ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

ОБЗОРНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ, НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

4 (58)
Апрель
2007

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
Е. А. Калашников
В. В. Капустин
А. Л. Карунин
И. П. Ксеневич
А. Е. Лигачев
А. А. Лозован
В. П. Лялякин
Е. А. Мачнев
Н. А. Паничев
В. Н. Семенов
О. С. Сироткин
Н. В. Смирнов
А. В. Телушкин
А. Н. Феофанов
К. В. Фролов
В. А. Фролов
В. К. Шелег
И. Н. Шиганов

Редакция:
С. В. Богус,
Л. Т. Мартыненко,
Т. П. Маслик

Компьютерная верстка:
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
Е. В. Комиссарова

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 «ЦНИИТМАШ»

Адрес для корреспонденции:
129626, Москва, а/я 01

Контактный тел.: (495) 796 2491

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

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

© Издательский центр “Технология машиностроения”, "Технология машиностроения", 2007

СОДЕРЖАНИЕ

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Колесников С. А., Кравецкий Г. А., Бухаров С. В. — Технология изготовления комбинированных химических реакторов из углерод-керамических композиционных материалов и конструкционного графита 5

ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Коломенский А. Б., Зубарев В. Ю., Клычев А. В., Дегтярев А. В., Аксенов А. А. — К вопросу о циклической выносливости технического титана с неполностью стравленными газонасыщенными слоями при изготовлении листовых полуфабрикатов 9

ТЕХНОЛОГИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

Бужгулашвили В. А., Виноградов В. М. — Математическая модель формования изделий из термореактивного полуфабриката методом протяжки 11

Горелов В. А. — Формирование баз данных для автоматизированного выбора режимов резания на основе термомеханической модели стойкости инструмента 14

Шумячер В. М., Кадильников А. В. — Модель взаимодействия абразивного зерна и обрабатываемого материала при шлифовании. Схема стружкообразования 18

СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Шестакова Ж. В., Шашок А. В. — Оценка надежности эксплуатации режущего инструмента, применяемого на операциях торцевого фрезерования 22

МЕХАНОСБОРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Пещерова Т. Н., Козлов Г. В. — Влияние конструкционных особенностей и технологических параметров формирования клеевых соединений на их прочность 29

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Волков С. С. — Основные способы и технологические особенности сварки разнородных пластмасс 32

Радченко М. В., Радченко В. Г., Шевцов Ю. О., Кровяков К. С. — Практика использования электронно-лучевых технологий сварки, упрочнения и наплавки в дизелестроении 37

ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Гладкий П. В., Переплетчиков Е. Ф., Рябцев И. А. — Плазменная наплавка (обзор) 41

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ

Звягина А. И. — Вторичные сырьевые ресурсы и технологии их использования для производства строительных материалов 50

Погонин А. А., Бойко А. Ф., Блинова Т. А. — Влияние пневмоструйной обработки на качество обрабатываемых изделий машиностроения 52

Каргин В. А., Абрамов А. Д., Бондаренко А. Г., Тюнюкова Т. К. — Теория и практика комбинированных технологических процессов с управлением пластическим деформированием 53

МЕТРОЛОГИЯ

Макаренко В. В., Ломова О. С., Моргунов А. П., Ломов С. М. — Измерение параметров профилей пера лопаток осевых компрессоров и газодувок, применяемых в нефтехимическом производстве 60

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ, ИСПЫТАНИЯ

Боченин В. И. — Неразрушающий контроль содержания остаточного аустенита и углерода в штамповых поковках 65

АВТОМАТИЗАЦИЯ И КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Волков Д. В., Щукин М. В. — Проектирование автоматизированной системы электронного архива конструкторской документации 68

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА

Контроль состояния и диагностика машин. Требования к обучению и сертификации персонала. Ч. 2. Вибрационный контроль состояния и диагностика (ГОСТ Р ИСО 18436-2—2005) 74

ОХРАНА ТРУДА И ЭКОЛОГИЯ

Игнатов А. П., Макаренко В. Д., Бакеев Р. Б. — Исследование процесса утилизации отходов меди в виде проволоки или шинки методом ЭШП 78

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Корнеева В. М., Холопов В. Н. Феофанов А. Н., Хвастунов Р. М. — Квалиметрический анализ как средство непрерывного повышения качества продукции машиностроения 82

Галиев А. Н. — Концепция контроллинга в машиностроительном холдинге 85

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Павлючков С. Е., Рубцов Е. А., Шилов В. В. — Опыт взаимодействия вуза и коммерческой фирмы в подготовке специалистов в области информационных технологий 89

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Потапова Г. С. — Содержание зарубежных журналов 91

ИНФОРМАЦИЯ

Иванов А. Н. — Международная выставка "Интертул. Экспосварка. Мера—2006" 94

Суслов Ан. А. — Международная специализированная выставка и научно-практический семинар "Чернобыль: экология, человек, здоровье" 97

TEKHNOLOGIYA MASHINOSTROENIYA

REVIEW-ANALYTICAL, SCIENTIFIC-TECHNICAL AND PRODUCTION JOURNAL

4 (58) April 2007

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
E. V. Komissarova

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

© Издательский центр "Технология машиностроения", "Технология машиностроения", 2007

CONTENTS

STRUCTURAL MATERIALS

Kolesnikov S. A., Kravetsky G. A., Bukharov S. V. — Carbon-sintered-composites and structural-graphite combined chemical reactor manufacturing methods 5

BLANK PRODUCTION

Kolomensky A. B., Zubarev V. Yu., Klychev A. V., Degtyarev A. V., Aksenov A. A. — On the robustness of technical titanium with incompletely alloyed gas-steamy layers at manufacturing sheet semiproducts 9

FORMLNG TECHNOLOGIES

Buzhgulashvili V. A., Vinogradov V. M. — Mathematical model of piece forming from heat-convertible semiproduct by broaching 11

Gorelov V. A. — Database formation for the cutting parameters automated selection on the base of tool life thermo-mechanical model 14

Shumyacher V. M., Kadilnikov A. V. — Abrasive grain and work material grinding interaction model. Chips-making system 18

TOOLING PRODUCTION

Shestakova Zh. V., Shashok A. V. — Butt milling tool run reliability evaluation 22

MACHINING-AND-ASSEMBLY PRODUCTION

Pescherova T. N., Kozlov G. V. — Glued joints formation structural properties and engineering data effect on their endurance 29

PERMANENT JOINTS PRODUCTION TECHNOLOGY

Volkov S. S. — Process features and main welding techniques of dissimilar plastics 32

