталями и фермами осуществляются с помощью цеховых кранов.

Использование роботизированных технологических комплексов (РТК) позволит снизить долю ручного труда, повысить качество и существенно увеличить производительность труда.

Точность и стабильность позиционирования деталей обеспечиваются жесткими требованиями к технологии получения заготовок деталей собираемого узла и конструкцией стенда для сборки под сварку плоских решетчатых узлов.

При разработке математических моделей сварных швов необходимо выполнить ряд операций. Под операцией следует понимать совокупность действий над одним или несколькими исходными объектами, которые приводят к созданию нового геометрического объекта [1]. К операциям можно отнести построение точек пересечения кривых, кривых и поверхностей, линий пересечения поверхностей, поверхностей скругления и поверхностей фасок. Методы таких построений являются итерационными и для того, чтобы получить искомое решение, необходимо указать некоторое нулевое (начальное) приближение искомого решения. Выполнение операции сводится к решению системы скалярных нелинейных уравнений относительно параметров поверхностей.

Задача определения корней системы нелинейных уравнений решается с помощью некоторого итерационного процесса, который шаг за шагом уточняет корни уравнения. При этом предполагается, что и на первой итерации известно некоторое приближенное значение корней системы.

На первом этапе определим линию пересечения поверхностей (цилиндров), продольные оси которых расположены под углом  $\beta$  (соединение рас-

косов с поясами трубчатых элементов). С каждой поверхностью можно связать свою систему координат *ОХУZ* и *ОХУ'Z'*. Радиусы-векторы поверхностей имеют вид

$$r'(u, v) = \rho_1 \cos(u)\overline{i_X'} + \rho_1 \sin(u)\overline{i_V'} + v\overline{i_Z'};$$

$$s(a, b) = \rho_2 \cos(a) \overline{i_x} + \rho_2 \sin(a) \overline{i_z} + b \overline{i_y}$$

при переходе от системы координат *ОХУ'Z'* к *ОХYZ* они примут вид

$$r(u,\,v)=X(u)\overline{i_x}\,+\,Y(u,\,v)\overline{i_y}\,+\,Z(u,\,v)\overline{i_z}\,;$$

$$s(a, b) = \rho_2 \cos(a) \overline{i_x} + \rho_2 \sin(a) \overline{i_z} + b \overline{i_y}$$

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

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

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

$$Z(v) = v$$
.

Тогда радиусы-векторы поверхностей имеют вид

$$r(u, v) = \rho_1 \cos(u) \overline{i_x} + \left( \frac{\rho_2}{\operatorname{tg}(\beta)} + \frac{\rho_1 \sin(u)}{\sin(\beta)} \right) \overline{i_y} + v \overline{i_z};$$

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

Каждая точка линии пересечения поверхностей должна удовлетворять векторному уравнению

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

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

$$\begin{cases} r_{1}(u, v) - s_{1}(a, b) = 0; \\ r_{2}(u, v) - s_{2}(a, b) = 0; \\ r_{3}(u, v) - s_{3}(a, b) = 0; \end{cases} \begin{cases} \rho_{1}\cos(u) - \rho_{2}\cos(a) = 0; \\ \frac{\rho_{2}}{\log(\beta)} + \frac{\rho_{1}\sin(u)}{\sin(\beta)} - b = 0; \\ v - \rho_{2}\sin(a) = 0. \end{cases}$$
(2)

Выразим параметры v, a, b через параметр u:

$$\begin{aligned} \cos(a) &= \frac{\rho_1}{\rho_2} \, \cos(u); \\ b &= \frac{\rho_2}{\text{tg}(\beta)} + \frac{\rho_1 \sin(u)}{\sin(\beta)}; \\ v &= \rho_2 \sin(a) = \sqrt{\rho_2^2 - \rho_1^2 \cos^2(u)} \end{aligned} \begin{cases} \cos(a) &= \frac{\rho_1}{\rho_2} \, \cos(u); \\ b &= \frac{\rho_2}{\text{tg}(\beta)} + \frac{\rho_1 \sin(u)}{\sin(\beta)}; \\ v &= \pm \sqrt{\rho_2^2 - \rho_1^2 \cos^2(u)} \end{aligned}$$

или

$$x = \rho_1 \cos(u) = \rho_2 \cos(a);$$

$$y = \frac{\rho_2}{\lg(\beta)} + \frac{\rho_1 \sin(u)}{\sin(\beta)};$$

$$z = \sqrt{\rho_2^2 - \rho_1^2 \cos^2(u)}.$$
(3)

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

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

В итерационных методах выполнения операций параметры геометрических объектов определяют с некоторой точностью ε. Заканчивают процесс уточнения параметров, когда на очередной итерации изменение каждого параметра по абсолютной величине становится меньше  $\varepsilon$ : ( $|x^{(k+1)}-x^{(k)}| < \varepsilon$ ). На самом деле точность решения ниже  $\epsilon$ . Вблизи точек касания решение сходится очень медленно, а в самих точках касания может расходиться. Значение некоторого параметра  $x^{(k+1)}$  на последней итерации отличается от искомого точного значения  $x^*$  на величину  $\xi \approx |x^{(k+1)} - x^*|$ , которая в несколько десятков или сотен раз может быть больше  $\epsilon$ . В то же время величина  $\varepsilon$  не должна превосходить  $10^{-n}$ , где *п* — число точных чисел в мантиссе представления параметров. Общее количество m > n значащих цифр в мантиссе представления действительных чисел в памяти компьютера является отправной точкой для определения максимальной точности, которую можно достичь численными методами.

При разработке компьютерной модели сварных швов необходимо провести проверку точности полученных уравнений линии пересечения поверхностей свариваемых деталей.

Точность компьютерных моделей позволяет обеспечить выполнение сварных швов с помощью промышленных роботов по траектории, близкой к расчетной. Тем самым повышается качество сварных соединений и стабильность их выполнения во всех сварных узлах.

Определить точность модели можно, проверив с помощью одного из численных методов параметры u, v, a, b (параметр u задается). По полученному уравнению линии пересечения известны значения параметров u, v, a, b. Если уравнение не верно, то эти значения являются не точными частными решениями векторного уравнения  $u^{(1)}, v^{(1)}, a^{(1)}, b^{(1)}$ , которое отличается от точного решения  $u^*, v^*, a^*, b^*$  на величины  $\Delta u, \Delta v, \Delta a, \Delta b$ :

$$u^* = u^{(1)} + \Delta u;$$
  
 $v^* = v^{(1)} + \Delta v;$   
 $a^* = a^{(1)} + \Delta a;$   
 $b^* = b^{(1)} + \Delta b.$ 

Погрешности  $\Delta u$ ,  $\Delta v$ ,  $\Delta a$ ,  $\Delta b$  неизвестны и подлежат определению. По методу Ньютона разложим левую часть каждого уравнения системы (2) в ряд Тейлора по степеням  $\Delta u$ ,  $\Delta v$ ,  $\Delta a$ ,  $\Delta b$  в окрестности начального приближения:

$$\begin{split} f_{i}(u^{*},\,v^{*},\,a^{*},\,b^{*}) &= r_{i}(u^{*},\,v^{*}) - s_{i}(a^{*},\,b^{*}) = \\ &= r_{i}^{(1)} - s_{i}^{(1)} + \frac{\partial r_{i}^{(1)}}{\partial u} \Delta u^{(1)} + \frac{\partial r_{i}^{(1)}}{\partial v} \Delta v^{(1)} - \frac{\partial s_{i}^{(1)}}{\partial a} \Delta a^{(1)} - \\ &- \frac{\partial s_{i}^{(1)}}{\partial b} \Delta b^{(1)} + \frac{1}{2} \frac{\partial^{2} r_{i}^{(1)}}{\partial u^{2}} (\Delta u^{(1)})^{2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^{2} r_{i}^{(1)}}{\partial v^{2}} (\Delta v^{(1)})^{2} - \\ &- \frac{1}{2} \frac{\partial^{2} s_{i}^{(1)}}{\partial a^{2}} (\Delta a^{(1)})^{2} - \frac{1}{2} \frac{\partial^{2} s_{i}^{(1)}}{\partial b^{2}} (\Delta b^{(1)})^{2} + \dots, \end{split}$$

где  $r_i^{(1)}$ ,  $s_i^{(1)}$  — компоненты радиусов-векторов r(u,v) и s(a,b) на начальном приближении;  $\frac{\partial r_i^{(1)}}{\partial u}$ ,  $\frac{\partial r_i^{(1)}}{\partial v}$ ,  $\frac{\partial s_i^{(1)}}{\partial a}$ , — частные производные на начальном приближении; i=1,2,3. Левую часть этого выражения можно заменить нулем, так как  $r_i(u^*,v^*)-s_i(a^*,b^*)=0$ , а в правой части отбросим величины второго по-

рядка малости и выше. Тогда система (2) примет

$$\frac{\partial r_{1}^{(1)}}{\partial u} \Delta u^{(1)} + \frac{\partial r_{1}^{(1)}}{\partial v} \Delta v^{(1)} - \frac{\partial s_{1}^{(1)}}{\partial a} \Delta a^{(1)} - \frac{\partial s_{1}^{(1)}}{\partial b} \Delta b^{(1)} =$$

$$= r_{1}^{(1)} - s_{1}^{(1)};$$

$$\frac{\partial r_2^{(1)}}{\partial u} \Delta u^{(1)} + \frac{\partial r_2^{(1)}}{\partial v} \Delta v^{(1)} - \frac{\partial s_2^{(1)}}{\partial a} \Delta a^{(1)} - \frac{\partial s_2^{(1)}}{\partial b} \Delta b^{(1)} =$$

$$= r_2^{(1)} - s_2^{(1)};$$

$$\begin{split} \frac{\partial r_3^{(1)}}{\partial u} \Delta u^{(1)} + \frac{\partial r_3^{(1)}}{\partial v} \Delta v^{(1)} - \frac{\partial s_3^{(1)}}{\partial a} \Delta a^{(1)} - \frac{\partial s_3^{(1)}}{\partial b} \Delta b^{(1)} = \\ &= r_3^{(1)} - s_3^{(1)} \,. \end{split}$$

Следующее приближение параметров:  $u^{(2)} = u^{(1)} + \Delta u^{(1)}, \ v^{(2)} = v^{(1)} + \Delta v^{(1)}, \ a^{(2)} = a^{(1)} + \Delta a(1),$  $b^{(2)} = b^{(1)} + \Delta b^{(1)}$ . Процесс уточнения параметров заканчивают, когда на очередной итерации изменение каждого параметра по абсолютной величине становится меньше  $\varepsilon$ :  $|u^{k+1}-u^k|<\varepsilon$ ,  $|v^{k+1}-v^k|<\varepsilon$ ,  $|a^{k+1}-a^k|<\varepsilon$ ,  $|b^{k+1}-b^k|<\varepsilon$ .

Определим параметры v, a, b при  $u = 30^{\circ}$ . В данном случае нет необходимости определять  $\Delta u$ , так как параметр и задан изначально. Вычисления производим с помощью программы MathCAD в следующей последовательности:

1. Задаем значение параметра  $u = 30^{\circ} (u =$ = 0,524 рад), приближенные значения параметров v, a, b (рассчитываются по уравнениям (3):

$$u = 0.524$$
,  $v = 5$ ,  $a = 0.7$ ,  $b = 7.5$ ,  $\beta = 1.047$ ,  $\rho_1 = 6$ ,  $\rho_2 = 7$ .

2. Задаем компоненты радиусов-векторов поверхностей и определяем их частные производные:

$$r_1(u, v) = \rho_1 \cos(u), \quad r_2(u, v) = \left(\frac{\rho_2}{\tan(\beta)} + \rho_1 \frac{\sin(u)}{\sin(\beta)}\right),$$

$$r_3(u, v) = v$$
,  $s_1(a, b) = \rho_2 \cos(a)$ ,  $s_2(a, b) = b$ ,  $s_3(a, b) = \rho_2 \sin(a)$ ,

$$\frac{d}{du}r_1(u, v) = -3,002, \quad \frac{d}{dv}\rho_1(u, v) = 0,$$

$$\frac{d}{du}r_2(u, v) = 5,999, \quad \frac{d}{dv}r_2(u, v) = 0; \quad \frac{d}{du}r_3(u, v) = 0,$$

$$\frac{d}{dr}r_{s}(u,v) = 1 \quad \frac{d}{dr}s_{s}(a,b) = 451 \quad \frac{d}{dr}s_{s}(u,v) = 0$$

$$\frac{d}{dv} r_3(u, v) = 1, \ \, \frac{d}{da} s_1(a, b) = 4,51, \ \, \frac{d}{db} s_1(u, v) = 0;$$

$$\frac{d}{da}s_2(a, b) = 0$$
,  $\frac{d}{db}s_2(a, b) = 1$ ,  $\frac{d}{da}s_3(a, b) = 5,354$ ,

$$\frac{d}{db}\,s_3(a,\,b)=0.$$

3. Задаем приближенные значения приращений параметров, составляем уравнения:

$$\Delta v = 0.01$$
,  $\Delta a = 0.01$ ,  $\Delta b = 0.01$ ;

Given

$$\frac{d}{dv}r_1(u, v)\Delta v - \frac{d}{da}s_1(a, b)\Delta a - \frac{d}{db}s_1(a, b)\Delta b =$$

$$= s_1(a, b) - r_1(u, v);$$

$$\frac{d}{dv}r_2(u, v)\Delta v - \frac{d}{da}s_2(a, b)\Delta a - \frac{d}{db}s_2(a, b)\Delta b =$$

$$= s_2(a, b) - r_2(u, v);$$

$$\frac{d}{dv}r_3(u, v)\Delta v - \frac{d}{da}s_3(a, b)\Delta a - \frac{d}{db}s_3(a, b)\Delta b =$$

$$= s_3(a, b) - r_3(u, v);$$

Find 
$$(\Delta v, \Delta a, \Delta b) = \begin{bmatrix} -0,302\\0,035\\0,01 \end{bmatrix}$$
.

4. Так как найденные значения приращений параметров больше  $\varepsilon$  = 0,01, определим следующее приближение параметров:

$$v_1 = v - 0.302$$
,  $v_1 = 4.698$ ,  $a_1 = a + 0.035$ ,  $a_1 = 0.735$ ,  $b_1 = b + 0.01$ ,  $b_1 = 7.51$ .

Далее, производя вычисления по пунктам 1—3, получим

$$(\Delta v, \Delta a, \Delta b) = \begin{bmatrix} -6.25 \cdot 10^{-3} \\ -4.544 \cdot 10^{-4} \\ 2.001 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix}.$$

Поскольку приращения на втором приближении меньше  $\varepsilon$  = 0,01, заканчиваем процесс уточнения параметров.

Для реализации полученных зависимостей координат х, у, z рассмотрим механическую манипуляционную систему сварочного робота с дискретным (шаговым приводом), работающим в прямоугольной системе координат [2]. В общем случае эта механическая система должна обеспечивать перемещение инструмента по произвольной криволинейной траектории в пространстве и ориентацию инструмента под заданным углом к направлению сварки. Для обеспечения такого движения манипулятор, работающий в прямоугольной системе координат, должен иметь как минимум пять независимых движений: три по координатам х, у, z и два угловых фи у.

Для перемещения по пространственной траектории (сварка двух цилиндрических поверхностей приварка раскосов и стоек к поясам ферм из труб) необходимо управлять сразу пятью движениями

(перемещения инструмента и его ориентации) с соблюдением заданной скорости.

Для перемещения по заданной координате на двигатель выдается заданное количество импульсов, после отработки которых звено манипулятора перемещается в заданное положение. Погрешность определяется перемещением на один импульс. Начальное положение координат отсчитывается от датчика исходного положения.

Для упрощения задачи управления движением инструмента в манипуляторе применен механизм ориентации, который обеспечивает поворот сварочного инструмента вокруг точки сварки, т. е. при ориентации сварочного инструмента точка сварки остается неподвижной. Траектория точки сварки рассчитывается по трем координатам x, y, z, а ориентация по координатам  $\phi$  и  $\phi$  не изменяет положения точки сварки, т. е. они являются дополнительными, определяющими направление сварочного инструмента.

Например, для сварки трубчатых элементов угол наклона  $\gamma$  сварочного инструмента можно оставлять постоянным и, задавая приращение угла поворота  $\phi$ , определять координаты x, y, z по формулам линии пересечения поверхностей (угол  $\phi$  в данном случае сходен с параметром u).

Таким образом, использование робота с механизмом ориентации, не влияющим на положение

точки сварки, позволяет решать задачу перемещения точки сварки по заданной траектории в системе координат x, y, z с заданной скоростью, используя простые законы управления, и одновременно независимо управлять ориентацией сварочной горелки по координатам  $\phi$  и  $\gamma$ .

#### выводы

- 1. Разработаны математические модели сварных швов при соединении трубчатых элементов, позволяющие обеспечить выполнение роботизированной сварки по траектории, близкой к расчетной.
- 2. Проведена проверка точности полученных уравнений линии пересечения поверхностей свариваемых деталей.
- 3. Для практической реализации полученных зависимостей координат *x*, *y*, *z* предложена механическая манипуляционная система сварочного робота с дискретным (шаговым приводом), работающим в прямоугольной системе координат.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Голованов Н. Н. Геометрическое моделирование. М: Издательство физико-математической литературы, 2002. 472 с.
- Программное обеспечение промышленных роботов // Робототехника и гибкие производственные системы. М.: Наука, 1986. 279 с.

## 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.

## TEXHOJOTAN ITOJYTEHISI HEPASTEMITISIX COEJINHEHISÄ

Ф. ВИНКЛЕР, инж.

Böhler Schweisstechnik Austria GmbH (Австрия)

## Эффективное применение порошковых проволок при дуговой сварке

Применение порошковых проволок стало неотъемлемой частью сварочной технологии в различных отраслях промышленности. В последние десятилетия преимущества порошковых проволок обеспечивают устойчивый рост их потребления на европейском рынке. Данная тенденция, наблюдаемая в Японии и США с 1980-х годов, обеспечила завоевание приблизительно 30 % рынка этих стран.

Компания Böhler Welding определила эту тенденцию еще на раннем этапе и занимается разработкой и производством данных материалов многие годы. В 2004 г. компания завершила строительство совершенно нового завода по производству порошковой проволоки. Модернизированные в 2006 г. производственные мощности в Капфенберге (Австрия) обеспечивают ежегодный выпуск 1500 т средне- и высоколегированной порошковой проволоки. Компания производит порошковые проволоки высочайшего качества, предназначенные для обширного диапазона областей применения. Нелегированные порошковые проволоки производятся учрежденным в Европе совместным предприятием.

К существенным преимуществам порошковых проволок относятся:

- 1. Повышенная производительность:
- более высокая скорость наплавки, особенно для позиционной сварки с применением проволок Böhler PW-Wire;
  - 2. Удобство использования:
- большой предел допусков сварочных параметров, т. е. более удобная для пользователя технология сварки;
  - струйный перенос электродного металла;
- 3. Снижение риска ошибок при выполнении сварного шва:
- шлак и защитный газ обеспечивают двойную защиту сварочной ванны;
- минимальный риск образования пористости, даже для сварки, выполняемой при монтаже;
- гарантированный провар, сниженный риск недостаточного проплавления;
  - 4. Сниженные общие расходы:
  - снижение времени сварки и простоев.
- В настоящее время недостатком порошковых проволок является их более высокая стоимость по сравнению с проволоками сплошного сечения. Тем

не менее благодаря уменьшению времени сварки и простоев общие расходы все-таки сокращаются.

Приведенные ниже примеры представляют лишь малый спектр возможностей применения, в которых дуговая сварка с использованием порошковой проволоки успешно заменяет другие сварочные процессы и присадочные материалы. Данные примеры относятся исключительно к сварке с применением проволок.

#### Сварка углеродистых сталей

Характерный пример — сварка стальных конструкций в различных пространственных положениях (рис. 1) с использованием порошковых проволок с рутиловым наполнением<sup>1</sup>.

На рис. 2 приведено днище сосуда (ASTM SA 516 Gr. 70) с толщиной стенки 110 мм. В целях экономии при такой толщине стенки обычно применя-



Рис. 1. Каркас крыши, сваренный проволокой Böhler Ti 52-FD

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Автор благодарит все компании, предоставившие иллюстрации для печати.



Рис. 2. Сварное днище сосуда

ют дуговую сварку под флюсом. В ходе подробного сравнения сварочных процессов, выполненного фирмой Schoeller Bleckmann Nooter Apparatetechnik GmbH, установили, что сварка с применением проволоки Böhler Ti 52-FD позволяет получить требуемые механические свойства и обеспечивает экономические преимущества. Один из основных аргументов в пользу применения порошковой сварочной проволоки — ее пригодность для позиционной сварки.

При применении порошковой проволоки наблюдается существенное увеличение скорости процесса, особенно при позиционной сварке.

Ниже приведены примеры применения высоколегированных, коррозионно-стойких порошковых проволок в различных отраслях промышленности.

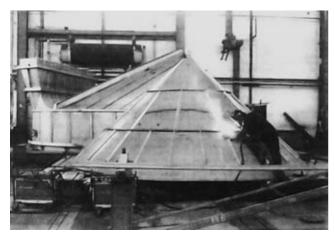


Рис. 3. Влажный фильтр (корневой слой — сварка с использованием электрода с покрытием FOX CN22/9N и сварочной проволоки CN 22/9 N-IG (TIG, GTAW — дуговая сварка вольфрамовым электродом в газовой среде соответственно), заполняющий и облицовочный слои — сварка CN 22/9 N-FD

# Сварка высоколегированных материалов в химической и нефтехимической промышленности и объектов морского базирования

На рис. З показано изготовление влажного фильтра для установки химической регенерации (сульфат магния) на заводе АЕЕ (Австрия). С учетом коррозионной нагрузки применена двухфазная аустенитно-ферритная дуплексная сталь W. Nr. 1.4462 (UNS 31803), сваренная порошковой проволокой Böhler с аналогичными свойствами.

Благодаря возможности беспроблемного использования на открытом воздухе порошковые проволоки особенно подходят для сварки емкостей для хранения химических веществ (рис. 4). Двойная защита сварочной ванны обеспечивает очень малую чувствительность к ветру и в результате достигается меньшая предрасположенность к порообразованию.

Для транспортных средств пожарных служб, использующих воду промышленного водоснабжения в противопожарных целях, баки для воды из коррозионно-стойкой стали сваривают порошковой проволокой W. Nr. 1.4571 (AISI 316Ti) (рис. 5).

Дополнительным преимуществом применения является увеличенная скорость сварки и, как следствие, более низкое тепловложение и снижение деформации соединений. Следовательно, затраты на повторную обработку снижаются.

Паровые душирующие установки, применяемые в целлюлозно-бумажной промышленности для повторного увлажнения бумажного полотна с целью снижения риска разрыва, с толщиной стенки 5 мм

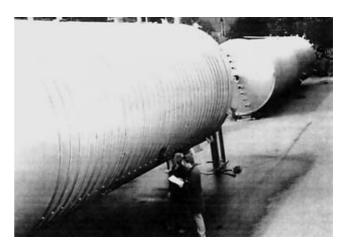


Рис. 4. Бак хранения химических веществ, изготовленный для завода Apparateban Schweisstechnik (Австрия) из материалов 1.4301 (AISI 304) и 1.4541 (AISI 316Ti), средней шириной 4 м и длиной 20 м, толщина стенок 5 мм, сварен с использованием порошковых проволок Böhler EAS 2-FD и EAS 2PW-FD

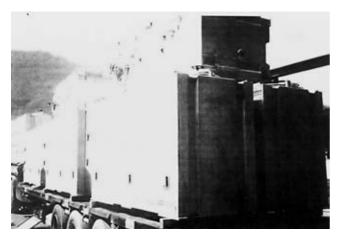


Рис. 5. Баки для воды, изготовленные для завода Iveco (Италия) из материала W. Nr. 1.4571 (AISI 316Ti), толщина стенки 3 мм, порошковая проволока Böhler SAS 4-FD



Рис. 6. Паровые душирущие установки для завода Volth Paper Heidenhoim (Германия) из стали 1.4404 (mod.) (AISI 316L), толщина стенки 5 мм. Угловые и V-образные швы со скосом одной кромки сварены с использованием порошковой проволоки Böhler EAS 4M-FD диаметром 1,2 мм



сваривают порошковой проволокой Böhler EAS 4M-FD (рис. 6).

Платформы морского базирования в целях безопасности должны быть оборудованы тщательно разработанными системами пожаротушения. Использование морской воды приводит к коррозионной нагрузке материалов труб. Благодаря исключительной стойкости к образованию питтинговой коррозии дуплексные материалы идеальны для таких областей применения (рис. 7).

На рис. 8 показан сварной полимеризатор для изготовления синтетических материалов. Для сварки соединений из аустенитной стали 1.4541 (AISI 321) использовали проволоку EAS 2-FD, а для

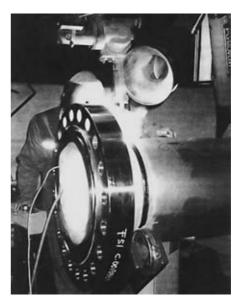


Рис. 7. Сварное соединение трубы и фланца из стали 1.4462 (UNS 31803), сваренное порошковой проволокой CN 22/9 N-FD диаметром 1,2 мм (завод Visser Smith Hanab, Нидерланды)

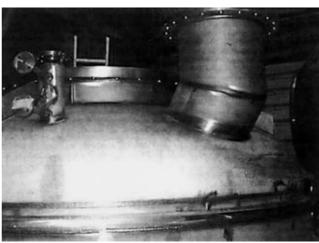


Рис. 8. Полимеризатор для изготовления синтетических материалов (завод ACE-AG, Christoph Group, Австрия)



Рис. 9. Соединение разнородных материалов (завод Andritz AG, Австрия)



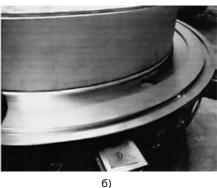


Рис. 10. Защитный кожух печи (а) и поддон (б) для отжига (завод Ebner Furnaces, Inc., Leonding, Автрия)

a)

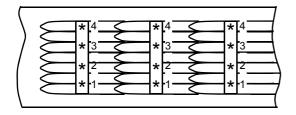
разнородных соединений из аустенитной и углеродистой стали — CN23/12 Mo-FD.

### Соединения разнородных материалов и наплавка

Порошковые проволоки применяют для сварки различных соединений из разнородных материалов.

На рис. 9 приведено соединение разнородных материалов из мелкозернистых конструкционных сталей с высоколегированной CrNiMo — сталью W. Nr. 1.4404 (AISI 316), полученное с применением порошковой проволоки CN 23/12 Mo-FD.

Присадочные материалы на никелевой основе применяют для сварки соединений разнородных



Содержание ферритной фазы согласно Förster 1.053 в точках 1—4
Точка 1 Точка 2 Точка 3 Точка 4
I 9 10 12 11
II 6 6 7 7

Ш

5



Рис. 11. Наплавка на основной материал — сталь 13CrMo45 (A335, Cr. 911) с использованием проволоки CN 23/12 Mo-FD и EAS-4M-FD диаметром 1,2 мм: /—/// — сварочный проход

материалов, эксплуатируемых при рабочих температурах выше 350 °C.

На рис. 10 приведены защитный кожух печи отжига и поддон для отжига, изготовленные из низкоуглеродистой стали (фланец) и стали W. Nr. 1.4541 (AISI 321) (труба) соответственно. Сварку в нижнем положении выполняли недавно разработанной порошковой проволокой на никелевой основе Böhler NIBAS 70/20-FD диаметром 1,6 мм в защитном газе — аргон + 18 % CO<sub>2</sub>.

Преимущество порошковых проволок на никелевой основе заключается в простоте их использования. Струйный перенос обеспечивается даже в самом низком диапазоне параметров сварки и при этом достигается перенос материала практически без брызг. Можно использовать стандартные защитные газы без каких-либо ограничений.

Порошковую проволоку также применяют для антикоррозионной наплавки широкого спектра различных материалов.

На рис. 11 приведены результаты одно-, двух- и трехслойной наплавки CrNiMo — теплоустойчивого материала (13CrMo45) (A335, Cr. 911). Высоколегированную порошковую проволоку Böhler CN 23/12 Mo-FD) диаметром 1,2 мм использовали для выполнения первого наплавочного прохода, а проволоку EAS 4M-FD диаметром 1,2 мм — для остальных проходов. В наплавленном металле второго прохода содержание ферритной фазы превышает 6—7 %.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование порошковых проволок при дуговой сварке практически не имеет ограничений, что, принимая во внимание их эффективность, позволяет предположить дальнейшее возрастание объемов и областей их применения.

Последние несколько лет компания Böhler Welding интенсивно работала над разработкой и производством различных высоколегированных присадочных сварочных материалов. Компания продолжит работу в данной области и в будущем.

Н. Ф. ЛУКИНА, канд. техн. наук, Л. И. АНИХОВСКАЯ, канд. техн. наук, Л. А. ДЕМЕНТЬЕВА, инж., А. П. ПЕТРОВА, д-р техн. наук, Т. Ю. ТЮМЕНЕВА, инж. ФГУП "ВИАМ" ГНЦ РФ

## Клеи и клеящие материалы для изделий авиационной техники

ФГУП "ВИАМ" является головным предприятием авиационной отрасли по разработке клеев и клеящих материалов на их основе. За годы деятельности лаборатории клеев разработан широкий ассортимент клеев и клеящих материалов, нашедших применение практически во всех изделиях авиационной техники:

- клеи конструкционного назначения, в том числе высокопрочные и высокоэластичные пленочные клеи горячего отверждения и высокопрочные пастообразные клеи холодного отверждения;
- композиционные клеевые материалы на основе клеящих матриц и стекло- и угленаполнителей;
- алюмополимерные композиционные материалы класса СИАЛ;
- клеи специального назначения, в том числе термостойкие, резинотехнического назначения;
- самоклеящиеся материалы на основе алюминиевой фольги, защитное пленочное покрытие.

Высокопрочные пленочные и пастообразные клеи конструкционного назначения с широким диапазоном прочностных и деформационных свойств не уступают лучшим зарубежным аналогам. Клеи предназначены для изготовления сотовых и слоистых силовых конструкций из металлов и полимерных композиционных материалов. Клеевые соединения обладают высокой длительной прочностью, вибростойкостью, стойкостью против образования трещин, воздействия климатических факторов и агрессивных сред. В табл. 1 представлены характеристики пленочных клеев конструкционного назначения: прочность  $\tau_{\rm B}$ , прочность при отрыве  $\sigma_{\rm B}$ , прочность при расслаивании  $S_{\text{paccn}}$ , относительное удлинение при сдвиге  $\gamma$ , длительная прочность  $\sigma_{\pi,\Pi}$ , вибростойкость  $\tau_{\text{max}}$  (на базе 10 чиклов).

Высокопрочные клеи обеспечивают высокие ресурс и надежность конструкций при эксплуатации и снижение трудоемкости при их изготовлении.

Клеи широко применяют в изделиях военной, гражданской и транспортной авиационной и вертолетной техники (МиГ-23, 25, 29, 31, Cy-25, 27, 32, 35, Ми-8, 10, 24, 34 и их модификациях) [1—4].

Решена задача по разработке новых клеев взамен снятых с производства высокопрочных пленочных клеев конструкционного назначения ВК-41 и трудносгораемого ВК-46. Разработан пленочный клей ВК-41М конструкционного назначения, предназначеный для применения в сотовых конструкциях. Сравнительные свойства клеевых соединений на основе клеев ВК-41М и ВК-41 приведены в табп. 2.

Клеевые соединения на основе клея ВК-41М характеризуются высокими прочностными свойствами при температуре от 20 до 80 °С после воздействия различных факторов: воды, камеры тропического климата, влажности  $\phi$  = 98 %, термостарения.

Взамен клея ВК-46 разработан пленочный трудносгораемый с пониженным дымовыделением клей ВК-46Б конструкционного назначения, предназначенный для склеивания сотовых конструкций из металлических и неметаллических материалов, в том числе с пониженной горючестью. Прочностные характеристики клеевых соединений на основе клеев ВК-46 и ВК-46Б приведены в табл. 3.

Производство клеев ВК-41М и ВК-46Б полностью обеспечено отечественным сырьем.

Начиная с 1985 г. интенсивно развиваются работы по созданию нового класса конструкционных материалов — долгоживущих клеевых препрегов (композиционные материалы клеевые КМК), в которых высокопрочные клеи применяются в качестве

Таблииа 1

|                          | 14                                 | Прочностные характеристики       |                      |                           |                         |                                       |  |  |
|--------------------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--|--|
| Клей                     | Интервал рабочих<br>температур, °С | т <sub>в</sub> , МПа             | σ <sub>в</sub> , МПа | S <sub>рассл</sub> , Н/мм | γ, %                    | σ <sub>д.п</sub> , МПа<br>(время, ч)  | <sup>т</sup> max<br>при <i>N</i> = 10 <sup>7</sup> циклов, МПа |  |
| BK-25<br>BK-36           | -60200<br>-130160                  | 27<br>37 ± 2,5                   | 22<br>50             | 5—6<br>2—3                | 140—200<br>80—100       | 18,5 (500)<br>34 (500)<br>33 (100)    | 9<br>8   |  |
| BK-50<br>BK-51<br>BK-51A | -60—150<br>-60—80<br>-69—80        | 25 ± 5<br>40 ± 2,5<br>37,5 ± 2,5 | 25 ± 5<br>—<br>—     | 10<br>3<br>3              | 135—150<br>70—120<br>40 | 17 (5000)<br>32,4 (500)<br>22,4 (500) | 10<br>9<br>9   |  |

Таблица 2

|  | BK-41M BK-41              |      |      |      |  |
|--|---------------------------|------|------|------|--|
| Показатель   | Температура испытания, °С |      |      |      |  |
|  | 20                        | 80   | 20   | 80   |  |
| Предел прочности при сдвиге τ <sub>в</sub> , МПа                               | 35,0                      | 32,6 | 32,5 | 25,0 |  |
| Предел прочности при рас-<br>слаивании Ѕ <sub>рассл</sub> , Н/мм               | 3                         | 3    | 3    | 2,8  |  |
| Предел прочности при отслаивании S <sub>отсл</sub> , H/мм                      | 6                         | 6    | 4    | 4    |  |
| Предел прочности при отдире обшивки от сот <i>М</i> <sub>отд</sub> , Н · мм/мм | 10                        | _    | 9    | _    |  |

клеевой матрицы с регулируемыми свойствами для получения требуемых прочностных, деформационных и вязкоупругих характеристик. В качестве наполнителей клеевых препрегов используются стекло- и углеродные ленты и ткани — однонаправленные, равнопрочные, в том числе на основе высокомодульных волокон (КМКС и КМКУ соответственно). Отличительная особенность КМКС и КМКУ — возможность изготовления за одну технологическую операцию высоконагруженных конструкций из стекло- и углепластика (в том числе с сотовым заполнителем) одинарной и сложной кривизны. Применение КМК позволяет:

- снизить цикл изготовления конструкций в 2—3 раза; трудоемкость изготовления сотовых конструкций на 40—50 % по сравнению с обычными клееными панелями за счет сокращения технологических операций в 3 раза; количество оснастки в 1,5—2 раза; массу конструкции (особенно с сотовым заполнителем) на 30—50 %; количество выбросов вредных веществ в атмосферу в 10—15 раз за счет использования безрастворной технологии изготовления клеевых препрегов и изделий из них;
- повысить герметичность конструкций из ПКМ в 10 раз; трещиностойкость — на 40—50 %; прочность при межслоевом сдвиге — на 20—35 %.

направленной модификации состава клеевой матрицы достигнуто повышение теплостойкости клеевых препрегов с 80 до 120 °C (КМКС-2м-120 и КМКУ-2м-120), 150 °C (КМКУ-3-150) и 175 °C (КМКС-4-175). При температуре 120 и 150 °C материалы работают длительно, а при 175 °C — кратковременно. Использование в составе этих клеевых препрегов большого ассортимента стекло- и угленаполнителей позволило варьировать свойства КМК в широких пределах (табл. 4).

Разработанные КМК — одни из наиболее персполтивных полимерных материалов. Их применя.

Первый этап работ в этом направлении — разработка КМК с рабочей температурой 80 °C. Путем

Разработанные КМК — одни из наиболее перспективных полимерных материалов. Их применяют практически во всех современных изделиях авиационной, вертолетной и ракетно-космической техники. Эти материалы широко и с положительным эффектом опробованы для создания деталей и агрегатов из ПКМ сотовых и интегральных конструкций новых изделий авиационной техники. Потребность в материалах КМК в настоящее время составляет сотни тысяч квадратных метров.

С применением клеевых препрегов разработаны слоистые алюмополимерные материалы — СИАЛы, что явилось логическим шагом в развитии идеи, технологии и опыта широкого применения в авиации слоистых клееных алюминиевых соединений и конструкций, обладающих повышенной надежностью и ресурсом работы.

Широкое разнообразие структур и свойств слоистых композиционных материалов позволяет конструктору выбрать соответствующий материал для определенных целей. Число, толщина, соотношение слоев, строение слоя стеклопластика, состав и состояние поверхности алюминиевых листов зависят от назначения слоистого материала. Наиболее типичные структуры — трехслойная (два алюминиевых листа + один слой стеклопластика) и пятислойная (три алюминиевых листа + два слоя стеклопластика). Создание необходимой анизотропии свойств в соответствии с условиями работы конструкции регулируется перекрестным армированием слоев пластика. В СИАЛ-2 они содержат около 70 % стекловолокон в одном направлении

Таблица 3

|   | ВК-                                 | 46Б  | BK-46 |        |  |
|---|-------------------------------------|------|-------|--------|--|
| Показатель  | Температура испытания, <sup>с</sup> |      |       | ия, °С |  |
|   | 20                                  | 80   | 20    | 80     |  |
| Предел прочности при сдвиге т <sub>в</sub> , МПа          | 35,3                                | 28,2 | 30,0  | 20,0   |  |
| Предел прочности при отслаивании S <sub>отсл</sub> , H/мм | 6,8                                 | 6,3  | 4,8   | 4,5    |  |
| Предел прочности при отрыве $\sigma_{or}$ , МПа           | 5,8                                 | 5,2  | 5,7   | 5,0    |  |

Таблица 4

| Показатель  | КМКС-2<br>м-120       | КМКУ-2<br>м-120             | КМКУ-3<br>-150 | KMKC-4<br>-175       |
|---|-----------------------|-----------------------------|----------------|----------------------|
| Прочность при растяжении, МПа Модуль упругости при растяжении, ГПа  | 330—<br>1300<br>20—42 | 880—<br>2090<br>110—<br>130 | 1020<br>130    | 450—<br>600<br>22—29 |
| Прочность при<br>сжатии, МПа<br>Модуль упругости<br>при сжатии, ГПа | 490—<br>750<br>—      | 880—<br>990<br>100—<br>125  | 1050<br>105    | 560—<br>630<br>—     |

и около 30 % в перпендикулярном, в СИАЛ-3 — 50 и 50 % соответственно.

Материалы СИАЛ превосходят по сопротивлению усталости, вязкости разрушения, статическим механическим свойствам, ударо- и огнестойкости монолитные листы из традиционных алюминиевых сплавов, которые в настоящее время применяются в авиации. Слоистые материалы также имеют пониженную плотность.

Важнейшим преимуществом слоистых композитов типа СИАЛ перед алюминиевыми листами является высокая трещиностойкость, особенно чрезвычайно высокое сопротивление росту трещины усталости, определяющее надежность и ресурс работы самолетных конструкций.

Разработки последних лет расширили ассортимент алюмополимерных материалов класса СИАЛ. Разработанные раннее СИАЛы на базе листов алюминиевого сплава Д16чАТ и клеевого препрега КМКС 1.80.Т60 с теплостойкостью 80 °C наряду с повышенной (в 1,5—2,0 раза) прочностью и другими преимуществами по сравнению с монолитными листами из сплава Д16чАТ обладали пониженным на 10-30 % модулем упругости при растяжении. В связи с этим актуальной являлась задача по созданию материала СИАЛ на базе алюминий-литиевого сплава 1441, обладающего в сравнении со сплавом Д16чАТ повышенным модулем упругости ( $E \sim 8000 \,\mathrm{M}\Pi a$ ), пониженной плотностью ( $d \sim$ ~ 2,59 г/см<sup>3</sup>) и повышенной температурой эксплуатации (~130 °C).

Разработаны материалы СИАЛ на базе сплава 1441 и теплостойкого препрега КМКС 2.120.Т60 на основе кордной ткани Т-60 из высокомодульного волокна ВМП, предназначенные для эксплуатации при температуре до 120 °C: СИАЛ-1-1, в котором волокна основы кордной ткани Т-60 расположены в одном направлении (0/0), и СИАЛ-3-1, в котором соотношение волокон основы в долевом и поперечном направлениях 0/90°.