Radchenko M.V., Radchenko V. G., Shevtsov Yu. O., Krovyakov K. S. — Practice of electron-beam welding, strengthening and building-up techniques in Diesel engineering 37

MODIFEING PROCESSES OF MACHINE PARTS SURFACES

Gladky P. V., Perepletchikov Ye. F., Ryabtsev I. A. — Plasma-jet hard-facing: Review 41

SPECIAL TECHNOLOGIES

Zvyagina A. I. — Waste utilization industrial engineering 50

Pogonin A. A., Boyko A. F., Blinova T. A. — Pneumo-jet treatment effect on the quality of the engineering industry workpieces 52

Kargin V. A., Abramov A. D., Bondarenko A. G., Tyunyukova T. K. — Theory and practice of the combined processing applying plastic deformation control for the component production 53

METROLOGY

Makarenko V. V., Lomov O. S., Morgunov A. P., Lomov S. M. — Blade plume form parameter changes of the axial-flow compressors and blowels used at petrochemical processes 60

TECHNICAL DIAGNOSTICS, NONDESTRUCTIVE CHECK-AND-TESTING METHODS

Bochenin V. I. — Nondestructive testing of residual austenite and carbon in forgings 65

PROCESSES AUTOMATION AND COMPUTERIZATION

Volkov D. V., Schukin M. V. — Design-documentation archive computer-based system development 68

STANDARDIZATION, CERTIFICATION, QUALITY SYSTEMS

State control and machine diagnostics. Requirements for the personnel training and certification / Part 2. Vibration state control and diagnostics (GOST R ISO 18436-2—2005) 74

LABOUR PROTECTION AND ECOLOGY

Ignatov A. P., Makarenko V. D. — Study of the copper waste recovery as wire or tie by the ESM process 78

ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

Korneyeva V. M., Kholopov V. N., Feofanov A. N., Khvastunov R. M. — Qualimetric analysis as a way of engineering industry product quality continuous increase 82

Galiyev A. N. — Control concept at an engineering holding 85

EDUCATION AND PERSONNEL TRAINING

Pavlyuchkov S. Ye., Rubtsov Ye. A., Shilov V. V. — An institute of higher education and commercial firm interaction practice to train technical specialists 89

FOREIGN EXPERIENCE

Potapova C. S. — Foreign journals contents 91

INFORMATION

Ivanov A. N. — The "InterTool. ExpoWelding. Measure'2006" International exhibition 94

Suslov An. A. — The International specialized exhibition and scientific-and-practical seminar "Chernobyl: ecology, man, health" 97

С. А. КОЛЕСНИКОВ, д-р техн. наук, Г. А. КРАВЕЦКИЙ, канд. техн. наук, С. В. БУХАРОВ, д-р техн. наук
"МАТИ"–РГТУ им. К. Э. Циолковского

Технология изготовления комбинированных химических реакторов из углерод-керамических композиционных материалов и конструкционного графита

В настоящее время углерод-углеродные и углерод-керамические композиционные материалы наряду с конструкционным графитом находят все более широкое применение:

— колонны с оснасткой из коррозионно-стойких углерод-углеродных композитов [1];

— коррозионно-стойкие графитовые трубы для теплообменников [2];

— оборудование в химическом аппаратостроении, в частности, для изготовления тиглей, реакторов и высокотемпературных емкостей [3];

— технологическая оснастка, применяемая при проведении высокотемпературных процессов[1] [4].

Эти достижения основаны на предыдущих разработках, таких как изготовление графитовых футеровок для стекольной промышленности и теплообменных аппаратов (ОАО "Новочеркасский электродный завод") для химически агрессивных сред.

Появившиеся в последние 10—15 лет углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) изготовляют на базе углеродных волокнистых наполнителей. Обладая в 10—15 раз более высокой механической прочностью по сравнению с конструкционным графитом они могут быть применены (как и ранее в спецтехнике) для изготовления крупногабаритных деталей, конструкций, эксплуатирующихся под повышенным внешним или внутренним давлением. В настоящее время технология изготовления изделий из этих материалов глубоко проработана и их производство не представляет существенной сложности.

В то же время имеющиеся технологические ограничения при изготовлении композиционных элементов конструкций сложной геометрической формы или относительно большой толщины вынуждают конструкторов и технологов не отказываться от интегральных конструкций, сочетающих как фрагменты их композитов, так и элементы из конструкционного графита.

Однако до настоящего времени не проработаны конструкторско-технологические вопросы разработки интегральных конструкций из композиционных материалов и конструкционного графита. Эти материалы принципиально разнятся между собой по основным физико-механическим и теплофизическим свойствам [5, 6]. В то же время технология изготовления конструкций из них связана с высокотемпературными операциями, развитием при этом значительных усадочных процессов, формоизменений в остаточных напряжениях из-за разности температурных коэффициентов линейного расширения, модулей упругости и других свойств [7].

Целью данной работы является анализ термомеханического взаимодействия сопрягаемых элементов интегральных углеродных конструкций, содержащих детали из УУКМ совместно с конструкционным графитом. Данные конструкции применяют для изготовления химической аппаратуры для получения металлов, не образующих карбидов и их сплавов в цветной металлургии; в высокотемпературной органической химии.

Конструкция химического реактора включает прочную и герметичную боковую оболочку и соединительные фланцы по ее торцам. Фланец имеет клеевой шов для соединения с боковой оболочкой и отверстия штифто-болтового соединения с днищем или крышкой реактора. Крышка реактора в свою очередь имеет такие же соединения с патрубками ввода реагентов, термопреобразователей, газоструйных или механических мешалок.

Конструкционные материалы реакторов должны быть стойкими к исходным компонентам и продуктам реакции, среди которых могут быть хлористый водород, неорганические и органические кислоты, спирты, альдегиды, аммиак газообразный, аммиак водный, хлористый аммоний (пар), хлориды легких или переходных металлов в виде расплавов, мышьяк или другие легкие металлы в виде расплава или пара и, наконец, углеводороды, в том числе этилен, водород, ацетилен или другие органические примеси.

Наиболее надежными в этих условиях являются конструкции из силицированных графитов и УУКМ.

В процессе карбидизации углеродной части композита или исходного графита происходят изменения объема вещества матрицы. Плотность кремния

[1] Патент 2186726 (РФ).

равна 2,4 г/см^3, что существенно отличается от пикнометрической плотности углеродных компонентов. Содержание металлического кремния в силицированных композитах и силицированном графите может находиться в пределах 7—15 % в зависимости от температурно-временного режима проведения процесса на его заключительных стадиях. Пикнометрическая плотность углеродного волокна из вискозы равна 1,51 г/см^3, кокса фенолформальдегидной смолы — 1,5 г/см^3, отложений пироуглерода — 2,1 г/см^3 и кокса из каменноугольного пека — 1,94—2,05 г/см^3. В целом истинная плотность композитов на основе фенолформальдегидных смол и углеродных волокон из вискозы находится на уровне 1,52 г/см^3, а этих же композитов, пропитанных пеком, и затем дополнительно карбонизованных — 1,64 г/см^3. Часть углеродного вещества взаимодействует с кремнием с образованием карбида кремния, объемная доля которого в силицированных материалах может достигать 15—45 %. Плотность карбида кремния 3,2 г/см^3.

С учетом приведенных значений плотности, мольных масс, грамм-моля кремния (28 а.е.), углерода (12 а.е.) и карбида кремния (40 а.е), а также содержания кремния и карбида кремния рассчитали изменение объема матрицы. Для этого сначала из разности плотности силицированного материала и исходного углеродного материала определили массу кремния, внедренного в объем 1 см^3 материала. Затем, зная содержание свободного кремния после завершения операции при предельной температуре процесса 1950 °С, а именно около 7 %, рассчитали количество кремния, необходимого для образования карбида кремния. Если технологическую операцию завершать при температуре порядка 1800 °С, то содержание свободного кремния может сохраниться на более высоком уровне — до 15 %. Стехиометрическое соотношение углерода и кремния в образовавшемся карбиде 1:1 (в молях). Из этого легко определить долю углерода, израсходованного на образование карбида кремния, и затем — остаток углерода. Из полученных массовых долей всех трех компонентов композита — углерода, кремния и карбида кремния, а также их плотностей, рассчитали объем силицированного материала. Отношение этого объема к исходному объему (1 см^3) дает их относительное изменение. Полученные данные относятся к формирующейся керамической матрице.

Результаты для силицированных углеродных материалов с исходной кажущейся плотностью 1,15—1,3 (композит с углеродным волокном из вискозы и углеродной матрицей из кокса фенольной смолы и пироуглерода), 1,4—1,5 (композит с углеродным волокном из вискозы и углеродной матрицей из кокса фенольной смолы, пироуглерода и кокса из каменноугольного пека) и 1,6—1,75 (конструкционный графит) представлены на рис. 1. Полученные данные относятся к материалам с содержанием свободного кремния на уровне 7 %. Плотность силицированного материала для каждого вида исходного материала находится в интервале от 1,7 до 2,35 г/см^3. Композиционные силицированные материалы получали "шликерным" способом. Технологическими факторами, регулирующими плотность силицированного материала, при этом являются соотношение реакционной массы свободного кремния в слое шликера, нанесенного на поверхность углеродной заготовки, гранулометрический состав кремния в шликере, скорость нагрева изделия при силицировании, число повторных операций силицирования и др.

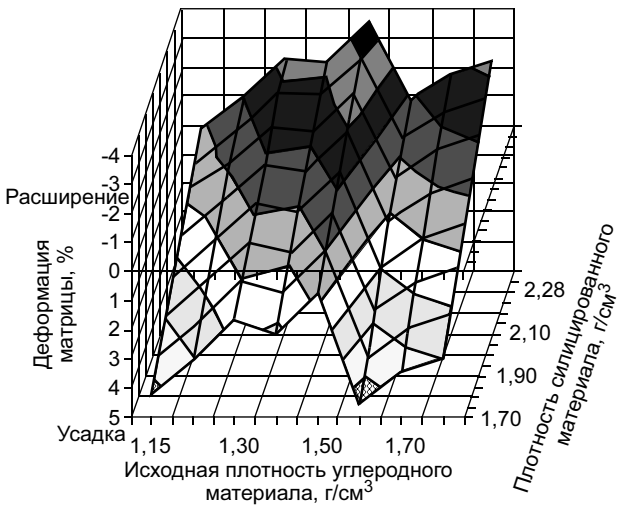


Рис. 1. Изменение деформации углеродного материала при его силицировании

Как видно на рис. 1, при увеличении степени силицирования (увеличении плотности материала) деформация матрицы меняет знак и переходит от усадки к расширению, что полностью соответствует литературным данным [5].

Изменение объема матрицы, находящейся в механическом взаимодействии с углеродным волокном (арматура композита) или углеродной составляющей силицированного графита, приводит к пропорциональной деформации композиционного материала, в целом пропорционально мольной доле компонентов и их жесткости (модулю упругости) [8]. При этом для графита изменение размеров по направлениям *X*, *Y* и *Z* одинаковы, так как практически одинаковы модули упругости материала по направлениям. Для композита, армированного в кольцевом и осевом направлениях углеродным волокном, значения модуля упругости материала в

этих направлениях существенно отличаются от модуля упругости в радиальном направлении. Поэтому деформации композиционного материала после силицирования анизотропны.

Основные температурные напряжения возникают в относительно толстостенной части реактора, где сочленяются графитовый фланец и композитная оболочка. Модель термоупругих напряжений для кольца принята из работы [9].

Исходные свойства материалов реактора на этапах нагрева до силицирования и затем на этапе охлаждения силицированного комбинированного изделия приведены в работе [7]. Полагали, что на этапе нагрева кольцо фланца (толщиной 50 мм) и композитная углерод-углеродная оболочка (толщиной 5 мм) механически не взаимодействуют между собой. Эти детали конструкции получены механической обработкой поверхностей в зоне посадки фланца на оболочку с некоторым зазором. Графитовая внешняя деталь имеет больший температурный коэффициент линейного расширения по сравнению с углерод-углеродной композиционной оболочкой, и поэтому зазор между ними сохраняется вплоть до начала формирования карбидной матрицы при 1750 °С. По завершении операции силицирования при 1900 °С образуется единая конструкция из двух разнородных по механическим и теплофизическим свойствам материалов. Дальнейший нагрев до 1950 °С с целью испарения избытка не прореагировавшего кремния происходит при термомеханическом взаимном воздействии этих деталей в условиях их термического линейного расширения, а также при одновременном протекании усадочных процессов в результате исследованных выше объемных изменений в структуре материала.