Следующим этапом стали работы по созданию материала СИАЛ на базе сплава 1441 и клеевого препрега на основе ровинга из высокомодульного стекловолокна, что позволило повысить жесткость *E* на 10—15 %, температуру эксплуатации — на 50 °C; снизить массу конструкций на 5—10 %. В табл. 5 представлены сравнительные характеристики материалов класса СИАЛ на базе листов сплава 1441 (рабочая температура 120 °C).

Таблица 5

| Материал  | σ, МПа | <i>Е</i> , ГПа | <i>d</i> , г/см <sup>3</sup> |
|-----------|--------|----------------|------------------------------|
| СИАЛ-1-1  | 900    | 69             | 2,36                         |
| СИАЛ-3-1  | 600    | 55             | 2,36                         |
| СИАЛ-1-1Р | 990    | 70             | 2,35                         |
| Д16чАТ    | 430    | 70             | 2,70                         |

Разработанные СИАЛы на базе сплава 1441 имеют высокие трещиностойкость, удельную прочность, стойкость против усталостных нагрузок, коррозионную стойкость в сочетании с пониженной плотностью. Применение таких материалов в качестве элементов конструкций новых изделий авиационной техники позволит решить важнейшую задачу повышения прочности, надежности и ресурса работы при одновременном снижении весовых характеристик, что обеспечивает достижение высоких эксплуатационных свойств<sup>1</sup>.

Большое значение имеет разработка клеев для комбинированных соединений: ВК-9, ВК-27 холодного отверждения и ВК-37 и ВК-39 горячего отверждения. Эти клеи предназначены для склеивания металлов и различных неметаллических материалов в клеевых и комбинированных (клееклепаных, клеесварных, клеерезьбовых) соединениях в различных отраслях промышленности [5].

Клеевые соединения, выполненные с применением этих клеев, имеют высокую водо- и тропикостойкость и обеспечивают снижение массы по сравнению с клепаными конструкциями.

Клеи ВК-37, ВК-39, отверждающиеся при повышенной температуре (120 °C, 3 ч), обеспечили получение клееклепаных и клеесварных конструкций с высоким ресурсом и надежностью.

Большое значение имеют клеи холодного отверждения и при ремонте авиационной техники. В настоящее время почти во всех изделиях отечественной авиационной и космической техники эксплуатируются клееные агрегаты сотовой и слоистой конструкций из АІ-сплавов и полимерных композиционных материалов. В ФГУП "ВИАМ" разработан новый высокопрочный двухкомпонентный клей холодного отверждения ВК-67, который превосходит все ранее разработанные клеи этого класса. Клей ВК-67 превосходит клей ВК-27 по прочности на 20 и 75 % при температуре испытания 20 и 80 °C соответственно, по эластичности — в 3—4 раза, теплостойкости (температура эксплуатации 125 вместо 80 °C) и технологичности — обеспечивает возможность ремонта в условиях повышенной влажности и на влажных поверхностях при температуре не ниже 12 °C.

Свойства клеев холодного отверждения приведены в табл. 6.

Клеи для комбинированных соединений ВК-37, ВК-39, отверждающиеся при температуре 120 °С в течение 3 ч, позволили получить клееклепаные и клеесварные конструкции с высокими ресурсом и надежностью.

В последнее время разработаны новые клеи для приборной техники взамен снятых с производства.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Работы проводились под руководством академика РАН И. Н. Фридляндера сотрудниками лаборатории клеев Л. И. Аниховской, А. А. Ляминым и др. и лаборатории алюминиевых сплавов — О. Г. Синаторовой и В. В. Сидельниковым.

Таблица 6

| Показатель                           | Температура<br>испытания, °С | ВК-9         | B-27          | BK-67          |
|--------------------------------------|------------------------------|--------------|---------------|----------------|
| Прочность при<br>сдвиге, МПа         | 20<br>80<br>125              | 15<br>—<br>4 | 25<br>10<br>— | 30<br>19<br>10 |
| Прочность при от-<br>слаивании, кН/м | 20                           | 1—2          | 2—3           | 3—5            |

Разработан токопроводящий клей ВКП-11 взамен клея ВКП-6, в составе которого содержится компонент, выпускаемый за пределами РФ. Клей ВКП-11 рекомендуется для склеивания алюминиевых сплавов, коррозионно-стойкой стали, латуни и меди, для создания электрического контакта в конструкциях, работающих в интервале температур от -60 до 120 °C, в том числе при температуре 120 °C в течение 1000 ч. Удельное объемное сопротивление клея при 20 °C не превышает  $5 \cdot 10^{-4}$  Ом · м. Клей ВКП-11 не содержит в своем составе драгметаллов [6].

Сравнительные свойства токопроводящих клеев ВКП-6 и ВКП-11 приведены в табл. 7.

Термостойкие клеи, разработанные в ФГУП "ВИАМ", широко применяют в двигателестроении, изделиях спецтехники, в народном хозяйстве для приклеивания теплоизоляционных и других теплостойких неметаллических материалов; склеивания изделий из высокоплотной керамики (без специальной обработки поверхности); изготовления и крепления к поверхности испытываемых изделий тензометрической оснастки и различных датчиков; ремонта и уплотнения соединений; склеивания магнитопроводов, монтажа кристаллов; изготовления оптических пирометров.

Клеи обеспечивают работоспособность клеевых соединений при температуре 300—350 °C длительно и до температуры 1600 °C — кратковременно [7].

Клеи ВК-20 и ВК-20М представляют многокомпонентные композиции, модифицированные карборансодержащими соединениями, обладающие уникальным сочетанием прочности и теплостойкости. Клеи предназначены для склеивания метал-

Таблица 7

| Показа   | тель                     | ВКП-6          | ВКП-11         |
|--|--------------------------|----------------|----------------|
| Режим<br>отверждения                                 | Температура,<br>°С       | 80             | 120            |
|  | Время, ч<br>Удельное да- | 3<br>0,01—0,10 | 3<br>0,05—0,10 |
| вление, МПа  Интервал рабочих температур, °С         |                          | 00 400         | 00 100         |
| интервал рабочих                                     | температур, С            | -60-120        | -60—120        |
| Прочность при<br>сдвиге, МПа, при<br>температуре, °C |                          | 14,0<br>—      | 14,0<br>13,0   |

лов (стали, титановых сплавов) и неметаллических материалов (стеклопластиков, графита и др.). Клей ВК-20 горячего отверждения используется для крепления торцевых контактных уплотнений в конструкции двигателя. Клей ВК-20М холодного отверждения применяют для приклеивания и ремонта тепло- и звукоизоляции в зоне двигателя.

Однокомпонентные в состоянии поставки низковязкие клеи ВК-26, ВК-26М и ВК-38 предназначены для склеивания пакетов магнитопроводов особо точных приборов и работоспособны при температурах до 250, 300 и 400 °C соответственно.

Клей ВК-78 предназначен для склеивания неметаллических теплоизоляционных материалов из керамики на основе нитрида и карбида кремния, работающих в окислительной среде кратковременно (в течение 30 мин) при температуре до 1400 и 1600 °C соответственно. Клей рекомендован для приклеивания высокотемпературных термодатчиков и монтажа оснастки к поверхности элементов двигателя, изготовленных из керамики на основе нитрида кремния, что позволило провести стендовые испытания нового изделия при температурах до 1200 °C. Клей не требует специальной подготовки поверхности керамики под склеивание.

Теплостойкий клей ВК-58 холодного отверждения представляет многокомпонентную композицию и предназначен для использования в интервале температур от –60 до 250 °C длительно и при 500 °C — кратковременно. С применением клея ВК-58 разработана технология ремонта типовых дефектов систем кондиционирования воздуха (СКВ) в зоне двигателя [5].

Клей ВК-2 рекомендован для склеивания металлов (стали, сплавов титана) и неметаллических материалов (стеклотекстолита, графита), работающих длительно (250 ч) при 400 °C, до 3000 ч при 350 °C и кратковременно при 1000 °C. Клей ВК-2 широко применяют в качестве основы уплотнительного материала 18ВК-2Г при его изготовлении и ремонте в конструкциях рабочих колец направляющих аппаратов, лабиринтных втулок и переходников двигателя. Проведены работы по модификации клея ВК-2 с целью замены в его составе дефицитного компонента, что позволяет обеспечить бесперебойную поставку клея потребителям.

Разработан клей ТПК-2, представляющий водный раствор модифицированного неорганического связующего. Клей работоспособен при температуре до 1200 °С и используется в качестве заливочного материала при изготовлении электроразъемов нагревательных приборов, в датчиковой аппаратуре. Клей может быть использован для приклеивания футеровки, склеивания элементов и уплотнения зазоров между ними в конструкции обогревающих устройств.

В настоящее время в ФГУП "ВИАМ" накоплен значительный опыт по разработке и использованию

термостойких клеев холодного и горячего отверждения для целей термо- и тензометрирования.

Эластичные клеи ВКД-1 и ВКД-2 холодного отверждения на основе кремнийорганического каучука позволили решить задачу склеивания материалов с различными температурными коэффициентами линейного расширения и обеспечивают работоспособность клеевых соединений при температуре от -60 до 400 °C, в том числе при 250 °C в течение 100 ч, при 300 °C в течение 25 ч, при 400 °C кратковременно (до 5 ч) и при воздействии циклического перепада температур от -60 до 400 °C. Эти клеи предназначены для приклеивания датчиков на металлической и неметаллической основах к поверхности коррозионно-стойких сталей, титановых сплавов и неметаллических материалов, в том числе неорганического стекла, для которого не требуется специальной подготовки поверхности под склеивание.

Клей ВК-58 применяется для приклеивания тензорезисторов, используемых для замера деформации в диапазоне температур от -60 до 300 °C в изделиях авиакосмической техники, а также в изделиях бытовой измерительной техники при температурах от -60 до 60 °C. Клей отвечает всем требованиям, предъявляемым к клеям для тензометрии: является технологичным (жизнеспособность клея составляет 7 ч), дает возможность получения тонкого клеевого шва, обеспечивает надежное крепление тензорезисторов к исследуемой поверхности в диапазоне температур от -196 до 300 °C. В процессе испытаний<sup>2</sup>, проведенных в ФГУП "НИИФИ", установлено, что клей ВК-58 не требует дополнительной термической обработки приклеенных тензорезисторов для стабилизации их показаний. Уже при первом нагреве он обеспечивает качественную передачу деформации от исследуемой поверхности к решетке тензорезистора. В процессе повторных нагревов показания тензорезисторов практически на изменяются. Коэффициент тензочувствительности тензорезисторов, приклеенных клеем ВК-58, при температуре испытания 300 °C составляет 1,82, а ползучести при указанной температуре — 5,56.

Решена задача по расширению диапазона рабочих температур клеев, предназначенных для высокотемпературной тензо- и термометрии. Разработан высокотемпературный клей-цемент горячего отверждения ВКП-88Ц, представляющий композицию на основе смеси неорганических соединений. Клей-цемент ВКП- 88Ц рекомендован для приклеивания рабочих термопар типа ПР 30/6 (платинородий—платинородий) к поверхности образцов из композиционного материала системы C/SiC при проведении стендовых испытаний в окислительной

 $^2$  Работа выполнена инж. Л. В. Кулаковой и инж. Л. А. Шамраковым (ФГУП "НИИФИ").

среде при циклическом (до 24 циклов) воздействии температур от 20 до 1440 °C (с выдержкой при температуре 1440 °C в течение 5 мин). Клей-цемент ВКП- 88Ц также используется для приклеивания рабочих термопар типа ВР (вольфрам—рений) к поверхности образцов из композиционного материала системы C/SiC при проведении стендовых испытаний в вакууме при нагреве до температуры 1600 °C с выдержкой при 1600 °C в течение 10 мин.

Высокотемпературный клей-цемент ВКП-26Ц горячего отверждения на основе модифицированного кремнийорганического связующего<sup>3</sup> предназначен для крепления проволочной решетки и выводных проводов высокотемпературных тензорезисторов типа ЖЦН-10-120 на деталях ГТД для измерения динамических деформаций в интервале температур от 20 до 800 °C.

Разработан ряд клеев на водной основе, в том числе клей ВК-69 горячего отверждения, представляющий водную дисперсию на основе фенолоформальдегидного олигомера и модифицирующего полимера. Клей ВК-69 не содержит в своем составе токсичных органических растворителей и по прочностным характеристикам находится на уровне свойств теплостойких клеев конструкционного назначения ВС-10Т и ВС-350, содержащих токсичный органический растворитель — этилацетат. Клей ВК-69 внедрен для приклеивания тензорезисторов, изготовления тензомодулей, применяемых в датчиках давления и сил для исследования напряженного состояния различных конструкций и оборудования, работающих в диапазоне температур от −100 до 200 °C и кратковременно при температуре 300 °C. Разработана модификация клея ВК-69М, которая в сравнении с клеем ВК-69 обладает улучшенными технологическими характеристиками и уровнем прочностных характеристик при температурах от 20 до 300 °C, превосходящим свойства клея ВК-69 на 15—20 %.

В табл. 8 приведены основные свойства и назначение некоторых термостойких клеев.

В настоящее время ряд термостойких клеев, применяемых в изделиях отечественной авиационной техники, оказался в разряде дефицитных из-за прекращения промышленного выпуска исходных компонентов, в том числе олигоэфиркарборана Д-20. В связи с этим разработанные ранее на основе продукта Д-20 термостойкие клеи ВК-20 горячего отверждения и ВК-20М холодного отверждения, применяемые для крепления тепло- и звукоизоляционных материалов и изготовления деталей газогенера-

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> В работе принимали участие Н. С. Китаева (ФГУП "ВИАМ"),

А. П. Коротаев и Т. В. Гелета (ФГУП "ЦИАМ").

<sup>4</sup> В работе принимали участие инж. Л. В. Кулакова и Л. А. Шамраков.

Таблица 8

|                 | т <sub>в</sub> , МПа при 20 °C при повышенной температуре, °C |              | Интервал                                   |  |   |  |
|-----------------|---|--------------|--|--|---|--|
| Клей            |   |              | рабочих<br>температур, °С                  | Особые свойства  | Назначение  |  |
| BK-48           | 8,0   | 2,0 (400)    | -60400                                     | Оптически прозрачный   | Изготовление оптического пирометра                                  |  |
| BK-54           | 6,0   | 2,0 (500)    | -601000                                    |  | Приклеивание тензорезисторов, термоуплотнений                       |  |
| BK-58           | 14,0  | 0,5 (500)    | -60500                                     | Не содержит растворителя   | Приклеивание тензорезисторов  |  |
| BK-18           | 17,5  | 4,5 (600)    | -60600                                     |  | Приклеивание теплостойких неме-                                     |  |
| BK-18M          | 14,0  | 5,7 (600)    | -601000                                    |  | таллических материалов  |  |
| BK-26           | 23,0  | 6,0 (250)    | -60300                                     | Одноупаковочный  | Склеивание магнитопроводов, мон-                                    |  |
| BK-26M          | 20,0  | 5,0 (300)    | -60350                                     |  | таж кристаллов  |  |
| BK-69           | 14,0  | 7,0 (300)    | -60300                                     | Содержит воду взамен органических растворителей                          | Приклеивание тензорезисторов  |  |
| BK-20           | 16,0  | 5,0 (400)    | -196—400<br>(до 700 — крат-<br>ковременно) | Стойки против воздействия температуры и агрессивных сред                 | Приклеивание теплостойких неметаллических материалов, теплоизоляции |  |
| BK-20M          | 8,0   | 3,0 (400)    | -196—700                                   |  |   |  |
| BK-89           | 16,0  | 5,0 (400)    | -60-400                                    |  |   |  |
| BK-91           | 10,0  | 3,5 (400)    | -60-400                                    |  |   |  |
| BK-78           | 12,0  | 5,0 (400)    | 1100                                       | Не требует специальной под-<br>готовки поверхности                       | Склеивание керамики, приклеивание термодатчиков                     |  |
| ВКД-1,<br>ВКД-2 | 3,0   | 1,2 (300)    | -60400                                     |  | Приклеивание термодатчиков, в том числе к стеклу                    |  |
| ВКП-26Ц         | Не ко   | нтролируется | 20—800                                     |  | Приклеивание тензорезисторов  |  |
| ВКП-88Ц         | 1,5   | _            | 20—1600                                    | Не выделяет продуктов де-  | Приклеивание термодатчиков  |  |
| BK-21           | 2,5   | 1,5 (400)    | 20—1600                                    | струкции   |   |  |
| ТПК-2           | 2,5   | 2,5 (400)    | 20—1000                                    | Экологически чистый. Обеспечивает газонепроницаемость клеевых соединений | В нагревательных конструкциях                                       |  |

тора с шумоглушением, выпускают на основе имеющихся ограниченных запасов этого компонента.

В ФГУП "ВИАМ" эта проблема решена путем разработки термостойких клеев, не содержащих в своем составе олигоэфиркарборана.

Разработан клей ВК-89 горячего отверждения, который в сравнении с аналогом — клеем ВК-20 характеризуется более высокими прочностными характеристиками клеевых соединений при температурах до 400 °C в исходном состоянии и после воздействия различных факторов — агрессивных сред, КТК, воды (при 300—350 °C на 15 %, при 400 °C на 53 %) при сохранении прочностных свойств при 20 °C на уровне свойств клея ВК-20. Клей ВК-89 предназначен для склеивания металлов (углеродистых и коррозионно-стойких сталей) и неметаллических материалов (стеклопластиков СК-9ФА, СК-101 и др.) между собой и в различных сочетаниях. Клей ВК-89 рекомендован к эксплуатации в интервале температур от -60 до 400 °C, в том числе при температуре 400 °C в течение 5 ч. В табл. 9 представлены основные свойства клеевых соединений на основе клея ВК-89.

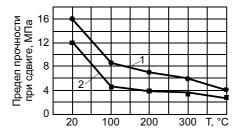
Разработан клей ВК-91 холодного отверждения, который обеспечивает работоспособность клеевых соединений при температуре до 400 °С в исходном состоянии и после воздействия различных факторов (агрессивных сред, КТК, воды).

По сравнению с аналогом — клеем ВК-20М — клей ВК-91 обладает повышенной прочностью клеевых соединений при сдвиге: при 20, 300 и 400 °C — на 33, 62 и 48 % соответственно (см. рисунок).

Клей ВК-91 рекомендован для склеивания металлов (углеродистых и коррозионно-стойких сталей и титановых сплавов) и неметаллических мате-

Таблица 9

| Прочн | Прочность при сдвиге, МПа, при температуре испытаний, °C |  |     |     |     |  |  |
|-------|--|--|-----|-----|-----|--|--|
| 20    | 400  | 400 20 400   |     |     |     |  |  |
| 17,0  | 9,2  | После воздействия агрессивных рессивных сред После термического старения при 400 °C, 5 ч |     |     |     |  |  |
|       |  | 9,6  | 9,0 | 4,7 | 6,8 |  |  |



**Прочность клеевых соединений:** 1, 2 — клей ВК-91 и ВК-20М соответственно

риалов (стеклопластиков СК-9ФА, СК-101 и др.) и может эксплуатироваться в интервале температур от -60 до 400 °C, в том числе при 400 °C в течение 5 ч [8].

Разработан ассортимент клеев для резинометаллических соединений, предназначенных для склеивания невулканизованных резин с металлами в процессе вулканизации и вулканизованных резин между собой, с металлами и резинотканевыми материалами в конструкциях всех современных изделий авиационной техники (обрезиненные лопасти, кронштейны, противовесы, арматура мягких баков и т. д.)<sup>5</sup>:

- ВКР-60 для склеивания невулканизованных резин на основе каучуков СКН, СКИ, СКС, найрита с металлами в процессе котловой вулканизации, диапазон рабочих температур от –60 до 100 °С (взамен клея ВКР-15);
- ВКР-85 для склеивания невулканизованных резин на основе бутадиен-нитрильного, хлоропренового, натурального и бутадиенового каучуков с последующей вулканизацией (взамен клея "Лейконат"), диапазон рабочих температур от —60 до 130 °C;
- ВКР-61 для склеивания вулканизованных резин между собой и с резинотканевыми материалами на основе бутадиен-нитрильных каучуков (взамен клея ВКР-17), диапазон рабочих температур от –60 до 150 °C;
- ВКР-24 для склеивания вулканизованных резин на основе этилен-пропиленовых, полиуретановых, нитрильных и других каучуков между собой и с металлами, диапазон рабочих температур от –70 до 100 °C, стоек в агрессивных средах [3].

Работы последних лет в области клеев для неметаллических материалов были направлены на создание новых клеев холодного отверждения для резинотехнических изделий и клеев для склеивания резин с металлами в процессе вулканизации [9].

Ранее для склеивания вулканизованных резин на основе нитрильных каучуков при 18—20 °С использовали клей ВКР-17, позволяющий получить прочность клеевых соединений при расслаивании около 2,6 Н/мм. Клей применялся при производстве

 $^{5}$  Клеи разработаны под руководством Р. И. Ивановой.

и ремонте мягких топливных баков, изготовлении мембранного полотна и в конструкциях, работающих в среде топлив и масел в интервале температур от -30 до 150 °C длительно и до 200 °C — кратковременно. В связи с отсутствием одного из компонентов в настоящее время этот клей снят с производства. Взамен клея ВКР-17 разработан и паспортизован клей холодного отверждения ВКР-61, позволяющий получить при склеивании резинотехнических изделий прочность клеевых соединений через 20 мин  $\sigma_{\text{рассл}}$  = 0,59 H/мм, через 24 ч — 2,6 Н/мм. Клеевые соединения стойки против воздействия различных факторов и сред и работоспособны в интервале температур от -50 до 150 °C длительно и до 200 °C — кратковременно. Рецептура клея ВКР-61 разработана полностью на отечественном сырье.

Для склеивания резин на основе кремнийорганических каучуков с органическими стеклами взамен клея К-131-37 разработан клей холодного отверждения ВКР-86, обеспечивающий прочность клеевых соединений  $\sigma_{\text{отсл}} \sim 3,0$  Н/мм. Клеевые соединения работоспособны в интервале температур от –60 до 100 °C. В табл. 10 представлены свойства клеев холодного отверждения резинотехнического назначения.

Разработана клеевая система: клей ВКР-90, предназначенный для склеивания с металлами в процессе вулканизации резин на основе СКН, и подслой, повышающий адгезию клея ВКР-90 к резинам на основе неполярных каучуков (СКИ, СКИ + СКД и др.). Клеевая система обеспечивает прочностные характеристики клеевых резинометаллических соединений на уровне характеристик системы "Хемосил" фирмы "Хенкель" и превышает свойства отечественного аналога — клея ВКР-85 (табл. 11). Клей ВКР-90 работоспособен в интервале температур от –50 до 130 °С на воздухе и в агрессивных средах. Клеевая композиция не содержит в своем составе дефицитных импортных дорогостоящих материалов и разработана полностью на сырье РФ.

Таблица 10

| Клей                                    | Прочность при расслаивании клеевых соединений из резины 3826, Н/мм |  | Прочность при отслаивании клеевых соединений кремнийорганическая резина + оргстекло СО 120, Н/мм |  |  |
|---|--|--|--|--|--|
|   | Через 20 мин<br>после<br>склеивания                                | Через  | ез 1 сут. после склеивания   |  |  |
| BKP-17<br>BKP-61<br>K-131-37<br>BKP-86  | 0,60<br>0,84<br>—<br>—   | 3,50<br>3,67<br>— Не менее 2,0<br>— Не менее 3,0 |  |  |  |
| Примечание. Температура испытания 20°C. |  |  |  |  |  |

Таблица 12

| Разработано принципиально новое для отече-         |
|--|
|  |
| ственной практики самоклеящееся пленочное мно-     |
| гослойное листовое покрытие на липкой клеевой      |
| основе ЗППК (толщина не более 120 мкм), сочетаю-   |
| щее защитные и декоративные свойства, работоспо-   |
| собное в интервале температур от -60 до 80 °C. По- |
| крытие ЗППК обеспечивает защиту поврежденных       |
| участков ЛКП при ремонте внешней поверхности       |
| планера самолета, в том числе в полевых услови-    |
| ях. Материал апробирован при эксплуатации          |
| Ил-96-300 в различных климатических зонах (бо-     |
| лее 2000 ч). Экологически чистая технология ис-    |
| пользования ЗППК позволяет снизить трудоем-        |
| кость ремонтных работ и гарантирует отсутствие     |
| токсических веществ.                               |
| D  |

В настоящее время в связи с востребованностью отечественных самоклеящихся материалов для оперативного ремонта воздушных судов возникла необходимость проведения дополнительных расширенных исследований разработанной ранее алюминиевой фольги с постоянно липким слоем (ФЛС), работоспособной в интервале температур от –60 до 80 °C. Отечественный материал "Фольгоплен" аналогичного назначения в настоящее время не производится.

Фольга ФЛС обеспечивает стойкость клеевых соединений против воздействия различных факторов и сред. Применение ФЛС для временного ремонта внешней поверхности планера (царапин, сколов, отслоения ЛКП) обеспечивает высокое сопротивление статическому сдвигу, снижение трудоемкости, энергоемкости и экологически чистую технологию ремонтных работ.

Проведены дополнительные исследования<sup>6</sup>, которые позволили расширить области применения самоклеящегося материала (САФ), работоспособного до 150 °C, и рекомендовать его для новых оперативных ремонтных технологий поверхностей

Таблица 11

|   | Прочность при отрыве, МПа, при температуре, °C |                           |                                    |                   |  |  |
|---|--|---------------------------|------------------------------------|-------------------|--|--|
| Материал  | 20   | 130                       | 20                                 |                   |  |  |
|   |  | Рези<br>+ ста             | Резина 1078 +<br>+ сталь<br>30ХГСА |                   |  |  |
| ВКР-90<br>ВКР-85<br>Клеевая<br>система<br>"Хемосил" | 6,8<br>5,4<br>6,8                              | 2,2 3,9<br>1,9 3,6<br>— — |                                    | 6,4<br>5,0<br>6,4 |  |  |

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Разработка самоклеящихся материалов проводилась при участии Н. С. Жадовой.

| Показатель   | Материал             |                      |                       |  |  |
|--|----------------------|----------------------|-----------------------|--|--|
| Tionasarenis   | ЗППК                 | ФЛС                  | САФ                   |  |  |
| Рабочая температура, °С Прочность при отслаивании, Н/см, не менее Прочность при сдвиге, кПа, не менее Сопротивление статическому сдвигу — "ползучесть", мм, при нагрузке 5 Н в течение 2 ч при повышенных температурах | -60—60<br>5,0<br>300 | -60—80<br>5,0<br>300 | -60—150<br>6,0<br>500 |  |  |

планера самолета из угле- и стеклопластиков [9]. Применение САФ для ремонтных целей позволит продлить срок службы изделия между плановыми ремонтами. В табл. 12 приведены свойства самоклеящихся материалов.

### **ВЫВОД**

Разработан ассортимент клеев и клеящих материалов на их основе: высокопрочные и высокоэластичные пленочные и пастообразные клеи конструкционного назначения, композиционные материалы клеевые на основе клеящих матриц и стекло- и угленаполнителей, алюмополимерные композиционные материалы на основе алюминиевых сплавов и клеевых препрегов, клеи специального назначения (в том числе термостойкие, резинотехнического назначения), самоклеящиеся материалы на основе алюминиевой фольги, защитное пленочное покрытие.

Клеи и клеящие материалы на их основе нашли широкое применение в конструкции изделий авиакосмической техники и обеспечивают работоспособность клеевых соединений в интервале температур от –196 до 1600 °C.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кардашов Д. А. Конструкционные клеи. М.: Химия, 1980. 288 с.
- 2. *Кардашов Д. А., Петрова А. П.* Полимерные клеи. М.: Химия. 1983, 256 с.
- Развитие клеев в технологии склеивания в авиастроении / Л. И. Аниховская, А. П. Петрова, Н. Ф. Лукина и др. // Клеи. Герметики. Технологии. 2004. № 1. С. 7—12.
- 4. *Петрова А. П.* Клеящие материалы: Справочник. М.: Каучук и резина, 2002. 196 с.
- Применение клеев холодного отверждения в авиастроении / Л. И. Аниховская, А. П. Петрова, Н. Ф. Лукина, Г. Н. Углова // Клеи. Герметики. Технологии. 2004. № 6. С. 7—11.
- Лукина Н. Ф., Авдонина И. А., Петрова А. П. Токопроводящий эпоксидный клей для приборной техники // Клеи. Герметики. Технологии. 2006. № 8. С. 4—6.
- 7. Петрова А. П. Термостойкие клеи. М.: Химия, 1977. 200 с.
- 8. Лукина Н. Ф., Петрова А. П., Котова Е. В. Термостойкие клеи авиационного назначения // Полимерные материалы XXI века. М., 2006. С. 55—56.
- Тюменева Т. Ю., Иванова Р. П., Аниховская Л. И. Клеи для соединения резинометаллических деталей // Клеи. Герметики. Технологии. 2005. № 2. С. 8—9.

## ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Е. В. ДОЛБИЛИН, д-р техн. наук, А. В. КОКОРИН, аспирант МЭИ—Технический университет

## Новые методы химико-термической обработки в электрическом разряде

В процессе эксплуатации детали машин и механизмов подвергаются различным видам изнашивания. В зависимости от характера воздействия (высокая температура, воздействие абразивных частиц и химических средств, взаимное трение материалов и др.) рабочие поверхности деталей должны обладать комплексом свойств, обеспечивающих их надежную и долговечную работу в заданных условиях. К таким свойствам относятся коррозионная стойкость, твердость, жаропрочность, способность противостоять разрушению при тепловых ударах и абразивном воздействии. Обеспечение указанных свойств достигается упрочнением, например химико-термической обработкой (ХТО) изнашивающихся поверхностей, и восстановлением, т. е. нанесением защитных покрытий и слоев, обладающих комплексом необходимых свойств. При упрочнении и восстановлении деталей широко используют методы плазменной обработки: наплавку и напыление [1], а также ионные — плазменные методы XTO [2].

В настоящее время наиболее перспективным методом XTO является обработка в тлеющем разряде, позволяющая значительно сократить время процесса и расход технологического газа. Однако серьезным недостатком метода является наличие вакуума в технологической камере, что повышает сложность и стоимость технологического оборудования,

а также не позволяет применять установки непрерывного действия и обрабатывать длинномерные изделия. При плазменном способе нанесения покрытий применяют дуговые и струйные плазмотроны с прямой полярностью тока. К недостаткам данного способа следует отнести низкие адгезионные свойства, которые определяются степенью сцепляемости покрытия с поверхностью изделия. Сцепление между частицами в покрытии, а также между подложкой и покрытием возникает в результате действия механического сцепления невалентных сил взаимодействия и химических сил связи. Однако действие этих сил не позволяет достичь высокой сцепляемости, что приводит при механической обработке покрытия к его разрыву или удалению с поверхности изделия. Поэтому поиск новых решений при разработке оборудования для XTO изделий и нанесении покрытий представляет не только научный, но практический интерес.

В основе новых решений, разрабатываемых в МЭИ, лежит эффект использования электрического разряда обратной полярности тока. Рассмотрим процессы, протекающие в системе электрический разряд—изделие (катод).

Если на диффундирующие атомы действует какая-либо внешняя сила, то под ее действием атомы приобретают направленное движение. Возникает диффузионный поток плотностью

$$j = b_a F_{\rm BH} C, \tag{1}$$

где  $b_a$  — подвижность атомов;  $F_{\rm вн}$  — внешняя сила; С — концентрация диффундирующего вещества.

Такую внешнюю силу, участвующую в направленной диффузии и определяемую электрофизическими процессами, создает электрическое поле, приложенное к диффузионной среде. Вопросы массопереноса под действием электрического поля подробно рассмотрены в работе [3].

Главная причина движения металлических ионов — столкновения с электронами проводимости и создание силы "электронного ветра". Механизм перемещения ионов является диффузионным, но силы, вызывающие направленный дрейф, обусловлены в металлах взаимодействием электронов проводимости с ионами. Данный механизм приводит к дополнительному переносу ионов. Сила, действующая на примесный ион в металле [3],

$$F_i = (z_i - e n_0 l_e \sigma_i) E, \qquad (2)$$

где  $z_i$ , e — заряд иона и электрона соответственно;  $l_e$  — длина свободного пробега электронов;  $\sigma_i$  — сечение рассеяния электрона на примесном ионе;  $n_0$  — концентрация электронов проводимости; E — напряженность электрического поля.

С учетом электрофизической силы, создаваемой внешним электрическим полем, при принятом постоянстве значений напряжен-

ности электрического поля и коэффициента диффузии уравнение диффузии примет следующий вид [4]:

$$\begin{split} \partial C_k/\partial t &= D_k[\partial^2 C_k/\partial x^2 - \\ &- \alpha \partial C_k/\partial x], \end{split} \tag{3}$$

где  $C_k$  — концентрация компонента;  $D_k$  — коэффициент диффузии примесных атомов;  $\alpha$  — коэффициент пропорциональности, равный  $z_{9\varphi\varphi}E/(kT)$  ( $z_{9\varphi\varphi}$  — эффективный заряд иона примеси, k — постоянная Больцмана).

Решением уравнения (3) является распределение примеси  $C_k$  в функции координаты x (распределение потока диффузии атомов примеси). При  $\alpha > 0$  (внешнее поле приложено в положительном направлении оси X на катод-изделие)

$$C_k \cong (\rho/\pi) \exp(\alpha x/2 - \alpha^2 D_k t/4),$$
 (4)

где  $\rho$  — удельное электрическое сопротивление материала изделия; t — время.

Таким образом, диффузия примесных атомов в металлическую поверхность определяется тремя силами: электрофизической, силами, определяемыми градиентом химического потенциала и градиентом температуры. Проведенные экспериментальные исследования, показывают, что интенсивное внедрение примеси в основу наблюдается при наличии внешней силы электрического поля. При этом глубина диффузионного слоя увеличивается в 2-10 раз.

Таким образом, использование электрического разряда с обратной полярностью тока позволяет значительно увеличить глубину диффузионного слоя и скорость диффузии.

В МЭИ ведутся научные исследования по использованию несамостоятельного и дугового

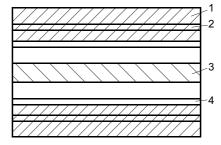


Рис. 1. Схема установки с несамостоятельным разрядом

разрядов для целей XTO и образовании переходного (диффузионного) слоя между покрытием и основы.

На рис. 1 приведена схема установки с несамостоятельным разрядом. Установка содержит электропечь 1 с нагревателями 2, катод-изделие 3 и анод 4, расположенный осесимметрично с катодом. Работа установки основана на создании объемного несамостоятельного разряда при атмосферном давлении в межэлектродном промежутке (катод анод), атомизации и ионизации в нем внедряемого элемента, переносе элемента внедрения к поверхности детали под действием приложенного между электродами электрического поля, внедрении ионов примеси за счет направленной диффузии в глубь обрабатываемого изделия, протекании химических реакций в поверхностном слое.

Создание несамостоятельного разряда возможно путем нагрева газа в межэлектродном промежутке и самих электродов. Высокая температура активизирует процессы ионизации газового промежутка и позволяет возбуждать разряд при атмосферном давлении (разряд возникает при 500 °С — минимальной температуре при ХТО). На поверхности образца ионы частично преобразуются в атомы, которые участвуют в химических реакциях, а частично внедряются в поверхность и уча-

ствуют в перестройке кристаллической решетки металла.

Разработаны диффузионные установки для обработки цилиндрических и плоских изделий для проведения цементации, азотирования, нитроцементации, меднения, никелирования, титанирования и др. Исследование диффузионного слоя показало его высокую равномерность по всей поверхности изделия. Напряжение на электродах не превышает 1000 В при плотности тока разряда до 5—6 А/м². Установки компактны, имеют простую конструкцию и удобны в обслуживании.

На экспериментальной установке проводили технологические исследования процесса цементации в аргоноуглеводородной среде [5]. Анод выполнен из коррозионно-стойкой стали или графитовых вставок, образцы — из стали Ст 3, 20 и 20Х13 диаметром 30 мм. Плотность тока разряда регулировали изменением напряжения в межэлектродном промежутке. Межэлектродный зазор составлял 5-6 мм. Рекомендуемая температура при цементации 950—1100 °C. На рис. 2 приведена зависимость скорости цементации в аргонопропановой (кривая 1) и аргонометановой (кривая 2) средах, а на рис. 3 — распределение углерода в цементированном слое для стали 20 и тех же газов. Глубина диффузионного

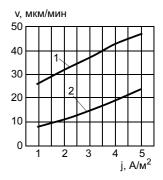


Рис. 2. Зависимость скорости цементации от плотности тока

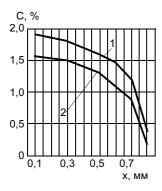


Рис. 3. Распределение углерода в поверхностном слое

слоя составляет 0,6 мм. Примечательно, что скорости диффузии в различных сталях мало отличаются, а зависимость скорости диффузии от плотности тока близка к линейной.

Представляют интерес процессы нанесения на стальные образцы химическим путем покрытий с дальнейшей их обработкой в несамостоятельном разряде. Наиболее эффективными являются технологии нанесения покрытий из титана, меди и никеля. Технологический процесс состоит из нанесения химическим путем на поверхность образца пленки из хлорного титана или сернокислых меди и никеля и дальнейшей обработки в несамостоятельном разряде. В разряде образуются ионы титана, меди или никеля с выделением хлора, серы и водорода. Процесс ведется в аргоне. Время термической обработки 10 мин. Атомы и ионы элементов внедрения адсорбируются в основе и благодаря однонаправленному току происходит процесс диффузии.

Глубина диффузионного слоя 20—50 мкм для титана и 30—40 мкм для меди и никеля. Глубина внедрения определяется током разряда и физико-химическими свойствами адсорбента и адсорбата. Проведенные испытания образцов показали высокую

износостойкость и повышенную стойкость против окисления, а также удовлетворительные адгезионные свойства покрытий. Слои имеют высокую плотность, наличие пор не наблюдалось.

К преимуществам обработки в несамостоятельном разряде относятся ведение процесса в любой атмосфере при атмосферном давлении, обработка длинномерных изделий (например труб), возможность создания установок методического действия, низкий расход электроэнергии и технологического газа. Недостатком рассмотренного метода является необходимость достижения равномерного зазора между электродами, который не должен превышать 8 мм. Изменение величины зазора на 2-3 мм значительно влияет на плотность тока на данном участке изделия, что, в свою очередь, ведет к изменению скорости диффузионных процессов.

Другим направлением исследований является разработка электродуговых установок для процессов ХТО поверхности деталей из ионизированного активного газа и нанесение покрытий с образованием переходного слоя.

На рис. 4 приведена схема электродуговой установки для диффузионного насыщения. Электрод 1

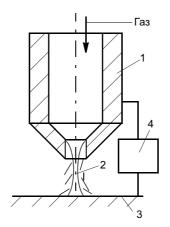


Рис. 4. Схема электродуговой установки для диффузонного насыщения и наплавки

(полый) выполнен из графита, обрабатываемые детали 3 — из углеродистых и легированных сталей. Электрическая дуга 2 постоянного тока возбуждается источником питания 4 и горит между торцевым участком электрода и поверхностью, нагревая ее до технологической температуры. Во внутреннюю полость катода подается технологический газ. Полярность электрода (прямая или обратная) определяет основные параметры дуги и эффективность диффузионных процессов. По данной схеме проводили следующие виды ХТО: цементацию, азотирование, силицирование и нитроцементацию. При азотировании и силицировании электрод выполняют из меди. В качестве технологических использовали газы, применяемые для данных видов ХТО. По сравнению с обработкой в тлеющем или несамостоятельном разряде электродуговая обработка более эффективна, так как обеспечивает быстрый нагрев поверхности и создает значительный градиент температур. Кроме того, коэффициент объемной ионизации выше, чем при других видах разряда (т. е. высокая концентрация ионов внедрения в газе и на поверхности изделия-катода). Эффективность образования диффузионного слоя высока при работе на токе обратной полярности, так как ионы элемента внедрения активно адсорбируются на поверхности изделия. Поскольку ток разряда большой величины и определенной направленности, возникающая электрофизическая сила существенно влияет на процесс диффузии элементов внедрения в глубинные слои поверхности изделия. Проведенные эксперименты показали, что глубина диффузионного слоя при цементации в дуговом разряде на 20-40 % больше, чем при обра-

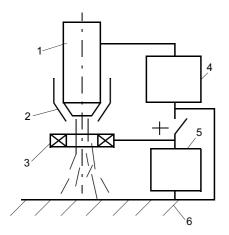


Рис. 5. Схема электродуговой установки для наплавки с вспомогательным электродом: 1 — полый электрод; 6 — обрабатываемая деталь

ботке в тлеющем и несамостоятельном разрядах.