Охлаждение комбинированной конструкции, соединенной в единое целое "клеевым швом" из карбида кремния, образовавшегося в зазоре между деталями на диаметре D = 400 мм, происходит в условиях механического взаимодействия трех слоев материала: относительно толстостенного фланца из силицированного графита (δ/D = 0,125), тонкого клеевого шва (δ = 0,05 мм) с повышенным содержанием карбида кремния и относительно тонкостенной (δ/D = 0,025) композитной оболочки.

Свойства материала графитового и затем силицированного графитового фланца принимали равными справочным свойствам графита ГМЗ и СГМ соответственно [5—7]. При этом полагали, что в составе этого материала после высокотемпературных операций сохраняется до 7 % свободного металлического кремния, как это подтверждается химическим анализом.

Свойства "клеевого шва" из силицированного графита с повышенным содержанием карбида кремния принимали тождественными справочным свойствам силицированного графита на основе высокопористого графита СГП [6].

Свойства композитной оболочки принимали соответствующими справочным свойствам материалов "Граурис", на этапах нагрева и охлаждения — материала "Гравимол" (оба на основе углеродного волокна из вискозы УРАЛ Т-22).

Полученные результаты расчета напряжений в комбинированной конструкции по выбранной модели [9] в кольцевом направлении в зоне посадки графитового фланца на композитную оболочку приведены на рис. 2. Наиболее высокие напряжения возникают по завершении охлаждения конструкции в оболочке из композиционного материала. Проч-

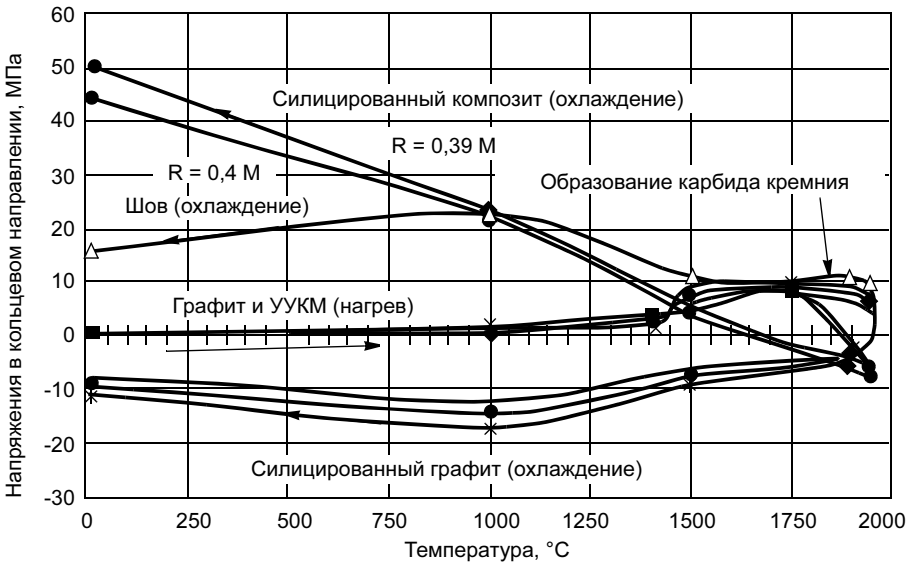


Рис. 2. Результаты расчета напряжений в комбинированной конструкции по выбранной модели [9] в кольцевом направлении в зоне посадки графитового фланца на композитную оболочку

ность при растяжении и сжатии этого материала при 20 °С соответственно имеет уровень в случае изготовления композита из углеродных тканей из вискозного волокна типа УРАЛ 35—50 и 100—130 МПа. При применении высокомодульного высокопрочного углеродного жгута УКН-5000 прочность при растяжении и сжатии соответственно равна 150—200 и 160—230 МПа. Для силицированного графита прочность при сжатии 460 МПа, а при растяжении — 27 МПа. Таким образом, из данных расчета напряжений и в сравнении со свойствами силицированного графита и силицированных композиционных материалов получаем минимальный уровень запаса прочности не менее 2 для композитного материала на основе высокопрочного углеродного волокна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Line* towers with carbon-carbon composite to fight corrosion // Chemical Engineering. 2002. Vol. 109. N 2. P. 76.
2. *Graphite* tubes in heat exchanger resist corrosion // Chemical Engineering. 2001. Vol. 108. N 10. P. 68D-2.
3. *Бушуев В. М., Удинцев П. Г.* // Материалы 1-й междунар. конф. "Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология". М.: МГУ им. Ломоносова, 2002. С. 66.
4. *Бушуев В. М., Удинцев П. Г., Чунаев В. Ю.* // Материалы 1-й междунар. конф. "Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология". М.: МГУ им. Ломоносова, 2002. С. 67—69.
5. *Тарабанов А. С., Костиков В. И.* Силицированный графит. М.: Металлургия, 1977. 208 с.
6. *Искусственный* графит / В. С. Островский, Ю. С. Виргильев, В. И. Костиков, Н. Н. Шипков. М.: Металлургия, 1986. 272 с.
7. *Свойства* конструкционных материалов на основе углерода: Справочник / В. Г. Нагорный, А. С. Котосонов, В. С. Островский и др. / Под ред. В. П. Соседова. М.: Металлургия, 1975. 336 с.
8. *Колесников С. А., Топчиев В. Г., Костиков В. И.* Крупногабаритные оболочки из двухмерноармированных углерод-углеродных композиционных материалов // Предотвращение развития разрушения структурных фрагментов углерод-углеродных оболочек при высокотемпературных операциях // Материаловедение. 1999. № 7. С. 32—39; № 8. С. 36—43.
9. *Композиционные* материалы: Справочник / В. В. Васильев, В. Д. Протасов, В. В. Болотин и др. / Под общ. ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тернопольского. М.: Машиностроение, 1990. 512 с.

Внимание! Информация

А. Б. КОЛОМЕНСКИЙ, д-р техн. наук, В. Ю. ЗУБАРЕВ, инж., А. В. КЛЫЧЕВ, инж., А. В. ДЕГТЯРЕВ, канд. техн. наук
(Воронежское акционерное самолетостроительное общество),
А. А. АКСЕНОВ, канд. техн. наук
(Московский институт стали и сплавов)

К вопросу о циклической выносливости технического титана с неполностью стравленными газонасыщенными слоями при изготовлении листовых полуфабрикатов

При изучении влияния параметров газонасыщенных слоев на механические характеристики титановых сплавов было обнаружено, что максимум циклической выносливости достигается при неполном стравливании данных слоев [1], и это связано с достижением в приповерхностных слоях металла оптимальной концентрации кислорода, играющего в данном случае роль полезного легирующего элемента [2].

Одним из способов применения на практике приведенного эффекта могло бы стать уменьшение глубины травления и сохранение полезной части газонасыщенных слоев, формирующихся при нагреве в процессе изготовления листовых полуфабрикатов. Это позволило бы повысить усталостные характеристики полуфабрикатов наряду со снижением безвозвратных потерь дорогостоящих сплавов. Неясно, однако, как далее в технологическом процессе изготовления поведет себя металл с предварительно газонасыщенным подслоем. В частности, как будет влиять последующее окисление при финишном отжиге в сочетании с предварительным газонасыщением поверхности на усталостные свойства изделия.

Целью данной работы является исследование влияния финишного отжига на выносливость листовых полуфабрикатов из технического титана ВТ1-0 с предварительно полученными газонасыщенными слоями при повторно-статических нагрузках. При проведении исследований изготовляли образцы из листового технического титана ВТ1-0 толщиной 2,5 мм с шириной рабочей зоны 15 мм и центральным отверстием-концентратором диаметром 2,5 мм, обеспечивающим коэффициент концентрации 2,6 по Нейберу. Предварительно образцы отжигали на воздухе при 800 °С в течение 2 ч, подвергали пескоструйной обработке и травлению на различную глубину в смеси кислот HF и HNO_3 для получения газонасыщенных слоев с заданным перепадом микротвердости поверхности по отношению к сердцевине при глубине травления 33—36 мкм (перепад микротвердости ΔHV = 60÷70 %), 37—42 мкм (40—50 %), 45—49 мкм

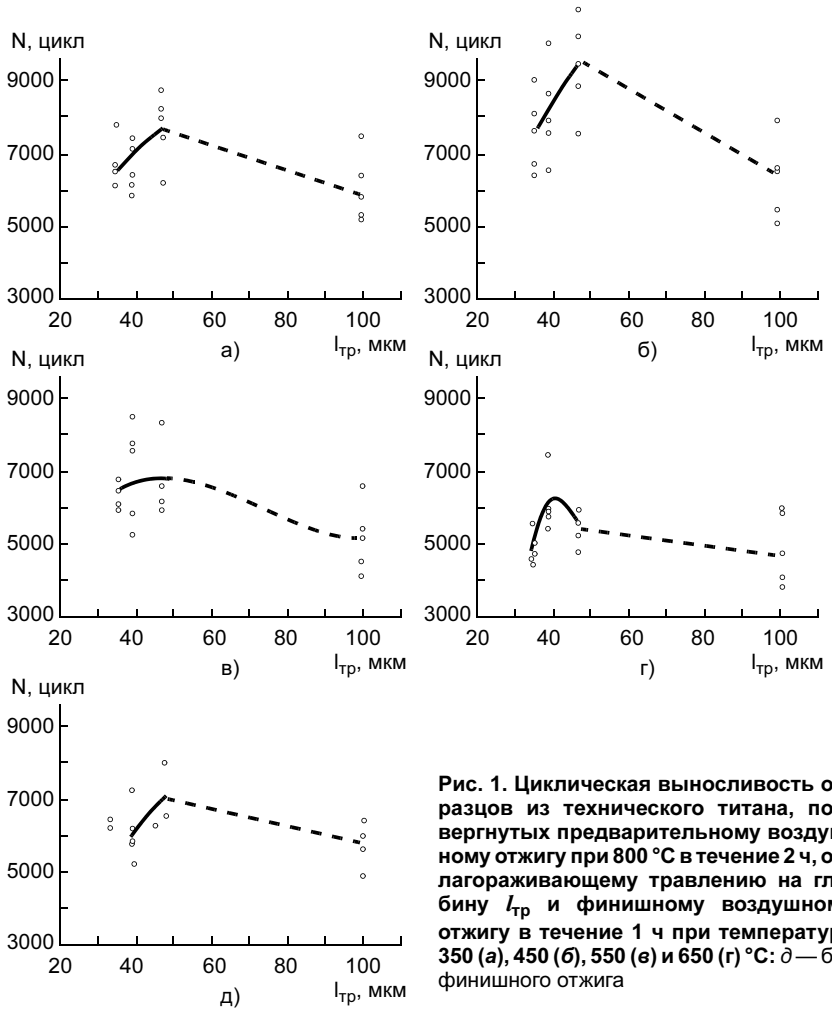


Рис. 1. Циклическая выносливость образцов из технического титана, подвергнутых предварительному воздушному отжигу при 800 °С в течение 2 ч, облагораживающему травлению на глубину $l_{тр}$ и финишному воздушному отжигу в течение 1 ч при температуре 350 (*а*), 450 (*б*), 550 (*в*) и 650 (г) °С: *д* — без финишного отжига