Диффузионные установки, выполненные по схеме рис. 4, целесообразно применять при обработке локальных поверхностей, например, режущих кромок инструмента и торцевых участков шпилек, игл и т. д. при использовании активных газов.

Установка, схема которой приведена на рис. 5, позволяет активизировать диффузионные процессы за счет совмещения электродугового напыления или наплавки с диффузионной обработкой в несамостоятельном разряде. Установка содержит дополнительный электрод кольцевого вида 3, к которому подключены положительные полюса источника питания электродугового нагревателя 4 и вспомогательного источника постоянного тока 5. Дополнительный электрод служит анодом для образования несамостоятельного разряда, а также формирователем электрического поля. При этом сопло 2 находится под потенциалом, близким к потенциалу катода. Прохождение плазмы разряда через кольцевой анод зависит от распределения потенциала на пути ее движения в промежутке между катодом и анодом (дополнительным электродом). Понятие "несамостоятельный разряд" в данном случае условно, так как он существует как в плазменном потоке дугового разряда, так и в потоке распыляемых частиц с поверхности катода и напыляемого порошка, подаваемого в электрическую дугу. Температура торцевого участка катода достигает 3000—4000 °C, что способствует его интенсивному испарению.

В экспериментальных исследованиях технологических характеристик в процессах плазменного напыления и наплавки применяли плазмотрон с одной межэлектродной вставкой мощностью 10 кВт. Технологическими газами являлись аргон, смесь углекислого газа с пропаном и смесь аргона с азотом. Для нанесения покрытий использовали порошки ПН55Т45, ПН85Ю15 и ПРН77Х15С342, а также вольфрамовый порошок и проволоку из титана и меди. Проволоку подавали под срез сопла, а порошок — через сопло плазмотрона. Расход порошка 0,5-0,6 г/мин. Транспортирующим газом являлся аргон. В экспериментах дистанция обработки составляла 4—8 мм. Наносили покрытия толщиной до 0,5 мм, поверхность изделия подвергали предварительной механической обработке и нагреву до 250-300 °C. Исследования проводили при токах дуги 70—250 А.

При применении плазмотрона прямой полярности и отсутствии дежурной дуги образования диффузионного слоя из напыляемого материала не наблюдалось. Плотность покрытия из вольфрама и хрома удалось повысить путем дальнейшей ионной обработки образцов в установке с несамостоятельным разрядом (см. рис. 1). В результате этого происходило значительное уменьшение крупных и мелких пор, покрытие становилось однородным с усреднен-

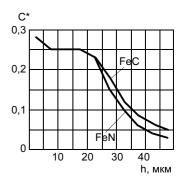


Рис. 6. Концентрация материала внедрения по глубине слоя

ным составом. Время обработки в несамостоятельном разряде в аргоне составляло 15—30 мин при плотности тока 3—8 А/м<sup>2</sup>. Медные покрытия также подвергали обработке в несамостоятельном разряде, что позволило повысить их плотность и однородность.

При плазменном (с обратной полярностью тока) нанесении титанового покрытия поверхность изделия подвергали оплавлению, что позволило получить диффузионный слой толщиной до 15-20 мкм, содержащий нитриды и карбиды титана и железа при соответствующих активных газах. Причем карбиды и нитриды железа также зафиксированы на больших глубинах слоя, что иллюстрирует рис. 6. Здесь по оси ординат отложены значения концентрации материала покрытия относительно поверхностного слоя. Заметно повышение микротвердости образцов с титановыми покрытиями до 2500 МПа при использовании азотной плазмы и до 2200 МПа — для углеродсодержащей плазмы. Сцепляемость покрытия с подложкой увеличилась в несколько раз вне зависимости от состава газа и метода предварительной обработки.

Исследованы плазменные технологии XTO с наложением дежурной дуги обратной последовательности. Увеличение концентрации заряженных частиц в плазменной струе и направленное

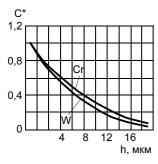
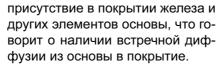
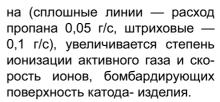


Рис. 7. Распределение W и Cr по глубине слоя

действие электрического тока позволили получить диффузионный слой без оплавления стальной поверхности образца. На рис. 7 приведено распределение хрома и вольфрама по глубине диффузионного слоя при наличии дежурной дуги током 2 А. Расход порошка составлял 0,3 г/мин. Содержание хрома и вольфрама определяли визуально с помощью электронного микроскопа. Температура образца 1000 °C. В диффузионном слое наблюдалось также наличие нитридов и карбидов железа, что говорит о внедрении атомов азота и углерода в диффузионный слой. Причем, если глубина внедрения хрома и вольфрама не превышала 20— 25 мкм за время обработки 1 мин, то внедрение углерода наблюдалось на глубину до 35-45 мкм, а азота — на 20—30 мкм. Отмечено



При использовании полого графитового катода проводили цементацию и нитроцементацию в смеси газов аргон — азот и аргон-пропан. При обратной полярности графитовый анод является источником дополнительных ионов углерода благодаря процессу сублимации с его поверхности при рабочих температурах (1000 °C). При прямой полярности также наблюдается увеличение концентрации ионов углерода, что связано с проявлением эффекта катодного распыления. Данный вывод подтверждают зависимости, приведенные на рис. 8 и 9. Здесь кривые 1 соответствуют токам обратной полярности, а кривые 2 — токам прямой полярности. Ток дуги 70 А, дистанция обработки 10 мм, расход аргона 0,25 r/c, пропана 0,05 г/с, время обработки 5 мин. Видно, что электродиффузия (при обратной полярности тока дуги) позволяет значительно увеличить глубину диффузионного слоя и концентрацию внедряемых частиц. Ток дуги оказывает существенное влияние на технологический процесс (см. рис. 9). При увеличении тока дуги и расхода плазмообразующего газа пропа-



Одним из эффективных способов повышения качества покрытий и диффузионных слоев является применение импульсного разряда. В МЭИ ведутся научные исследования с целью промышленного применения импульсных методов ХТО по следующим направлениям:

- исследование электрических и технологических характеристик источников питания и импульсной дуги для их оптимизации при ХТО металлических изделий;
- разработка и внедрение в производство новых высокоэффективных импульсных технологий диффузионной обработки металлических изделий.

В качестве объекта исследования рассматриваются ионно-плазменные методы нанесения покрытий и получения диффузионных слоев при ХТО (цементации, азотировании и др.) с использованием импульсных дугового и несамостоятельного разрядов [6].

Применение импульсной обработки позволяет увеличить напряжение в импульсе в 1,5—3 раза по сравнению с обработкой непрерывным током. При этом увеличивается подвижность ионов, что ведет к интенсивной бомбардировке ионами поверхности катода-изделия и их внедрению в поверхностные слои, т. е. можно говорить о процессах ионного легирования и катодного распыления.

Ниже приведены основные требования, предъявляемые к импульсному источнику питания для XTO металлов в несамостоятельном и дуговом разряде.

Форма импульсов. Наиболее благоприятной формой импульса являются трапецеидальная или

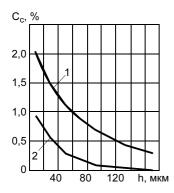


Рис. 8. Концентрация С по глубине слоя при цементации

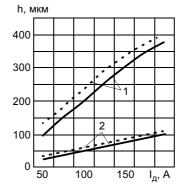


Рис. 9. Зависимость глубины диффузионного слоя при цементации от тока дуги и расхода газа

треугольная. В течение первой части импульса, равной около  $10^{-5}$  с, происходит увеличение тока разряда с ограничением di/dt. Это позволяет избежать электрического пробоя стримерного вида, возможного при прямоугольной форме импульса.

Амплитуда импульсов. Амплитуда напряжения импульсов ограничена вероятностью электрического пробоя межэлектродного промежутка. С другой стороны, импульсный способ ХТО металлов становится эффективным, когда напряжение в импульсе  $U_{\rm имп}$  в 2 и более раз превышает напряжение  $U_{\rm нт}$  на электродах при обработке непрерывным током. При напряжении в межэлектродном промежутке  $U_{\rm нт}$  = 800 В напряжение в импульсе может достигать 2500 В.

Длительность импульсов. Для каждого материала и глубины обработки существует оптимальный диапазон длительностей импульсов. Длительность импульсов находится в пределах 0,1—5,0 мс, их частота следования—10—100 Гц.

Энергия импульса. Максимальная энергия импульса несамостоятельного разряда состав-

ляет 2—3 Дж, что соответствует току разряда до 1 А. При дуговом разряде энергия в импульсе составляет несколько десятков джоулей.

Представляет интерес обрастальной поверхности твердым сплавом Т15К6 (анод) в воздушной атмосфере. Энергия импульсов равна 5—10 Дж. Слой состоит из двух зон: белой и диффузной. Первая зона содержит мелкодисперсные карбиды титана, вольфрама и кобальта твердостью 27 000 МПа; вторая имеет аустенитно-мартенситную структуру с высоким содержанием тех же карбидов твердостью 15 000 МПа. Использование аргоновой среды показало, что верхняя зона состоит из чистого исходного сплава твердостью, соответствующей исходному материалу, а переходная зона представляет смесь аустенита, мартенсита, карбидных включений и чистых исходных металлов. При обработке поверхности длинными импульсами (1—5 мс) высокой энергии образуется значительная жидкая фаза с неравномерной структурой — верхняя часть состоит из чистого вольфрама и не содержит углерод, который

выгорает. При уменьшении длительности импульса в диффузионном слое увеличивается содержание углерода, что приводит к повышению твердости за счет образования в нем карбидов титана и вольфрама. При обработке на воздухе в поверхностном слое наблюдается значительное содержание нитридов железа, которые присутствуют также и в диффузионном слое.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Кудинов В. В.* Плазменные покрытия. М.: Наука, 1978. 255 с.
- Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б. Н. Арзамасов, А. Г. Братухин, Ю. С. Елисеев, Т. А. Панайоти. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. 325 с.
- Фикс В. Б. Ионная проводимость в металлах и полупроводниках (Электроперенос). М.: Наука, 1969. 285 с.
- Старк Д. П. Диффузия в твердых телах: Пер. с англ. М.: Энергия, 1980. 330 с.
- Долбилин Е. В., Чурсин А. Ю. Исследование электрических и технологических характеристик несамостоятельного разряда // Вестник МЭИ. 2000. № 1. С. 65—69.
- 6. Долбилин Е. В. Химико-термическая обработка металлов в импульсном электрическом разряде // Вестник МЭИ. 2002. № 2. С. 44—49.

### Вниманию подписчиков!

Напоминаем Вам, что оформить подписку на журнал можно с любого месяца

в любом почтовом отделении связи.
Подписной индекс в каталоге Агентства "Роспечать" — 79494, в Объединенном каталоге "Пресса России" — 27869, в каталоге "Почта России" — 60190.

### СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ

А.А. ПОПОВ, аспирант

Воронежский государственный технический университет

## Равномерность посплайнового формирования остаточных напряжений при виброударном упрочнении

Преимущества виброударного упрочнения проявляются при финишной обработке деталей сложной формы, изготовленных с ограничением массы из высокопрочных сплавов, чувствительных к концентраторам напряжений и работающих в условиях интенсивных нагрузок [1]. Отсутствие кинематической связи инструментальной среды с деталью и станком позволяет упрочнять детали сложной формы, однако это обстоятельство создает проблемы с равномерностью формирования сжимающих напряжений в поверхностном слое. Наличие даже небольших по площади и протяженности неравномерно упрочненных участков обусловливает перепады действующих напряжений, что снижает допустимые эксплуатационные нагрузки, усталостную прочность и долговечность.

В работе приведены результаты математического моделирования формирования остаточных напряжений при виброударном упрочнении верхнего стыкового профиля крыла (рис. 1) с учетом динамики конечного множества частиц, а также размеров детали, частиц и контейнера, их физико-механических свойств. По результатам моделирования осуществляется визуализация сжимающих остаточных напряжений первого рода в поверхностном слое детали, разделенном на участки — сплайны, площадь которых приближенно равна квадрату радиуса частиц инструментальной среды. Для каж-

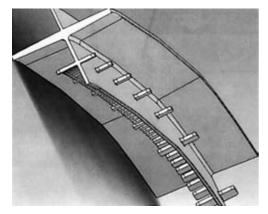


Рис. 1. Общий вид верхнего стыкового профиля нервюры крыла

дого сплайна учитываются координаты их расположения. Это позволяет выявлять проблемные участки детали по критерию усталостной прочности, что невозможно при осредненной оценке формирования остаточных напряжений.

Стыковой профиль крыла (см. рис. 1), изготовленный из штампованного профиля из алюминиевого сплава 1163Т, имеет длину около 5,60 м, высоту около 0,26 м, ширину около 0,33 м, кривизну в вертикальной плоскости, толщина стенок и полок от 0,007—0,015 м.

Контейнер на 70—85 % заполнен инструментальной средой, состоящей из стальных шариков (ШХ15) диаметром 0,005 м и технологической жидкости. Под действием интенсивных колебаний контейнера с жестко закрепленной в нем деталью с амплитудой 0,9—1,2 м/с, частицы инструментальной среды равномерно сопрягаются с поверхностью детали любой сложной формы и, периодически соударяясь с ней, образуют множество локальных пластических отпечатков, которые по мере обработки приобретают сплошную структуру с уменьшенной высотой микронеровностей [1].

Величину остаточных напряжений первого рода на *j*-м участке-сплайне поверхности определяли по формуле (1), при этом для аппроксимации продольных сечений учитывается функция переносных колебаний группы частиц Ф(Т) [1]:

$$\sigma_{-o_i} = k_{\sigma} \left( \frac{\vartheta_{\tau_{ij}}}{(k_r^*)^3 \Phi(T)} \right)^{\frac{1}{5}} [K_{vE}]^{-\frac{4}{5}},$$
 (1)

где  $k_{\sigma}$  — коэффициент упрочняемости;  $\mathfrak{I}_{\tau_{ij}}$  — энергия соударений i-й группы частиц инструментальной среды с j-м участком-сплайном детали;  $k_r^*$  — приведенный радиус кривизны соударяющихся поверхностей частицы и поверхности детали [1]. Масса соударяющихся частиц [1]

$$m_{\tau_{ij}} = m_{\mathbf{q}_{ij}} + \frac{\rho_{\mathcal{R}} D_{\mathbf{q}_{ij}}^{2} v_{\tau_{ij}} t_{\tau_{ij}}}{\delta_{\mathbf{q}_{ij}}} + \frac{4 v_{\tau_{ij}} t_{\tau_{ij}}^{2} g(Gt_{\tau_{ij}} + \alpha)}{D_{\mathbf{q}_{ij}} R \delta_{\mathbf{q}_{ij}}}, \quad (2)$$

где  $m_{\mathbf{q}_{ij}}$  — масса одной частицы;  $\rho_{\mathbf{ж}}$  — плотность технологической жидкости;  $D_{\mathbf{q}}$  — диаметр частиц

инструментальной среды;  $v_{\tau_{ij}}$  — скорость соударения i-й частицы с j-м участком детали;  $t_{\tau_{ij}}$  — продолжительность соударений;  $\delta_{\mathsf{q}_{ij}}$  — амплитуда динамического зазора между частицами около j-го участка поверхности детали; g — ускорение свободного падения; G — квазиупругая жесткость;  $\alpha$  — вибровязкое сопротивление вибрирующей инструментальной среды; R — коэффициент восстановления скорости соударений.

Приведенный коэффициент упругости соударяющихся материалов в формуле (1)

$$K_{vE} = \frac{1 - v_{\perp}^2}{E_{\perp}} + \frac{1 - v_{\perp}^2}{E_{\perp}}, \tag{3}$$

где v, E — модуль Юнга и коэффициент Пуассона; индексы "ч", "д" соответствуют частице и детали.

Абсолютную и относительную погрешности формирования остаточных напряжений рассчитывали для каждого *j*-го сплайна поверхности относительно средней величины (если не задана номинальная) соответственно по формулам

$$\Delta \sigma_{-o_j} = \frac{\left| \sigma_{-oj} - \sigma_{-o\,cp} \right|}{\sigma_{-o\,cp}}; \tag{4}$$

$$\Delta \sigma_{-o_j}^* = \frac{|\sigma_{-oj}|}{\sigma_{-o\,\text{CD}}} 100 \%. \tag{5}$$

Исследовали режимы виброударного упрочнения, имеющие следующие параметры работы оборудования: амплитуда колебаний контейнера с деталью  $A=0,004\div0,006$  м; частота колебаний f=21 Гц; коэффициент загрузки контейнера инструментальной средой  $k_3=80$  %; траектория колебаний — круговая, со сменой направления вращения вибратора через 15 мин. Контейнер цилиндрический, диаметром  $d_{\rm K}=0,52$  м, диаметр стальных шариков инструментальной среды  $d_{\rm W}=0,005$  м, материал шариков — сталь ШХ15.

Скорость и направление циркуляционных потоков вибрирующей инструментальной среды, особенно в пограничном слое у поверхности детали, и удельная плотность энергии периодических соударений являются важнейшими динамическими параметрами, влияющими на равномерность обработки. Наличие зон с минимальной скоростью циркуляции соответствует скоплению частиц инструментальной среды и снижению равномерности обработки. Эпюра посплайнового распределения остаточных напряжений в поперечном сечении стыкового профиля приведена на рис. 2.

С увеличением амплитуды колебаний от 0,004 до 0,006 м интенсивность формирования остаточных напряжений возрастает: средние остаточные

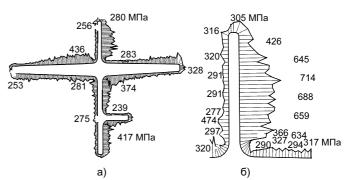


Рис. 2. Эпюра распределения остаточных напряжений первого рода  $\sigma_{-0}$  (a) и фрагмент распределения  $\sigma_{-0}$  на верхней стенке (б)

напряжения повышаются от 333 МПа при максимальной абсолютной погрешности  $\Delta\sigma_{cp}$  = 182 МПа до 525 МПа при  $\Delta\sigma_{cp}$  = 437МПа.

Гистограмма распределения количества сплайнов  $n_\sigma^* = n_{j\sigma}(n_{\rm спл})^{-1}100~\%$  с определенными значениями остаточных напряжений  $\sigma_{-0}$  в зависимости от амплитуды колебаний приведена на рис. 3: при A=0,004 м для 55 % сплайнов  $\sigma_{-0}=450\div600$  МПа, при A=0,005 м уже 72 % сплайнов имеют  $\sigma_{-0}=450\div600$  МПа, с увеличением амплитуды до A=0,006 м 56 % сплайнов имеют  $\sigma_{-0}=450\div600$  МПа.

Изменение высоты крепления детали в контейнере в диапазоне  $h = 0.05 \div 0.15$  м слабо влияет на величину остаточных напряжений: в пределах 5—7 %.

Конструкция стыкового профиля наиболее интенсивно влияет на величину и равномерность формирования остаточных напряжений. Относительные погрешности скоростей соударений составляют для сечения *К—К* (симметричное расположение нижней и верхней полок — 16 %, для сече-

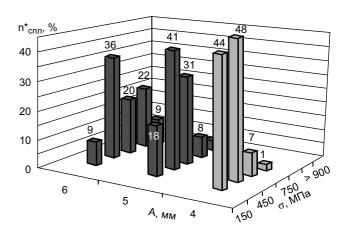


Рис. 3. Гистограмма распределения количества сплайнов  $n_{\sigma}^*$  по поверхности детали с определенными остаточными напряжениями  $\sigma_{-0}$  в зависимости от амплитуды колебаний

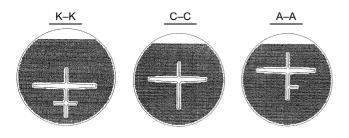


Рис. 4. Схемы конструктивного исполнения стыкового профиля

ния C—C — 14 % для сечения A—A (несимметричное расположение полок) — 13 % (рис. 4).

Как показали дальнейшие исследования, при оптимальной установке экранов равномерность фор-

мирования остаточных напряжений повышается. Например, при использовании симметрично закрепленного экрана в верхней части контейнера средние значения остаточных напряжений от 332 повышаются до 392 МПа, при этом относительная погрешность снижается от 54,5 до 35,9 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Копылов Ю. Р.* Виброударное упрочнение. Воронеж: Воронежский институт МВД России, 1999. 386 с.
- 2. *Шевцов С. Н.* Компьютерное моделирование динамики гранулированных сред в вибрационных машинах. Ростов-на-Дону, 2001. 193 с.
- 3. *Колылов А. Ю.* Численное моделирование погрешностей виброударного упрочнения крупногабаритных деталей сложной формы // Техника машиностроения. 2004. № 6. С. 63—65.

С. К. СЫСОЕВ, канд. техн. наук, А. С. СЫСОЕВ, канд. техн. наук, В. А. ЛЕВКО, канд. техн. наук, П. А. СНЕТКОВ, канд. техн. наук

(Сибирский государственный аэрокосмический университет им. акад. М. Ф. Решетнева), М. А. ЛУБНИН, канд. техн. наук, ФГУП "КРАСМАШ"

## Обеспечение точности расхода компонентов топлива через каналы деталей, обработанных экструзионным хонингованием

В технике широкое применение нашли детали типа турбин, направляющих и спрямляющих аппаратов, колес насосов и др., имеющих сложные внутренние каналы, сформированные литьем по выплавляемым моделям (рис. 1). Несмотря на меры по обеспечению жестких требований точности мо-

делей для литья, большая часть готовых деталей имеет отклонения от заданных в конструкторской документации (КД) параметров, особенно по качеству поверхностного слоя каналов. Эти отклонения ведут к неравномерности распределения расхода компонентов по индивидуальным каналам и существенно влияют на общий расход компонентов.

Финишная обработка таких поверхностей тради-

Финишная обработка таких поверхностей традиционными методами затруднена. Отсутствие надежной технологии отделки привело к тому, что конструкторы были вынуждены значительно снизить требования КД к параметрам труднодоступных каналов в деталях.

В лаборатории отделочных операций Сибирского государственного аэрокосмического университета накоплен большой опыт по использованию экструзионного хонингования (ЭХОН) или абразивно-экструзионной обработки (АЭО) сложнопрофильных деталей, в том числе имеющих большое число лопаток. Экструзионное хонингование основано на экструзии через обрабатываемую деталь вязкоупругих сред, наполненных абразивными зернами [1]. Основным преимуществом ЭХОН перед другими методами финишной обработки является возникновение значительных нормальных упругих

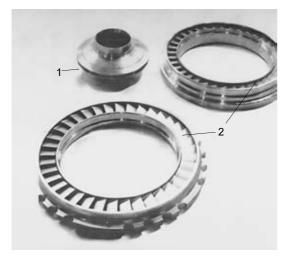


Рис. 1. Детали с закрытыми (1) и открытыми (2) каналами, сформированными литьем по выплавляемым моделям



Рис. 2. Установка для экструзионного хонингования УЭШ-350

деформаций в рабочей среде при ее течении через обрабатываемый канал, которые обеспечивают значительное увеличение прижатия абразивных зерен к обрабатываемой поверхности [2].

При относительно невысоких скоростях резания, характерных для ЭХОН, этот эффект способствует получению сил резания, позволяющих реализовывать процесс обработки поверхностей с значительным дефектным слоем повышенной твердости, характерным для операций формообразования литьем по выплавляемым моделям или электроэрозионной обработки.

Экспериментальные работы проведены на установке УЭШ-350 (рис. 2), предназначенной для ЭХОН каналов деталей, габаритные размеры которых с приспособлением (диаметр  $\times$  длина) 0,35  $\times$  0,50 м. Конструкция установки позволяет эффективно закреплять обрабатываемую деталь и обеспечивать давление масла в системе, управление ходом рабочих поршней и перемещением прижимной траверсы [3].

Основная цель исследований — экспериментальное определение зависимости точности расхода компонентов через каналы деталей, имеющих большое число лопаток, от технологических режимов ЭХОН. При постановке задач особое внимание уделяли обеспечению качества всех поверхностей обрабатываемых каналов.

Анализ конструкции деталей показал, что входные и выходные части лопаток, как правило, наклонены к оси детали, а следовательно, и к линии потока среды при ее экструзии через деталь. Как пока-

зали исследования процесса течения абразивной среды, на входе в каналы происходит разделение общего потока и перестройка профилей разделенных потоков, обусловленная реологическими свойствами вязкоупругой среды. Чем больше угол входа в каналы, тем больше входные потери потока, обусловленные возникновением упругих деформаций и высокой скоростью их релаксации при перестройке профиля среды, основой которой является кремнийорганический каучук СКТ. В результате основной съем металла происходит на входных кромках каналов. На входе в канал наблюдается зона отрыва рабочей среды от обрабатываемой поверхности с образованием на этом участке зоны застоя. Вследствие этого уменьшаются силы прижатия активных абразивных зерен, находящихся на поверхности среды, вплоть до прекращения контакта с обрабатываемой поверхностью.

Авторами ранее предложено несколько технических решений для выравнивания условий обработки. Так, для создания направленного движения абразивного потока на каждую кромку лопатки, наклоненную к основному движению среды (рис. 3), предложено применять направляющие аппараты 1.

В ходе исследований удалось сформулировать более точные рекомендации по применению данного технического решения. Так как детали имели

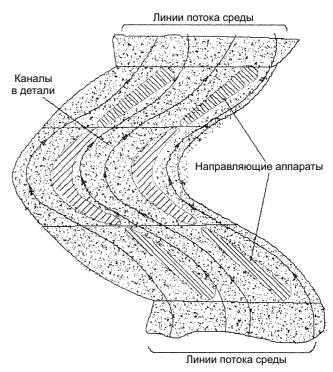


Рис. 3. Схема изменения линий тока рабочей среды при помощи направляющих аппаратов

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> A. c. 116359 (CCCP).

наклонные лопатки, с каждой стороны заготовки в приспособлении были установлены технологические направляющие аппараты, позволившие реализовать требуемое направление потока абразивной среды и создать условия для равномерного хонингования поверхностей лопаток по длине. При этом выходные сечения каналов в направляющем аппарате имели идентичные с сечением каналов обрабатываемой детали форму и площадь сечения, а также угол входа в канал. Общая площадь входных сечений направляющих аппаратов равнялась площади сечения рабочего цилиндра установки.

На фланец нижней камеры 1 установки помещали разборное приспособление, обеспечивающее хонингование каналов детали рабочей смесью (рис. 4).В нижнюю часть 3 приспособления (с технологическим направляющим аппаратом) монтируется обрабатываемая деталь 5, ее верхняя часть 4 (с технологическим направляющим аппаратом) крепится к верхней камере 2. Траверса установки обеспечивает перемещение верхнего блока цилиндров и закрепление приспособления с деталью в установки. При этом приспособление с камерами установки образует закрытую камеру и обеспечивает герметичность в стыке между верхней и нижней камерами установки.

Состав рабочей среды смеси для обработки зависит от геометрических параметров каналов, исходной и требуемой шероховатости поверхности и материала обрабатываемой заготовки [4]. Одним из граничных условий выбора состава является

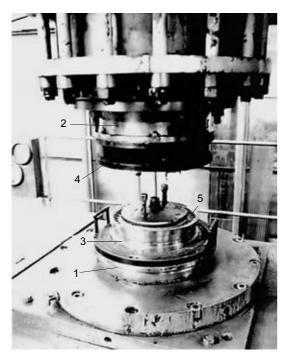


Рис. 4. Экспериментальная обработка детали

производительность обработки. Необходимо учитывать и влияние температуры среды, оснастки и установки при обработке [5].

Известно [1], что шероховатость поверхностей каналов и величина съема металла по обрабатываемой поверхности зависят от состава и давления среды в зоне обработки. Но давление абразивной среды в канале изменяется как по длине канала вследствие гидравлического сопротивления течению среды, так и при изменении суммарной площади всех одновременно обрабатываемых каналов (при постоянном давлении среды на входе в каналы детали). Поддержание постоянного расхода и давления среды на входе в каждый канал при обработке вызывает необходимость применения устройств для ЭХОН с определенной емкостью рабочих камер, определяемой из отношения

$$k_{\rm V} = V_{\rm KAM}/V_{\rm KAH},\tag{1}$$

где  $V_{\rm кам}$ ,  $V_{\rm кан}$  — объем камеры с рабочей средой и общий суммарный объем обрабатываемых каналов соответственно.

Установлено, что коэффициент  $k_y$  при обработке крупногабаритных деталей должен быть равен 1,2—1,6. При таком соотношении объемов достигается оптимальное время одного цикла обработки T:

$$T = T_{\text{pxH}} + T_{\text{nep}} + T_{\text{pxB}}, \tag{2}$$

где  $T_{\rm pxh}$ ,  $T_{\rm pxb}$  — время рабочего хода штока нижнего и верхнего цилиндра соответственно,  $T_{\rm nep}$  — время на переключение элементов гидроаппаратуры при смене направления экструзии рабочей среды.

Обработка возможна и при  $k_y < 1,2$ , т. е. мéньшем объеме рабочей среды, которая в данном случае испытывает бо́льшие нагрузки при ЭХОН и быстрее нагревается. Нагрев среды уменьшает ее вязкостные свойства, а следовательно, и жесткость, что ведет к ухудшению режущих свойств. Кроме того, использование меньшего объема среды при экструзии увеличивает число циклов обработки и время  $T_{\rm nep}$ .

При  $k_{\rm y}$  > 1,6 обработка крупногабаритных деталей требует создания устройств соответствующих габаритных размеров, что может привести к значительному увеличению себестоимости обработки. Для рассматриваемого случая коэффициент  $k_{\rm y}$  = 1,5.

Опыты выполнены в производственных условиях на каналах, образованных соседними лопатками газовых направляющих аппаратов после литья заготовок по выплавляемым моделям. Заготовки подвергали предварительной механической обработке и имеют суммарную площадь каналов  $49,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$  (см. рис. 1). При проливе водой необходимо обеспечить общий расход воды через все каналы за время  $27,5 \pm 0,41$  с.

Для деталей, не обработанных ЭХОН, время пролива превышало заданное на 0,8—5,6 с.

Условия экструзионного хонингования каналов были выбраны по результатам предварительной обработки образцов. При выборе состава среды варьировалось содержание абразивного зерна и модификатора, снижающего трение полимерной основы среды при ЭХОН. Выбранный состав рабочей среды содержал 75 % электрокорунда белого ЭЗ2 и Э125 объемом 49 · 10<sup>-2</sup> м<sup>3</sup>. Полимерная основа среды (носитель) получена при смешивании каучука СКТ и фторопласта мелкодисперсного Ф4 (25 %).

Для оптимального течения среды давление масла в системе управления установки УЭШ-350 составляет 12,0 МПа. При этом время цикла (экструзии среды из одной рабочей камеры в другую и обратно)  $T=48 \div 50$  с. Число циклов при ЭХОН определялось задачей достижения расхода постоянного объема воды при ее проливе через каналы за заданный интервал времени  $\delta t$ .

Для примера на основании предварительного пролива водой заготовки и последовательного экструзионного хонингования (через каждые 10 циклов обработки) построен график зависимости уменьшения времени пролива  $\delta t$  через каналы от числа циклов экструзионного хонингования N (рис. 5)

$$\delta t = f(N). \tag{3}$$

Экспериментальные исследования позволили выявить, что в случае незначительного отклонения действительного расхода воды при проливе (непосредственно после литья в заготовке) следует применять электрокорунд ЭЗ2. Для изменения времени пролива на 0,1 с достаточно выполнить 2—3 цикла экструзионного хонингования. В случае существенного отклонения расхода жидкости по результатам предварительного пролива водой от заданного в КД расхода воды рекомендовано использовать абразив Э125.

Для правильного выбора параметров обработки для каждого наименования деталей рекомендовано использовать зависимость (3). Графики, подобные приведенному на рис. 5, рекомендовано выполнять и производить регулярное нанесение на них результатов расхода воды (газа) при проливе водой для контроля работоспособности установки УЭШ-350 и стабильности режимов обработки. В случае больших отклонений от графика необходимо выяснить причину изменения работоспособности установки: выход из строя одного из насосов гидростанции в процессе обработки; потеря режущей способности абразивных зерен (снижение жесткости среды при ее нагреве, притупление граней абразива, насыщение среды микрочастицами обрабатываемой детали); недостаточное количество среды в рабочей камере и др. Для обеспечения ста-

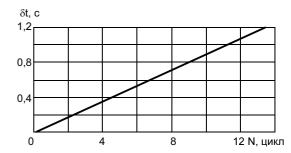


Рис. 5. Зависимость изменения времени пролива постоянного объема воды от числа циклов экструзионного хонингования

бильности параметров обработанных деталей (геометрических, газо- и гидродинамических) в системе управления установки УЭШ-350 предусмотрено регулирование условий и поддержка заданных режимов обработки.

В ходе исследований установлено, что практически во всех заготовках после литья имеются геометрические погрешности, влияющие на расход жидкости (или газа) при проливе (продувке газом), что затрудняет обработку статистических данных и выбор постоянных режимов экструзионного хонингования. Поэтому каждую заготовку следует проливать и определять время общего секундного расхода воды через каналы заготовки. Если же в КД заданы требования обеспечения равномерности распределения жидкости по окружности детали, то при проливе необходимо фиксировать секундный расход через каждый канал. Тогда при отклонении секундного расхода жидкости через частные каналы экструзионному хонингованию следует подвергать только эти каналы. Остальные каналы при установке направляющих аппаратов следует заглушить.

Параметр шероховатости поверхностей в каналах существенно улучшается (с исходной  $Rz = 30 \div 40$  мкм до окончательной  $Ra = 3.2 \div 1.6$  мкм), что соответствует требованиям КД. После ЭХОН изменяется распределение направления шероховатости. Произвольное направление шероховатости, характерное для поверхности после литья, изменяется на шероховатость с направлением, параллельным потоку компонентов в каналах при эксплуатации деталей. Это позволяет снизить расход компонентов за счет уменьшения пристеночного сопротивления потока жидкости или газа.

Технология ЭХОН или абразивно-экструзионной обработки позволяет успешно проводить на существующем оборудовании операции финишной отделки различных сложнопрофильных деталей.

### вывод

Применение экструзионного хонингования обеспечило заданную временную точность расхо-

да компонентов топлива через каналы деталей, имеющих большое число лопаток, а также достичь требуемого параметра шероховатости их поверхностей  $Ra=3,2\div1,6$  мкм. Время обработки зависит от исходного состояния поверхностей каналов детали и составляет 10—40 мин. При этом геометрические размеры обрабатываемых каналов остались в пределах заданных допусков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

 Сысоев С. К., Сысоев А. С. Экструзионное хонингование деталей летательных аппаратов: теория, исследования, практика. Красноярск: СибГАУ, 2005. 220 с.

- 2. *Левко В. А.* Особенности реологии рабочей среды при абразивно-экструзионной обработке // Вестник СибГАУ. 2005. Вып. 7. С. 96—100.
- 3. Установка для экструзионного шлифования крупногабаритных деталей УЭШ-350 / С. К. Сысоев, В. И. Суетов, В. А. Левко, М. А. Лубнин / Инф. листок № 532-91. Красноярск: ЦНТИ, 1991. 40 с.
- 4. Сысоев А. С. Абразивно-экструзионное улучшение качества внутренних поверхностей каналов после электроэрозионной обработки в деталях летательных аппаратов: Дис. ... канд. техн. наук. Красноярск: СибГАУ, 2002. 20 с.
- 5. Снетков П. А. Совершенствование технологии абразивно-экструзионной обработки каналов в деталях летательных аппаратов: Дис. ... канд. техн. наук. Красноярск: СибГАУ, 2003. 19 с.

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

## Оптимизация раскроя листовых заготовок в нефтегазовом машиностроении

Топливно-энергетический комплекс Западной Сибири, созданный в 70—80-е годы прошлого столетия, и в настоящее время продолжает оставаться одним из основных составляющих экономики Российской Федерации и оказывает наибольшее влияние на экономическую ситуацию в стране. Ускоренное освоение нефтегазовых месторождений было бы невозможно без сооружения нефтегазовых объектов индустриальными методами. Проблемы дальнейшего внедрения индустриальных методов решаются в трех направлениях:

- совершенствование объемно-планировочных и конструктивных решений сооружаемых объектов;
- совершенствование технологии и организации строительного производства, труда и управления строительством;
- совершенствование технологии машиностроительного производства блочно-комплектных устройств (БКУ).

Техническая политика до последнего времени ориентирована в основном на первые два направления. Современная экономическая ситуация в России требует уточнения старых и разработки новых подходов при решении задач машиностроительного производства нефтегазовых объектов. Если для отдельных объектов задача технологического обеспечения машиностроительного производства БКУ решается на удовлетворительном уровне, то для объектов многократного применения эффективных решений пока нет.

Нефтегазовые объекты в комплектно-блочном исполнении создаются на основе боксов унифицированной серии. Любой бокс унифицированной се-

рии состоит из основания, каркаса и ограждающих конструкций. Основание представляет коробчатую плиту из продольных и поперечных балок, заваренных сверху и снизу стальными листами (рис. 1). Верхняя плоскость основания выполнена из сталь-

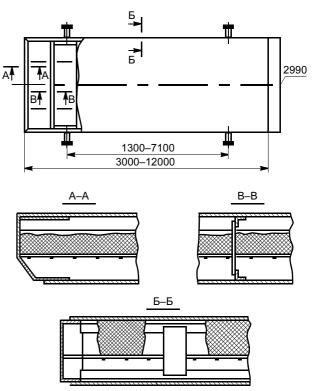


Рис. 1. Конструктивное исполнение основания бокса

ного листа толщиной 4 мм, нижняя — 2 мм. Ширина основания 3 м, длина 3, 6, 9 и 12 м.

Исходя из допускаемой удельной нагрузки (4 и 8 кН/м²) основания имеют два конструктивных исполнения, отличающихся моментом сопротивления и расположением продольных и поперечных балок. Профили применяемых продольных и поперечных балок приведены в табл. 1.

Допускаемые сосредоточенные нагрузки на поперечную балку для оснований с несущей способностью до 4 кН/м<sup>2</sup> составляют 1,2 т при эксплуатации и транспортировании. Для оснований с несущей способностью до 8 кН/м<sup>2</sup> сосредоточенная нагрузка составляет при эксплуатации 2,4 т, в состоянии транспортирования — 1,32 т.

Постановка задачи. Различают два вида задач оптимизации. В задачах первого вида улучшение достигается за счет качественных изменений, например выбора новых конструктивных решений. В задачах второго вида качественная сторона остается неизменной, но меняются количественные показатели. В таких задачах исследуются наибольшее и наименьшее значения функций, зависящих от нескольких переменных. В данной работе рассмотрим задачу второго вида.

Сборочно-комплектовочное предприятие блочно-комплектных устройств (БКУ) получает листовой прокат в виде листовых рулонов толщиной 2 мм и шириной 1500 мм (ГОСТ 19904—90)для изготовления нижней части оснований четырех типов — Б3, Б6, Б9 и Б12 (рис. 2). Необходимо оптимизировать технологию раскроя листовых рулонов, обеспечивающую минимальные отходы, заданный объем

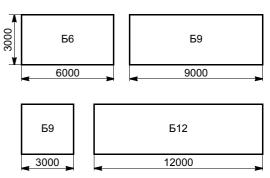


Рис. 2. Очертания оснований боксов унифицированной серии

выпуска и наименьшее число переналадок технологического оборудования при раскрое заготовок.

Пусть в рассматриваемом временном периоде сборочно-комплектовочное предприятие получает партию листового проката в рулонах длиной 50 м (ГОСТ 10904—90). Заданы конструктивные параметры и объемы производства оснований блочных устройств (табл. 2). Надежность и представительность исходных данных, обеспечивающих достоверность полученных результатов, базируются на производственных данных объединения ОАО "Сибкомплектмонтаж".

За критерий оптимальности примем минимум отходов. Оптимизируемая величина — число рулонов, подлежащих раскрою. В качестве ограничений принимаем необходимость обеспечения заданного выпуска оснований блочных устройств необходимым числом листовых заготовок. С учетом соблюдения этих условий возможны следующие варианты раскроя (табл. 3).

Таблица 1

| Несущая<br>способ-              | Профиль балок |            |         |  |  |  |
|---------------------------------|---------------|------------|---------|--|--|--|
| ность                           |               | поперечных |         |  |  |  |
| основания,<br>кН/м <sup>2</sup> | продольных    | крайних    | рядовых |  |  |  |
| До 4                            |               |            |         |  |  |  |
| До 8                            |               |            |         |  |  |  |

Таблииа 2

| Тип основания | Длина основания, мм | Число, шт. |
|---------------|---------------------|------------|
| Б3            | 3000                | 210        |
| Б6            | 6000                | 300        |
| Б9            | 9000                | 310        |
| Б12           | 12 000              | 2180       |
|               |                     |            |

Таблица 3

| Вариант | Числ<br>одно | Отход<br>листового |    |     |            |
|---------|--------------|--------------------|----|-----|------------|
|         | Б3           | Б6                 | Б9 | Б12 | рулона, мм |
| I       | 16           | 0                  | 0  | 0   | 2000       |
| II      | 6            | 5                  | 0  | 0   | 2000       |
| III     | 0            | 0                  | 4  | 1   | 2000       |
| IV      | 0            | 0                  | 0  | 4   | 2000       |
|         |              |                    |    |     |            |

Таким образом, необходимо определить, какое число рулонов должно быть раскроено каждым из четырех способов, чтобы обеспечить заданный объем выпуска оснований с минимальными отходами.

Построение математической модели линейного программирования. Линейное программирования вание включает теорию и практику решения задач, в которых необходимо определить переменные величины, удовлетворяющие заданным ограничениям линейного характера и оптимизирующие по максимуму (или минимуму) линейную функцию этих переменных. Математическая модель оптимизации может быть построена и решена при выполнении следующих основных условий:

- наличие однозначно сформулированного критерия оптимальности, который может быть количественно измерен;
- обоснованность принятых ограничений и числовых характеристик параметров, входящих в систему ограничений;
- взаимозаменяемость переменных, обусловливающих возможность выбора оптимального решения и многовариантность их использования;
- уравнения и неравенства должны быть линейными, т. е. в целевую функцию и ограничения должны входить переменные только в первой степени.

При моделировании возникают две противоречивые цели: с одной стороны, нужно разработать модель, с помощью которой проще получить решение задачи, с другой — обеспечить максимальную адекватность. Для этого необходимо обратить особое внимание на учет существенных факторов и исключить второстепенные, что в конечном итоге обусловливает правильность построения модели и достоверность решения. В общем виде модель линейного программирования должна обеспечивать возможность выполнения численных решений с применением вычислительной техники и допускать опытную проверку соответствия модели исследуемому объекту.

При построении модели используем следующие обозначения:  $X_{ij}$  — число стандартных листовых рулонов для раскроя i-х заготовок j-м способом;  $a_{ij}$  — число i-х заготовок, получаемых из одного стандартного листового рулона j-м способом раскроя;  $C_j$  — величина отхода, получаемого при j-м способе раскроя одного стандартного рулона;  $b_i$  — число i-х заготовок, необходимых для выполнения заданно-

го объема выпуска; m — число типов оснований блочных устройств; n — число способов раскроя.

Математическая модель линейного программирования в обобщенном виде может быть записана следующим образом:

целевая функция

$$F = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} C_j x_{ij} \rightarrow \min;$$

ограничения

$$\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_{ij} = b_{ij};$$

$$x_{ij} \ge 0$$
.

Частный пример раскроя стандартного рулона для заданных условий (см. табл. 2, 3) сводится к решению следующей математической задачи: определить такие положительные значения переменных  $x_1 \ge 0$ ,  $x_2 \ge 0$ ,  $x_3 \ge 0$ ,  $x_4 \ge 0$ , которые удовлетворяют следующей системе уравнений:

$$\begin{array}{r}
 16x_1 = 210; \\
 6x_1 + 5x_2 = 300; \\
 4x_3 + x_4 = 310; \\
 4x_4 = 2180,
 \end{array}$$

при которой функция

$$F = 2000(x_1 + x_2 + x_3 + x_4) \rightarrow \min$$

достигает минимального значения.

Решение математической модели включает выбор соответствующего метода линейного программирования (симплексный, распределительный и др.), разработку программы решения, составление программы и реализацию ее на ЭВМ.

Таким образом, предлагаемая математическая модель позволяет выполнить оптимальный раскрой стандартных листовых рулонов с минимальными отходами при изготовлении оснований блочных устройств различных типов. При необходимости модель может быть доработана для раскроя алюминиевых листов панелей блочно-комплектных устройств и суперблоков.

## ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ, ИСПЫТАНИЯ

Г. М. РЫБАКОВ, канд. техн. наук Филиал "НИИД" ФГУП "ММПП "Салют""

## Экспресс-метод контроля качества дробеструйной обработки сложнонагруженных деталей по критерию остаточных напряжений

Остаточные напряжения (ОН) после механической, в частности дробеструйной (ДО) обработки, традиционно определяют методом Давиденкова [1—3]. Однако до настоящего времени не найдены закономерности, которые позволили бы описать механизм определения ОН аналитическими зависимостями. Поэтому их определяют эмпирически, вырезая образцы из деталей после ДО с помощью метода Давиденкова.

Основная трудность использования метода Давиденкова заключается в отсутствии метрологического обеспечения, поскольку нет поверочных средств для оценки напряжений, действующих во внутреннем объеме материала. В частности, образцы, вырезаемые из деталей после ДО, выгибаются выпуклостью в сторону обработанной поверхности, и этот прогиб или выгиб, являющийся проявлением внутренних напряжений, следует определять на постоянном базовом размере для всех исследуемых образцов. Однако в практике применения метода Давиденкова базовый размер, относительно которого измеряют прогиб, не учитывается. При определении ОН образцы, обладающие одинаковым прогибом и разной длиной (рис. 1.), показывают, естественно, разное распределение напряжений. Но из-за отсутствия четких метрологических правил при использовании метода Давиденкова делается вывод о том, что одинаковые прогибы, полученные при ДО, могут быть вызваны различным распределением остаточных напряжений. Проанализируем, как это происходит на практике. Рассмотрим известную формулу для определения остаточных напряжений методом Давиденкова [3]:

$$\sigma(a) = \frac{4E}{3L^2} \left[ (h-a)^2 \frac{df}{da} - \right]$$

$$-4(h-a)f+2\int_{0}^{a}f(\xi)d\xi\bigg],$$

где f — текущий прогиб образца, меняющийся в процессе травления, L — длина стравливаемого слоя.

В формулу подставляют длину  $L_1$  или  $L_2$  и прогиб  $f_1 = f_2$  для образцов 1 и 2 разной длины (см. рис. 1). С учетом этого в формулу заложена неоднозначность напряжении для разных образцов с одинаковым прогибом. Такая неточность присутствует во всех работах и методиках по определению ОН методом Давиденкова.

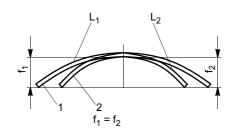


Рис. 1. К определению остаточных напряжений в образцах с одинаковым прогибом ( $L_1 > L_2$ )

В частности, в работе [4] показано, что изгиб образца, вырезанного из материала после механической обработки, не связывается с каким-либо фиксированным значением базового размера. Основываясь на неточных исходных данных, исследователи заключают, что даже при неизменных свойствах обрабатываемого материала, толщинах и прогибах вырезаемых образцов и отсутствии каких-либо отклонений в процессе ДО остаточные напряжения в поверхностном слое могут оказаться различными. В связи с этим возникает вопрос — можно ли вообще контролировать стабильность процесса ДО по критерию ОН, если нет однозначных закономерностей их появления? Отсутствие четких метрологических требований при применении метода Давиденкова в конечном итоге приводит к разрушению годных деталей с целью контроля ОН, которое ни технически, ни экономически не оправдано.

Существующие представления о возникновении остаточных напряжений не позволяют вывести аналитическую зависимость, описывающую механизм наведения ОН в деталях при ДО. Так, в работе [4] существенной считается только та часть ОН, которая распространяется от поверхности до точки перехода через ноль. Поэтому величина прогиба вырезанного образца не связывается никакой аналитической зависимостью с распределением напря-

жений по всему сечению образца. Отсюда логически следует неоднозначная зависимость прогиба от распределения ОН в поверхностном слое. Такое искусственное выделение части ОН некорректно, поскольку весь материал детали (или образца) реагирует на любое изменение в поверхностном слое. Исследования, проведенные в конце 80-х годов, показывают, что у разных материалов существует не только однозначная, но и прямо пропорциональная зависимость прогиба от глубины наклепа при ДО [5].

Более корректное, с точки зрения метрологического обеспечения, определение ОН методом Давиденкова приведено на рис. 2. Образцы разной длины, одинаковой толщины и с "одинаковым" прогибом устанавливают на единый базовый размер, относительно которого измеряют прогиб. Измерение прогибов образцов разной длины относительно единого базового размера показывает, что в действительности образцы имеют разный прогиб, причем образец меньшей длины имеет больший прогиб относительно базового размера (см. рис. 2). В соответствии с известными классическими представлениями [1], образец с большим прогибом обработан более интенсивно, имеет большую глубину наклепа и соответствующее распределение напряжений. Неоднозначность распределения

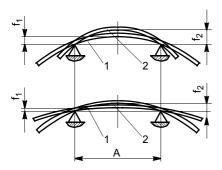


Рис. 2. Метрологически обоснованное получение исходных данных для определения остаточных напряжений (обозначения — см. рис. 1)

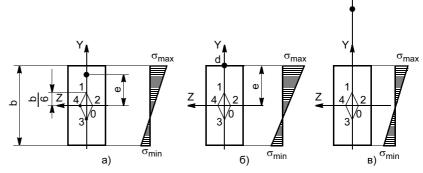


Рис. 3. Динамика изменения напряжений по сечению стержня прямоугольного сечения при изменении точки приложения силы (т. 1—4 — границы ядра сечения):  $a = \frac{b}{6} < e < \frac{b}{2}$ ; 6 = e = b/2;  $e = \frac{b}{2} < e \to \infty$ 

напряжений при этом полностью исключается. При измерении относительно постоянной базы получаем  $L_1 \approx L_2$ , а  $f_2 > f_1$  и ОН по классической формуле однозначно определяются величиной прогиба.

Результаты исследований в области управления процессом ДО позволили разработать метод определения ОН после ДО, исключающий метод Давиденкова. Метод, названный "алгоритм Рыбакова" или экспресс-метод, позволяет определить ОН, используя предел текучести и модуль упругости материала образца, толщину и прогиб образца, измеренный на строго установленной базе после ДО.

Метод описывает механизм наведения ОН по глубине материала при ДО аналитической зависимостью, полученной нетривиальным способом и описывающей распределение напряжений по всему сечению образца как функцию от его прогиба. Решение основано на анализе равновесия пластины, изогнутой под действием ДО [6]. Для описания равновесия использовали известную задачу внецентренного растяжения или сжатия стержней прямоугольного сечения [7]. На рис. 3 приведены три случая внецентренного растяжения (сжатия) для различных точек приложения внецентренных нагрузок к стержню

прямоугольного сечения. Видно, что при увеличении эксцентриситета e (координаты точки внецентренного приложения силы) эпюра напряжений приближается к симметричной, а при  $e \to \infty$  становится практически симметричной. Для решения рассматриваемой задачи важны два состояния, характеризуемые значениями эксцентриситетов:  $\frac{b}{6} < e < \frac{b}{2}$  и

 $\frac{b}{2} < e < \infty$ . Синтезируем условие равновесия изогнутой ДО пластины.

Равновесие стержня, характеризуемого условием  $\frac{b}{6} < e < \frac{b}{2}$ , относится к пластически дефор-

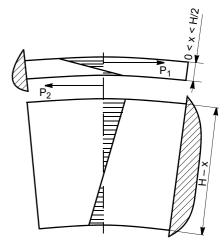


Рис. 4. Равновесие пластически и упругодеформированных слоев при взаимодействии с жесткой заделкой

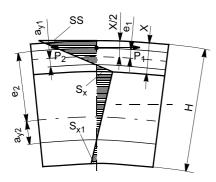


Рис. 5. Условие равновесия изогнутой пластины после ДО

мированному слою, а условие  $\frac{b}{2} < e < \infty$  — к упругодеформиро-

ванному слою. В соответствии с классической задачей равновесие упруго- и пластически деформированных слоев определяют при условии заделки (рис. 4).

Заменив равновесие слоев, обеспечиваемое жесткой заделкой, на равновесие, обеспечиваемое воздействием одного слоя на другой, получаем схему, приведенную на рис. 5. На рис. 5 приняты следующие обозначения: е1 эксцентриситет или координата точки приложения силы  $P_1$  относительно центра тяжести прямоугольного сечения стержня или относительно осевой линии пластически деформированного слоя;  $a_{v1}$  — расстояние от оси симметрии пластически деформированного слоя до его нейтральной оси, на которой напряжения сжатия приобретают нулевые значения; е<sub>2</sub> — эксцентриситет или координата точки приложения силы P<sub>2</sub> относительно центра тяжести прямоугольного сечения стержня или относительно осевой линии упругодеформированного слоя;  $a_{
m V2}$  — расстояние от оси симметупругодеформированного рии слоя до его нейтральной оси, на которой напряжения приобретают нулевые значения; SS — сжимающие напряжения, возникающие на поверхности пластины в состоянии, когда упруго- и пластически деформированные слои находятся в равновесии. В соответствии со стандартами, принятыми в международной практике, буквы SS являются начальными буквами слов Surface Stress (поверхностные напряжения) — напряжения, определяемые на поверхности материала детали;  $S_{\nu}$  — растягивающие напряжения, возникающие на границе перехода от пластически к упругодеформированному слою;  $S_{x1}$  сжимающие напряжения, возникающие в состоянии равновесия на вогнутой стороне пластины, противоположной стороне обрабатываемой дробью.

Видно, что пластически деформированный и упругосжатый в условиях изгиба слой толщиной x воздействует с силой  $P_1$  на упругорастянутый в условиях изгиба слой материала толщиной H—x. В свою очередь упругодеформированный слой толщиной Н-х воздействует на пластически деформированный слой толщиной x с силой  $P_2$ . Условием равновесия изогнутой пластины после ДО является равенство модулей сил  $|P_1| = |P_2|$ . Силы  $P_1$  и  $P_2$  определяются распределением напряжений, возникающих при внецентренном растяжении или сжатии пластически и упругодеформированных слоев. При известных геометрических размерах образца и физико-механических свойствах материала распределение напряжений по всему сечению материала образца после ДО однозначно определяется по одному параметру — прогибу образца, измеренному на определенном базовом размере.

Для расчетов напряжений разработана программа для ЭВМ, содержащая алгоритм расчета ОН [8]. Элементарный объем пластины в состоянии равновесия характеризуется следующими параметрами: H — толщина пластины; x — толщина пластически деформированного слоя; сила  $P_1$ 

представляет реакцию упругосжатого пластически деформированного слоя, противодействующую его сжатию. Упругодеформированный слой воздействует с силой  $P_2$  на пластически деформированный, вызывая его упругое сжатие. В состоянии равновесия модули сил  $P_1$  и  $P_2$  равны. Координаты точек приложения сил  $P_1$  и  $P_2$  неодинаковы относительно нейтральных и средних линий упруго- и пластически деформированных слоев.

Полученное решение является нетривиальным, поскольку определение глубины пластически деформированного слоя основано не на задачах пластического течения, а на классической задаче теории упругости. Существенным следствием этого решения является то, что ОН следует считать распределение напряжений по всему сечению или объему образца (детали).

Расчет распределения остаточных напряжений основан на четкой метрологической основе (см. рис. 2). Постоянная база измерения прогибов пластин приводит к сопоставимости результатов измерений прогибов и исключает неоднозначность определения ОН.

Представленный способ не требует специального оборудования и сложной технологии стравливания поверхностных слоев в электролите при непрерывном измерении прогиба и представляет собой экспресс-метод определения ОН. Последний позволяет выполнять неразрушающий контроль сложнонагруженных ответственных деталей, используя для этого образцы-свидетели, располагаемые на поверхности технологической детали в процессе ДО и их можно использовать для определения ОН только по одному параметру — прогибу образцов.

Для оценки достоверности предлагаемого метода проведен комплекс исследований, вклю-

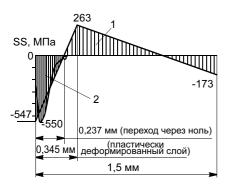


Рис. 6. Распределение напряжений в образце толщиной H=1,5 мм и прогибом f=0,35 мм, полученное экспресс-методом 1 и методом Давиденкова 2

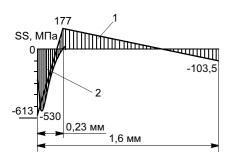


Рис. 7. Распределение напряжений в образце толщиной H=1,6 мм и прогибом f=0,2 мм, полученное экспресс-методом и методом Давиденкова (1, 2—см. рис. 6)

чавший сравнение экспресс-метода и традиционного метода Давиденкова. Образцы для контроля размером  $40 \times 4 \times 2$  мм вырезали из готовой детали и после вырезки измеряли получившиеся размеры и прогиб на определенной постоянной базе измерения (см. рис. 2). Некоторые результаты сравнения двух методов определения ОН приведены на рис. 6—9. Видно, что оба метода дают практически совпадающие результаты в области от максимальных значений ОН на поверхности до точки перехода напряжений сжатия через ноль. Однако экспрессметод более информативен, поскольку дает представление о

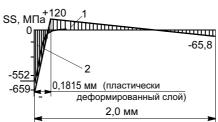


Рис. 8. Распределение напряжений в образце толщиной H=2,0 мм и прогибом f=0,1 мм, полученное экспресс-методом и методом Давиденкова (1, 2—см. рис. 6)

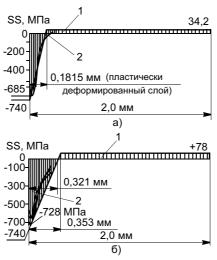


Рис. 9. Распределение напряжений, полученное экспресс-методом и методом Давиденкова при "выпрямленном" образце: a - H = 2.0 мм, f = 0.1 мм; 6 - H = 2.0 мм, f = 0.2 мм, f = 0.2 мм; f = 0

распределении напряжений по всему сечению образца. При этом метод моделирует распределение напряжений в материале детали до вырезки, т. е. в состоянии после ДО.

Следует иметь в виду, что экспресс-метод имеет существенные ограничения, поскольку необходимым условием является наличие прогиба образца. Метод применим только для определения ОН после ДО и для материалов с неизменными прочностными характеристиками по объему. Поэтому с помощью метода невозможно определить растягивающие остаточные напряжения, поскольку их появление связано с изменением

свойств материала по глубине, возникающих, например при шлифовании.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Результаты исследования показали, что часть остаточных напряжений сжатия, возникающих в приповерхностном слое после дробеструйной обработки, неразрывно связана в единую систему распределения напряжений по всему сечению или объему образца (детали). За остаточные напряжения после пластической деформации поверхностного слоя следует принимать распределение напряжений по всему сечению или объему детали.

Как при классическом способе Давиденкова, так и экспресс-методе прогиб следует определять относительно единого базового размера, исключающего неоднозначность определения остаточных напряжений.

Разработан экспресс-метод определения остаточных напряжений в образцах после дробеструйной обработки. Для расчета распределения напряжений разработан алгоритм и программа для ЭВМ, позволяющие получать распределение напряжений расчетным путем.

Экспресс-метод может быть использован как неразрушающий способ контроля стабильности обработки нагруженных деталей. При этом существенно повышается надежность контроля. Метод применим только для дробеструйной обработки материалов с неизменными прочностными характеристиками по объему, поэтому не может быть использован для определения растягивающих остаточных напряжений, поскольку их появление вызвано изменением свойств материала по глубине, например высокими температурами при шлифовании.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Almen J. O. Peening Surfaces Improve Endurance of Machine Parts // Metal Progress. Vol. 43. N 2. P. 209—217.
- 2. *Давиденков Н. Н.* Динамические испытания металлов. М.: АН СССР. 1936. 395 с.
- 3. Сулима А. М., Евстигнеев М. И. Качество поверхностного слоя и усталостная прочность деталей из жаропрочных и титановых сплавов. М.: Машиностроение, 1974. 256 с.
- 4. Овсеенко А. Н., Серебряков В. И., Гаек М. М. Технологическое обеспечение качества изделий машиностроения. М.: СТАНКИН, 2003. С. 61—64.
- Brodrick R. F. Protective Shot Peening of Propellers // Wright air development center. 1985. N 2. Part I—III.
- 6. Рыбаков Г. М. Фундаментальные основы управления качеством дробеструйной обработки деталей машиностроения. Сообщение 3. Разработка "предсказывающей функции" // Известия вузов. Машиностроение. 2006. № 3. С 47—52.
- 7. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. М.: Государственное издание технико-теоретической литературы, 1954. 856 с.
- 8. Рыбаков Г. М. Программа, содержащая алгоритм управления качеством дробеструйной обработки металлических деталей, работающих в условиях сложного нагружения // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем: Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. 2005. № 4. С. 204.

Н. П. БИРЮКОВА, канд. техн. наук, Г. П. БАТОВ, инж., И. Н. КОТОВА, инж. ООО НУЦ "Качество" (Москва)

# Программа подготовки и сертификации специалистов по определению напряженно-деформированного состояния и оценки остаточного ресурса технических устройств и сооружений

Напряжения, возникающие в материале объектов при их изготовлении, монтаже и эксплуатации, могут привести к существенному изменению прочности и риску трещинообразования. Оценка внутренних напряжений в строящихся и эксплуатируемых конструкциях является одной из актуальных задач, решение которой позволяет определить техническое состояние объекта в плане промышленной безопасности, предсказать остаточный ресурс, скорректировать технологический процесс, избежать в конечном итоге разрушения.

Этому вопросу в настоящее время уделяется все больше внимания, о чем свидетельствует проведение конференций и семинаров, публикация статей и монографий. Большой практический интерес представляет разработка и совершенствование эффективных методов и средств исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) как в области расчета, так и в экспериментальной части.

Для определения НДС используют различные методы НК, в том числе рентгеновскую дефектометрию, магнитный и вихретоковый методы, метод эффекта Баркгаузена, ультразвуковой метод, метод акустической эмиссии, методы определения физико-механических характеристик материалов, структуроскопию, тензометрию и др. Этот контроль проводят специалисты, сертифицированные (аттестованные) по соответствующему мето-

ду НК, однако специалисты, осуществляющие комплексную оценку НДС, до настоящего времени не проходили сертификацию. Таким образом, в комплексе задач, решаемых в ходе обеспечения безопасных значений напряжений, отсутствует одно из важных звеньев: наличие подготовленных и сертифицируемых специалистов, обеспечивающих достоверную оценку фактического НДС конструкции и разработку мер по снижению сверхнормативных нагрузок.

В 2005 г. метод определения напряжений как один из основных методов НК, по которому специалисты подлежат сертификации, введен в международный стандарт ISO 9712—2005 "Классификация и сертификация персонала. Неразрушающий контроль", версия 2005 г. и в "Правила сертификации персонала в области неразрушающего контроля" "Системы добровольной сертификации персонала в области неразрушающего контроля и диагностики РОНКТД", зарегистрированной в Госреестре Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в 2005 г.

С целью осуществления процедур сертификации персонала по определению НДС Научно-учебным центром "Качество" совместно с ЗАО "ДИГАЗ" при участии НТЦ "ДИАТЕКС" разработана "Программа подготовки специалистов по определению напряженно-деформированного состояния и оценки остаточного ресурса технических устройств и сооружений". Программа разработана в обеспечение реализации Федерального закона "О промышленной безопасности" в областях НК и экспертизы промышленной безопасности Единой системы оценки соответствия на объектах, подконтрольных Ростехнадзору.

Программа предполагает, что специалисты, претендующие на сертификацию, должны иметь высшее техническое образование, при этом им может быть присвоен II или III уровень квалификации. Программа отражает требования к специалистам II и III уровней.

Первому уровню квалификации по оценке НДС соответствуют специалисты, прошедшие аттестацию по методам НК и выполняющие контроль и измерения с помощью конкретных методов контроля.

Программа включает необходимый объем теоретических вопросов, программного обеспечения, методик расчетов, практических занятий по курсу, обзор нормативных и методических документов состоит из трех разделов:

- общего (соответствующего объему знаний по общему экзамену);
  - специального;
  - практического.

Первый раздел включает цели и задачи определения НДС как определяющего процедуры оценки технического состояния (диагностирования) и остаточного ресурса и предусматривает рассмотрение:

- общих физических принципов методов НК и измерения НДС;
- основных понятий курса "Сопротивление материалов", расчета напряжений и деформации, реакции конструкции на нагрузки и воздействия, влияния на НДС концентраторов напряжений, предельных состояний, критериев прочности;
  - методов расчета остаточного ресурса;
- оценки влияния трещин и трещиноподобных дефектов;
- вопросов аналитических и численных методов определения НДС;
- ознакомление с примерами решения задач по оценке НДС различными программными средствами, принципами выбора расчетных средств.

Второй раздел предполагает изучение нормативных документов по расчету и определению НДС различных объектов, включая основы моделирования НДС, а также документов по оценке остаточного ресурса и продления срока безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования, сооружений на опасных производственных объектах. В этом разделе рассматриваются прикладные вопросы определения НДС конкретного типа объектов.

Специальный курс программы отражает вопросы промышленной безопасности, определения НДС и оценки остаточного ресурса магистральных, внутрипромысловых, распределительных трубопроводов; сосудов высокого давления и аппаратов. Область распространения программы может быть расширена на другие виды объектов путем дополнения специального курса.

Третий раздел — практический курс, который состоит из двух частей.

Первая часть — измерение НДС — включает демонстрацию приборов оценки НДС различными методами, а также непосредственное измерение НДС на специализируемом стенде, разработанном и изготовленном фирмой "ДИГАЗ" для тестирования аппаратуры, применяемой для оценки НДС, а также для обучения персонала диагностических подразделений. Стенд представляет собой трубопровод длиной 11,5 м, диаметром 530 мм и толщиной 8 мм, изготовленный из стали 17Г1С. На стенде можно реализовать два вида нагружения: внутреннее давление и силовой изгиб. Испытательный стенд оснащен тензометрической аппаратурой для измерения деформации. Стенд позволяет реализовать проведение контроля и измерений различными методами, а также проводить проверку практических знаний сертифицированных специалистов.

Вторая часть раздела — это решение конкретных задач по расчету НДС и сравнение расчетных и экспериментальных данных.

Курс рассчитан на 80 ч. Курс программы содержит основные вопросы подготовки специалистов по определению НДС и расчету остаточного ресурса; сертификация специалистов по методу НДС проводится в соответствии с требованиями, изложенными в ПБ 03-440-02.

Очевидно, что сертификация по методу НДС может эффективно дополнить процедуру аттестации экспертов с правом оценки остаточного ресурса, экспертов высшей квалификации, поскольку в настоящий момент содержание курса и оценки квалификации эксперта не соответствует сложности его деятельности и ответственности.

Представленная программа согласована с ведущими специалистами ООО "Энергодиагностика", ООО "Интерюнис" и другими организациями. Разумеется, это первый вариант программы, она будет корректироваться и актуализироваться в процессе реализации.

Подготовку и сертификацию специалистов планируется начать с 2007 г.

В мире неразрушающего контроля, 2006, № 4

## ABTOMATISALINA IN KOMILISOTEPISALINA TEXHOJOTISTECKIX IIPOLLECCOB

К. А. ХАРАХНИН, канд. техн. наук, А. Л. СМЫСЛОВА, инж., В. В. ПЛАШЕНКОВ, д-р техн. наук Череповецкий государственный университет

## Подсистема управления станом непрерывной холодной прокатки при прохождении сварных соединений

Современные станы непрерывной холодной прокатки оснащены системой сопровождения травильных и межрулонных швов, обеспечивающей необходимое снижение линейной скорости полосы при подходе швов к первой клети стана и увеличение скорости при их выходе из зоны обработки. Неточное определение координаты местоположения шва приводит либо к раннему снижению скорости полосы и, как следствие, уменьшению производительности оборудования, либо попаданию швов в первую клеть стана. Возможен также неточный поперечный рез металла (не по межрулонному шву) летучими ножницами (ЛН) на выходе, что увеличивает количество металла, идущего в обрезь.

В существующих подсистемах слежения за сварными соединениями контроль за координатой сварного шва осуществляется на основе сигнала кодового датчика тележки петлевого устройства, позволяющего контролировать текущий запас полосы в головной части стана 1. Кроме того, на выходе петлевого устройства устанавливают оптические устройства, позволяющие обнаруживать сварной шов путем фотосчитывания отверстия в полосе, пробитого перед швом 2. Контроль за движением сварного шва по стану и на выходе из него осуществляется косвенным путем по аналитическим зависимостям в функции вытяжки полосы между первой и последней клетями.

Расчет координаты местоположения сварного шва основан на вычислении текущего запаса полосы в петлевом устройстве, что обусловливает необходимость его точного определения. Анализ работы подсистемы слежения за координатами сварных швов пятиклетьевого стана 1700 бесконечной холодной прокатки ПХЛ ОАО "Северсталь" с использованием программы ibaANALYZER, записывающей все входные и управляющие сигналы прокатного стана в режиме реального времени, показал, что значения расчетного и фактического запаса полосы не совпадают. С помощью осциллограмм установлено, что средняя минимальная относительная погрешность при определении запаса полосы в

петлевом устройстве составила 3,2 %, из которых 1 % — погрешность кодового датчика тележки. На выходе стана рассматриваемая подсистема обеспечивает рез полосы с абсолютной погрешностью ±2,5 м, время отработки подсистемой сигнала "рез" в среднем составляет 0,7 с [1].

В головной части стана основными причинами, приводящими к погрешности в определении координаты сварного соединения, являются погрешность информации кодового датчика тележки вследствие вытягивания троса, приводящего в движение петлевое устройство, провисание полосы металла в воротах петлевого устройства в переходных режимах работы стана и низкая надежность работы оптических индикаторов швов (отверстие в полосе толщиной свыше 3 мм не пробивается — возможно из-за его загрязнения).

При прохождении сварного соединения непосредственно через прокатный стан погрешность в определении координаты обусловливается наследственной разнотолщинностью подката, изменением межвалкового зазора вследствие колебаний усилия прокатки, вызванных колебаниями обжатий, натяжений, скоростей, теплового профиля валков. В хвостовой части стана погрешность, влияющая на точность поперечного реза полосы, вызвана инерционностью подсистемы управления исполнительным механизмом летучих ножниц (ЛН) и самих ЛН и часто превышает абсолютную допустимую погрешность для современных станов ±2,5 м.

Известные устройства и системы управления не устраняют в полной мере отмеченных недостатков<sup>1, 2</sup>. Таким образом, разработка подсистемы управления повышенной надежности и точности контроля за координатой местоположения сварных швов актуальна и является резервом для повышения производительности стана и качества обрабатываемой полосы.

На кафедре "Автоматизация и системы управления" ЧГУ разработана подсистема слежения повышенной точности и надежности, устраняющая отмеченные недостатки. Функциональная схема подсистемы и алгоритм ее работы приведены на рис. 1—3.

Подсистема управления (рис. 1) состоит из датчиков травильных  $\mathcal{Q}_{\mathsf{TD}}$  (1) и межрулонных (2)  $\mathcal{Q}_{\mathsf{MD}}$ 

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> A. c. 1736652 (CCCP). <sup>2</sup> A. c. 1447437 (CCCP).

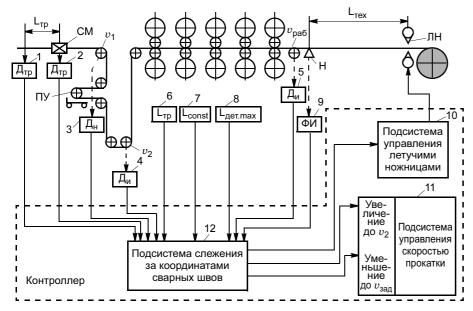


Рис. 1. Функциональная схема подсистемы слежения за координатами сварных швов

швов, импульсных датчиков (3—5) для измерения соответственно линейных  $v_1$ ,  $v_2$  (входной и выходной приводных станций головной части) и рабочей  $v_{\rm pa6}$  скоростей полосы (на выходе стана); задатчиков длин  $L_{\rm Tp}$  (6) от датчика  $\mathcal{J}_{\rm Tp}$  до стыкосварочной машины (CM),  $L_{\rm const}$  (7) — неизменяемой длины полосы металла от CM до первой клети стана и  $L_{\rm ner.max}$  (8) — максимальной длины петли петлевого устройства (ПУ); формирователя импульса сигнала сварного шва  $\mathcal{P}_{\rm u}$  (9), поступающего с выхода толщиномера H; подсистем управления ЛН (10) скоростью прокатки (11) и слежения за координатами сварных швов (12). Подсистемы 10—12 входят в состав общей системы управления и реализованы на базе программируемого логического контроллера.

Подсистема работает следующим образом. Оператор вводит заданные параметры  $L_{\rm const}$ ,  $L_{\rm ner.max}$  и  $L_{\rm Tp}$  (рис. 2, a, блок 1 алгоритма). При отсутствии сварных швов сигналы на выходах датчиков  $\mathcal{L}_{\rm Tp}$  и  $\mathcal{L}_{\rm Mp}$  не формируются. Контроллер опрашивает импульсные датчики  $\mathcal{L}_{\rm H}$  линейных скоростей и определяет  $v_1$ ,  $v_2$  и  $v_{\rm pa6}$  (блоки 2 и 3 алгоритма). Вычисляется интеграл разности  $\Delta L = \int (v_2 - v_1) dt$ , определяется текущий запас полосы в петлевом устройстве  $L_{\rm 3an} = L_{\rm const} + L_{\rm ner.max} - \Delta L$  [2] и скорректированное технологическое расстояние от толщиномера H (установленного на выходе стана) до  $\mathcal{J}H$ 

$$L_{\rm ckop} = L_{\rm Tex} - v_{\rm pa6} t_{\rm cuct}, \tag{1}$$

где  $L_{\text{тех}}$  — расстояние от толщиномера H до  $\Pi H$ ,  $t_{\text{сист}}$  — время, учитывающее инерционность под-

системы управления  $\Pi H$  и самих  $\Pi H$  (блоки 4—6 алгоритма)<sup>3</sup> [2].

Рассмотрим случай появления травильного шва. При поступлении сигнала с  $\mathcal{L}_{\text{Тр}}$  устанавливается бит травильного шва в памяти (блок 9 алгоритма), контроллер вычисляет текущий запас полосы с учетом расстояния  $L_{\text{TD}}$  по формуле

$$L_{
m 3an} = L_{
m Tp} + L_{
m const} + L_{
m ner.max} - \Delta L$$
 (блок 10 алгоритма).

Одновременно с этим вводится в память текущий запас полосы в петлевом устройстве на момент срабатывания датчика  $\mathcal{A}_{\text{тр}}$  (блок 11 алгоритма). Далее контроллер вычисляет текущую координату местопо-

ложения травильного шва в головной части стана (блок *12* алгоритма):

$$S = L_{TD} + L_{const} + L_{ner,max} - \Delta L - \int v_2 dt$$

В блоке 18 алгоритма (рис. 2, б) вычисляется длина полосы от точки начала торможения до пер-

вой клети стана 
$$L_{\rm T} = \frac{v_2^2 - v_{\rm 3a\underline{A}}^2}{2a_{\rm DOR}} \; (a_{\rm ДOR} - {\rm ДОП} {\rm ДОП})$$

замедление линейной скорости полосы, учитывающее инерционность электропривода,  $v_{\rm 3AZ}$  — скорость входа шва в первую клеть).

В блоке 19 алгоритма контроллер сравнивает два значения  $L_{\scriptscriptstyle T}$  и S и в случае их равенства подает сигнал в подсистему управления скоростью прокатки (блок 21 алгоритма) на уменьшение линейной скорости полосы в головной части стана до скорости  $v_{\mathsf{3ад}}$ . Таким образом, полоса со швом обрабатывается в стане на пониженной скорости, при этом контроллер сканирует сигнал толщиномера Н (блок 22 алгоритма). Формирователь импульсов (ФИ) (9) (см. рис. 1) преобразует информацию толщиномера и выделяет сигнал сварного шва на фоне разнотолщинности полосы. При выходе травильного шва из стана контроллер выдает сигнал в подсистему 11 (см. рис. 1) управления скоростью прокатки на увеличение линейной скорости (блок 27 алгоритма), бит травильного шва сбрасывается (блок 29 алгоритма), поперечный рез не осуществляется.

Рассмотрим случай прохождения межрулонного шва. При создании межрулонного сварного со-

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Патент 56245 (РФ).

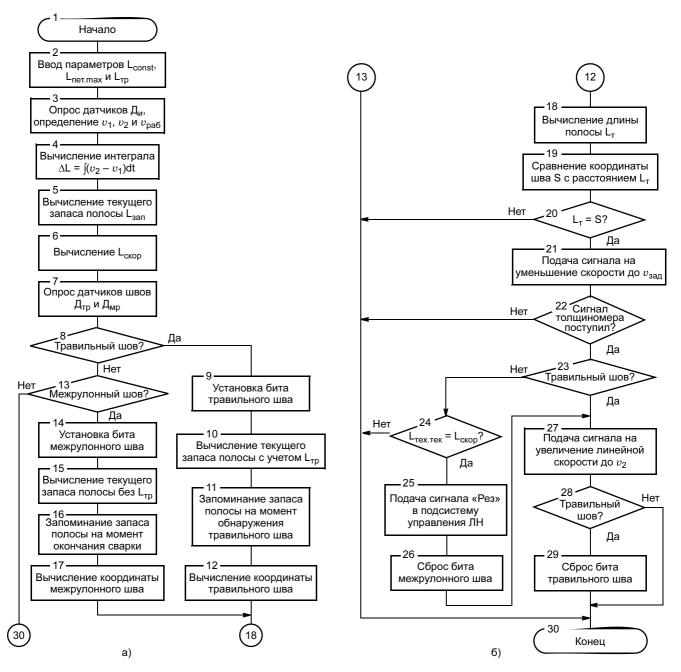


Рис. 2. Алгоритм работы подсистемы слежения за координатами сварных швов

единения на стыкосварочной машине в момент окончания сварки датчик  $\mathcal{L}_{\text{Mp}}$  (см. рис. 1) выдает сигнал, соответствующий началу движения шва, при этом устанавливается бит межрулонного шва (блок 14 алгоритма). Контроллер вычисляет текущий запас полосы в петлевом устройстве без учета  $L_{\text{тр}}$  (блок 15 алгоритма) и запоминает его. В блоке 17 алгоритма вычисляется текущая координата S местоположения межрулонного шва без учета  $L_{\text{тр}}$ , затем алгоритм выполняется аналогично ранее рассмотренному до блока 23.

После обработки потока информации с толщиномера посредством формирователя импульсов 9 (см. рис. 1) и выделения сигнала межрулонного шва на фоне разнотолщинности полосы контроллер сравнивает расстояние  $L_{\rm тех.тек}$ , пройденное сварным швом от толщиномера, с рассчитанным по формуле (1) скорректированным  $L_{\rm скор}$ ,  $L_{\rm тех.тек}$  определяется на основе сигнала импульсного датчика скорости  $\mathcal{J}_{\rm u}$  (5) (см. рис. 1). При  $L_{\rm тех.тек} = L_{\rm скор}$  выдается опережающий сигнал "рез" (блок 25 алгоритма) в подсистему управления  $\mathcal{I}$ Н с учетом инер-

ционности самой подсистемы и исполнительного механизма  $t_{\mathrm{сист}}.$ 

После реза металла и заправки переднего конца полосы в моталку выдается сигнал в подсистему управления скоростью прокатки 11 (см. рис. 1) на увеличение линейной скорости в головной части до  $v_2$  и сбрасывается бит межрулонного шва (блок 26 алгоритма).

Использование сигнала шва с толщиномера на выходе стана позволяет определить фактическое местоположение шва независимо от изменения указанных ранее факторов и тем самым уменьшить погрешность определения координаты местоположения шва. Учет инерционности подсистемы управления 10 и исполнительного механизма ЛН позволяет произвести поперечный рез полосы по шву, таким образом уменьшается допустимая абсолютная погрешность ±2,5 м фактически до нуля.

Идентификация из потока данных сигнала, соответствующего шву металла, связана с определенными трудностями, обусловленными разнотолщинностью полосы по ее длине. На основании анализа осциллограмм установлено, что основными признаками, отличающими сигнал шва от фона, обусловленного разнотолщинностью полосы, являются амплитуда и скорость отклонения сигнала. Дифференцирование данных толщиномера позволяет гарантированно обнаруживать шов и отсекать сигналы, вызванные дефектами на полосе [3].

Анализ производных сигналов показал, что условие гарантированного обнаружения движущегося шва можно представить в виде [3]

$$\left|\frac{dH}{dt}\right| \ge 30,$$
 (2)

где 
$$H = \frac{H_{\text{зад}} - H_{\text{тек}}}{H_{\text{тек}}} \ (H_{\text{зад}} - - \text{заданная толщина ме-}$$

талла для толщиномера на выходе пятой клети,  $H_{\text{тек}}$  — текущая толщина полосы металла).