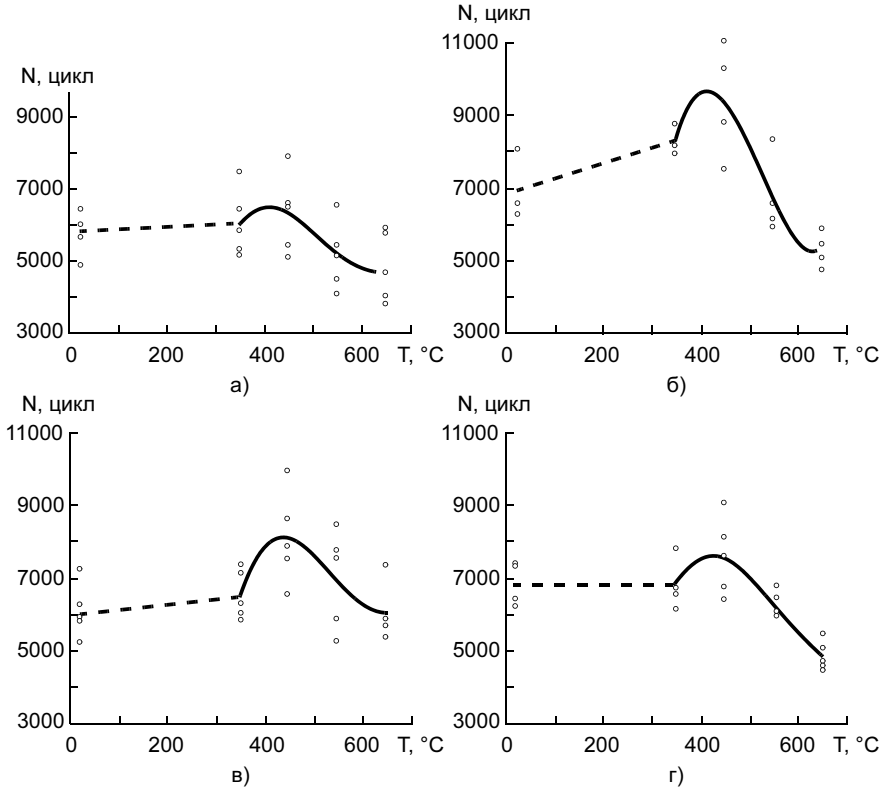


Рис. 2. Циклическая выносливость образцов из технического титана после предварительного воздушного отжига при 800 °С в течение 2 ч, облагораживающего травления и финишного воздушного отжига в течение 1 ч: *а—г* — $l_{тр}$ (мкм) равна 98—102 (ΔHV = 0), 45—49 (20—30 %), 37—42 (40—50 %), 33—36 (60—70 %) соответственно

(20—30 %) и 98—102 мкм (0). Затем на образцах выполняли отверстие-концентратор и проводили финишный воздушный отжиг при 350—650 °С в течение 1 ч. Испытания на повторно-статическое растяжение при коэффициенте асимметрии цикла R = +0,1 и частоте f = 0,6÷0,8 Гц при максимальном напряжении цикла σ_{max} = = 290 МПа проводили на модернизированной установке УММ-10. Результаты механических испытаний аппроксимировали по методу наименьших квадратов к кривым типа

$$y = ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + ex + f.$$

Определение коэффициентов уравнения регрессии и коэффициентов корреляции, построение графиков производили на компьютере по программе "1.12 (С).Статистическая графика".

Результаты испытаний на повторно-статическое растяжение представлены на рис. 1 и 2. Вначале анализировали зависимости $N = f(l_{тр})$ (см. рис. 1). Из результатов испытаний следует, что при финишном отжиге с T = = 350÷450 °С, приводящем к образованию относительно тонкой оксидной пленки без заметного газонасыщения как на поверхности образцов, так и на боковых стенках отверстий-концентраторов, максимум циклической выносливости приходится на более мягкий подслой с ΔHV = 20÷30 % (см. рис. 1, *а*, *б*). Следовательно, при наличии тонких оксидных пленок слои с невысокой и умеренной твердостью обнаруживают большую долговечность в сравнении со слоями с повышенной твердостью (ΔHV = 60÷70 %), что можно объяснить благоприятным воздействием сжимающих напряжений в слое при сохранении достаточного запаса пластичности.

При финишном отжиге с более высокими температурами (550—650 °С), когда наряду с образованием оксидных пленок начинается заметное растворение кислорода в металл, эффект повышения долговечности выражен слабее, а максимумы несколько смещены влево — ближе к слоям с ΔHV = 40÷50 % (см. рис. 1, *в*, *г*).

Следует особо отметить, что для всех вариантов финишного отжига образцы без предварительного газонасыщения имели более низкую циклическую выносливость по сравнению с образцами с предварительно нанесенными слоями во всем изученном диапазоне ΔHV (от 20 до 70 %).

При исследовании зависимостей $N = f(T)$ (см. рис. 2) установили, что при T = 450 °С имеет место устойчивый максимум циклической выносливости как при наличии подслоя (независимо от его твердости), так и при его отсутствии. Абсолютный максимум при этом приходится на подслой с ΔHV = 20÷30 % (см. рис. 2, *б*). Расположение максимума при T = = 450 °С может быть связано с особыми физико-механическими свойствами оксидной пленки, и данный вопрос требует отдельного изучения.

ВЫВОД

Регламентированное предварительное поверхностное газонасыщение обеспечивает образцам из листового технического титана повышенную выносливость при повторно-статических нагрузках как без отжига, так и после финишного отжига в диапазоне температур 350—650 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Влияние* регламентированного съема травлением поверхностного газонасыщенного слоя на долговечность при малоцикловой усталости листов из титана ВТ1-0 / А. Б. Коломенский, Б. А. Колачев, А. В. Дегтярев, А. Н. Рощупкин // Технология легких сплавов. 1990. № 6. С. 20—24.
2. *Корнилов И. И.* О влиянии кислорода на титан и его сплавы // Металловедение и термическая обработка металлов. 1973. № 10. С. 2—5.

В. А. БУЖГУЛАШВИЛИ, канд. техн. наук, В. М. ВИНОГРАДОВ, д-р техн. наук
"МАТИ" – РГТУ им. К. Э. Циолковского

Математическая модель формования изделий из термореактивного полуфабриката методом протяжки

Длинномерные изделия из полимерных волокнистых композиционных материалов (ПВКМ) с постоянным профилем поперечного сечения широко применяют в различных областях деятельности человека — строительстве, космосе, самолетостроении и т. д. Номенклатура данных изделий с каждым годом возрастает, причем к большинству изделий предъявляют высокие требования по механическим свойствам, которые могут быть достигнуты за счет применения полуфабрикатов на основе непрерывных волокнистых наполнителей и современных полимерных связующих. Важно, чтобы при изготовлении изделий технологические параметры процесса были оптимальными — обеспечивающими получение высококачественной продукции при минимальных материальных, энергетических и временных затратах. В связи с этим разработана математическая модель процесса жидкофазной протяжки, связывающая между собой технологические параметры процесса формования, технологические свойства полуфабриката и геометрические характеристики формообразующей оснастки для изделий прямоугольного сечения, позволяющая комплексно оптимизировать технологические параметры процесса.

При разработке математической модели приняты следующие допущения:

— температура формования $T_ф$ по длине фильеры постоянная;

— передача теплоты от стенки фильеры к полуфабрикату осуществляется кондуктивным способом;

— закон взаимодействия поверхности полуфабриката со стенкой фильеры соответствует граничному условию четвертого рода;

— отверждение связующего идет без выделения теплоты реакции;

— коэффициенты проницаемости волокнистой структуры, входящей в состав полуфабриката, анизотропные;

— процесс фильтрации связующего сквозь волокнистую структуру может быть описан уравнением Дарси;

— связующее в процессе уплотнения полуфабриката представляет ньютоновскую жидкость.

Принятые допущения позволяют построить математическую модель, описывающую только пультрузию тонкостенных деталей, при изготовлении которых теплота реакции отверждения не влияет существенно на характер распределения температурного и конверсионного полей по толщине формуемой детали.