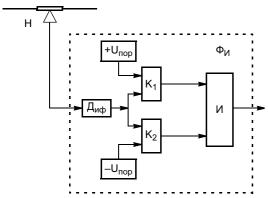


Рис. 3. Структурная схема формирователя импульсов

Структурная схема устройства, позволяющего идентифицировать сварной шов и сформировать соответствующий ему прямоугольный импульс, приведена на рис. 3. Сигнал с выхода толщиномера дифференцируется блоком  $\mathcal{L}_{\text{иф}}$  и поступает на компараторы  $K_1$  и  $K_2$ , где сравнивается с пороговыми значениями напряжения  $+U_{\text{пор}}$  и  $-U_{\text{пор}}$ , соответствующими условию обнаружения сварного шва (2). Сигналы с компараторов поступают на элемент "И", на выходе которого формируется прямоугольный импульс.

Работоспособность подсистемы слежения за координатой местоположения сварного шва проверена с помощью метода имитационного моделирования с применением пакета Simulink программного обеспечения Matlab.

### выводы

- 1. Разработанная подсистема слежения за координатами сварных швов без применения кодового датчика тележки и индикатора контрольных отверстий на выходе петлевого устройства позволяет повысить надежность работы системы в целом.
- 2. Использование в алгоритме разработанных математических выражений снижает погрешность определения координаты сварного соединения в петлевом устройстве на 1 % и повышает производительность стана за счет своевременного снижения скорости прокатки до скорости пропуска шва.
- 3. Разработанная структурная схема формироватья импульсов позволяет идентифицировать сигнал шва на фоне разнотолщинности полосы и сформировать прямоугольный импульс, соответствующий сварному шву.
- 4. Разработанный алгоритм и использование сигнала толщиномера позволяет отслеживать сварные соединения на выходе стана и осуществлять поперечный рез металла по шву, учитывая инерционность линейных ножниц и подсистемы управления ими, что снижает абсолютную погрешность на "рез" до нуля и тем самым уменьшает количество отходов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Харахнин К. А., Лабазнов Д. Н., Смыслова А. Л.* Повышение точности реза холоднокатаных полос в системе сопровождения сварного шва на непрерывном стане // Вестник ЧГУ. 2005. № 2. С. 99—102.
- 2. *Смыслова А. Л., Харахнин К. А.* Скоростные режимы процесса движения полосы в петлевом устройстве непрерывного агрегата // Вестник ЧГУ. 2006. № 2. С. 70—74.
- 3. Смыслова А. Л., Харахнин К. А. Исследование сигналов межрулонного шва при его прохождении через пятиклетевой стан холодной прокатки // Прогрессивные процессы и оборудование металлургического производства. 2005. С. 150—153

### TIPOMIBITITATETATA SHIEPTETIKA

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

Техническая диагностика сварных соединений трубопроводов.

Ч. 2. Сварные соединения трубопроводов II—IV категорий

При решении задач технического диагностирования трубопроводов II—IV категорий из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей, отработавших парковый ресурс, предусмотрено комплексное выполнение организационно-технических процедур согласно РД 03-484—02 и СО 153-34.17.464—2003.

Порядок проведения технического диагностирования включает последовательное проведение анализа технической документации, контроля качества сварных соединений (и других элементов трубопроводов) неразрушающими методами, дефектоскопии поверхности элементов трубопроводов и контроля толщины их стенок методом ультразвуковой толщинометрии (УЗТ), определения химического состава и механических свойств, структуры металла, гидравлического испытания трубопроводов. Заключительный этап — анализ результатов контроля и проведение расчетов на прочность с установлением возможности, сроков и условий дальнейшей эксплуатации трубопроводов (рис. 1).

Обследование трубопроводов II—IV категорий выполняют лаборатории неразрушающего контроля по соответствующим программам. Для трубопроводов II категории, отработавших на ТЭС нормативный срок службы, а также трубопроводов вообще любой категории, программу обследования выбирают экспертные организации.

Для трубопроводов III и IV категорий выбор программы обсле-

дования или разработку индивидуальной программы проводят лаборатории (службы) металлов электростанций, электрогенерирующих компаний или энергоремонтных предприятий, выполняющих контроль данных трубопроводов.

Нормативный срок службы трубопровода устанавливается организацией-изготовителем и указывается в паспорте трубопровода. При отсутствии такой информации согласно СО 153-34.17.464—2003 он определяется следующими значениями:

20 лет (150 тыс. ч) — для трубопроводов пара II категории группы 1;

25 лет — для станционных трубопроводов сетей и подпиточной воды (трубопроводов II категории группы 2, а также III и IV категорий); 30 лет — для остальных трубопроводов (трубопроводов II категории группы 2, а также III и IV категорий).

Допускается индивидуальная установка срока службы конкретного трубопровода экспертной организацией.

Особое внимание уделяется техническому диагностированию сварных соединений трубопроводов II—IV категорий. В отличие от соединений трубопроводов I категории сварные соединения трубопроводов II—IV категорий характеризуются относительно низким качеством — наличием в сварных швах непроваров, шлаковых включений и других дефектов, размеры которых превышают нормативные требования РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с). Такое положение обусловлено недостаточной организационно-техно-



Рис. 1. Основные комплексные задачи, решаемые при техническом диагностировании элементов (сварных соединений, труб, фасонных деталей) трубопроводов II—IV категорий

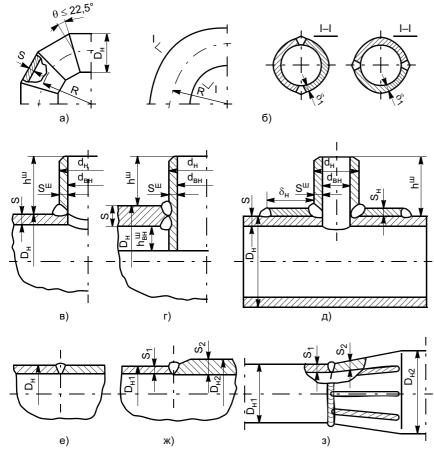


Рис. 2. Типы сварных соединений трубопроводов II—IV категорий: а — секторный отвод с поперечными швами; б — штампосварное колено (ШСК) с продольными швами; в—д — тройниковые сварные соединения (ТСС) и врезки с угловым швом; е — стыковое сварное соединение равнотолщинных трубных элементов (ССС); ж — стыковое сварное соединение разнотолщинных трубных элементов (СССртэ); з — лепестковый конический переход с продольными швами, приваренный стыковым поперечным швом к трубе

логической дисциплиной монтажно-сварочных работ при сооружении трубопроводов II—IV категорий и отсутствием необходимого контроля при их эксплуатации.

Эксплуатационные повреждения сварных соединений обычно происходят вследствие коррозионного и эрозионного износа металла, коррозионно-усталостного развития трещин. Наличие в швах недопустимых дефектов значительно сокращает срок службы сварных соединений. К числу наименее надежных элементов относятся сварные фасонные детали, например, лепестковые конические переходы, секторные отводы, сварные тройники (рис. 2). Поэтому при продлении срока службы трубопроводов II—IV категорий большое значение придается проведению контроля качества сварных соединений неразрушающими методами дефектоскопии для отбраковки некачественных швов. Объемы контроля регламентированы в зависимости от категории трубопровода и типоразмера сварных соединений (табл. 1).

Визуальному контролю (ВК) (табл. 1) подлежат все доступные сварные соединения в целях

Таблица 1

| Тип сварного соединения   | ВК с<br>измерением   | Объемы контроля сварных соединений при продлении срока службы трубопроводов II—IV категорий с наружным диаметром трубных элементов 76 мм и более согласно СО 153-34.17.464—2003, % |                                 |                                       |                      |  |  |
|---|--|--|---------------------------------|---------------------------------------|----------------------|--|--|
|   | измерением   | УЗК или<br>РГК   | МПД (ЦД<br>или ВТК)             | УЗТ                                   | ТВ                   | Металло-<br>графия   |  |
|   | Трубопров  | оды II категор   | оии группы 1                    |                                       |                      |  |  |
| ССС с поперечным швом   | $40 (D_{\rm H} \ge 108 \text{ mm})$<br>$20 (D_{\rm H} < 108 \text{ mm})$ | 10   | _                               | Выборочно                             | 1 c.c.* <sup>2</sup> | 3 c.c.* <sup>2</sup>   |  |
| СССртэ с поперечным швом  | 100  | 25   | 25* <sup>1</sup>                | То же                                 | 1 с.с. (у гиба)      |  |  |
| Продольные швы переходов  | 100  | 100  | <u> —</u> ,                     | 100                                   |                      | _  |  |
| ТСС и врезки  | 50   | 25   | 25* <sup>1</sup>                | $30 (D_{\rm H} \geqslant 133 \rm MM)$ | _                    | _  |  |
|   |  |  | $(D_{\rm H} \ge 133 { m \ MM})$ |                                       |                      |  |  |
| ТСС (равнопроходное для $D_{\rm H}$ ≥ 133 мм)                               |  | 100  | _                               | 50                                    | _                    | _  |  |
| ШСК с продольными швами   | 100  | 50   | _                               | $50 (D_{\rm H} \ge 133 {\rm мм})$     | _                    | _  |  |
| Сварные швы линзовых компенсаторов (ЛК)                                     | 100  | На одном ЛК  | _                               | 50                                    | _                    | _  |  |
| Сварные швы корпусов арматуры   | 100 ( $D_{\rm H} \ge 150$ мм)  | _  | <u> </u>                        | 20                                    | _                    | _  |  |
| Разнородные сварные соединения  | 100  | 25   | 25* <sup>1</sup>                | Выборочно                             | 1 с.с (у гиба)       | _  |  |
| Контроль на вырезке одного сварного соединения (1 с.с) (для $T \ge 390$ °C) | Оценка механичес   | ских свойств, хі   | имического сост                 | тава, сплошности                      | и структуры м        | еталла   |  |
|   | Трубопров  | оды II категор   | оии группы 2                    |                                       |                      |  |  |
| ССС с поперечным швом   | $40 (D_{\rm H} \ge 108 \text{ mm})$<br>$20 (D_{\rm H} < 108 \text{ mm})$ | 10   | _                               | Выборочно                             | _                    | Более 2 с.с* <sup>2</sup><br>( <i>D</i> <sub>H</sub> > 159 мм) |  |
| СССртэ с поперечным швом  | ` "100 ´   | 25   | _                               | 30                                    | 1 с.с (у гиба)       | _ ′  |  |

Продолжение табл. 1

|                                |  |  |                     |  | Прооол  | іжение піаол.       |
|--------------------------------|--|--|---------------------|--|---|---------------------|
| Тип сварного соединения        | ВК с<br>измерением   | Объемы контроля сварных соединений при продлении срока службы трубопроводов II—IV категорий с наружным диаметром трубных элементов 76 мм и более согласно СО 153-34.17.464—2003, % |                     |  |   |                     |
|                                | измерением   | УЗК или<br>РГК   | МПД (ЦД<br>или ВТК) | УЗТ  | ТВ  | Металло-<br>графия  |
| Продольные швы переходов       | 100  | 100  | _                   | 100  | _   | _                   |
| Швы секторных отводов (колен)  | 50   | _  | _                   | 30   | _   | _                   |
| ТСС и врезки                   | $50 (D_{\rm H} \ge 108 \text{ MM})$<br>25 $(D_{\rm H} < 108 \text{ MM})$ | 25* <sup>3</sup>   | _                   | $25 (D_{\rm H} \ge 133 \text{MM})$<br>$10 (D_{\rm H} < 133 \text{MM})$ | 1 c.c   | _                   |
| ТСС (равнопроходное)           | 100  | 25* <sup>3</sup>   | _                   | 50   | _   | _                   |
| Сварные швы КА                 | 100  | _  | _                   | На одном КА<br>каждого типо-<br>размера                                | _   | _                   |
| Сварные швы ЛК                 | 100 (в доступных местах)   | На одном ЛК  | _                   | 50   | _   | _                   |
| Продольные швы ШСК             | 50   | 50   | _                   | _  | _   | _                   |
| Разнородные сварные соединения | 100  | 100  | Выборочно           | _  | _   | _                   |
|                                | Трубо  | проводы III ка   | тегории             | •  |   |                     |
| ССС с поперечным швом          | I Выборочно  | 7/5* <sup>4</sup>  | · _                 | Выборочно  | I 1 c.c I                                       | 1 c.c* <sup>5</sup> |
|                                |  | .,,  |                     |  | ( <i>D</i> <sub>H</sub> ≥ 159 мм<br>и S ≥ 8 мм) |                     |
| Продольные швы переходов       | 100/50   | 30   | _                   | 50/30  | _ ′   | _                   |
| Швы секторных отводов (колен)  | 100  | 15   | _                   | 20   | _   | _                   |
| ТСС и врезки                   | $30 (D_{H} \ge 133 \text{ MM})$<br>$15 (D_{H} < 133 \text{ MM})$         | 15* <sup>3</sup>   | _                   | $15 (D_{H} \ge 133 \text{ MM})$<br>$10 (D_{H} < 133 \text{ MM})$       | _   | _                   |
| ТСС (равнопроходное)           | 50 ( <i>D</i> <sub>н</sub> ≥ 133 мм)                                     | _  | 30                  | · · · · —  | _   | _                   |
| СССртэ с поперечным швом       | $30 (D_{H} \ge 133 \text{ MM})$<br>$15 (D_{H} < 133 \text{ MM})$         | 15   | _                   | 20   | _   | _                   |
| Продольные швы ШСК             | $40 \ (D_{\rm H} \geqslant 108 \ {\rm MM})$                              | 20   | _                   | _  | _   | _                   |
| Сварные швы ЛК                 | 100  | На одном ЛК  | _                   | 50   | _   | _                   |
| Разнородные сварные соединения | 100  | 100  | _                   | _  | _   | _                   |
|                                | Трубо  | проводы IV ка  | тегории             | •  |   |                     |
| ССС с поперечным швом          | Выборочно 20   | 3<br>(D <sub>H</sub> ≥ 108 мм)   | · —                 | Выборочно 10   | 1 c.c   | _                   |
| СССртэ с поперечным швом       | Выборочно 20   | $(D_{\rm H} > 108 \rm mm)$<br>$(D_{\rm H} > 108 \rm mm)$   | _                   | _  | _   | _                   |
| Продольные швы переходов       | 50   | 30   | _                   | 30   | _   | _                   |
| Швы секторных отводов (колен)  | 30   | 50   | _                   | $10 (D_{\rm H} \ge 108 {\rm MM})$                                      | _   | _                   |
| ТСС и врезки                   | $30 (D_{\rm H} \geqslant 108  \rm MM)$                                   | 10* <sup>3</sup>   | _                   | 15   | _   | _                   |
| ТСС (равнопроходное)           | 40   | _  | _                   | $20 (D_{\rm H} \ge 108 {\rm MM})$                                      | _   | _                   |
| Сварные швы КА                 | _  | _  | _                   | Швы на одном<br>КА ( <i>D</i> <sub>H</sub> > 250 мм)                   | _   | _                   |
| Сварные швы ЛК                 | 100 (в доступных местах)   | На одном ЛК  | _                   | ` "50  | _   | _                   |
| Разнородные сварные соединения | 100  | 100  | _                   | _  | -   | _                   |

 $<sup>^{*1}</sup>$  Для трубопроводов с температурой эксплуатации выше 400 °C.

Примечание. 1. При отбраковке хотя бы одного сварного шва в контролируемой группе соединений объем дефектоскопии для данного вида соединений увеличивается вдвое, а при повторном выявлении недопустимых дефектов — до 100 %.

выявления поверхностных трещин, коррозионных и коррозионноусталостных повреждений, эрозионного износа, расслоений металла, сварочных дефектов, механических повреждений. При необходимости проводится разрезка трубопровода на контролируемом участке с последующим осмотром (визуально или с помощью эндоскопа) внутренней поверхности в обоих направлениях.

Контроль сварных соединений неразрушающими методами (ульт-

развуковым (УЗК) или радиографическим (РГК)) проводится для обнаружения внутренних дефектов (трещин, непроваров, газовых пор, шлаковых включений и др.).

Обязательному контролю на трубопроводах II—IV категорий

 $<sup>^{*2}</sup>$  Для трубопровода, отработавшего два назначенных срока и более или претерпевшего аварию.

<sup>\*&</sup>lt;sup>3</sup> Сварные соединения с конструкционным непроваром в угловых швах допускается контролировать методом МПД или ЦД (или визуальным контролем травлений поверхности) вместо УЗК (или РГК).

<sup>\*4</sup> Объемы, указанные в числителе относятся к соединениям трубопроводов группы 1, а в знаменателе — группы 2.

<sup>\*&</sup>lt;sup>5</sup> Вырезка одного сварного соединения предназначена для металлографического анализа на графитизацию элементов (сварного соединения, основного металла) для трубопровода группы 1.

<sup>2.</sup> ТСС (равнопроходное) — то же, что и ТСС, но с отношением наружного диаметра корпуса тройника к наружному диаметру штуцера  $D_{\rm H}^{\rm K}/D_{\rm H}^{\rm m} \le 1,3$ .

подлежат стыковые и штуцерные (тройниковые) сварные соединения равно- и разнотолщинных трубных элементов наружным диаметром 76 мм и более, сварные соединения линзовых компенса-

торов, продольные швы штампосварных колен, продольные и поперечные швы секторных отводов. В первую очередь контролю подлежат ближайшие к неподвижным опорам сварные швы.

Таблица 2

| Показатель   | Критерии оценки качества сварных соединений (и основного металла) трубопроводов II—IV категорий при продлении срока службы согласно СО 153-34.17.464—2003 |
|--|---|
| Локальная деформация в виде вмятин или выпучин с максимальным размером / на поверхности трубных элементов Твердость металла по результатам измерения переносными           | 10 <i>S</i> ≥ <i>l</i> ≤ 0,2 <i>D</i> <sub>H</sub>  |
| приборами для сталей, НВ:<br>Ст3, Ст4, 10, 20, 15 и 20   | 110—180   |
| 09Г2С, 115ГС, 16ГС, 17ГС, 12ХМ, 15ХМ, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф Поверхностные дефекты (повреждения) сварных швов (и основного металла):  |   |
| одиночные коррозионные язвины, раковины или эрозионные повреждения глубиной <i>h</i> , мм  | 2,5 ≥ h ≥ 0,2S  |
| то же, но протяженностью $L$ , мм  | $L \geqslant 0.25 \sqrt{(D_{\rm H} - S)S}$  |
| скопления коррозионных язвин глубиной $h$ , мм   | <i>h</i> ≥ 1,0  |
| продольные цепочки язвин, а также трещины всех видов и ориентации  | Не допускается  |
| Графитизация сварных соединений и основного металла по балльной оценке согласно ОСТ 34-70-690—96   | Не более балла 2  |
| Механические свойства основного металла (стали) при 20 °C: допускаемое снижение $\sigma_{\rm B}$ или $\sigma_{0,2}$ от значений, регламентированных НТД                    | Не более 5,0 %  |
| допускаемый уровень $\sigma_{0,2}/\sigma_{_{\rm B}}$ для углеродистых сталей   | Не более 0,65   |
| то же для низколегированных сталей   | Не более 0,75<br>Не более 30  |
| допускаемый уровень ударной вязкости КСU, Дж/см <sup>2</sup> КСV, Дж/см <sup>2</sup> Механические свойства сварных соединений при 20 °C:                                   | Не более 25   |
| временное сопротивление разрыву $\sigma_{\mathtt{B}}^{\mathtt{cc}}$ , МПа  | $\sigma_{_{ m R}}^{ m CC}\geqslant\sigma_{_{ m R}}^{ m OM}$   |
| то же для соединений стали 15ГС, подвергнутых термической обработке (высокому отпуску), МПа технологические свойства (угол изгиба) соединений углеродистых сталей, градус: | Не менее 451  |
| при S ≤ 20 мм  | Не менее 100  |
| при S > 20 мм  | Не менее 80   |
| то же для соединений низколегированных сталей, градус; при $S \le 20$ мм при $S > 20$ мм   | Не менее 80<br>Не менее 60  |
| Местные подрезы сварных соединений глубиной <i>h</i> , мм то же по протяженности, мм:  | $0.5 \ge h \ge 0.05S$   |
| для трубопроводов II категории   | Не более 10 % <i>L</i> шва  |
| для трубопроводов III и IV категорий   | Не более 20 % <i>L</i> шва  |
|  |   |

О б о з н а ч е н и я.  $D_{\rm H}$  и S — номинальные наружный диаметр и толщина стенки трубных элементов соотвественно.

Примечания. 1. Одиночными считаются дефекты (язвины, раковины и др.), расстояние между ближайшими кромками которых превышает утроенное значение максимального диаметра наибольшего дефекта.

Дефектоскопия сварных соединений и ремонтных подварок магнитопорошковой методами (МПД) или цветной (ЦД) дефектоскопии или вихретоковым (ВТК) проводится для выявления поверхностных и подповерхностных трещин, расслоений и других дефектов. Обязательному контролю этими методами в сочетании с УЗК и РГК подлежат сварные соединения со стыковыми и угловыми швами труб с литыми, коваными и штампованными деталями трубопроводов II категории наружным диаметром 133 мм и более, температура эксплуатации которых выше 400 °C.

Контроль толщины стенки методом УЗТ регламентирован для выявления возможного утонения стенки труб, сварных соединений, фасонных деталей трубопроводов для установления скорости коррозионного или коррозионно-эрозионного износа металла. Такая информация необходима для проведения соответствующих расчетов на прочность по фактической уменьшенной толщине стенки на период продления срока службы трубопровода.

Необходимость в оценке химического состава, механических свойств и структуры металла обусловлена требованием установления соответствия качества сварных соединений (и основного металла) нормативным требованиям НТД и, кроме того, выявления изменений свойств металла или возможных дефектов в структуре сварных соединений. Определение механических свойств и структуры металла проводится неразрушающими методами (измерением твердости (ТВ) с помощью переносных приборов-твердомеров, металлографического анализа с помощью реплик или срезов-сколов металла (МАР), а также при необходимости на образцах вырезок (пробок).

Металлографический анализ микроструктуры рекомендовано проводить при 100- и 500-кратном

<sup>2.</sup> Допускается наличие коррозионных язвин глубиной 2 мм и протяженностью 20 мм для трубопроводов II— III категорий; глубиной 2 мм и протяженностью 30 мм для трубопроводов IV категории.

увеличении. Исследование сварных соединений на предмет выявления графитизации и микроповрежденности металла из-за усталости и/или ползучести проводится в ЗТВ.

Исследование структуры и свойств сварных соединений (и основного металла) обязательно после исчерпания установленного срока службы для трубопроводов II категории, которые эксплуатируются при температуре выше 390 °С. Для этого регламентирована вырезка огневым способом участка трубопровода в виде пробы ("катушки") длиной 150 мм и более со сварным стыком в середине.

Механические свойства сварных соединений на вырезках ("катушках") определяются по результатам испытаний образцов на растяжение и ударный изгиб. Химический состав металла оценивается методами аналитического или спектрального анализа.

Регламентированные объемы контроля и нормативные требования к качеству сварных соединений (и основного металла) трубопроводов II—IV категорий приведены в табл. 1 и 2.

Гидравлическое испытание трубопроводов II—IV категорий рассматривается как завершающая процедура контроля, которая проводится для проверки плотности и прочности всех элементов, включая сварные соединения. Температура воды в трубопроводе при проведении гидроиспытания должна быть не ниже 15 °C.

Возможность, сроки и условия дальнейшей эксплуатации трубопроводов определяются по результатам контроля и поверочных расчетов на прочность. Расчеты на прочность проводятся по различным методикам в зависимости от выявленного несоответствия качества металла и технического состояния трубопроводов нормативным требованиям.

Расчет на прочность с оценкой напряжений от внутреннего дав-

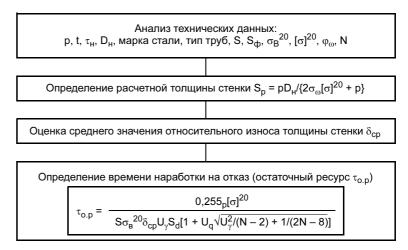


Рис. 3. Алгоритм прогнозирования срока службы на отказ после гидроиспытания трубопроводов тепловых сетей согласно РД 10-400—01 (N— число измерений фактической толщины стенки труб (сварных соединений) в местах износа,  $S_d$ — среднеквадратичное отклонение относительного износа,  $U_\gamma$ ,  $U_q$ — нормальные распределения вероятности  $U_\gamma$  =  $U_q$  = 1,28,  $t_{\rm o,p}$ — остаточный ресурс (на отказ), [ $\sigma$ ] — допускаемые напряжения согласно РД 10-249—98,  $\phi_{\rm o}$ — коэффициент прочности сварных соединений согласно РД 10-249—98)

ления выполняется по методике РД 10-249—98 в случаях, когда выявлены несоответствия качества сварных соединений или основного металла трубных элементов. Расчетные операции выполняются по фактическим размерам трубных элементов и свойствам металла с учетом выявленных дефектов в сварных соединениях.

Поверочный расчет на прочность с учетом действия всех нагружающих факторов проводится по методике РД 10-249—98 при выявлении отклонений в трассировке трубопровода и состоянии опорно-подвесной системы от проектных значений. Поверочный расчет на прочность трубопроводов тепловых сетей выполняется согласно РД 10-400—01.

Поверочный расчет на усталостную прочность (циклическую долговечность) проводится по методике РД 10-249—98 в случаях, когда накопленное за весь период эксплуатации число пусков—остановов трубопровода превышает 500 циклов и/или число циклических колебаний давления и температуры рабочей среды превышает 1000.

При выявлении местной или общей коррозии металла, когда

средняя скорость коррозии превышает 0,1 мм/г расчет на прочность выполняется по минимальной фактической толщине стенки трубных элементов (сварных соединений) с учетом ее последующего утонения на конец планируемого срока эксплуатации.

При положительных результатах контроля, расчетов на прочность и гидравлического испытания, а также рекомендаций экспертного заключения по итогам обследования контролируемый трубопровод согласно СО 153-34.17.464—2003 может быть допущен к дальнейшей эксплуатации сроком не более чем на 8 лет, а для трубопроводов II категории — не более чем на 50 тыс. ч. Прогнозирование наработки трубопроводов тепловых сетей на отказ после гидравлического испытания проводится по результатам расчетных исследований (рис. 3) согласно РД 10-400—01.

Проведение технологического диагностирования на современном уровне обеспечивает необходимую эксплуатационную надежность и возможность продления ресурса сварных соединений трубопроводов II—IV категорий.

## JKOHOMIKA II OPTAHISAUIS IIPOISBOJCTBA

А. И. КОРШУНОВ, канд. техн. наук Ижевский государственный технический университет

# Оценка затрат на изготовление машиностроительного изделия на основе его конструктивно-технологической сложности и показателей организационно-технического уровня производственной системы

Машиностроительное предприятие, решая проблему обеспечения эффективности экономической деятельности, сталкивается с расчетом себестоимости изготовления различных изделий и, соответственно, связанных с этим производственных затрат. Затраты, которые несет предприятие в процессе своего функционирования, непосредственным образом влияют на его ценовую политику. Анализ методов получения калькуляции затрат позволяет сделать вывод, что основными статьями калькуляции являются затраты на сырье и материалы, а также заработную плату основных рабочих [1]. Остальные статьи, как правило, рассчитывают в отношении к заработной плате основных рабочих. Таким образом, основными показателями, необходимыми для расчета себестоимости, являются нормы времени на изготовление изделия и нормы расхода материалов. Задачи оценки затрат материальных ресурсов при изготовлении изделия в настоящее время рассмотрены подробно [2, 3]. В то же время трудовые затраты на изготовление изделия, особенно на начальных стадиях его жизненного цикла, когда на практике отсутствует пакет разработанной технологической документации, оценивают преимущественно с использованием различных вариантов метода аналогий. Использование данного метода требует определенной квалификации исполнителей, недостаточный уровень которой может привести к значительным ошибкам в оценке трудовых затрат, что непосредственно обусловлено субъективным характером данного метода.

Решение рассматриваемой задачи на ранних этапах жизненного цикла изделия может производиться с использованием его конструктивно-технологической сложности [4], учитывающей геометрические, структурные и субстантные свойства изделия и его структурных составляющих, а также предъявляемые к ним конструкторские и технологические требования в соответствии с существующим уровнем развития производительных сил. Она может рассматриваться как мера затрат ресурсов на реализацию различных этапов жизненного цикла машиностроительного изделия.

### Показатели организационно-технического уровня производственной системы машиностроительного предприятия

Важное значение при определении трудовых затрат на изготовление машиностроительного изделия в условиях определенного предприятия имеет организационно-технический уровень (ОТУ) производственной системы. С целью численной оценки факторов ОТУ конкретной производственной системы предложен ряд частных показателей, представленных в виде коэффициентов [5, 6]:

• показатель стабильности кадров

$$K_{\rm CK} = \frac{N - n_{\rm BH}}{N}$$
,

где  $n_{\rm BH}$  — число работников, принятых на работу в течение последнего календарного года; N — общее число работающих;

• показатель квалификации исполнителей

$$K_{KB} = \frac{\sum_{i=1}^{6} (ip_i)}{6N},$$

где  $p_i$  — число рабочих i-го разряда; N — общее число работающих;

• показатель стандартизации и унификации

$$K_{\text{униф}} = \frac{n_{\text{униф}}}{n_{\text{дет}}}$$
,

где  $n_{
m yhu\phi}$  — число унифицированных деталей в изделии;  $n_{
m дet}$  — число деталей в изделии;

• показатель уровня технической оснащенности

$$K_{\text{TEX.OCH}} = \frac{n_{\text{aBT}}}{n}$$

где n — общее число оборудования, шт.;  $n_{\rm ast}$  — число единиц автоматизированного оборудования, шт.;

Таблица 1

| Показатель   | Номер производственной системы            |   |   |   |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Показатель   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| Стабильности кадров<br>Квалификации исполнителей<br>Стандартизации и унификации<br>Технической оснащенности<br>Срока эксплуатации оборудования | 0,977<br>0,759<br>0,702<br>0,079<br>0,047 | 1,000<br>0,814<br>0,776<br>0,122<br>0,122 | 0,968<br>0,880<br>0,729<br>0,163<br>0,183 | 0,840<br>0,786<br>0,715<br>0,115<br>0,076 | 0,833<br>0,750<br>0,707<br>0,100<br>0,050 | 0,833<br>0,703<br>0,680<br>0,058<br>0,001 | 0,892<br>0,660<br>0,710<br>0,107<br>0,071 | 0,814<br>0,652<br>0,700<br>0,078<br>0,078 | 0,866<br>0,652<br>0,700<br>0,083<br>0,055 |

• показатель срока эксплуатации оборудования

$$K_{\text{эксп.обор}} = \frac{n_{10}}{n}$$
,

где  $n_{10}$  — число единиц оборудования со сроком эксплуатации менее 10 лет, шт.

Рассматриваемые коэффициенты составляют множество частных показателей ОТУ  $K_{\text{ОТУ}} = \{K_i | i = 1, 2, ..., 5\}$ , где  $K_1 = K_{\text{СК}}$ ;  $K_2 = K_{\text{КВ}}$ ;  $K_3 = K_{\text{Униф}}$ ;  $K_4 = K_{\text{Тех.ОСН}}$ ;  $K_5 = K_{\text{ЭКСП.ОБОр.}}$  Значения частных коэффициентов ОТУ варьируются в диапазоне [0, 1], при этом увеличение коэффициента предполагает улучшение описываемых им характеристик производственной системы, т. е. определяет более высокий ОТУ.

В результате анализа ОТУ инструментальных производств девяти предприятий Удмуртской республики, Уральского региона и центральных областей России установили регрессионные зависимости трудоемкости изготовления изделия от его конструктивно-технологической сложности [4]:

$$T = a + bC, \tag{1}$$

где a, b — коэффициенты уравнения регрессии.

Численные значения частных показателей ОТУ производственных систем приведены в табл. 1, результаты исследования производственной номенклатуры — в табл. 2.

По результатам исследований проведен анализ, позволивший определить влияние частных показателей ОТУ производственной системы на коэффициенты зависимости между конструктивно-технологической сложностью и трудоемкостью изготовления изделия в конкретной производственной системе.

В результате для коэффициентов уравнения регрессии (1) а и b получили следующие зависимости относительно коэффициентов частных показателей ОТУ:

- коэффициент а прямо пропорционален коэффициентам частных показателей ОТУ Ккв, Куниф, Ктех.осн, Кэксп.обор и обратно пропорционален Кск;
- коэффициент b прямо пропорционален коэффициенту  $K_{\text{СК}}$  и обратно пропорционален коэф

Таблица 2

| Номер<br>производ-<br>ственной<br>системы | Уравнение<br>регрессионной<br>зависимости | Коэф-<br>фициент<br>корреля-<br>ции | Средневзве-<br>шенная<br>сложность<br>детали, ед. сл. |  |  |
|---|---|-------------------------------------|---|--|--|
| 1   | T = 42,45 + 16,41C                        | 0,969                               | 51,32   |  |  |
| 2   | T = 174,38 + 8,92C                        | 0,955                               | 175,96  |  |  |
| 3   | T = 287,76 + 7,32C                        | 0,912                               | 1115,36   |  |  |
| 4   | T = 75,45 + 11,47C                        | 0,984                               | 48,01   |  |  |
| 5   | T = 48,33 + 16,89C                        | 0,971                               | 38,55   |  |  |
| 6   | T = 14,94 + 29,45C                        | 0,974                               | 26,77   |  |  |
| 7   | T = 78,52 + 21,93C                        | 0,986                               | 29,31   |  |  |
| 8   | T = 60,83 + 23,61C                        | 0,993                               | 41,06   |  |  |
| 9   | T = 42,78 + 22,27C                        | 0,966                               | 46,29   |  |  |
|   |   |                                     |   |  |  |

фициентам частных показателей ОТУ  $K_{\text{кв}}$ ,  $K_{\text{униф}}$ ,  $K_{\text{тех.осн}}$ ,  $K_{\text{эксп.обор}}$ .

Таким образом, коэффициенты *a* и *b* зависят от ОТУ производственной системы [5, 6].

### Оценка трудоемкости изготовления изделия с использованием частных показателей ОТУ

Трудоемкость изготовления машиностроительного изделия в конкретной производственной системе определяют с использованием регрессионной зависимости между конструктивно-технологической сложностью и трудоемкостью изготовления машиностроительного изделия в соответствии с формулой (1), полученной в результате исследования производственной номенклатуры.

Результаты исследования зависимости между конструктивно-технологической сложностью и трудоемкостью изготовления изделия показали, что в диапазоне изменения конструктивно-технологической сложности  $0 < C \le 1500$  единиц она имеет линейный характер [4].

В общем случае можно рассматривать зависимость между конструктивно-технологической сложностью и трудоемкостью T изготовления машиностроительного изделия как

$$T = f(C, K_{OTY}) + \Delta T$$

где C — конструктивно-технологическая сложность изделия;  $\Delta T$  — неопределенность, вносимая влия-

нием неучтенных факторов и имеющая случайный характер.

Влияние неучтенных факторов в конкретной производственной системе можно учесть путем построения регрессионной зависимости по известным статистическим данным с привлечением методов математической статистики в соответствии с формулой (1).

Однако затраты на исследование номенклатуры производственной системы с оценкой конструктивно-технологической сложности изделий для формирования представительной выборки в соответствии с описанной выше процедурой велики. Кроме того, существуют задачи, для решения которых эти исследования провести затруднительно вследствие невозможности формирования представительной выборки номенклатуры. Поскольку между коэффициентами уравнения регрессии (1) и частными показателями ОТУ существует определенная зависимость, формула (1) в общем случае может быть представлена в виде

$$T = f_1(K_{\text{OTY}}) + f_2(K_{\text{OTY}})C, \tag{2}$$

где  $f_1(K_{\text{OTy}})$ ,  $f_2(K_{\text{OTy}})$  — коэффициенты, представляющие функции от множества коэффициентов частных показателей ОТУ.

Рассмотрим решение зависимости (2) применительно к рассмотренной выше группе предприятий инструментального производства.

Принимаем группу однородных по организационно-техническому уровню и производственной номенклатуре предприятий уже сформированной, частные показатели ОТУ определенными.

На следующем этапе формируется репрезентативная выборка номенклатуры, в которую в равных пропорциях входят представители номенклатуры выпускаемой продукции каждого предприятия. В данном случае выборка содержала 360 изделий (по 40 изделий от каждой производственной системы), для каждого из которых был определен кортеж параметров:

$$\langle C, T, n, K_{CK}, K_{KB}, K_{VHUO}, K_{TEX.OCH}, K_{SKCII.OGOD} \rangle.$$
 (3)

Ранее было отмечено, что коэффициент  $a=f_1(K_{\text{ОТУ}})$  в выражении (2) обратно пропорционален коэффициенту  $K_{\text{СК}}$  и прямо пропорционален остальным коэффициентам  $K_{\text{КВ}}$ ,  $K_{\text{Униф}}$ ,  $K_{\text{тех.осн}}$ ,  $K_{\text{ЭКСП.обор}}$ , таким образом,

$$f_{1}(K_{\text{OTY}}) = \frac{a_{0} + a_{2}K_{\text{KB}} + a_{3}K_{\text{униф}} + a_{4}K_{\text{техн. осн}} + a_{5}K_{\text{эксп.обор}}}{a_{1}K_{\text{ck}}}, \quad (4)$$

где  $a_0$ — $a_5$  — коэффициенты, определяющие вес коэффициентов частных показателей ОТУ в выражении функции  $f_1(K_{\text{OTY}})$ .

Соответственно, коэффициент  $b = f_2(K_{OTY})$ :

$$f_2(K_{\text{OTY}}) = \frac{b_0 + b_1 K_{\text{CK}}}{b_2 K_{\text{KB}} + b_3 K_{\text{YHU}} + b_4 K_{\text{TEXH. OCH}} + b_5 K_{\text{ЭКСП.ОБОР}}}, (5)$$

где  $b_0$ — $b_5$  — коэффициенты, определяющие вес коэффициентов частных показателей ОТУ в выражении функции  $f_2(K_{\text{ОТУ}})$ .

Анализ корреляционной матрицы позволил отбросить коэффициент  $K_{\text{униф}}$  применительно к конкретной совокупности производственных систем, поскольку его корреляционный коэффициент незначим. В результате восстановления регрессионной зависимости с использованием статистического пакета Statistics выражение для функции (2) получило следующий вид:

$$T = \frac{3,395 - 5,972K_{KB} + 23,243K_{TEXH. OCH} - 7,847K_{SKCN.060P} + 0,01K_{CK}}{0,01K_{CK}} + \frac{-0,284 + 0,801K_{CK}}{-0,087K_{KB} + 2,589K_{TEXH. OCH} - 1,142K_{SKCN.060P}}C.$$
(6)

Корреляционное отношение полученной регрессионной зависимости R = 0,996, что свидетельствует о ее статистической значимости.

С целью проверки точности расчетов с применением формулы (6) сформирована репрезентативная выборка объемом 54 единицы. На рис. 1 приведена гистограмма распределения относительной ошибки прогнозирования значений трудоемкости изготовления изделий  $\Delta = (T - \overline{T})/T$ . Проверка гипотезы о нормальном распределении относительной ошибки с использованием критерия согласия Пирсона  $\chi^2$  не позволила ее исключить, что свидетельствует о случайном характере ее возникновения. Полученная регрессионная зависимость может быть использована в практических целях для оценки трудоемкости изготовления машиностроитель-

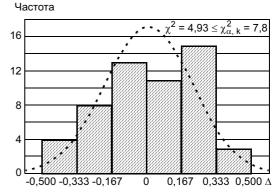


Рис. 1. Гистограмма распределения ошибок (штриховая линия — кривая нормального распределения)

ных изделий на начальных этапах их жизненного цикла на предприятиях инструментального производства и в соответствующих подразделениях предприятий машиностроительной отрасли.

# Производственный аудит машиностроительных предприятий

Элементы теории сложности могут использоваться для проведения внутреннего аудита производственных подразделений предприятий машиностроения на предмет анализа трудоемкости и затрат на изготовление изделий. Актуальность этой проблемы объясняется тем, что менеджеры высшего и среднего управленческого звена предприятий заинтересованы в выявлении и сокращении внутренних производственных издержек для повышения эффективности производства.

Одним из путей решения этой проблемы является комплексное обследование предприятия и его подразделений, которое включает исследование производственной номенклатуры и ОТУ производства. Рассмотрим результаты исследования номенклатуры инструментального цеха одного из предприятий г. Владимира, оценки трудоемкости изготовления и нормативной трудоемкости изготовления ее представителей, заявленной в производстве (табл. 3). По данным расчетов построена регрессионная зависимость между производственной трудоемкостью и конструктивно-технологической сложностью, описываемая уравнением  $\overline{T}$  = = -83,50 + 9,89C, которое характеризуется коэффициентом корреляции R = 0.914 (коэффициент корреляции является значимым).