На рис. 1 приведена общая схема установки для жидкофазной протяжки [1].

Технологические параметры процесса протяжки — усилие протяжки $N_{пр}$, скорость протяжки $\upsilon_{пр}$, давление уплотнения $P_у$ и температура фильеры $T_ф$.

К технологическим свойствам полуфабриката и его исходных компонентов, определяющим параметры процесса, относятся: геометрические характеристики пакета (ширина B, толщина H_0); относительное объемное содержание волокнистого наполнителя $\varphi_в$; относительное объемное содержание связующего $\varphi_{св}$ в полуфабрикате; теплофизические характеристики препрега (теплопроводность λ, теплоемкость $C_р$ и температуропроводность a); продольный $K_{||}$ и поперечный $K_{\perp}$ коэффициенты проницаемости волокнистой структуры; плотность волокна $\rho_в$, а также линейная $\rho_{лин}$ и поверхностная $\rho_{пов}$ плотности волокнистой структуры; вязкость связующего η; время вязкотекучего состояния связующего $t_{втс}$; время отверждения связующего $t_{отв}$.

Геометрическими характеристиками формообразующей фильеры являются (рис. 2): высота на-

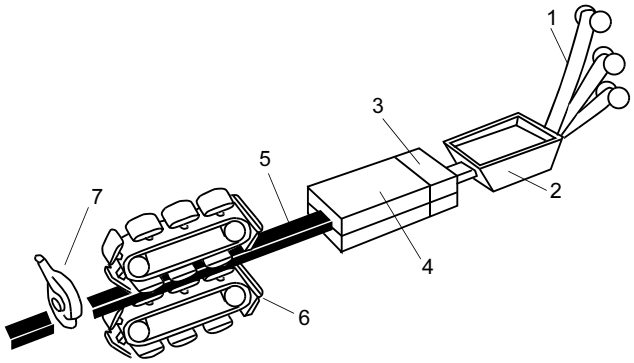


Рис. 1. Общая схема установки для жидкофазной протяжки: *1* — шпулярник; *2* — ванна для пропитки; *3* — уплотняющая часть фильеры; *4* — часть фильеры для калибровки и фиксации формы изделия; *5* — готовое изделие; *6*, *7* — тянущее и отрезное устройства соответственно

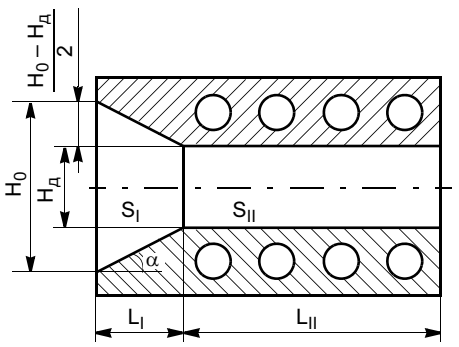


Рис. 2. Схема геометрической модели двухсекционной фильеры

чала H_0 и конца $H_д$ зоны уплотнения соответственно; L_1, L_2 — длина зон уплотнения и калибровки соответственно; α — половина угла конусности зоны уплотнения; B — ширина формообразующего канала; S_1, S_2 — площади уплотняющей и калибрующей поверхностей фильеры соответственно.

Рассмотрим двухсекционную фильеру (рис. 3), в которой уплотняющая часть фильеры обозначена I, а калибрующая — II. Силы, действующие в системе полуфабрикат—поверхность фильеры, технологические параметры процесса и технологические свойства полуфабриката: $F_{трI}$, $F_{трII}$ — сила трения на участках I и II соответственно; $F_{скол}$ — сила скольжения, являющаяся проекцией $P_у$ на наклонную поверхность уплотняющей зоны; $P_{нI}$ и $P_{нII}$ — нормальное давление на участках I и II соответственно.

Для того чтобы полуфабрикат двигался вдоль фильеры, необходимо, чтобы усилие протяжки $N_{пр}$ было больше силы трения $F_{тр}$ и меньше силы $F_р$, разрушающей формуемое изделие:

$$F_{тр} < N_{пр} < F_р. \quad (1)$$

В процессе протяжки сила трения полуфабриката о формообразующую поверхность фильеры складывается из двух составляющих:

$$F_{тр} = F_{сопрI} + F_{трII}. \quad (2)$$

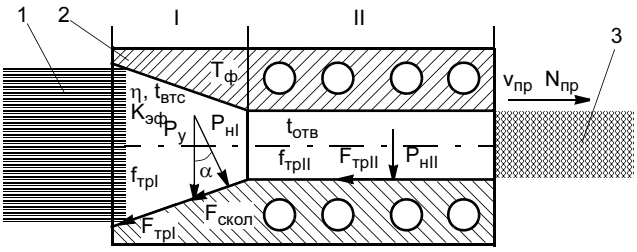


Рис. 3. Схема физической модели двухсекционной фильеры: *1* — полуфабрикат; *2* — фильера; *3* — изделие

Сила сопротивления $F_{сопрI}$ протяжке в зоне I является суммой двух сил — силы скольжения $F_{сколI}$ и собственно трения $F_{трI}$:

$$F_{сопрI} = F_{сколI} + F_{трI}. \quad (3)$$

Из рис. 3 следует, что

$$F_{сколI} = P_у S_I \sin\alpha, \quad (4)$$

$$F_{трI} = P_{нI} S_I f_{трI}, \quad (5)$$

$$P_{н1} = P_у \cos\alpha, \quad (6)$$

где $f_{трI}$ — коэффициент трения в зоне I.

Тогда сила трения в зоне уплотнения

$$F_{трI} = P_у S_I(\sin\alpha + f_{трI}\cos\alpha), \quad (7)$$

а сила трения в зоне калибровки

$$F_{трII} = P_{нII} S_{II} f_{трII}, \quad (8)$$

причем $P_{нII}$ определяют по кривым уплотнения.

Отсюда суммарная сила трения, противодействующая протягиванию полуфабриката сквозь фильеру,

$$F_{тр} = P_у S_I(\sin\alpha + f_{трI}\cos\alpha) + P_{нII} S_{II} f_{трII}. \quad (9)$$

Однако, как показывает анализ процесса и экспериментальных данных, сила трения $F_{трII}$ изменяется по довольно сложному закону, так как в этой зоне давление $P_{нII}$ сначала увеличивается за счет нагревания полуфабриката, а затем уменьшается вследствие отверждения связующего, сопровождающегося усадкой. Одновременно с этим изменяется и коэффициент трения, так как при отверждении происходит изменение физического состояния связующего.