Проведем анализ трудоемкости изготовления изделий производственной номенклатуры с использованием формулы (6). Данная регрессионная зависимость получена на основе анализа частных показателей ОТУ ряда производственных систем инструментального производства, конструктивно-

Таблица 3

| Но-<br>мер<br>по по-<br>рядку | Изделие   | С, ед.  | Произ-<br>вод-<br>ственная<br>трудоем-<br>кость <i>T</i> ,<br>мин | Прогно-<br>зируе-<br>мая тру-<br>доем-<br>кость $\bar{T}$ ,<br>мин | Ошиб-<br>ка ∆ |
|-------------------------------|-----------|---------|---|--|---------------|
| 1                             | ШГБ-2673  | 840,12  | 12091,20  | 2335,49  | 4,177         |
| 2                             | ШВР-11275 | 375,13  | 2602,20   | 1101,83  | 1,362         |
| 3                             | ПКТ-6808  | 147,4   | 1112,00   | 497,64   | 1,235         |
| 4                             | ПКТ-6787  | 109,28  | 921,02  | 396,50   | 1,323         |
| 5                             | ПКТ-6800  | 37,884  | 376,92  | 207,08   | 0,820         |
| 6                             | ПКТ-6644  | 104,753 | 960,00  | 384,49   | 1,497         |
| 7                             | КШБ-15198 | 50,21   | 349,98  | 239,78   | 0,460         |
| 8                             | ШГБ-2678  | 1112,15 | 8382,00   | 3057,22  | 1,742         |

Таблица 4

| Номер по порядку | Показатель             | Значение |  |
|------------------|------------------------|----------|--|
| 1                | κ <sub>cκ</sub>        | 0,87     |  |
| 2                | $K_{\text{KB}}$        | 0,78     |  |
| 3                | К <sub>униф</sub>      | 0,65     |  |
| 4                | K <sub>Tex.och</sub>   | 0,14     |  |
| 5                | К <sub>эксп.обор</sub> | 0,08     |  |

технологической сложности и трудоемкости изготовления изделий и может быть использована для оценки трудоемкости изготовления изделий в условиях конкретной производственной системы, относящейся к предприятиям и подразделениям инструментального производства. Для ее применения необходимо определить значения коэффициентов частных показателей ОТУ производственной системы (см. табл. 3 и 4).

Минимальное и максимальное значения ошибки соответственно  $\Delta_{\min}=0.46$  и  $\Delta_{\max}=4.177$ . Математическое ожидание ошибки  $\Delta_a=1.577$ , доверительный интервал  $0.637 < \Delta < 2.517$  при уровне значимости  $\alpha=0.05$ . Таким образом, по сравнению с другими производственными системами, относящимися к инструментальному производству, трудоемкость изготовления изделий в данной производственной системе завышена в среднем на 158 %.

Анализ ОТУ цеха выявил искусственное завышение утвержденных норм времени на изготовление изделия, что вызвано организационной причиной — низким уровнем стоимости нормо-часа. Хронометраж времени изготовления деталей в цехе позволил сделать вывод, что нормативная по цеху трудоемкость их изготовления в среднем в 1,5—2 раза выше, чем полученная в том самом цехе методом хронометража.

# Выбор производственной системы для изготовления изделия определенной конструктивно-технологической сложности

Трудоемкость изготовления изделия определенной конструктивно-технологической сложности в различных производственных системах не является постоянной величиной. На процесс изготовления и, соответственно, его длительность, влияет множество факторов ОТУ производственной системы. Таким образом, представляется возможным осуществить управление трудоемкостью изготовления изделия посредством выбора определенной производственной системы, в которой трудоемкость изготовления данного изделия будет наименьшей. Такое управление в рамках совокупности производственных систем, представляющих структурные подразделения одного предприятия или ряд предприятий, относящихся к одной отрасли ма-

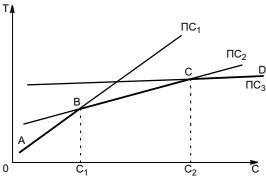


Рис. 2. Графическая интерпретация задачи выбора производственной системы с минимальной трудоемкостью изготовления изделия

шиностроения, позволяет в значительной степени снизить временные затраты при производстве конкретного изделия, обеспечивая тем самым его конкурентоспособность на рынке при сохранении потребительских свойств, в том числе требований к качеству и надежности. Наиболее рациональным является производство изделий определенной сложности в условиях производственной системы, адаптированной к изделиям соответствующего диапазона конструктивно-технологической сложности.

Частным случаем рассматриваемой задачи является выбор из имеющейся совокупности производственных систем такой системы, в условиях которой изготовление данного изделия будет иметь наименьшую возможную трудоемкость.

Решение предложенной задачи возможно с применением частных показателей ОТУ производственной системы на основе использования

формул (4)—(6). Задача в таком случае сводится фактически к сравнению прогнозируемых значений трудоемкостей изготовления новых изделий, определяемых для производственных систем на основе показателя конструктивно-технологической сложности изделия и частных показателей ОТУ.

Задачу решают графическим способом (рис. 2). Ломаная ABDC представляет совокупность производственных систем ПС, в которых трудоемкость изготовления деталей в определенных диапазонах конструктивно-технологической сложности будет наименьшей. Алгоритм решения данной задачи приведен на рис. 3. Он может быть использован при решении задач, связанных не только с управлением трудоемкостью изготовления нового изделия, но и повышением эффективности функционирования производственных систем, а также выработки



Рис. 3. Алгоритм выбора производственной системы

организационно-технических мероприятий по их совершенствованию.

### выводы

1. Предложенная методика позволяет оценить трудовые затраты, необходимые для изготовления машиностроительного изделия определенной конструктивно-технологической сложности с учетом

организационно-технического уровня производственной системы, в которой непосредственно будет осуществляться его изготовление.

- 2. Использование предлагаемой методики позволяет обеспечить прогнозирование трудовых затрат на изготовление изделия, минуя этап предварительного исследования производственной номенклатуры, основываясь на частных показателях организационно-технического уровня производственной системы, что значительно экономит временные и финансовые ресурсы.
- 3. Использование результатов проведенных исследований в виде многопараметрической регрессионной зависимости трудоемкости изготовления изделия от конструктивно-технологической сложности и частных показателей организационно-технического уровня позволяет производить аудит норм времени на изготовление изделия в производственных условиях.
- 4. Предложенный алгоритм позволяет осуществлять выбор из совокупности производственных

систем такой системы, которая обеспечивает наименьшие трудовые затраты при изготовлении изделия определенной конструктивно-технологической сложности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Воскресенский Б. В., Пахамарчук А. С. Справочник экономиста машиностроительного предприятия. М.: Машиностроение, 1971. 376 с.
- 2. *Крук Д. М., Демичев Г. М.* Нормирование расхода материалов: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1981. 333 с.
- 3. *Воликов В. А.* Методические основы нормирования расхода материалов. М.: Экономика, 1975.
- Теория сложности / Ю. С. Шарин, Б. А. Якимович, В. Г. Толмачев, А. И. Коршунов. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 1999. 132 с.
- 5. Фоминых Р. П., Коршунов А. И., Якимович Б. А. Определение организационно-технического уровня производственной системы при прогнозировании трудоемкости изготовления машиностроительного изделия // Машиностроитель. 2004. № 1. С. 32—37.
- 6. Фоминых Р. Л., Якимович Б. А., Коршунов А. М. Оценка трудоемкости машиностроительного изделия и организационно-технический уровень производства // Экономика и производство. 2003. № 4. С. 43—46.

М. В. СИЛУЯНОВА, канд. техн. наук "МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского

# Применение функционально-стоимостного анализа для обеспечения принципа комплексности при проектировании сложных машиностроительных объектов

Сближение экономики России с высокоразвитыми и эффективными экономиками Америки, стран Европы и Юго-Восточной Азии породило немало проблем и сложностей для российского бизнеса и хозяйства в целом, поскольку отечественная промышленность пока не выпускает на международный рынок широкой номенклатуры машиностроительных объектов и не обладает большим количеством современных производственных фондов. Перед ней стоит проблема выбора конкурентоспособных объектов и модернизации основных фондов и производства в целом. Все это, безусловно, подрывает и в перспективе будет значительно понижать конкурентоспособность российской продукции даже в таких отраслях, как авиационная и ракетно-космическая.

Процессы проектирования, производства и применения сложных технических систем сопровождаются выявлением и разрешением противоречий между функциональными требованиями, конструктивными решениями, производственными и эксплуатационными условиями. Для обеспечения кон-

курентоспособности предлагается большую часть противоречий комплексных проектных решений выявлять и разрешать в информационном слое на ранних стадиях жизненного цикла изделий и проектной, производственной и эксплуатационной систем методами функционально-стоимостного анализа [1].

Основными принципами, обеспечивающими требуемый уровень конкурентоспособности проектных решений, являются: принцип системного единства, принцип комплексности и принцип информационного единства.

Принцип комплексности заключается в том, что обеспечивается взаимосвязь всех видов проектирования структурных элементов и всего объекта в целом для всех стадий и этапов жизненного цикла сложных машиностроительных объектов.

Принцип информационного единства состоит в том, что во всех автоматизированных системах, обеспечивающих проектирование, функциональных и инвариантных подсистемах и средствах обеспечения используются единые терминология,

способы представления информации и проблемные языки проектирования.

Объектами производства в машиностроении являются транспортные средства (в том числе авиационная техника), средства машиностроительного производства, двигатели, другие машины, а также структурные элементы изделий: агрегаты, системы, узлы, детали [2]. Так как эти изделия различного назначения являются сложными техническими системами, для производственных стадий их жизненного цикла характерна неразрывная связь с конструкторской подготовкой производства.

Особенности изделий авиационной техники как объектов производства заключаются в следующем: многономенклатурность и многодетальность изделий, разнообразие применяемых конструкционных материалов, сложность пространственных форм и большие габаритные размеры, высокие требования к качеству изделий в целом и его отдельным конструктивным элементам.

На этапах функционально-стоимостного анализа и исследования методами математического моделирования объекты авиационной техники как сложные технические системы представляют в виде математической модели в форме абстрактной структуры

$$S(A) = \{A, F^A, N^A, R^A\},$$
 (1)

где A — базовое множество элементов сложной технической системы;  $F^A$  — базовое множество свойств (контуров) элементов;  $N^A$  — базовое множество параметров элементов A и контуров  $F^A$ ;  $R^A$  — множество отношений, определяемых на базовых множествах A,  $F^A$ ,  $N^A$ .

При этом 
$$A = \{A_1, A_2, ..., A_i, ..., A_n\};$$
 
$$A_i = \{a_1^i, ..., a_i^i, a_m^i\}, \qquad (2)$$

где A,  $A_i$ ,  $a_j^i$  — структурные элементы изделия (агрегаты, узлы, детали, их элементы (тела, поверхности), которые могут быть абстрактными или конкретными на определенных этапах моделирования.

При этом A,  $A_i$  и т. п. являются элементами составными, которые в свою очередь могут быть элементами включающего их множества, но и их можно представлять множеством элементов следующего (нижнего) структурного уровня. В то же время  $a_1^i$ ,  $a_j^i$  и т. п. являются целыми (неделимыми) на определенном уровне анализа элементами независимо от конструкции. Например, на определенном уровне функционально-стоимостного анализа как целый и неделимый элемент можно представлять и деталь, и узел, и агрегат, и даже самолет или двигатель, несмотря на то, что двигатель и его агрегаты являются, в сущности, сложной технической системой.

$$F^{A} = \{F_{1}^{A}, ..., F_{i}^{A}, ..., F_{n}^{A}\};$$

$$F_{i}^{A} = \{f_{1}^{i}, ..., f_{i}^{i}, ..., f_{m}^{i}\},$$
(3)

где  $F^A$ ,  $F_i^A$ ,  $f_j^i$  — контуры (свойства) структурных элементов изделия, представляемые как логические переменные, принимающие определенное значение при сопоставлении с характеризуемыми ими элементами. Контуры  $F^A$ ,  $F_i^A$  являются составными,  $f_j^i$  — элементарными. Составные контуры  $F^A$ ,  $F_i^A$  при сопоставлении с элементами  $a_j^i \in A_i$ ,  $A_i \in A$  определяются через совокупность характеризующих их свойств следующего структурного уровня, в то время как элементарные контуры  $f_j^i$  являются параметрически определяемыми.

Понятие контур является абстрактным и используется для представления совокупности свойств определенного назначения. По назначению при функционально-стоимостном анализе свойства подразделяются на четыре взаимозависимые группы:  $F^F$  — функциональные;  $F^K$  — конструктивные;  $F^T$  — технологические;  $F^S$  — стоимостные (технико-экономические) [3].

Для соответствия требованиям технического задания определяют набор функциональных контуров  $F^F$ , каждый из которых характеризуется множеством параметров  $N^F$  постоянных или переменных.

Реализацию функциональных контуров выполняют набором конструктивных элементов A, описываемых в терминах конструктивных контуров  $F^K$ . Для конструктивных контуров  $F^K$  характерен набор параметров  $N^K$ , которые также (как и параметры функциональных контуров  $N^F$ ) могут быть постоянными и переменными.

Множества функциональных  $F^F$ , конструктивных  $F^K$  контуров и характеризующих их параметров  $N^F$  и  $N^K$  могут пересекаться.

Параметры в свою очередь подразделяются на входные, собственные (или внутренние) и выходные.

Схема формирования пространства проектирования представлена на рис. 1. В соответствии с предлагаемой организационной схемой проектирование выполняют в ограниченном пространстве, являющемся предметной областью. В пространстве предметной области реализуют следующие виды проектирования: функциональное, конструктивное, технологическое, эксплуатационное (технико-экономическое).

При этом различные факторы и параметры можно рассматривать как условия или ограничения. Сочетание условий и ограничений предопределяет применяемые методики для формирования, оцен-

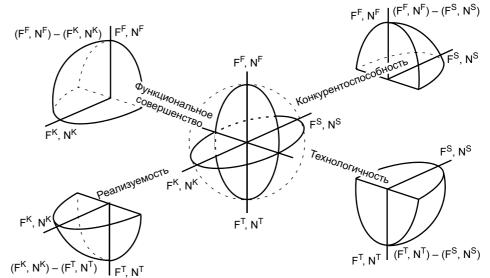


Рис. 1. Схема формирования пространства проектирования

ки и выбора рациональных вариантов комплексных проектных решений.

В тех случаях, когда невозможно строго формализованно оценить проектные решения, их необходимо выбирать на основе предпочтений. Последние характерны не только для выбора решений, но и для ранжирования факторов и параметров при установлении ограничений и условий, применяемых для оценки и выбора вариантов.

Определение и исследование взаимосвязанных факторов и параметров выполняют методами функционально-стоимостного анализа.

Пространство проектирования  $\{(F^F, N^F), (F^K, N^K), (F^T, N^T), (F^S, N^S)\}$  подразделяется на четыре сопряженных подпространства, в которых по традиционным методикам проектирования выполняют обособленные проектные работы.

Проектирование в подпространстве (( $F^F$ ,  $N^F$ ), ( $F^K$ ,  $N^K$ )) обеспечивает функциональное совершенство. Подпространство (( $F^K$ ,  $N^K$ ), ( $F^T$ ,  $N^T$ )) определяет реализуемость изделия в технологической системе. Проектирование в подпространстве (( $F^T$ ,  $N^T$ ), ( $F^S$ ,  $N^S$ )) обеспечивает технологичность изделия. В подпространстве (( $F^F$ ,  $N^F$ ), ( $F^S$ ,  $N^S$ )) выполняют согласование результатов оценки функционального совершенства, реализуемости и технологичности и определяют конкурентоспособность комплексных проектных решений.

Для реализации отдельного набора функциональных контуров могут быть применены варианты различных конструктивных элементов A с разными наборами конструктивных контуров  $F^A$  и параметров  $N^A$ :

$$N^A = \{N_1^A, ..., N_i^A = \{n_1^i, ..., n_i^i, ..., n_m^i\}, ..., N_I^A\}, (4)$$

где  $N^A$ ,  $N_i^A$ ,  $n_i^i$  — параметры, характеризующие

элементы  $a_j^i \in A_i$ ,  $A_i \in A$  и контуры  $f_j^i \in F_i^A$ , которые могут принимать количественное либо лингвистическое значение. Параметры  $N^A$  могут быть интегральными или комплексными, описывающими область, поле, допуск, или частными, имеющими конкретное значение.

Сопоставление элементов  $a_j^i \in A_i, A_i \in A$  и характеризующих их контуров  $f_j^i \in F_i^A$ , а также сопоставление элементов A и контуров  $F^A$  с параметрами  $N^A, N_i^A, n_j^i$  выполняют на основе множества отношений

$$R^{A} = \{R_{1}^{A}, ..., R_{i}^{A}, ..., R_{n}^{A}\}.$$
 (5)

Отношения  $R_i^A \in R^A$  задают на базовых множествах A,  $F^A$ ,  $N^A$ . В моделях функционально-стоимостного анализа выделены четыре специальных типа отношений: принадлежности  $R^{\in}$ , порядка  $R^P$ , эквивалентности  $R^{\leftrightarrow}$  и функции  $R^f$ . Множество отношений  $R^A(A,A)$  на базовом множестве элементов A, определяемые как подмножества декартова произведения  $A \times A$ , включает

$$R^{A}(A, A) = \{R^{\in}, R^{P}\}.$$
 (6)

Множество отношений  $R^A(A, F^A)$  на базовых множествах элементов A и контуров  $F^A$  включает

$$R^{A}(A, F^{A}) = \{R^{\in}, R^{\leftrightarrow}\}. \tag{7}$$

Взаимозависимые контуры  $F_i^A \in F^A$  связаны отношениями, заданными на базовом множестве  $F^A$  и определяемыми как подмножества декартова произведения  $F^A \times F^A$ .

$$R^{A}(F^{A}, F^{A}) = \{R^{\in}, R^{f}\},$$
 (8)

причем  $R^f$  определяют как n-местную функцию высказываний, а  $F_i^A \in F^A$  задают фактически n-местным предикатом, областью определения которого является подмножество базового множества  $F^A$ .

Кроме определения контура  $F_i^A$  на базовом множестве  $F^A$ , каждый элементарный контур  $f_j^i$  может быть определен подмножеством множества параметров  $N^A$  на основе отношений  $R^A(F^A, N^A) = \{R^{\epsilon}, R^f\}$  следующим образом.

Каждый контур  $f_i$  характеризуется набором параметров

$$N(f_i) = \{n_1, ..., n_i, ..., n_n\}.$$
 (9)

Требуемое качество контура  $f_i$  будет обеспечено, когда для каждого параметра  $n_j \in N(f_i)$  погрешность значения  $\omega_j$  не выходит за пределы установленного поля допуска  $\Delta_j$ :

$$\forall n_j \in N(f_i)(\omega_i \subseteq \Delta_i). \tag{10}$$

Контур  $f_i$  может быть представлен логической переменной и его состояние определено следующим образом:

$$f_i = \begin{cases} 1, \text{ если } \forall n_i \in N(f_i)(\omega_j \subseteq \Delta_j); \\ 0, \text{ если } \exists n_i \in N(f_i)(\omega_j \setminus \Delta_j \neq \varnothing). \end{cases}$$
 (11)

Множество параметров  $N^A$  является не только основой описания элементов множества A, представляемых в форме отношений  $R^A(A, N^A)$  и контуров элементов множества  $F^A$ , представленных в форме отношений  $R^A(F^A, N^A)$ , но и является взаимозависимым внутри и определяемым отношением

$$R^{A}(F^{A}, N^{A}) = \{R^{\in}, R^{\leftrightarrow}, R^{f}\}. \tag{12}$$

При этом следует еще раз подчеркнуть, что параметры  $n_j^i \in N_j^A$ ,  $N_j^A \in N^A$  являются не только качественными, но и лингвистическими переменными и константами.

В процессах математического моделирования изделий как сложных технических систем и при формировании проектной и реальной модели описывается одно состояние: то, которое определено в техническом задании и проектной документации, либо то, которое обеспечено в процессе производства.

Формирование области комплексного решения на примере проектирования в подпространстве  $((F^K, N^K), (F^T, N^T))$ , определяющем реализуемость изделия, производится в процедурно-алгоритмической среде, обеспечивающей взаимодействие моделей изделий S(A) и моделей технологических систем S(P) с целью формирования моделей технологических процессов S(T). Схема и результат этого взаимодействия проиллюстрированы на рис. 2.

Создание сложной технической системы и элементов ее конструкции (агрегатов, узлов и деталей) начинается с определения целей и задач, которые формулируются в техническом задании. Техническим заданием в детализации целей и задач определяются основные эксплуатационные характеристики, которые должны обеспечиваться проектируемой системой в целом и его элементами, а также задаются ограничения на параметры системы и устройств и диапазоны возможных изменений внешней среды.

На рис. З представлена схема взаимосвязанных подходов к оценочной деятельности и методов определения и оценки основных технико-экономических показателей наукоемкой продукции промышленных предприятий, работающих в современных условиях. Наиболее перспективными подходами являются "доходный", основанный на разработке бизнес-плана, и "рыночный", предполагающий сравне-

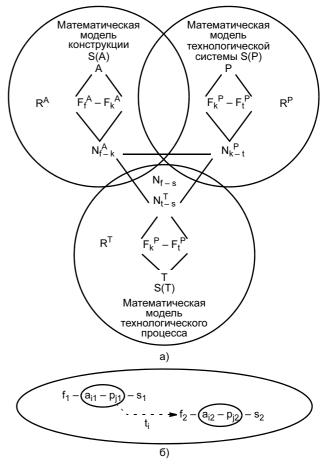


Рис. 2. Образование области комплексного решения для оценки реализуемости ( $t_i$ —i-я объекто-операция;  $a_{i1}$ ,  $a_{i2}$ —начальное и конечное состояние элементов изделия;  $p_{j1}$ ,  $p_{j2}$ —начальное и конечное состояние элементов технологической системы;  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $s_1$ ,  $s_2$ —начальное и конечное состояние свойств и оценочных показателей соответственно): a—формирование модели комплексного решения; b—структурный элемент модели b

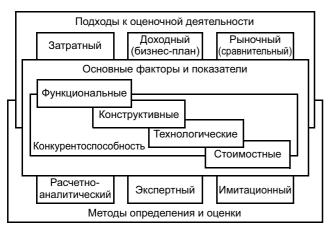


Рис. 3. Подходы и методы оценки факторов и показателей при функционально-стоимостном анализе

ние принимаемых конструктивно-технологических и организационных решений с прототипами и аналогами, поставляемыми на рынок потенциальными конкурентами. Самыми перспективными методами оценки в настоящее время являются методы функционально-стоимостного анализа сложных технических систем, основанные на имитационном моделировании объектов и процессов их создания и применения на различных стадиях жизненного цикла.

Для повышения конкурентоспособности сложных технических систем в машиностроении стадии проектирования и производства должны сближаться на основе конструкторско-технологического задела, представленного в форме специальных баз знаний и баз данных комплексных проектных решений с моделями функционально-стоимостного анализа, позволяющими выполнять для интеллектуальной и материальной продукции оценку функциональных и стоимостных характеристик по различным мето-

дикам, учитывающим затратные, функционально-потребительские и рыночные свойства.

В сложившихся условиях, характеризующихся усилением конкурентной борьбы, научная проблема разработки и применения методов функционально-стоимостного анализа авиационной техники, позволяющей комплексно исследовать процессы проектирования, подготовки производства, изготовления и эксплуатации в целях обеспечения конкурентоспособности, является очень актуальной.

Целью функционально-стоимостного анализа сложных технических систем является достижение рациональных сбалансированных соотношений качественных и стоимостных показателей сложных технических систем на всех стадиях жизненного цикла для обеспечения конкурентоспособности на внутренних и внешних рынках в современных технических и экономических условиях.

Тематика и проблематика функционально-стоимостного анализа находится на границах такой разнородной интеллектуальной деятельности, как конструирование, технологическое проектирование, маркетинг, менеджмент и является основой формирования и исследования инновационных процессов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Силуянова М. В. Функционально-стоимостной анализ агрегатов и узлов авиационных двигателей на производственных стадиях жизненного цикла: Учеб. пособие. М.: "МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского, 2002. 73 с.
- 2. *Халфун Л. М., Попов В. Г., Силуянова М. В.* Топливная аппаратура авиационных газотурбинных двигателей. М.: "МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского, 2002. 360 с.
- 3. Силуянова М. В. Предметная область, модели и задачи функционально-стоимостного анализа // Программные продукты и системы: Приложение к международному журналу "Проблемы теории и практики управления". 2004. № 4. С. 35—37.

### И. В. СЫСОЕВА, экономист

Ростовский государственный строительный университет (Ростов-на-Дону)

### Учет результатов венчурной деятельности

По решению Правительства РФ российская экономика с 2006 г. переходит на инновационный путь развития, что связано с широким распространением венчурных фондов и венчурных предприятий и вовлечением в эту сферу деятельности значительных государственных ресурсов: создание Российской венчурной компании, повышение государственного финансирования науки и научных исследований высшей школы, научных технологий и отраслей.

Изучая состояние учета венчурных предприятиях, автор столкнулся с проблемой их полной неизученности, применения устаревших рекомендаций с

точки зрения организации и методологии финансового, управленческого и стратегического учета.

Все это привело к необходимости разработки и апробации макета методики учета результатов венчурной деятельности. Учет результатов должен базироваться на основных принципах интернациональной модели финансового учета, т. е. использовании производственной оптики для венчурных предприятий и финансовой оптики для венчурных фондов. Также должно учитываться взаимодействие инновационной среды, инновационных процессов в результатах деятельности

венчурных предприятий и венчурных фондов: техноэкономическая парадигма; макротехнологии; инновационные процессы и результаты; информационные технологии; инновационная собственность; результаты венчурного предприятия; результаты венчурного фонда.

При организации учета и подведении итогов деятельности необходимо учитывать развитие нестабильности. Для этих целей результаты должны быть подразделены на две группы: результаты венчурного финансирования и результаты с учетом риска. Также важно следующее:

- учитывать состояние денежных потоков между венчурным предприятием, венчурным фондом и финансовыми рынками с определением чистых активов и чистых пассивов;
- отражать затраты и результаты по видам венчурной деятельности и системы ценностей;
- обеспечивать и осуществлять принципы финансового подхода ценностей венчурного предприятия, т. е. разбивать активы на две группы: существующие инвестиции (семенной раунд); активы роста, полученные в результате использования венчурного финансирования по сериям "А", "Б", "В".

Фонды венчурного капитала — Российская венчурная компания, частные венчурные фонды, общества с ограниченной ответственностью и др. — необходимо ранжировать по отношению к средней доходности в венчурной отрасли.

Исходя из этих позиций и с учетом результатов анкетного обследования, проведенных на базе кафедры бухгалтерского учета и аудита Ростовского государственного строительного университета, разработан и апробирован макет методики учета результатов венчурной деятельности.

Макет учета результатов венчурной деятельности построен на системной основе, обеспечиваемой тремя позициями: виды венчурной деятельности; венчурные команды; процедуры определения результатов использования венчурного финансирования (постинвестиционной стоимости, результат венчурного финансирования, результат с учетом риска, организация контроля). Системность учета в разрезе видов деятельности предполагает идентификацию видов деятельности, анализ процедур учета собственности и соответствующих учетных механизмов.

Учет по видам деятельности является основой системности: в США используется восемь видов деятельности (основная, доверительная, внешнее управление собственностью, венчурная, реорганизационная, инвестиционная, бюджетная, совместная). Американский профессор А. Энтховен пишет, что в России оценка себестоимости по видам деятельности практически не производится [1]. Основой видов венчурной деятельности являются вен-

чурные команды, организуемые на принципах адхократии.

Венчурные группы — это небольшие независимые отделы, состоящие из различных специалистов, которые руководят всем процессом разработки нового продукта, от создания идеи до представления на рынке. Система обеспечивает необходимые ресурсы, гибкую среду, опыт и постоянство, но дорого обходится.

Методика рассматривает вопросы организации учета и контроля использования венчурного финансирования. В настоящее время в теории и практике предложены и используются два варианта учета венчурного финансирования.

В работе [2] предлагается для учета венчурного финансирования использовать счет 84 "Нераспределенная прибыль (непокрытый убыток)", рекомендуя для этих целей субсчет "Венчурный фонд". Основной недостаток этого предложения сводится к тому, что фонд будет ежемесячно использоваться на погашение убытков. В результате будет отсутствовать прозрачная информация об общем размере венчурного финансирования.

В практике венчурное финансирование учитывается на субсчете к счету 86 "Целевое финансирование", при этом произведенные затраты систематически списываются на уменьшение целевого финансирования. Основным недостатком является отсутствие аналитического учета по сериям финансирования: семенной фонд, серия "А", "Б", "С".

В российском бухгалтерском учете в отличие от международной практики порядок отражения НИОКР на счетах не регламентирован [3]. Учет затрат на выполнение НИОКР ведется на счете 08 "Вложения во внеоборотные активы". По их окончании затраты при получении положительного результата списываются на счет 04 "Нематериальные активы" или счет 97 "Расходы будущих периодов", а при отсутствии положительного результата — на убытки — счет 91 "Прочие доходы и расходы" как внереализационные расходы [3]. Автор исходит из позиции, что в целях повышения прозрачности и аналитичности необходимо разделить два процесса: венчурное финансирование, которое в конечном итоге будет отнесено на формирование уставного капитала венчурного предприятия, и инновационную деятельность, которая сводится к получению инновационного продукта (патентов, свидетельств и др.).

При этом венчурное финансирование отражается в разделе IV баланса "Долгосрочные обязательства", так как оно предоставляется на период два—четыре года. В этих условиях венчурное финансирование должно отражаться по сериям "А", "Б" и др. для обеспечения управления процессом финансирования.

В активе баланса будут представлены в составе внеоборотных активов полученные патенты, свиде-

тельства, опытные образцы, бренды, схемы, чертежи, компьютерные программы (раздел I), затраты на незавершенные научные разработки (раздел II). В пассиве, вплоть до выхода, в разделе III будет отражаться отрицательная нераспределенная прибыль (III раздел баланса) и полученный венчурный капитал по сериям (IV раздел баланса).

Для учета венчурного финансирования автор предлагает использовать счет 86 "Целевое финансирование" с четырьмя субсчетами: "Венчурное финансирование вновь создаваемых венчурных предприятий"; "Выкуп предприятия венчурным фондом"; "Выкуп предприятия управляющими" и "Венчурное финансирование функционирующих предприятий".

Аналитический учет рекомендуется обеспечивать по сериям финансирования (семенной фонд, серии "А", "Б", "В" и т. д.) и инвесторам. По каждой серии финансирования определяются внесенные средства и производится оценка предварительной стоимости и постинвестиционной стоимости предприятия.

В случае неуспешной работы венчурной компании возникает проблема прав на активы, т. е. последовательность удовлетворения инвесторов<sup>2</sup>, при этом преимущественные права на активы компании получают, как правило, инвесторы последующего раунда финансирования (B, A) [4]. Это требует отражения венчурного финансирования в венчурном учете и отчетности по сериям финансирования.

Макет методики систематизирует вопросы первичного публичного предложения (выхода). Методика учета результатов венчурной деятельности направлена на организацию учета и контроля по трем направлениям:

- давшее положительный результат, т. е. при первоначальном публичном предложении получена прибыль:
- не давшее положительный результат, т. е. при первоначальном публичном предложении получен убыток;
- на незавершенной стадии определяется прогнозный результат на базе использования венчурного производного балансового отчета.

<sup>1</sup> Термин "отрицательная нераспределенная прибыль" предложен финансовым аналитиком А. Роком — американским финансистом, который в 1961 г. основал первый венчурный фонд.

Постинвестиционная стоимость предприятия перед выходом определяется по данным инструмента бухгалтерского инжиниринга — венчурного производного балансового отчета.

Макет методики систематизирует возможные результаты венчурного финансирования: формирование брэнда; нематериальные активы; вложения во внеоборотные активы; внереализационные расходы; на незавершенной стадии.

Указанные результаты определяются на базе использования автоматизированной компьютерной модели венчурного производного балансового отчета.

Методика ориентирует пользователей на определение результата с учетом риска, характеризуемого четырьмя позициями:

- фактическое состояние резервной системы, определяемое стоимостью чистых активов по бухгалтерскому балансу (ЧАб);
- необходимое состояние резервной системы, получаемое по данным хеджированного производного балансового отчета и характеризуемое чистыми хеджированными активами (ЧАх);
- величина аккумулированного риска, определяемая по производному балансовому отчету аккумулированного риска и характеризуемая соответствующими чистыми активами (ЧАр);
- результат определяется зависимостями: фактическое состояние (ЧАб—ЧАр), необходимое состояние (ЧАх—ЧАр).

Методика ориентирует пользователей на организацию контроля на базе использования нулевых балансов.

Разработанный и апробированный макет методики учета результатов венчурной деятельности основан на использовании счета 86 "Целевое финансирование" с системой субсчетов по видам венчурного финансирования и организации аналитического учета по сериям венчурного финансирования и участниками, а определение результатов производится на основе использования венчурного производного балансового отчета.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Энтиховен А. Учет, аудит и налогообложение в Российской Федерации // Аудит и финансовый анализ. 2000. № 3. С. 5—8
- 2. *Щемелев А. Н.* Стратегический учет инновационных процессов на предприятия. Ростов-на-Дону: ООО "Ростиздат", 2003. 192 с.
- 3. Устинова Я. И. Учет и налогообложение расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы // Бухгалтерский учет. 2002. № 18. С. 17—22.
- 4. *Кемпбелл К.* Венчурный бизнес: новые подходы / Пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2004. 428 с.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Благодаря этому условию инвесторы последнего раунда финансирования получают свои деньги прежде всех остальных. Если же существует мультипликатор преимущественных прав при ликвидации, то это наделяет инвестора первоочередным правом на многократный возврат инвестированных средств. В этой ситуации основатели и первые инвесторы могут быть полностью вытеснены даже в случае успешного выхода.

# Содержание зарубежных журналов<sup>1</sup>

# Werkstatt fertigung (N 1, 2006, Германия)

Обрабатывающий центр для микрообработки, с. 12. Описывается обрабатывающий центр, разработанный для обработки по пяти осям мелких деталей. Станок обеспечивает точность позиционирования менее 1 мкм и оснащен высокоскоростным шпинделем, вращающимся с частотой до 150 000 мин<sup>-1</sup>. Радиальное биение шпинделя не превышает 0,001 мм. К станку прилагается модуль для лазерной микрообработки.

Лазерная микрообработка, с. 27, ил. 1.

Проанализированы преимущества лазерной микрообработки. Сообщается о новой системе microPULSE, позволяющей с высокой точностью выполнять на различных материалах обработку микроотверстий и микроструктурирование поверхности. Позиционирование обрабатываемой детали осуществляется системой для перемещения по осям X, Y, Z и поворотами вокруг двух осей.

### (N 2, 2006, Германия)

### Полирование лучом лазера, с. 8.

При изготовлении формообразующего инструмента, например, кокилей и пресс-форм для литья под давлением, часто приходится прибегать к ручному полированию особо сложных деталей, которое требует больших затрат времени (от 10 до 30 мин). Помощь здесь может оказать лазерное полирование, для проведения которого рекомендован пятикоординатный обрабатывающий центр, в котором фрезерный шпиндель заменен лазером и соответствующей оптикой. При лазерном полировании получают гладкие поверхности с малой шероховатостью, что особенно важно для медицинских инструментов.

### Коррозионно-стойкий инструмент, с. 19, ил. 1.

На фирме GEDORE разработана линия NC—Nautic— Corostop для производства инструмента для работы в условиях повышенной влажности или в воде, например, на морских судах или буровых платформах и т. п. Для защиты от коррозии инструмент имеет специальное анодное покрытие. В зависимости от условий применения фирма предлагает четыре варианта набора защищенного инструмента.

**Установка** для лазерной микрообработки, с. 23, ил. 1.

Фирма Laser 2000 (Германия) совместно с фирмой 3D-Micromac (Германия) предложила технологический процесс и оборудование для лазерной микрооб-

работки различных деталей. Установка System micro-PULSE выполняет операции микросверления, микрорезания при токарной обработке и др. Наилучшие результаты получены на материалах с высокой теплопроводностью и низкой температурой плавления, обладающих прозрачностью, полупроводимостью, сверхпроводимостью, а также на органических материалах.

### Werkstatt und Betrieb (N 9, Vol. 138, 2006, Германия)

### Зубошлифовальный станок, с. 17.

Фирма Hofler предлагает зубошлифовальный станок с программным обеспечением 340D фирмы Siemens для обработки зубчатых колес с наружными и внутренними зубьями. Стол станка приводится во вращение от высокомоментного двигателя. Станок отличается высокими производительностью и точностью.

Станки для скоростной обработки, с. 54, 56, ил. 3. Скоростная обработка появилась около 20 лет назад и к настоящему времени завоевала обширные области применения. Это еще раз подтвердили наиболее известные фирмы. Например, фирма Handtmann выпустила новый обрабатывающий центр Gantry RS для изготовления небольших деталей, конструктивной особенностью которого является применение реечных передач, обеспечивающих линейные скорости до 70 м/мин и ускорения до 0,8 д при меньшей цене по сравнению с линейными приводами. Станок не требует фундамента, станина из специального композита обеспечивает хорошую размерную термостабильность и демпфирование колебаний. Станок Unipro 5L фирмы Unisign (Нидерланды), предназначенный для получения длинных деталей, имеет перемещения по осям 4000, 600 и 500 мм, привод мощностью 36 кВт с частотой вращении 16 000 мин-

Режущие пластины и их обозначение, с. 80, 82, ил. 3. Отмечено, что базовый материал и обозначение режущих пластин содержат важную информацию не только о геометрии пластины, но и стойкости, реализуемых режимах обработки и оптимальном оборудовании, что очень важно для технологического процесса обработки. Особое значение имеет базовый материал пластины, который должен обладать высокими вязкостью, прочностью на изгиб и стойкостью против истирания. В качестве примера описаны твердосплавные режущие пластины Supertec LC 415Z фирмы Seco Tools, предназначенные для токарной обработки труднообрабатываемых суперлегированных сплавов.

**Querns M.** Выбор "правильного" оборудования, с. 97, 98, 100, 101, ил. 6.

Нередки случаи, когда потребитель при выборе станков обращает главное внимание на скорость, ускорение, мощность шпинделя и т. п., не связывая их

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Раздел подготовлен инж. Г. С. Потаповой (по вопросам получения материалов из зарубежных журналов обращаться по тел./факсу: (495) 611 21 37, e-mail: stankoinform@mail.ru).

напрямую с геометрией тех деталей, которые будут изготовляться на выбранном оборудовании. По мнению авторов, основным критерием выбора должна быть себестоимость получаемой детали и технологичность обработки. Они подтверждают это практическим примером с конкретными деталью и станками фирмы INDEX. В качестве базы для сравнения принят относительно простой и дешевый станок МС400, себестоимость и капиталовложения которого приняты за 100 %.

**Зубообрабатывающие** станки фирмы Gleason, с. 137, ил. 7.

Описаны новые станки фирмы, выполненные с учетом последних достижений в области зубообработки. Станок PHOENIX II600HC предназначен для фрезерования конических зубчатых колес, станок P 90 G — для зубошлифования, а станок GP 200 ES — для зубострогания.

Высокоточный универсал, с. 138, ил. 1.

Высокоточный универсал — такова общая характеристика нового обрабатывающего центра с ЧПУ Multus B300 фирмы Окита, имеющего семь осей и предназначенного для изготовления деталей сложной геометрии. Он имеет два токарных шпинделя с длиной обточки 900 мм с отверстием диаметром 62 и 80 мм, мощностью привода 15 и 22 кВт и частотой вращения 5000 и 3800 мин $^{-1}$ . Перемещение по оси V составляет 160 мм, повороты вокруг оси B — 225° с точностью до 0,001°.

**Снижение** эксплуатационных затрат, с. 183—185, ил. 2.

Современные покупатели при выборе станка интересуются не только его ценой, но и теми расходами, которые они понесут при его эксплуатации. С учетом этого производители вынуждены менять свое направление — теперь они занимаются сервисом проданных станков у потребителя, стремясь свести к минимуму незапланированные простои и затраты на ремонты. Для реализации такого подхода фирма Siemens AG разработала ПО, предусматривающее постоянный контроль оборудования и передачу информации на серверы через собственные системы управления Sinumerik

Стружкоудаляющее устройство, с. 204, ил. 1.

Фирма Bernhard Ringler Apparatebau (Германия) предложила устройство для всасывания магниевой и алюминиевой стружек. Устройство способно засасывать как сухую стружку, так и загрязненную СОЖ. Оно снабжено манометром для контроля работоспособности фильтра и прибора удаления газа из устройства. Выпускается мобильный вариант устройства RI321 и во взрывобезопасном исполнении. Емкость сборника из коррозионно-стойкой стали 100 л.

Очистка промышленных жидкостей, с. 205, ил. 1.

Фирма Westfalia Separator Mirterakul Systems (Германия) представила промышленную установку для очистки жидкостей, например СОЖ или моющих эмульсий, центробежными устройствами. Компактная

установка служит для очистки малых объемов жидкости, в то время как другая, полностью автоматизированная установка, обладает высокой производительностью. После очистки жидкости используются повторно, что снижает стоимость их применения.

**Установка** для брикетирования металлической стружки и отделения СОЖ, с. 205, ил 1.

Фирма Roschiwal + Partner Ingertieur (Германия) разработала установку, которая уплотняет металлическую стружку, образующуюся при резании металла, и очищает ее от СОЖ. Установка полностью автоматизирована и выдает брикеты из стружки. Указаны положительные особенности установки: компактность, низкая стоимость, повторное использование СОЖ и др.

### (N 5, Vol. 139, 2006, Германия)

**Автоматическая** калибровка шлифовальных станков с ЧПУ, с. 47, ил. 1.

Любой станок с течением времени теряет первоначальную точность и требует периодической калибровки. На шлифовальных станках с пятью управляемыми координатами она требует больших затрат, снизить которые можно с помощью разработанной фирмой Gebr. Saacke GmbH & Co. КG автоматической системы. Для ее применения достаточно установить измерительные приборы в шлифовальном шпинделе и держателе заготовок. Длительность процедуры 8—12 мин, по ее окончании выдаются распечатанные результаты.

**Lüthi J.** Токарно-карусельный станок фирмы Technica AG, с. 61—63, ил. 5.

В настоящее время высокие гибкость и производительность станков — противоречивые требования, однако современное производство настойчиво требует одновременного их наличия. Ответом на это требование является станок Rotaflex DV в модульном исполнении, имеющий до 15 позиций обработки, каждая из которых управляется отдельно, что позволяет выполнять многие операции с использованием 28 инструментов. Переналадка станка на другую деталь требует не более 30 мин, точность позиционирования спутников и обработки составляет 2 и 10 мкм.

**Graf R.** et al. Оригинальный зубофрезерный станок AV 100 фирмы Gear, c. 74—76, ил. 5.

В металлообработке все чаще используется высокоскоростное резание, характеризующееся необычным сочетанием скорости резания и подачи. Его применение для изготовления шестерен малого диаметра обкатным фрезерованием реализовано предлагаемым станком, в котором строгая синхронизация частоты вращения фрезы и заготовки обеспечивается электроникой, исключающей применение сложных кинематических цепей. Частота вращения шпинделя достигает 20 000 мин<sup>-1</sup>, на станке можно получать шестерни диаметром менее 1 мм. Станок комплектуется монолитными твердосплавными фрезами и системой управления Agil 8-10.

# Trametal (N 93, 2005, Франция)

Новые производственные ячейки, с. 16, ил. 1.

Сообщается о новой производственной ячейке Agile гаммы Starline фирмы Cross-Hüller. Она характеризуется стандартизацией компонентов и их функций. В ней имеются два многоцелевых станка Star 500, портальная система передачи и система удаления стружки. Описывается также новый станок Specht 500D этой же фирмы, отличающийся высокой производительностью, снижением длительности цикла, что обусловлено непосредственной загрузкой и возможностью монтирования вращающегося стола (с осями А и В) в двух позициях (с короткими инструментами). Приведены сведения о применяемом инструментальном магазине, зоне обработки повышенной эффективности омывающейся струями воздуха, снижении до минимума потребления СОЖ и т. п.

**Станки** группы Riello, с. 16, 17, ил. 1.

Описывается новая производственная ячейка с четырьмя горизонтальными шпинделями, которая может быть использована как два одно- или двухшпиндельных многоцелевых станка. Применение такой системы повышает производительность, эксплуатационную гибкость и точность. Кроме того, группа Riello выпускает производственную линию Vertiflex 300 HH5 для сложных условий обработки, оснащенную четырьмя приспособлениями-спутниками. Все станки оснащены электрошпинделями мощностью до 11 кВт с частотой вращения до 12 000 мин<sup>-1</sup>. Деталь на станке может быть обработана по пяти поверхностям с одного установа.

Токарный многоцелевой станок, с. 26, 28, ил. 1.

Описывается станок M35 гаммы MILLTURN фирмы WFL. Станки этой гаммы характеризуются крупными приспособлениями-спутниками, высокой точностью, качеством обработанных деталей, системой ЧПУ типа СNС и высокими подачами, которые существенно выше, чем у известных станков подобного типа. Эти станки, явившиеся результатом 20-летних исследований, позволяют осуществлять технологический процесс обработки детали с одного установа. Максимальный диаметр точения составляет 420 мм, мощность на фрезерном шпинделе 20 кВт, крутящий момент до 165 Н · м.

**Многоцелевой** токарный станок фирмы Rosilio, с. 24, 25, ил. 1.

Сообщается о станке TCN-310, характеризующемся жесткой чугунной станиной, длиной ходов по осям X и Z 250 мм, высотой обработки над станиной 310 мм, мощностью на шпинделе 3,7 кВт при частоте вращения шпинделя 8000 мин $^{-1}$ . На станке обеспечивается высокая точность позиционирования. Двигатели и вариаторы, связанные между собой, относятся к типу "полностью цифровых".

Многоцелевой токарный станок, с. 34, 36, ил. 1.

Изложены технологические возможности многоцелевого токарного станка Multus B300 фирмы Okuma и приведены его основные характеристики. Максимальные диаметр обрабатываемой детали 450 мм, длина — 900 мм. Длина ходов по осям X, Y и Z соответственно равна 580,  $160 \pm 80$  и 935 мм, а скорость перемещения по этим осям — 40, 26 и 40 м/мин. Система смены инструмента рассчитана на 20, 40 или 60 инструментов. Станок отличается высокой жесткостью и точностью, оснащен системой, ограничивающей влияние расширения при изменении температуры окружающей среды, и системой, исключающей столкновения.

**Моделирование** технологических процессов, с. 60, 62—64, ил. 6.

Проанализировано все возрастающее применение моделирования процессов механической обработки и показаны его технологические возможности и преимущества, обеспечивающие высокую эффективность последующих производственных процессов, устранение риска коллизий, снижение затрат времени и повышение надежности реализации выбранной технологии. Моделирование производится с виртуальным применением ЧПУ или применением метода, предусматривающего использование ПК. Приведены примеры новых систем для моделирования процессов обработки, описана их работа, указаны особенности и возможности таких систем. Рассмотрены вопросы изготовления прототипов.

### (N 94, 2005, Франция)

Выбор способа лазерной резки, с. 40.

Анализ возможностей лазерной резки по трем осям и пробивки отверстий показывает, что обе лазерные технологии имеют ряд общих преимуществ. Сообщается также о новом оборудовании для трехкоординатной гидравлической резки. В таком оборудовании имеется несколько режущих головок, что приближает эффективность резки на этом оборудовании к эффективности лазерной резки.

**Лазерная** резка в сочетании с гидравлической резкой, с. 40, 41.

Сообщается о комбинированном способе резки материалов лазером совместно со струей воды. Струю используют для обеспечения точного следования лазерного луча в соответствии с заданной траекторией резки. Наиболее часто струю используют как направляющую при лазерной резке.

### (N 95, 2005, Франция)

### Высокопроизводительные фрезы, с. 16, ил. 1.

Фирмой SGS разработана полная гамма концевых фрез, выполняемых целиком из твердого сплава и характеризующихся высокой производительностью резания, что обусловлено выбором сорта твердого сплава и геометрией резания. Фрезы изготовлены из микрозернистого твердого сплава и не имеют покрытия. Они предназначены для обработки алюминия с высокой производительностью в течение 8 ч в день. Фрезы этой же гаммы, предназначенные для обработки жаростойких материалов, имеют покрытие TiAIN.

**Керамическое** покрытие для режущих инструментов, с. 14, 16, ил. 1.

С целью повышения экономичности обработки фирма Boehlerit разработала покрытие нового типа Steeltec LC215K, повышающее стойкость инструмента и позволяющее существенно повысить скорость резания. Это покрытие применено на режущих пластинах для токарных операций. Покрытие  $Al_2O_3$ , как показали испытания, обладает особо высокой твердостью и стойкостью против нагрева. Эффективный отвод теплоты повышает динамику процесса обработки и позволяет эффективно применять обработку без СОЖ. Согласно результатам испытаний, пластины с керамическим покрытием имеют стойкость, которая почти на 30 % выше стойкости известных пластин подобного назначения при одинаковых условиях обработки.

**Режущие** пластины для микроразвертывания, с. 19, ил. 1.

Фирма Paul Horn, специализирующаяся на разработке микроинструментов, разработала инструменты Supermini для развертывания отверстий диаметром 6,0—6,8 мм. Инструменты оснащены упрочненными режущими пластинами В105, которые смонтированы на держателях В105 этой же фирмы. Эти инструменты характеризуются высокой жесткостью и изготовлены для левого и правого резания. Фирмой также разработана новая серия пластин для обработки канавок в деталях диаметром от 9 мм при глубине канавок до 3 мм и ширине 2,5 мм.

### Миниатюрная резьбовая фреза, с. 19, ил. 1.

Фирма Vargus, специализирующаяся в производстве резьбовых фрез, выпустила минифрезы MilliPro с тремя зубьями и тремя канавками, специально предназначенные для высокоэффективной обработки труднообрабатываемых материалов, вызывающих частые поломки метчиков. Фрезы изготовляют из режущего материала сорта VIH с покрытием, обеспечивающим высокую износостойкость при различном применении.

# (Специальный выпуск Moulistes, 2005, Франция)

### Применение шаровых фрез, с. 12, ил. 1.

Рассмотрены особенности и технологические возможности шаровых фрез. Одной из важнейших областей использования таких фрез является обработка пресс-форм, а также деталей со сложным трехразмерным контуром. Проанализирован процесс резания этими фрезами. Частоту вращения фрезы рекомендуют выбирать исходя из номинального диаметра фрезы. Приведены формулы расчета эффективного диаметра фрезы, определения оптимальной частоты вращения фрезы и расчета ширины резания. Указывается, что при обработке такой фрезой для поддержания постоянной скорости резания следует изменять частоту вращения и глубину аксиального прохода.

**Многоцелевой** станок для обработки форм, с. 38, ил. 1.

Сообщается о новом вертикальном многоцелевом станке с подвижной траверсой и пятью осями фирмы Hermle. Станок C600U имеет вращаемую плиту диаметром 280 мм, встроенную в стол, ориентируемый на угол до  $115^\circ$ . На станке можно обрабатывать сложные детали массой до 300 кг. Длина хода по оси X составляет 600 мм. Станок пригоден для эффективной обработки графитовых электродов, для чего снабжен устройством для экстрагирования пылевидных отходов. Скорость перемещений по трем осям составляет 35 м/мин. Станок компактен и занимает площадь 4,5 м $^2$ .

### Modern Machine Shop (N 7, Vol. 78, 2005, CIIIA)

### Развитие станочного оборудования, с. 93.

Отмечается, что в настоящее время значительное число европейских станкостроителей уделяет большое внимание сервису и технической поддержке. Раньше это было их слабым местом, с одной стороны. С другой — заказчики при выборе оборудования анализируют возможности поставщика в части сервиса, поставки запчастей и поддержке по мере необходимости. Станки становятся более гибкими и производительными, поэтому многие предприятия хотят иметь меньше машин, но таких, которые могут работать при большей продолжительности в течение дня и больше дней в неделю, когда простои крайне нежелательны и незавершенное производство минимизировано. Такой подход требует быстрой при необходимости поддержки со стороны поставщиков станков.

**Программирование** станков на основе технологии обработки, с. 108—110.

Когда при программировании станков формируются траектории движения инструментов в автоматическом или полуавтоматическом режиме, основой является база знаний технологии обработки. Одним из способов является автоматическое распознавание характеристик обрабатываемой детали, например, участки, подлежащие обработке, определяются осмотром модели, а полученные данные обрабатываются ПО.

### Моделирование в механообработке, с. 110.

Все шире применяют обработку на основе твердотельной модели изделия при прямой интероперабельности с моделью. Такая технология основана на трех основных элементах — это система твердотельного моделирования, средства импорта данных модели в систему САМ и система САМ, содержащая интеллектуальные компоненты для интероперабельности с твердотельной моделью.

### Делительный стол, с. 181.

Фирма Heartech Precision предлагает делительный стол JI4C 140-EDM с вращающейся планшайбой из коррозионно-стойкой стали и со специальным уплотнением, предназначенный для работы на установках для электроэрозионной обработки под слоем электролита. Диаметр планшайбы 140 мм, высота оси вращения планшайбы 110 мм. Масса стола 18 кг.

## **%** экспоцентр

# 10-я Международная специализированная выставка "Интерпластика—2007"

С 30 января по 2 февраля 2007 г. в ЦВК "Экспоцентр" (Москва) проходила 10-я Международная специализированная выставка сырья, вспомогательных материалов и оборудования для производства и переработки пластмасс и каучуков "Интерпластика-2007", организаторами которой являлись компания "Мессе Дюссельдорф ГмбХ" (Германия) и фирма "Мессе Дюссельдорф" (Россия) при содействии ЗАО "Экспоцентр". На площади 11 000 м<sup>2</sup> были представлены машины и оборудование для производства и переработки пластмассы, подготовительные машины и установки для пластиковых отходов, перерабатывающие машины и оборудование, экструдеры, литьевые машины, машины для выдувного формирования, прессы, машины для производства пенопластов и переработки реактопластов, сварочные установки, измерительное, управляющее, регулировочное и контрольно-измерительное оборудование.

В статье приведено краткое описание некоторых экспонатов, демонстрировавшихся на выставке, имеющих отношение к машиностроению и вызвавших большой интерес у специалистов.

Компания "Класс-инжиниринг" (С.-Петербург) демонстрировала различные машины для технологического производства:

автоматическую трехцветную флексографическую машину ФГМ-04 с центральным барабаном для печати на липкой скотч-ленте. Помимо трех секций печати машина оснащена двумя дополнительными секциями: нанесения грунтовки на ленту перед непосредственным процессом печати для лучшей адгезии краски с лентой и нанесения защитного лака после процесса печати для уменьшения действия липкого слоя при использовании скотч-ленты по назначению. Машина оснащена также системой резки (двумя бритвенными ножами) напечатанного материала перед его намоткой. Число цветов печати — три. Система намотки двухголовочная, работает в автоматическом режиме. Максимальные ширина загрузочного рулона 150 мм, диаметр загрузочного рулона 400 мм. Регулируемая скорость машины 0—200 м/мин. Расход воздуха при работе 80 л/мин, питающее напряжение 380 В, потребляемая мощность 10 кВт, габаритные размеры машины  $2890 \times 760 \times 1905$  мм, масса 920 кг;

полуавтоматическую машину SAR-600/900 (рис. 1) для перематывания полиэтиленовой пленки с продольной резкой на заданное число полотен с заданной длиной намотки. Производительность машины при 24-часовом режиме работы до 50 т/мес., потребляемая мощность 2 кВт; расход воздуха, при работе машины не более 20 л/мин; диаметр наматываемого рулона не более 250 мм; скорость намотки до 500 м/мин. Габаритные размеры машины 1150 × imes 1250 imes 1150 мм, масса 300 кг. Машина может работать автономно или в составе технологической линии в отапливаемых помещениях. Режим работы непрерывный;

— машину ПСП-011 для перемотки полиэтиленовой пленки с рулона на рулон в автоматическом режиме. Производительность машины при 24-часовом режиме работы до 180 т/мес. Толщина перематываемой пленки 5—30 мкм, максимальная скорость перемотки 1800 м/мин, время цикла при намотке 200 м составляет 16 с. Ширина сматываемого и наматывае-

мого рулонов 250—520 мм, диаметр разматываемого рулона 600 мм, наматываемого — 230 мм. Расход воздуха при работе машины не более 200 л/мин. Питающее напряжение 380 В, потребляемая мощность 6 кВт. Габаритные размеры  $1200 \times 1250 \times 1550$  мм, масса 530 кг.

ООО "Конаковский завод механизированного инструмента" (Конаково Тверской обл.) представило потребителям:

— радиальную ручную пневматическую шлифовальную машину ИП 2014Б (рис. 2) для зачистки сварных швов, стального и чугунного литья, металлоконструкций. Диаметр абразивного круга, вращающегося с частотой 40 мин $^{-1}$ , составляет 150 мм. Мощность двигателя машины 1,275 кВт, давление сжатого воздуха 0,5 МПа. Габаритные размеры машины 590 × 164 × 130 мм, масса 4,2 кг;

— ручную пневматическую радиальную машину ИП 2106 также для зачистки сварных швов, стального и чугунного литья и металлоконструкций. Диаметр абразивного круга, вращающегося с частотой 80 мин $^{-1}$ , составляет 180 мм. Мощность двигателя машины 1,2 кВт, давление сжатого воздуха 0,63 МПа. Габаритные размеры машины 350  $\times$  200  $\times$  140 мм, масса 3,25 кг.

Компания "Промпласт Индастри" (Москва) показала на выставке



Рис. 1. Полуавтоматическая машина SAR-600/900



Рис. 2. Радиальная ручная шлифовальная машина ИП 2014Б

оборудование для производства и переработки полимеров:

— масляный термостат СТОН 36/300 для обеспечения заданной температуры пресс-формы и каландров при литье изделий из пластмасс, в экструзии и ковке. В термостате смонтирован центробежный электронасос мощностью 2,2 кВт, предназначенный для работы в условиях высоких температур. В термостате установлен специальный теплообменник, обеспечивающий охлаждение теплоносителя. При необходимости обеспечения различной температуры на подвижной и неподвижной частях прессформы применяют двухконтурные термостаты. Максимальная температура, развиваемая термостатом, составляет 300 °C, уровень шума при его работе 20 дБ. Вместимость рабочего бака 30 л. Габаритные размеры термостата  $1200 \times 500 \times 1430$  мм, масса 220 кг;

— шнековый конвейер TS90, изготовленный из коррозионно-стойкой стали и оснащенный гибким спиральным шнеком. Для предотвращения образования сводов при транспортировке порошкообразных материалов с ограниченной степенью текучести загрузочный бункер конвейера оборудован вибратором. Диаметр трубы 90 мм, спирали — 10 мм, минимальная длина конвейера 2000 мм, максимальный размер перемещаемых гранул 20 мм. Мощность электродвигателя конвейера 4 кВт. Максимальная производительность конвейера при насыпной плотности 0,55 кг/дм<sup>3</sup> составляет 4,5 т/ч. Конвейер идеально подходит для транспортировки порошкообразных продуктов и различных смесей, легко совмещается с различным оборудованием и может подсоединяться к приемным бункерам, миксерам и устройствам разгрузки;

— влагопоглотитель DEU60 для сушки дисперсионных материалов, впитывающих и удерживающих влагу не только на поверхности, но и внутри гранулы. Влагоопоглотитель состоит из генератора горячего осушенного воздуха и бункера-осушителя. Мощность воздушного насоса 5,5 кВт, нагревателя — 15 кВт. Питающее напряжение 400 В. Габаритные размеры 900 × 900 × 1800 мм, масса 290 кг. Влагопоглотитель можно устанавливать рядом с технологическим оборудованием или встраивать в линию



Рис. 3. Промышленный робот SMALL2E

транспортировки сырья, что позволяет автоматизировать процесс сушки;

— промышленный робот (ПР) SMALL2E (рис. 3) для работы в составе инжекционно-литьевых машин малых и средних размеров. ПР оснащен жидкокристаллическим дисплеем с пультом управления, вакуумным или механическим захватом заготовки, контроль заготовки осуществляется фотоэлементом. Программирование движения рабочей ленты конвейера происходит в зависимости от времени рабочего цикла, память ПР рассчитана на 80 программ, имеется возможность выполнения циклов программы в любой последовательности. Рабочие движения захвата по осям X, Y, Z 1800, 200 и 1020 мм соответственно. Питающее напряжение ПР 380 В. Применение ПР в литьевых технологических процессах позволяет существенно сократить время рабочего цикла, повысить уровень автоматизации производства уменьшить количество брака;

— промышленный робот SIDE2 для применения в машинах с коротким временем цикла и очень быстрой выемки изделия из пресс-формы. ПР оснащен мощным сервомотором, управляемым контроллером и портами для подключения внешних устройств. Угол поворота захвата 90°. Рабочее движение захвата по осям X, Y и Z 700, 550 и 1800 мм. Масса перемещаемого груза 4 кг, минимальное время рабочего цикла 2,7 с, время задержки в пресс-форме 0,4 с. ПР имеет вертикальную ось, что позволяет укладывать отлитые изделия без применения дополнительных устройств.

Фирма Cibra (Италия) демонстрировала сварочные машины для изготовления фигурных пакетов:

– машину Sigma Star для фигурной сварки на полиэтиленовой пленке (высокой или низкой плотности) и полипропиленовой пленке толщиной до 80 мкм. Сварка выполняется взаимозаменяемыми штампами, которые позволяют получить на одной и той же машине различные формы размерами до 700 × 900 мм. Машина сваривает от двух и более изделий за один ход штампа в зависимости от формы и размеров изделия. Она состоит из разматывателя для двух рулонов массой по 50-60 кг, с роликами, выполняющими продольную предварительную резку; штампа и накопителя, работающих в автоматическом режиме; ленточного конвейера для вывода сваренных изделий; устройства для удаления брака. Работает машина следующим образом. Пленка автоматически продвигается до штампа, осуществляющего сварку двух или трех изделий за один ход. Время и температура сварки регулируется фотоэлементом, он же определяет и контролирует печатный рисунок. Ленточный конвейер перемещает сваренные изделия и возможный брак, который автоматически удаляется. Одновременно накопитель укладывает изделия на выводящий ленточный конвейер. Выполнив установленное число ходов, машина останавливается, а выводящий ленточный конвейер включается для выведения из машины сваренных пакетов. По окончании его движения машина автоматически начинает новый цикл производства, рассчитанный на то же число ходов. Производительность машины 50 изделий/мин при производстве изделий 3 шт. за один ход;

— сварочную машину Flowerstar для производства в автоматическом режиме пакетов конической формы максимальной длины 800 мм из полиэтилена высокой или низкой плотности и полипропилена cast. Фотоэлемент обеспечивает точное центрирование при наличии печатного рисунка. Пакеты изготовляют попарно, автоматически пересчитывая и укладывая в стопки; каждая стопка блокируется горячей сварной точкой. Машина выполняет одну за другой следующие операции, синхронизированные со сваркой: высечку отверстий для подвешивания стопок и для циркуляции воздуха в центральной части пакета; сварку плотным швом дна пакета. Средняя скорость сварочной машины 50 циклов/мин, т. е. 100 пакетов/мин или 6000 пакетов/ч. В машине можно устанавливать два рулона с пленкой-полотном или один рулон с рукавной пленкой. Из разматывателя пленка поступает в центральный отсек машины, где находятся фотоэлемент и устройства для высечки и(или) сварки дна пакета. Непрерывный процесс перфорации осуществляется вращающимися ножами, установленными на разматывателе. Затем пленка попадает под сварочную головку, на которой работают два сварочных элемента. Температура, время сварки и все остальные функции регулируются на дисплее. Выходящие из-под сварочной головки пакеты перемещаются на стержень-накопитель, на котором две горячие иглы сваривают их с ранее накопившимися пакетами до тех пор, пока их число не достигнет запрограммированного.

Южно-корейская компания YOUNGIL INDUSTRIAL Со предложена потребителям выдувные и другие технологические машины для производства изделий из пластмассы:

— систему NHBM для быстрого впаивания этикетки. Узел этикеровки установлен внутри машины как отдельный блок. Сервопривод точно располагает этикетку внутри прессформы, сокращая время технологического цикла изготовления изделия до минимума;

— экструзионно-выдувную машину YLBT 100 S-E100 для производства крупногабаритной тары емкостью 30—60 л, а также деталей с изменяющейся геометрией (например автомобильных запасных частей).

Фирма Cannon (Италия) демонстрировала на выставке пенозаливочную машину высокого давления Cannon A-BASIC-100, состоящую из нескольких технологических узлов:

— хранения и термостатирования компонентов, состоящего из двух стальных расходных емкостей вместимостью по 100 л (возможен монтаж автоматической системы пополнения компонентов в расходных емкостях);

— дозирования компонентов, обеспечивающего высокий уровень точности дозирования компонентов через систему дозировочных насосов

высокого давления, работающих от электродвигателей;

— смешивания компонентов, в состав которого входит заливочная головка L14, укомплектованная гибкими шлангами высокого давления в специальной защитной оболочке, которая предохраняет обслуживающий персонал на случай разрыва шлангов.

Все технологические показатели работы машины, выводимые на экран монитора, задаются и контролируются в режиме реального времени программоконтроллером Siemens 7, подключенным к операционной панели управления. Память устройства рассчитана на 99 различных программ заливки. Электродвигатели машины снабжены частотными вариаторами, обеспечивающими возможность автоматической перенастройки расхода компонентов. Контроль за работой машины осуществляется с пульта управления.

Компания Rothenberger Werkreuge (Германия) предложила потребителям оборудование для резки и сварки пластмассовых труб:

– циркуляционную пилу РОКАТ® UKS160/355 для высокопроизводительной и точной, строго перпендикулярной резки пластмассовых труб диаметром 160-335 мм. Пила применяется при резке труб из ПЭ, ПП и ПВХ с минимальной толщиной стенки 8 мм. Оснащена электродвигателем мощностью 1520 Вт и имеет высокую скорость резки; ограничителем глубины резки с точной регулировкой, что обеспечивает точную повторяемость операций резки; центральное трапециевидное зажимное устройство, гарантирующее прочную фиксацию и оптимальное размещение пилы на трубе; режущим диском; съемным гратоснимателем с поворотным лезвием из высококачественной быстрорежущей стали, позволяющим осуществлять одним инструментом резку труб, снятие фаски и удаление грата; шестью прорезиненными зажимными и направляющими роликами, гаран-



Рис. 4. Аппарат Roveld P-125



Рис. 5. Машина Roveld P-160B

тирующими перпендикулярную резку без смещения среза;

— аппарат Roveld P-125 (рис. 4) для сварки враструб с насадками диаметром 16—125 мм. Аппарат имеет включатель (выключатель) со световыми индикаторами сети и контроля нагрева, а также защиты от перегрева. В комплект аппарата входят струбцина и штифт для законтривания струбцины и подставки. Питающее напряжение аппарата 230 В, потребляемая мощность 1,3 кВт, масса 17 кг;

— машину Roveld P-110 для сварки пластмассовых труб диаметром 40—110 мм, длиной 450 мм. Машина хорошо подходит для монтажа внутренних систем, работы в ограниченном пространстве и на смонтированных трубах. Оснащена торцевателем для смещения режущих дисков при изготовлении отводов; двусторонним регулируемым ограничителем хода при торцевании с одной или двух сторон; редуционными зажимными вкладышами диаметром 20-90 мм для соединения труб, что обеспечивает надежную фиксацию и компенсирует овальность труб; нагревательным элементом с электронной регулировкой по температуре;

— машину Roveld P-160B (рис. 5) для стыковой сварки труб диаметром 40—160 мм и фасонных деталей из ПЭ, ПП и ПБ. Машина имеет компактную конструкцию и небольшие габаритные размеры, ее нагревательный элемент мощностью 800 Вт позволяет сваривать трубы встык и применять ее на строительной площадке, в траншее, на эстакаде для трубопроводов и в мастерской. К машине может быть дополнительно подключен прибор для протоколирования технологического процесса. Оснащена гидроагрегатом мощностью 350 Вт, торцева-



Рис. 6. Прибор Roveld Dataline (a) и образец протокола данных о качестве сварного шва (распечатка) (б)

телем с электроприводом мощностью 700 Вт с высоким крутящим моментом, широкими и узкими редуционными зажимными алюминиевыми вкладышами для соединения труб;

|  | NBERGER<br>OWELD P 2<br>OЛЬМАК<br>01.03.221  | 250 B<br>C  | NE .  |
|--|--|---|---|
| Сварщик/Код<br>Проект/Площадка<br>'Шов №<br>Дата   | ИВАНОВ<br>Nr. 123<br>СТРОЙК,<br>улица Пр<br>1<br>01.03.200   | авды, 1   |   |
| ¦SDR<br>¦Партия  | PE100<br>17,6 Дли<br>образец<br>T/T  | іна:  | 160×9,1<br>12 m                                     |
| Внешняя темпер. Погода Меры защиты Давл. сопротивл. Наплыв Температура Давл. оплав Давл. нагрева Время нагрева Время перест. Время роста Давл. сварки Время охлаж. | 32 °C<br>солнце<br>палатка<br>4,9 бар<br>1,5 мм<br>ТРЕБ<br>220<br>10,3<br>1,4<br>91<br>7<br>7<br>10,3<br>13:00 | РЕАЛ<br>221<br>10,2<br>1,2<br>91<br>7<br>7<br>10,2<br>13:01 | °C<br>bar<br>bar<br>sec<br>sec<br>sec<br>bar<br>min |
| Замечания  | HET  |   | <del> </del>  |
| Процесс сварки без ошибки  |  |   |   |

б)

— прибор Roveld Dataline (рис. 6, a), фиксирующий и сохраняющий все данные, необходимые для оценки качества сварного шва. Собранные данные могут быть распечатаны в виде

протокола (рис. 6, б) или храниться в виде файла в ПК. Данные можно вводить без подключения к ПК с помощью клавиатуры прибора. Тип трубы можно выбрать прямым вводом данных или из списка в памяти прибора (внешний диаметр трубы, толщина стенки). В памяти прибора можно сохранить до 10 имен сварщиков. Вызов протоколов из памяти можно производить при помощи клавиатуры прибора. Прибор укомплектован зарядными устройствами на 110/230 и 12 В, принтером, карандашом для считывания штрих-кодов (для прямого ввода параметров трубы), сканером для прямого ввода параметров трубы при помощи штрих-кодов, приемником GPS для автоматического определения координат места сварки. Память прибора рассчитана на 350 сварочных протоколов.

Выставка предоставила специалистам из различных стран возможность ознакомиться с новыми разработками и технологиями и установить деловые контакты с ведущими производителями и поставщиками оборудования для производства и переработки пластмасс. В рамках выставки прошли международные конференции и семинары.

А. Н. ИВАНОВ, инж.

# 7-й Московский международный салон инноваций и инвестиций—2007

С 5 по 8 февраля 2007 г. на ВВЦ прошел 7-й Московский международный салон инноваций и инвестиций. Салон является крупным научно-техническим форумом изобретателей, разработчиков и производителей высокотехнологичной продукции, инвестиционных проектов в научно-технологической сфере и промышленности. Он проводится по распоряжению Правительства Российской Федерации в целях содействия развитию инновационной деятельности, техническому перевооружению российского производства, развитию рынка объектов интеллектуальной собственности, объединению интересов изобретателей, разработчиков и производитепей высокотехнопогичной пролукции и представителей промышленного и финансового бизнеса Российской Федерации, стран ближнего и дальнего зарубежья, совершенствованию патентной и лицензионной деятельности

Организаторы салона — Министерство образования и науки РФ, Министерство экономического развития и торговли РФ, Федеральное агентство по науке и инновациям, Правительство Москвы и ОАО "ГАО "ВВЦ".

Салон пользуется официальной поддержкой Торгово-промышленной палаты РФ, профессиональных международных и выставочных организаций, в том числе Всемирного салона инноваций, научных исследований и новых технологий "Брюссель—Эврика". В 2004 г. Московскому международному салону инноваций и ин-

вестиций был присвоен Знак Российского союза выставок и ярмарок (РСВЯ).

В работе салона приняли участие более 350 компаний и организаций из 24 регионов Российской Федерации и 20 зарубежных стран. Участники салона — российские и зарубежные научные организации и промышленные предприятия и объединения, государственные научные центры РФ, академические институты РАН, высшие учебные заведения, предприятия малого инновационного бизнеса, технопарки, инновационно-технические центры (ИТЦ), центры международного научно-технического и инновационного сотрудничества, венчурные (рисковые) фонды, финансовые и консалтинговые структуры. Особенностью данного салона является то, что выставочная экспозиция была сформирована из специализированных и межотраслевых разделов: "Инновационные проекты и разработки" (результаты исследований и разработок по приоритетным направлениям науки и техники); "Российская академия наук" (результаты фундаментальных и прикладных исследований 40 академических институтов); "Многоотраслевые экспозиции" (демонстрация инновационного потенциала регионов России и стран ближнего зарубежья); "Национальные экспозиции" (разработки иностранных научно-исследовательских организаций, компаний и фирм из стран дальнего зарубежья).

Ниже приведены организации и их наиболее значимые разработки и инновационные проекты согласно основным специализированным и межотраслевым разделам: авиационная и автомобильная промышленность, промышленные технологии и оборудование, новые материалы и нанотехнологии, энергетика, экологическая безопасность и охрана окружающей среды, финансы и консалтинговые услуги.

### Комсомольское-на-Амуре авиационное производственное объединение им. Ю. А. Гагарина:

- многоцелевой самолет-амфибия Бе-103 для использования в различных районах мира, имеющих протяженные прибрежные районы, в труднодоступных для других видов транспорта регионах с большим количеством рек, озер и водоемов. Самолет-амфибия Бе-103 сертифицирован по авиационным нормам России, США, Бразилии и КНР. Предусматривается создание пассажирского, учебного и патрульного вариантов самолета:
- многофункциональный самолет Су-80ГП для пассажирских и грузовых перевозок на местных и региональных воздушных линиях в любых условиях. Может эксплуатироваться с аэродромов с грунтовым покрытием и неподготовленных площадок;
- перспективный российский региональный пассажирский (на 95— 98 чел.) самолет SUKHOI SUPER JET-100 для поставок российским и международным авиакомпаниям. В настоящее время в объединении ведется изготовление первых опытных самолетов для проведения се-



Рис. 1. Перспективный российский региональный пассажирский самолет SUKHOI SUPER JET-100

рии летных и наземных испытаний (рис. 1).

# Инвестиционный венчурный фонд Республики Татарстан:

дисколет вертикального взлета и посадки, конструктивной особенностью которого является дисковое крыло с убираемыми в него лопастями несущего винта. Для осуществления вертикального взлета летального аппарата дисковое крыло раскручивается, и центробежные силы вытягивают из него лопасти. После взлета и набора высоты дисковое крыло аппарата переводится на положительный угол атаки для продолжения полета. Дисколет предназначен для смены всех типов вертолетов, вахтовых самолетов и самолетов других типов, где необходима безаэродромная авиация (малые города, села, трубопроводы и т. д.) (рис. 2).

Разработка защищена патентом РФ. Объем инвестиций — 50 млн руб. для доведения разработки до промышленного уровня.

ООО "СтелсАвиаТех" (Казань, Республика Татарстан) — двухпалубный самолет с поворотными крыльями для военной и гражданской авиации. Схема самолета с двумя поворотными крыльями (схема тандем) может конкурировать по сравнению с классической схемой самолета с горизонтальным оперением. Стадия



Рис. 2. Дисколет вертикального взлета и посадки

разработки: опытный образец, действующие модели. Разработка защищена патентами РФ. Объем инвестиций 5 млн долл., срок окупаемости 3 года.

# Научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт (Москва):

- городской автомобиль с комбинированной электроустановкой на основе водородных топливных элементов "водород—воздух" на шасси ЗИЛ-5301. Проведены стендовые и лабораторно-дорожные испытания, показавшие возможность удовлетворения экологических требований не ниже Евро-4 и Евро-5;
- городской автомобиль с ДВС, работающим на водородно-этанольном топливе. Проведенные испытания показали, что можно существенно снизить (в 1,5—2,0 раза) эксплуатационный расход топлива и, соответственно, выбросы отработанных газов (рис. 3);
- школьный автобус специальной модификации, полностью соответствует ГОСТу в части требований по перевозке детей, планировке пассажирского салона, нормам безопасности (ремни безопасности, системы блокировки, связи и т. д.).

### ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат":

- технология производства рулонов горячекатаной трубной стали (разработана впервые), обеспечивающая получение требуемых физико-механических свойств, в том числе и на концевых участках рулонов разных толщин горячекатаного проката. Данная технология позволяет значительно расширить сортамент производимого проката и существенно улучшить качество продукции;
- технология горячей прокатки полос, обеспечивающая уменьшение поперечной разнотолщинности широкого проката, исключение порывов металла, повышение производитель-



Рис. 3. Городской автомобиль с ДВС, работающим на водородно-этанольном топливе

ности широкополосных станов горячей прокатки.

- ФГУП "Турбонасос" (Воронеж) ведущее российское предприятие в области разработки турбонасосных агрегатов жидкостных ракетных двигателей:
- промышленные шламовые насосы (горизонтальные, вертикальные и погружные) для перекачки разнообразных абразивных гидросмесей (пульп, загрязнений технической воды, промышленных стоков и т. п.) (рис. 4). Для шламовых насосов детали проточной части изготовляют из износостойких материалов, а также с резиновой или полиуретановой футеровкой;
- автоматизированные насосные станции для перекачки отходов обогащения и гидрометаллургического передела на базе серийно выпускаемых шламовых насосов производительностью от 400 до 2000) м<sup>3</sup>/ч;
- турбодетандерные электростанции (поршневая или турбинная машина для охлаждения газа за счет его расширения с совершением внешней работы) для энергоснабжения промышленных предприятий, небольших городов, районов мощностью от 0,5 до 15 МВт. Электростанции "Турбонасос" включаются в технологические циклы с дросселированием (сокращением) газа, при этом процесс дросселирования заменяется на процесс расширения газа в турбодетандере;
- озонаторные установки производительностью по озону от 0,02 до 5 кг/ч позволяют получать озон в широком диапазоне концентраций. Установки могут поставляться в составе станций в комплекте с установками для обработки воды ультрафиолетовым излучением или другим вспомогательным оборудованием. Область применения озонирование воды в плавательных бассейнах, обеззараживание и нейтрализация



Рис. 4. Промышленные шламовые насосы (горизонтальные электронасосные агрегаты) производительностью 10—2000 м<sup>3</sup>/ч

сточных вод, нейтрализация озоном вредных газовых выбросов, обеспечение стандартного качества воды.

# ГНЦ РФ ФГУП "Обнинское научно-производственное предприятие "Технология":

- пленочные клеи высокотемпературного отвердения для авиакосмических объектов, строительной индустрии, машиностроения, бытовой техники, спортивных товаров из полимерных композитов на основе эпоксидных смол, защищенные с двух сторон антиадгезионными прокладками (полиэтиленовой пленкой и ламинированной бумагой);
- стеклопластиковые сотовые заполнители представляют ячеистые структуры, стенки которых выполнены из наполнителя и полимерной матрицы. В качестве заполнителя используют различные стеклоткани, в качестве полимерной матрицы фенолформальдегидные связующие. Размер граней ячеек в зависимости от назначения сотопласта от 2,5 до 10 мм. Область применения авиационная техника, конструкции передающих и приемных антенн, радиопрозрачных укрытий, изделия железнодорожного и водного транспорта и т. п.:
- размеростабильные опорные конструкции из высокомодульного композиционного материала (международный проект CERN LHC ATLAS) на основе углеродных волокон и связующего для сборки высокоточного оборудования, в том числе для проведения исследований в ядерной физике. Отличительные особенности отсутствие металлических соединительных элементов, близкий к нулю температурный коэффициент линейного расширения вдоль оси стержневой конструкции, предельное смещение узлов при эксплуатации не более 50 мкм, осевой модуль упругости стержневой конструкции не менее 72 ГПа. Аналоги из металлических материалов отсутствуют.

# Научно-исследовательский институт химии и технологии элементоорганических соединений (Москва):

— оригинальная экологически чистая технология получения нанодисперсных порошков, соответствующая мировому уровню. Область применения — наноструктурные специальные сплавы, нанокерамика, нанокомпозиты для различных отраслей промышленности;

- экологически чистая технология получения карбидокремниевого волокна для армирования композитных материалов с металлической и углеродной матрицей;
- газофазный метод металлизации и окисидирования поверхностей монолитных изделий, порошков, волокон, тканей, стекла, керамики, металла, пластмасс для придания исходным материалам новых уникальных свойств. Метод заключается в термической диссоциации паров карбонилов металла на нагретой поверхности в неглубоком вакууме или токе инертного газа;
- рабочие гидравлические жидкости для гидравлических систем газопроводов, обеспечивающие высокие эксплуатационные характеристики в интервале температур от –80 до 80°C. Жидкости малотоксичны.

ВНИИ неорганических материалов им. А. А. Бочвара (Москва) первое в России опытно-промышленное производство нанокристаллических магнитных материалов широкого назначения (атомная энергетика, автомобильная и авиационная промышленность, радиоэлектроника и др.) на основе центробежного распыления (патент РФ). Производство включает вакуумную индукционную печь для получения исходных сплавов, установку центробежного распыления для получения аморфизированных порошков, установку для перевода порошков из аморфного в нанокристаллическое состояние (рис. 5).

# **ОАО НПО "ЦНИИТМАШ"** (Москва):

- новые жаропрочные хромистые стали для высокотемпературных элементов блоков на суперсверхкритические параметры пара (паропроводов, роторов и котлов). Стадия разработки: опытно-промышленное внедрение. Преимущества замена традиционных материалов обеспечит снижение материалоемкости в 1,5—2,0 раза при снижении общей стоимости на 20—25 %;
- технология модификации стального листа и другого проката с целью придания высоких антикоррозионных и функциональных свойств способом электролитно-плазменной нанотехнологии взамен покрытия защитными металлами (наноферрум). Заменяет покрытие цинком на металлургических, автомобильных заводах, а так-







Готовые изделия

Рис. 5. Установка для перевода порошков из аморфного в нанокристаллическое состояние

же предприятиях, производящих другую технику, в том числе бытовую. Стадия разработки: проектирование и создание промышленных образцов установок, имеются патенты РФ.

# ОАО "НИИ природных, синтетических алмазов и инструмента" (Москва):

исследование и разработка новых видов алмазных композиционных материалов гибридной структуры и технологии изготовления из них режущих элементов. Алмазный композиционный материал гибридной структуры состоит из двух алмазных композиций, разных характеристик, отличающихся составом связующего и объемным содержанием алмазов, что позволяет получить оптимально распределенную по рабочей поверхности структуру нагрузки, обеспечивает лучшие условия проникновения инструмента в обрабатываемый материал. Режущие элементы из композиционного материала имеют высокую износостойкость и производительность по сравнению с аналогами, а также низкую себестоимость. Разработка защищена патентами РФ;

— алмазные правящие инструменты нового поколения с режущими элементами из малокаратного алмазного сырья. Разработка предусматривает замену крупных природных кристаллов алмаза в правящем инструменте, создание режущего элемента с особой укладкой зерен алмаза в объеме элемента. Это позволяет расширить алмазную сырьевую базу путем замены дефицитного дорогостоящего крупноразмерного природного алмазного сырья на малокаратное.

ЗАО "НТ-МДТ" (Москва—Зеленоград) продемонстрировало широкий спектр продукции: аксессуары и принадлежности для зондовой микроскопии, учебные лаборатории по нанотехнологии для институтов и университетов, универсальные и специализированные сканирующие зондовые микроскопы для научных исследовательских и промышленных центров, многофункциональные нанодаборатории, модульные нанофабрики серии "Нанофаб" (рис. 6).

ГНЦ РФ "НПО "Астрофизика" (Москва) — разработка и создание лазерных оптоэлектронных комплексов, систем и технологий различного назначения:

— высокоинформативные световозвращающие материалы (СВМ) с различными оптическими эффектами для повышения безопасности дорожного движения и эффективности поисково-спасательных работ. Их применение является обязательным и регламентируется государственными стандартами. СВМ запатентован в России. Созданы экспериментальные образцы;

 производство энергосберегающих пленок с использованием новой технологии нанесения функциональных покрытий на рулонные полимерные материалы. Получен ряд новых перспективных материалов различного назначения и областей применения, в частности, энергосберегающие и солнцезащитные оконные пленки, обеспечивающие экономию теплоты (до 30 %) в сравнении со стеклопакетами:

— комплекс дистанционного обезвреживания взрывных устройств и взрывчатых веществ с помощью лазерного излучения на расстоянии примерно 15—20 м. Создан лабораторный макет комплекса, ведется проработка опытного образца подвижного комплекса на автомобильном шасси.

# ОАО "Научно-технический центр "РАТЭК" (Санкт-Петербург):

принципиально новые установки УВП-3100 и УВП-5101 для обнаружения взрывчатых веществ на основе метода нейтронного радиационного анализа, обеспечивающие высокое надежное автоматическое неконтактное обнаружение взрывчатых, радиоактивных и делящихся веществ. Установки не имеют аналогов в мире и позволяют обнаружить любую взрывчатку вне зависимости от типа и формы. Имеют все необходимые российские сертификаты, включая Гигиенический сертификат и сертификат Департамента авиационной безопасности Гражданской авиации России

Система УВП-5101 установлена в действующей линии досмотра в аэропортах "Пулково-1" и "Шереметьево-1" (рис. 7). Установки отмечены дипломом и золотой медалью Международного салона изобретений (Швейцария, Женева, 2004 г.).

ОАО "Головное производственно-техническое предприятие "Гра-

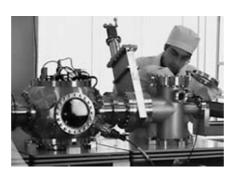


Рис. 6. Модульная нанофабрика серии "Нанофаб" для нанотехнологических исследований



Рис. 7. Установка УВП-5101 для обнаружения взрывчатых веществ

нит" (Москва) — ведущее предприятие в составе концерна ПВО "Алмаз-Антей" по вводу в эксплуатацию, сервисному обслуживанию и ремонтно-восстановительным работам:

— мобильный ремонтно-диагностический комплект РДК-МЭІ (РЕДИ-КОМ-І) для проведения сервисного обслуживания, восстановительного ремонта и ремонта по техническому состоянию с частным восстановлением ресурса радиоэлектронных, электронных, электромеханических, механических и гидравлических изделий и устройств.

В состав РДК-МЭІ входят функциональные модули восьми типов;

мобильный комплекс деструктуризации и предварительной утилизации вооружения и военной техники (ВВТ) в местах дислокации (хранения) в рамках реализации государственной политики в области промышленной утилизации ВВТ, выведенных из состава Вооруженных Сил РФ в строгом соответствии с экологическими нормами и другими положениями. В развернутом положении комплекс состоит из технологической зоны (участка разборки ВВТ, участка складирования и хранения), технологического участка и хозяйственной зоны.

### ГОСНИТИ (Москва):

— установка для получения водорода, тепловой энергии и нанокристаллических гидроксидов алюминия для проведения исследований процесса генерации водорода путем окисления алюминия водой. При этом используется активированный алюминий, покрытый водорастворимой защитной пленкой. Получаемый водород может быть использован для проведения газосварочных работ, в производстве углеводородных нанотрубок и т. д. Производительность за один цикл продолжительностью 1—2 ч составляет 0,5—1,0 м<sup>3</sup> водорода (рис. 8). Ключевое устройство всей водородной энергетики топливный элемент, в котором водород, соединяясь с кислородом, превращается в воду. Высвободившаяся при этом энергия напрямую становится электроэнергией;

— установка сверхкритического водного окисления для обезвреживания промышленных и бытовых отходов сжиганием в сверхкритических водных средах производительностью 4,3 т в сутки.

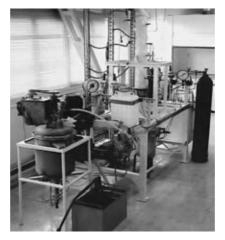


Рис. 8. Установка для получения водорода, тепловой энергии и нанокристаллических гидроксидов алюминия

ФГУП "ВНИИ физико-технических и радиотехнических измерений" (п. Менделеево, Московская обл.) — разработка эталонов и высокоточной аппаратуры, метрологические услуги для многих отраслей промышленности:

— измеритель дисперсности аэрозольный счетный ИДС-1 для измерения дисперсных параметров аэрозолей, счетной и объемной (массовой) концентрации частиц размером 0,4-60 мкм и концентрации от нескольких единиц до  $10^6$  дм $^{-3}$ . Принцип работы прибора основан на измерении рассеянного на отдельной частице излучения полупроводникового лазера, которое регистрируется высокочувствительным фотоприемным устройством. Прибор не имеет аналогов в России, по сравнению с зарубежными аналогами обладает более широким диапазоном измеряемых параметров:

подвижная станция экологического контроля загрязнений воздуха на основе спектрального акустооптического газоанализатора. Отличительные особенности: возможность измерения до 20-40 загрязнителей (газовых примесей), одновременное измерение до 10 загрязнителей, высокая точность измерений, оперативная выдача протокола результатов контроля на печать. Уникальная технология, основанная на применении акустооптического монохроматора (электромагнитное излучение одной определенной частоты), обеспечивает преимущества при количественном определении вещества.

ГУП "Казанский химический научно-исследовательский институт" — разработка эффективных средств защиты:

— облегченный комплект для защиты населения от химического заражения РИО-І (новинка). Комплект изготовлен из вновь разработанных защитных материалов, не имеющих мировых аналогов, на основе целлюлозных волокон и активированного угля с регулируемой воздухопроницаемостью. Капюшон-распиратор имеет герметичный обтюратор (приспособление, обеспечивающее периодическое перекрывание светового и воздушного потоков) и пленочный смотровой экран. Может использоваться самостоятельно. Время защитного действия от химического заражения не менее 1 ч, капюшона-распиратора (в зависимости от вредных веществ) — не менее 20 мин;

— капюшон защитный универсальный КЗУ для защиты органов дыхания, глаз и кожи головы человека от газов, паров и аэрозолей химических веществ, а также от кратковременного воздействия открытого пламени, задымления и т. п. Капюшон представляет шлем из негорючей ткани со смотровым экраном, резиновым шейным обтюратором и системой крепления на голове. В отличие от аналогов имеет фильтросорбирующий слой, представляющий многослойный фильтр, каждый слой которого разработан для защиты от разных групп химически опасных веществ. Время защитного действия (по основным вредным веществам) 20-35 мин. Изделие сертифицировано как аварийно-спасательное средство;

— базальтовое непрерывное волокно — материал, полученный из нерудных горных пород магматического происхождения методом одностадийной вытяжки из расплава. В процессе изготовления базальтовое непрерывное волокно обрабатывают специальным замасливателем с учетом последующего применения, является экологически чистым продуктом. Непрерывное базальтовое волокно может быть переработано в рубленое полотно, базальтовую ткань, базальтопластиковые трубы и др.;

— приборы серии "Фотекон" для экспресс-анализа жидкостей. В основе не имеющих аналогов приборов лежит метод фотеконскопии (патент РФ), позволяющий идентифици-



Рис. 9. Приборы серии "Фотекон" для экспресс-анализа жидкостей

ровать жидкости по комплексу физических параметров, включая вязкость, поверхностное натяжение, плотность, теплопроводность и др. (ЗАО "Фотекон", Тюмень) (рис. 9);

— разработки в сфере влияния физических факторов (в частности магнитных полей) на биологические объекты, твердые тела и жидкости: технология и оборудование для обработки дизельного топлива импульсными магнитными полями (ИМП) с целью снижения расхода топлива и уменьшения загрязнения окружающей среды продуктами неполного сгорания топлива; обезвреживание и переработка нефтезагрязнений и нефтешламов с обработкой ИМП и др. (ООО НТЦ "Аргонавт", Нижний Новгород).

Институт проблем химической физики РАН (г. Черноголовка, Московская обл.) — фотокаталитический очиститель воздуха "Нанолюкс" для очистки воздуха в жилых и общественных помещениях от органических загрязнений бытового, промышленного и биологического происхождения. оказывающих вредное воздействие на здоровье человека. Работа прибора основана на фотокаталитическом окислении органических примесей на поверхности нанокристаллического диоксида титана под воздействием ультрафиолетового излучения. Конструкция и способ изготовления фотокаталитического элемента защищены патентом РФ. Фотокаталитический очиститель воздуха удостоен серебряной медали на Международном салоне изобретений (Женева, 2005 г.).

Институт физики твердого тела РАН (г. Черноголовка, Московская обл.) — нанопорошковая технология получения объемных материалов позволяет изготовлять сверхплотные керамики из бинарных и тройных соединений. Данные материалы по своим свойствам сопоставимы с монокристаллами, а по некоторым характеристикам и превосходят их. Область применения: полупроводниковые детекторы ионизирующих излучений, инфракрасная оптика. Данная разработка отмечена дипломом Международной выставки изобретений "IENA—2005" (Нюрнберг, Германия).

# **Институт химии Коми НЦ Ураль- ского отделения РАН** (Сыктывкар):

- ультрадисперсные порошки и волокна оксидов алюминия, кремния и титана:
- композиционные стеклопластиковые изделия широкого применения;
- целлюлозный абсорбент (поглотитель нефти, нефтепродуктов, горючесмазочных материалов и других жидкостей).

# **Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН** (Новосибирск):

- новая технология получения ароматических соединений "Бициклар" (бензол, толуол, ксилол и др.) из легких углеводородов в присутствии или отсутствии метана, основанная на применении модифицированных цеолитсодержащих катализаторов, обеспечивающих высокий выход ароматических соединений. Указанная технология создана впервые в мире, защищена патентами;
- каталитические теплофикационные установки, работающие на жидких, газообразных и твердых видах топлив, в том числе низкокалорийных. Предназначены для отопления и горячего водоснабжения индивидуальных домов, общественных и промышленных зданий и других объектов, а также использования в качестве аварийного теплоисточника. Разработан типоразмерный ряд установок с тепловой мощностью от 250 кВт до 10 МВт.

**Институт теоретической и прикладной механики СО РАН** (Новосибирск):

- лазерная резка деталей из листовых материалов. Обрабатываемые материалы металлы, древесина, стекло, керамика и др. Изготовление деталей из листовой стали толщиной от 0,1 до 20 мм, скорость резки до 50 м/мин;
- технология лазерной сварки с минимальным тепловым влиянием. Эффективность процесса определяется высокими скоростью сварки и качеством шва, не требующего последующей обработки (рис. 10);
- лазерная закалка преимущественно для получения самозатачивающегося инструмента, закалки гильз цилиндров двигателей и др.
- В состав автоматизированных лазерных технологических комплексов входят лазер мощностью от 1,5 до 15 кВт, технологический стол, манипуляторы для различных операций (резки, сварки, термической обработки и др.).

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П. А. Соловьева — технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик и надежности деталей летательных аппаратов и наземных газовоздушных установок, включающее способ и устройство для определения остаточных напряжений и способ определения режимов резания и предназначенное для выбора режимов механической обработки металлов и сплавов, в том числе глубинного шлифования, в труднодоступных местах, на криволинейных поверхностях, в резьбовых соединениях авиационного и точного машиностроения.

Иркутский государственный технический университет — компьютерный стенд для диагностирования ав-



Рис. 10. Автоматизированный лазерный технологический комплекс для сварки (мощность лазера 1,5 кВт)

томатических трансмиссий и тормозных систем современных автомобилей с антиблокировочными системами (ABS). Стадия разработки — опытный образец, защищена патентами РФ.

### Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет) им. Г. В. Пле-

подземный автомобиль-самосвал, предназначенный для использования в подземных условиях (на рудниках, в угольных шахтах, при проходке туннелей, коллекторов, выработок метрополитена) для перевозки по капитальным выработкам горной массы. Увеличение вместимости кузова и грузоподъемности (в 1,5—1,6 раза) автосамосвала в отличие от существующих аналогов обеспечивается за счет выполнения кузова из двух шарнирно-сочлененных частей, которые разгружаются в приемный бункер последовательно с минимальным подъемом прилегающей к кабине части кузова;

— оригинальные способы получения наноструктурных тугоплавких соединений титана магниетермическим восстановлением хлоридов. При этом синтезируется карбид титана, который состоит исключительно из нанокристаллов размером 40—60 нм. При проведении этого процесса в атмосфере азота получается карбонитрид с размером отдельных зерен 30—50 нм. Использование наноструктурных соединений титана значительно повышает технологические характеристики карбидов и расширяет области их применения (авиация, космос, машиностроение и др.). Разработка защищена патентами РФ.

Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского — устройства для измерения толщин микро- и нанометровых пленок предназначены для неразрушающего контроля параметров металлических или диэлектрических пленок в ходе технологического процесса, в том числе на готовых изделиях. Измерительный комплекс позволяет контролировать толщину в нанометровом диапазоне с недостижимой ранее точностью. Область применения: микро- и наноэлектроника, приборостроение, машиностроение, химическая промышленность, медицинская техника и др.

# ООО "НейроРобот", ООО "ИнформГеоСервис" (Томск):

- разработка методов нейрокомпьютерной обработки комплексов геолого-географических данных для прогноза нефтегазоносности;
- проектирование и создание промышленных образцов нейроботов различного назначения.

# Научно-техническое объединение "Приборсервис" (Томск):

- технология рекультивации нефтезагрязненных почв, позволяющая за сезон снизить содержание нефти и нефтепродуктов в воде и почве в 10—60 раз, обеспечивающая эффективность разложения нефти и нефтепродуктов на 25 % выше, чем всех известных способов и, главное, безопасна для человека;
- разработка и поставка технических средств в области экологии.

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, ООО "РемПласт" — термоусаживащиеся муфты (ТУМ) с эффектом "памяти формы" для соединения труб, в том числе из разнородных материалов. Суть способа заключается в том, что на разведенные концы соединяемых металлических или полимерных труб последовательно одевается ТУМ с предварительно нанесенным клеем. После этого производится нагрев соединения в две стадии, синхронизированные по времени: 1-я стадия — нагрев для усадки муфты, 2-я (при увеличении температуры на 10—20 °C) — отверждение клея (рис. 11). Данный способ позволяет соединять трубопроводы из разнородных материалов: сталь—бронза, сталь—чугун, металл—стеклопластик и др. Стадия разработки — техническое предложе-

# Муфтоклеевое соединение Термоусаживающаяся муфта Клеевой слой Металл Разнородные материалы

Рис. 11. Термоусаживающиеся муфты с эффектом "памяти формы" для соединения труб

ние, научная разработка и опытный образец, защищена патентами РФ.

Инвестиционно-венчурный фонд Республики Татарстан — новый тип гравитационно-динамического сепаратора для разделения эмульсий для последовательной реализации в пределах, как правило, одной емкости нескольких стадий процесса разделения различных жидких сред. Предложение по сотрудничеству — доведение разработки до промышленного уровня. Объем инвестиций 5 млн руб., защищена патентами.

Казанский государственный технологический университет — сварочный пиропатрон ПС-5 для приварки проводов к металлической конструкции, кернения болтов и заделки усадочных раковин и выбоин в стальных конструкциях. Основой пиропатрона является шашка из термитного состава. Использование данного пиропатрона по сравнению с ранее разработанными позволит увеличить прочность сварного соединения при одновременном снижении массы.

Предложения по сотрудничеству — доведение разработки до промышленного уровня, создание совместного предприятия.

ООО "Казанская полимерная сера" — разработка и создание первого в России производства нерастворимой серы для шинной промышленности. Назначение разработки — нерастворимая (полимерная) сера как вулканизирующий агент (порошок размером частиц 0,3—1,5 мм) в резиновых смесях. В настоящее время нерастворимая сера как продукт в России не производится — она ввозится из-за рубежа.

Стадия разработки — опытно-лабораторное получение продукта производительностью 10 кг/ч. Получен патент РФ;

— технология рекультивации свалок твердых отходов, основанная на применении новых препаратов, производимых из дешевого и доступного сырья (ноу-хау). Стадия разработки — разработан и согласован технический регламент по детоксикации рекультивации закрытой свалки твердых отходов. Следует также отметить, что в рамках реализации ФЗ "Об особых экономических зонах в РФ" от 22.07.2005 г. Правительством РФ принято решение о создании особой экономической зоны промышленно-производственного типа на терри-

тории Елабужского района Республики Татарстан сроком на 20 лет.

Приоритетными направлениями развития особой экономической зоны являются машиностроение и нефтехимия.

Белорусский государственный университет — портативная система контроля, диагностики и прогнозирования технического состояния машин и механизмов различного назначения в условиях эксплуатации, основанная на современных алгоритмах цифровой обработки сигналов с выхода датчиков параметров (вибрации, температуры, давления, деформации и др.).

Белорусско-российский верситет — наноструктурные композиционные жаропрочные механически легированные металлические материалы с особыми свойствами и изделия из них. Особенности технологии — процесс получения изделий основан на реакционном механическом легировании, обеспечивающем формирование межкристаллической структуры основы с высокоразвитой поверхностью границ зерен и субзерен, стабилизированной ультрадисперсными включениями упрочняющих фаз, что позволяет повысить стойкость изделий в 1,5—5,0 раз по сравнению с аналогами.

Брестский государственный технический университет — новая технология и оборудование сухого измельчения битумных кровельных отходов в порошок, который может быть вторично использован в качестве связующего при восстановлении кровель, в дорожном строительстве и др. Указанная технология впервые разработана в университете, аналогов подобной технологии в России, странах СНГ и за рубежом нет.

# Институт технологии металлов АН Белоруссии:

— уникальная технология литья заготовок из алюминиево-кремниевых сплавов с высокодисперсной структурой без применения модификаторов. Технология позволяет значительно повысить физико-механические и износостойкие свойства получаемых заготовок.

Основные преимущества — исключение применения модификаторов, получение наноструктурных заготовок с повышенными свойствами по сравнению с аналогичной технологией, но с применением модификаторов;

— компьютерные технологии проектирования и моделирования напряженно-деформированного состояния металлоконструкций. Основные преимущества — снижение металлоемкости продукции, точность изготовления за счет учета сварочных напряжений и деформаций, сокращение сроков подготовки производства и др.

Межвузовский центр маркетинга научно-исследовательских разработок (Белоруссия) — новые составы композиционных порошков ("Кермет-1", Кермет-2", "Оксидная керамика") для газотермического упрочнения и восстановления деталей, эксплуатируемых в экстремальных условиях (одновременное воздействие износа, удара и высоких температур, для покрытий различного назначения: износо- и коррозионно-стойких, антифрикционных, теплоизоляционных). Получение порошков осуществляется плазмохимическим синтезом композиционных частиц на основе тугоплавких соединений.

Республиканский Центр трансфера технологий (Белоруссия) — содействие сотрудничеству между разработчиками, предпринимателями и инвесторами, создание и поддержка информационных баз данных, обслуживающих клиентов технологического трансфера.

Необходимо также отметить отечественные организации и зарубежные фирмы и компании, которые занимаются инновационной деятельностью: Государственную академию инноваций, Международный фонд технологий и инвестиций, Национальную инновационно-технологическую палату, ФГУ "Научно-исследовательский институт — Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы" Федерального агентства по науке и инновациям, Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, Бюро венчурных (рисковых) инвестиций, Деловой совет среднеатлантических штатов Америки и России (США), Научный центр развития им. короля Абдуллы II (Иордания), Посольство Франции в России, Департамент науки, технологий и космоса (Франция), "Штайнбайс-Фонд" — один из крупнейших фондов в Европе по передаче технологий и знаний, действующий по всему миру (Германия) и др.

В программе салона прошли конференции, семинары, "круглые столы", презентации инновационных проектов по приоритетным научно-техническим направлениям, а также конкурсы инновационных проектов, изобретений, разработок, выставочных проектов и товарных знаков.

По окончании работы салона наиболее перспективные инновационные разработки награждены специальными призами, медалями и дипломами международного жюри, международных организаций и оргкомитета салона.

7-й Московский международный салон инноваций и инвестиций прошел под девизом "Национальные приоритеты развития России: образование, наука, инновации".

Следует отметить, что данный салон является одной из самых перспективных инновационных выставок в России и странах СНГ и по праву входит в число крупнейших и известных наряду с другими, например, в Брюсселе и Женеве.

Салон способствовал дальнейшему развитию инновационной деятельности, привлечению инвесторов, укреплению взаимовыгодных научных контактов с российскими и зарубежными партнерами в высокотехнологической сфере.

По словам президента Торгово-промышленной палаты Российской Федерации Е. М. Примакова: "...являясь частью инновационной инфраструктуры, салон позволяет решать одну из наиболее важных задач экономического развития России — соединить разработки изобретателей высокотехнологичной продукции с потребностями промышленности".

Ан. А. СУСЛОВ, канд. техн. наук

# Календарь выставок на III квартал 2007 г.

| Москва*  |             |   |  |
|--|-------------|---|--|
| <b>MAKC—2007</b><br>Международный авиационно-космический салон   | 21.08—26.08 | ОАО "Авиасалон"                             | 140182, Московская обл., г. Жуковский,<br>ЛИИ им. М. М. Громова,<br>тел.: (495) 787 6651, факс: (495) 787 6652                       |
| РОСПРОМТЕХ<br>Российская промышленно-технологическая<br>выставка   | 24.09—27.09 | МВЦ "Крокус Экспо"<br>ООО "М-Экспо Лтд"     | 143400, Московская обл., Красногорск,<br>66-й км МКАД<br>115114, Москва,<br>2-й Кожевнический пер., 12,<br>тел./факс: (495) 956 4822 |
| AEROSPACE TESTING RUSSIA Международная выставка испытательного оборудования, систем и технологий авиационно-космической промышленности | 25.09—27.09 | СК "Олимпийский"                            | 129019, Москва, Олимпийский пр-т, 16 тел.: (495) 786 3117  |
| ПТА. Передовые технологии автоматизации—2007<br>Специализированная выставка  | 26.09—28.09 | ЦВК "Экспоцентр"<br>ЗАО "Экспотроника"      | Тел.: (495) 255 3723<br>119313, Москва, а/я 28,<br>тел.: (495) 234 2210  |
| <b>ALUMICO</b> Международная специализированная выставка технологий и оборудования для производства и переработки алюминия             | 26.09—28.09 | МВЦ "Крокус Экспо"<br>МVК, КВЦ "Сокольники" | —<br>107113, Москва, Сокольнический вал, 1,<br>тел.: (495) 995 0595  |
|  | Санкт-Пет   | ербург**                                    |  |
| Дефектоскопия Международная специализированная выставка неразрушающего контроля и технической диагностики                              | 18.09—20.09 | ВО "Рэстек"                                 | 197110, Санкт-Петербург,<br>ул. Петрозаводская, 12,<br>тел.: (812) 320 6363, факс: (812) 320 8090                                    |
|  | Регионы Р   | оссии**                                     |  |
| <b>Индустриальный Урал</b><br>Межрегиональная общепромышленная выставка  | 12.07—14.07 | ЗАО «Объединение<br>"Уральские выставки"»   | 620014, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 13,<br>тел.: (343) 355 0042   |
| <b>Энергетика. Ресурсосбережение. Экология</b> Специализированная выставка   | 08.08—10.08 | Белгородская ТПП<br>"Белэкспоцентр"         | 308015, Белгород, ул. Победы, 147A,<br>тел./факс: (4722) 582 940   |
| <b>Нефть. Газ</b><br>Международная специализированная промышленная выставка. Специализированный салон "Сварка"                         | 21.08—23.08 | ВЦ "Софит-экспо"                            | 410004, Саратов,<br>ул.Чернышевского, 60/62,<br>тел./факс: (8452) 20 5470, 20 5839   |
| <b>МЕТМАШ, Станкоинструмент</b><br>Специализированная выставка   | 05.09—07.09 | ВЦ "Вертол-экспо"                           | 344038, Ростов-на-Дону,<br>пр-т М. Нагибина, 30,<br>тел.: (863) 292 4078, 292 4071   |
| Промышленная экология. Безопасность<br>Специализированная выставка   | 11.09—13.09 | ВЦ "Казанская ярмарка"                      | 420059, Казань, Оренбургский тракт, 8.<br>тел.: (843) 570 5111   |
| <b>Единая Россия</b><br>Международный научно-промышленный<br>экономический форум   | 12.09—16.09 | ВЗАО "Нижегородская<br>ярмарка"             | 603086, Н.Новгород,<br>ул. Совнаркомовская, 13,<br>тел.: (8312) 77 5590,<br>факс: (8312) 77 5674                                     |
| ПРОМТЕХНОЭКСПО<br>Специализированная выставка ведущих отраслей<br>тяжелой промышленности   | 13.09—16.09 | Хабаровская<br>международная<br>ярмарка     | 680000, Хабаровск, а/я 13/1,<br>тел./факс: (4212) 346 129  |
| Металлообработка<br>Специализированная выставка металлообраба-<br>тывающих технологий и оборудования                                   | 18.09—20.09 | ВО "Уральские<br>выставки—2000"             | 620027, Екатеринбург,<br>ул. Свердлова, 11A, оф. 202,<br>тел./факс: (343) 355 5195   |
| Энергосбережение<br>Технологии, приборы, оборудование<br>Международная выставка  | 25.09—28.09 | ИМВК<br>"Сибэкспоцентр"                     | 660054, Иркутск, ул. Байкальская, 253 А<br>тел.: (3952) 35 2239, факс: (3952) 35 8223  |
| <b>Пензпромэкспо</b> Межрегиональная промышленная выставка   | 26.09—28.09 | Пензенский ЦНТИ                             | 440047, Пенза, ул. Ульяновская, 1,<br>тел.: (8412) 455 631   |

| 26.09—28.09 | 11   | ı   |  |  |  |
|-------------|--|---|--|--|--|
| 26.09—28.09 | ВЦ "Софит-экспо"   | _   |  |  |  |
| 26.09—28.09 | Ярославский ЦНТИ   | 150003, Ярославль, пр-т Ленина, 2A,<br>тел./факс: (4852) 303 981  |  |  |  |
| Казахст     | ган**  |   |  |  |  |
| 19.09—21.09 | Казахский центр делового сотрудничества "Атакент"  | 480057, Алматы, ул. Тимирязева, 42,<br>тел.: (3272) 58 3434   |  |  |  |
| Украин      | на**   |   |  |  |  |
| 26.09—28.09 | "Евроиндекс"   | 03680, Киев, пр-т Победы, 58,<br>тел.: (10-380-44) 461 9301   |  |  |  |
| Австрал     | ия ***   |   |  |  |  |
| 28.08—30.08 | AES  | Сидней,<br>тел.: +613/9261 4500,<br>факс: +613/9261 4545  |  |  |  |
| Болгар      | ия***  |   |  |  |  |
| 24.09—01.10 | International<br>Fair Plovdiv  | Пловдив,<br>тел.: +359 32/902 000,<br>факс: +359 32/902 432   |  |  |  |
| Герман      | ия***  |   |  |  |  |
| 18.09—21.09 | Messe Berlin GmbH  | Берлин,<br>тел.: + 49 211/456 001,<br>факс: + 49 211/456 0668   |  |  |  |
| 24.09—27.09 | Messe Dusseldorf GmbH  | Дюссельдорф,<br>тел.: +49211/456 001,<br>факс: +49211/456 0668  |  |  |  |
| 26.09—29.09 | P. E. Schall GmbH<br>Messe unter nehmen  | Зинсхайм,<br>тел.: + 49 7025/92 060,<br>факс: + 49 7025/ 920 6620   |  |  |  |
| Индия       | a***   |   |  |  |  |
| 12.07—17.07 | CODISSIA   | Коимбаторе,<br>тел.: +91422/215 182,<br>факс: +91422/214 231  |  |  |  |
| Индонез     | вия***   |   |  |  |  |
| сентябрь    | Top Repute Co. Ltd   | Гонконг,<br>тел.: +852 2851/8603,<br>факс: +852 2851/8637   |  |  |  |
| Испания***  |  |   |  |  |  |
| 25.09—28.09 | BEC  | Бильбао,<br>тел.: (3494)/428 5400   |  |  |  |
| Канад       | a***   |   |  |  |  |
| сентябрь    | Reed Exhibitions<br>Companies  | Галифакс,<br>тел.: + 1 416/491 7565,<br>факс: +1 416/491 5088   |  |  |  |
| Китай       | ·***   |   |  |  |  |
| сентябрь    | China Instrument &<br>Control Society  | Пекин,<br>тел.: + 8620/8667 8000,<br>факс: + 8620/8668 1629   |  |  |  |
|             | 26.09—28.09  Казахс: 19.09—21.09  Украи 26.09—28.09  Австрал 28.08—30.08  Болгар 24.09—01.10  Герман 18.09—21.09  24.09—27.09  26.09—29.09  Индия 12.07—17.07  Индоне: сентябрь  Китай | 26.09—28.09 ВЦ "Софит-экспо"  26.09—28.09 Ярославский ЦНТИ  Казахстан**  19.09—21.09 Казахский центр делового сотрудничества "Атакент"  Украина**  26.09—28.09 "Евроиндекс"  Австралия ***  28.08—30.08 AES  Болгария***  24.09—01.10 International Fair Plovdiv  Германия***  18.09—21.09 Messe Berlin GmbH  24.09—27.09 Messe Dusseldorf GmbH  24.09—27.09 P. E. Schall GmbH Messe unter nehmen  Индия***  12.07—17.07 CODISSIA  Индонезия***  Сентябрь Тор Repute Co. Ltd  Испания***  25.09—28.09 BEC  Канада***  Сентябрь Reed Exhibitions Companies  Китай*** |  |  |  |

|  | I            |  |   |  |  |  |
|--|--------------|--|---|--|--|--|
| Practical World Asia — PWA/CIHS<br>Международная выставка производственного<br>оборудования и инструментов   | сентябрь     | Beijing Triuni<br>Exhibition Co., Ltd              | Шанхай,<br>тел.: +8610/6527 0722,<br>факс: +8610/6559 7229              |  |  |  |
|  | Корея        | 1***   |   |  |  |  |
| WELDING Korea<br>Международная выставка сварочных технологий   | август       | COEX   | Сеул,<br>тел.: +8202/551 1122,<br>факс: +8202/6000 1302                 |  |  |  |
|  | Малайз       | พя***  |   |  |  |  |
| <b>MIMF</b> Международная выставка производственного оборудования для различных отраслей промышленности  | июль         | ES Event Management<br>Sdn.Bhd                     | Куала-Лампур,<br>тел.: +6003/9132 1922,<br>факс: +6003/9133 1920        |  |  |  |
| Industrial Automation Malaysia — IA Международная выставка средств промышленной автоматизации, производственных процессов, контрольно-измерительного оборудования и технологий | июль         | Malaysia Exhibition<br>Services Sdn. Dhd           | Куала-Лампур,<br>тел.: +6003/4041 0311,<br>факс: +6003/4043 7241        |  |  |  |
|  | Сингап       | yp***  |   |  |  |  |
| Essen Welding Asia Международная специализированная выставка технологий соединения, резки и обработки по- верхностей   | сентябрь     | Messe Essen GmbH                                   | Сингапур,<br>тел.: + 49201/72 440,<br>факс: +49201/724 4248             |  |  |  |
| США***   |              |  |   |  |  |  |
| <b>MS&amp;T</b> Специализированная выставка и конференция по научным разработкам в металлообрабатывающей промышленности  | 16.09—20.09  | TMS-The Mineral.<br>Metals&Materials<br>Society    | Детройт (шт. Мичиган),<br>тел.: +1724/776 9000,<br>факс: +1724/776 3770 |  |  |  |
|  | Филиппи      | 1НЫ***   |   |  |  |  |
| <b>PDMAEC</b> Региональная выставка производственного оборудования, инструментов для различных отраслей промышленности   | 22.08—25.08  | MAI Management<br>Philippines                      | Манила,<br>тел.: +632/899 2642,<br>факс: +632/898 2198                  |  |  |  |
| Финляндия***   |              |  |   |  |  |  |
| AUTOMATIO-AUTOMATION Международная выставка автоматизированных технологий  | 04.09—06.09  | The Finnish Fair<br>Corporation — Suomen<br>Messut | Хельсинки,<br>тел.: +3589/15091,<br>факс: +3589/142358                  |  |  |  |
| <b>Mecatec</b> Международная выставка машиностроения и про- изводственного оборудования  | 04.09—07.09  | "  | "   |  |  |  |
| Франция***   |              |  |   |  |  |  |
| MESUREXPO Выставка контрольно-измерительного оборудования и аппаратуры   | сентябрь     | Exposium   | Париж,<br>тел.: +3301/4968 5100,<br>факс: +3301/4737 7438               |  |  |  |
|  | Швейцария*** |  |   |  |  |  |
| Nanofair-NanoEurope<br>Международная выставка нано- и микротехнологий  | 12.09—14.09  | Olma Messen St. Gallen                             | Сент-Галаен,<br>тел.: +4171/242 0101,<br>факс: +4171/242 0103           |  |  |  |

Возможны изменения.

<sup>\*</sup> По данным выставочных центров Москвы.

\*\* По данным справочника "Выставки и ярмарки—2007. Россия, ближнее и дальнее зарубежье". М.: ИВА "ИнформЭКСПО",
2007. Тел./факс: (495) 105 7524.

\*\*\* По данным справочника "Навигатор ЭКСПО". Сер. специализированных справочников: Металлургия. Машиностроение.

Сварка. Выставки и ярмарки 2007. Тел.: (495) 631 6382.

### Обращение Союза работодателей машиностроения России к предприятиям и организациям машиностроительного комплекса РФ

Открытое письмо

### Уважаемые машиностроители!

В экономике России настал исторический период, когда необходима незамедлительная консолидация потенциала машиностроительного комплекса России и всех властных структур. Пришло время, когда дискуссии по вопросам частно-государственного партнерства в промышленности должны перерасти в практические действия, направленные на развитие отечественного машиностроения — базовой отрасли российской экономики.

Союз работодателей машиностроения России полагает, что главная цель частно-государственного партнерства, созданного в интересах развития отечественной промышленности в том, чтобы соединить интересы бизнеса, государства и гражданского общества в целом.

Союз работодателей машиностроения России имеет реальные возможности и инструменты для создания такого партнерства, которое, по нашему мнению, необходимо выстраивать профессионально, методически продуманно и обоснованно.

Сегодня позиция государства обозначена готовностью к активному взаимодействию с бизнесом для скорейшего обеспечения современного уровня эффективности и конкурентоспособности отечественных производителей. Соответственно, потенциал российских машиностроителей необходимо консолидировать и демонстрировать.

Мы полагаем, что делать это нужно не с позиции протеста или декларативного отстаивания собственной значимости, а на основе продуманных и обоснованных программ по развитию конкурентоспособной продукции, которая, в том числе, должна быть ориентирована на экспорт. Необходимы современные разработки наукоемкой продукции. Делать это следует через продуманную и обоснованную программу НИР и НИОКР, через активное участие в ведомственных и федеральных целевых программах.

**Союз работодателей машиностроения России** руководствуется в своей деятельности следующими базовыми принципами:

- российское машиностроение, его научно-технический и производственный потенциал необходимо информационно продвигать на рынке и в обществе: текущие возможности и перспективы отечественного машиностроения должны понимать все, в том числе молодежь, с позиции позитивной перспективы решения кадровых проблем:
- технологическое перевооружение промышленных предприятий важнейшая задача на пути развития конкурентоспособного машиностроения и ее решение требует продуманной методологии разработки и реализации таких программ;
- технологическое перевооружение должно осуществляться на основе серьезной модернизации самой идео-

логии производства. Необходим переход от "натурального хозяйства" к эффективным предприятиям, оптимизированным по производственным мощностям, с развитой системой производственной кооперации, активно использующим в своей деятельности передовые информационные технологии и базирующимся на системе менеджмента качества, отвечающей мировым стандартам;

- необходимо формирование региональных систем объединения научно-производственного потенциала предприятий и организаций, в том числе построенных на принципах кластера;
- осуществление партнерского взаимодействия участников СРМР с построением эффективной консолидированной деятельности по продвижению продукции и услуг на внутреннем и внешнем рынках;
- соблюдение принципов солидарности внутри Союза работодателей машиностроения России, что означает обеспечение эффективной защиты предприятий от недобросовестной конкуренции или действий, направленных на уничтожение предприятий через инициированное банкротство, рейдерство.

Принципиальная позиция Союза работодателей машиностроения России сформирована на базе исследований, которые были проведены Экспертным научно-техническим советом Союза. В результате была разработана стройная система комплексного решения задач на основе методик, обобщающих мировой опыт формирования эффективных производств. Причем, эта система в полной мере адаптирована под реальную ситуацию и специфику российских предприятий. В разработке принимали участие российские и зарубежные специализированные компании.

Потенциал Союза работодателей машиностроения России может и должен быть направлен на решение актуальных задач всей отрасли и отдельных предприятий машиностроения. Мы полагаем, что следует незамедлительно приступить к разработке комплексной программы развития машиностроения с максимальным использованием открывающихся возможностей частно-государственного партнерства.

Принято на заседании Правления СРМР 12.03.07, Москва. Мы приглашаем все предприятия машиностроительного комплекса России, а также органы государственной власти всех уровней, профильные общественные организации, политические партии и движения к обсуждению Меморандума "Конкурентоспособное машиностроение — основа кардинального увеличения темпов экономического развития России".

По всем вопросам, касающимся обсуждения и подписания Меморандума, просим обращаться к Наталии Юрьевне Александровой (тел.: + 7 (495) 626 0249, 626 0289). http://www.srmr.ru/

### Издательский центр "Технология машиностроения"

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 17.04.2007. Подписано в печать 21.05.2007. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 13,35. Заказ 06/07.

Отпечатано в типографии издательства "Фолиум", 127238, Москва, Дмитровское ш., 58, тел./факс: (495) 482 5590.

### Подписные индексы журнала "Технология машиностроения":

79494 в каталоге Агентства "Роспечать" 27869 в Объединенном каталоге "Пресса России" 60190 в каталоге "Почта России"