Давление уплотнения $P_у$ в зоне I изменяется от 0,01 МПа на входе в уплотняющую часть фильеры и достигает $P_{нII}$ на входе в зону калибрования вследствие постепенного уплотнения полуфабриката. При этом его высота уменьшается от H_0 до $H_д$, а избыток связующего выдавливается в направлении, противоположном направлению протяжки под действием градиента ΔP, которое может быть вычислено по уравнению Дарси

$$-dP = \frac{\upsilon \eta dl}{K_{эф}}, \quad (10)$$

где υ — линейная скорость отжима связующего; $K_{эф}$ — эффективный коэффициент проницаемости волокнистой структуры по длине зоны I.

Рассчитаем скорость υ при уплотнении через время уплотнения $t_{упл}$ полуфабриката

$$t_{упл} = \frac{V_{св}}{Q}, \quad (11)$$

где $V_{св}$, Q — объем избытка связующего и его объемная скорость вытекания соответственно.

В процессе уплотнения

$$V_{св} = L_I BH_0(\varphi_{св0} - h\varphi_{св.д}), \quad (12)$$

$$Q = \upsilon S_{пф}, \quad (13)$$

где $h = H_д/H_0$.

Площадь поперечного сечения полуфабриката $S_{пф}$ в процессе уплотнения изменяется от BH_0 до $BH_д$, поэтому для упрощения расчетов используем среднеарифметическое значение $S_{ср}$

$$S_{ср} = BH_{ср.ар} = BH_0 \frac{(1+h)}{2}. \quad (14)$$

Поскольку

$$Q = \upsilon BH_0 \frac{(1+h)}{2} \text{ и} \quad (15)$$

$$t_{упл} = \frac{2L_I(\varphi_{св0} - h\varphi_{св.д})}{\upsilon(1+h)}, \text{ то} \quad (16)$$

$$\upsilon = \frac{2L_I(\varphi_{св0} - h\varphi_{св.д})}{t_{упл}(1+h)}. \quad (17)$$

С учетом уравнения (10)

$$-dP = \frac{2l\eta(\varphi_{св0} - h\varphi_{св.д})dl}{K_{эф}t_{упл}(1+h)}. \quad (18)$$

Интегрирование уравнения (18) в пределах

$$0 \to L_I, \quad (19)$$

$$0{,}01 \text{ МПа} \to P_{нII}, \quad (20)$$

дает окончательно

$$\Delta P = \frac{L_I\eta\upsilon(\varphi_{св0} - h\varphi_{св.д})}{K_{эф}(1+h)}, \quad (21)$$

где $\eta = \eta_0 e^{\frac{E}{RT}}$ (E — энергия активации, R — универсальная газовая постоянная, T — температура, η_0 — предэкспоненциальная константа).

Поскольку отжим избытка связующего из полуфабриката со скоростью υ и прохождение полуфабрикатом участка уплотняющей части фильеры должны пройти за одно и то же время, то $\upsilon = \upsilon_{пр}$. Таким образом, с учетом последнего равенства выражение (21) примет вид

$$\Delta P = \frac{L_I\eta\upsilon_{пр}(\varphi_{св0} - h\varphi_{св.д})}{K_{эф}(1+h)}. \quad (22)$$

Рассчитаем геометрические характеристики фильеры (см. рис. 2) с учетом скорости протяжки и технологических свойств исходных компонентов полуфабриката.

Скорость протяжки в выражении (22) применительно к первому участку фильеры может быть рассчитана следующим образом (см. рис. 2):

$$\upsilon_{пр} = \frac{L_I}{t_I}. \quad (23)$$

Очевидно, что время t_I нахождения препрега в зоне I должно быть меньше времени вязкотекучего состояния связующего:

$$t_I < t_{втс} \ (t_{втс} = t_0 e^{U/RT}), \quad (24)$$

поэтому

$$\upsilon_{пр} > \frac{L_I}{t_0 e^{U/RT}}, \quad (25)$$

где t_0 — предэкспоненциальная константа.

Для того чтобы усилие протяжки, определяемое в зоне уплотнения силами трения, было минимальным, угол α (см. рис. 2) уплотняющей части фильеры выбирают из условия $\mathrm{tg}\alpha < f_{трI}$, при котором невозможно перемещение полуфабриката по наклонной поверхности в зоне I под действием $P_у$. Учитывая, что максимальный размер заходной части фильеры должен быть не меньше H_0, а ее минимальный размер $H_д$, находим

$$L_I = \frac{H_0 - H_д}{2\,\mathrm{tg}\alpha}. \quad (26)$$

Тогда с учетом выражений (25) и (26) уравнение (23) примет вид

$$\upsilon_{пр} > \frac{H_0 - H_д}{2t_0 e^{U/RT}\mathrm{tg}\alpha}. \quad (27)$$

Скорость протяжки в калибрующей зоне должна быть такой же, однако зависит от длины этой зоны и времени нахождения в ней формуемого профиля следующим образом

$$\upsilon_{пр} < \frac{L_I + L_{II}}{t_{выд}}. \quad (28)$$

За время выдержки $t_{выд}$ материал должен нагреться до температуры отверждения и отвердиться. Время выдержки

$$t_{выд} = t_{нагр} + t_{отв}. \quad (29)$$

Время нагрева вычисляем по уравнению нестационарной теплопроводности, которое имеет вид

$$t_{нагр} = 0{,}1\frac{H_д^2}{a}\left(\ln 1{,}27 - \ln\frac{T_ф - T_н}{T_ф - T_0}\right), \quad (30)$$

где a — коэффициент температуропроводности полуфабриката; $H_д$ — толщина детали; $T_н$ — тем-

пература нагрева; T_0 — начальная температура полуфабриката до входа в зону II фильеры; 1,27 — коэффициент формы профиля.

Время отверждения

$$t_{отв} = t_1 e^{U/RT}, \quad (31)$$

где t_1 — предэкспоненциальная константа процесса отверждения.

Тогда длина калибрующей зоны, в которой происходит отверждение связующего в препреге,

$$L_{II} > v_{пр} t_{выд} - L_I. \quad (32)$$

Полученные выражения (22), (27) и (32) связывают технологические параметры протяжки с технологическими характеристиками полуфабриката, его компонентов и геометрическими характеристиками фильеры.

Анализ выражения (22) показывает, что увеличение скорости протяжки приводит к возрастанию градиента давления вследствие того, что возрастает сопротивление вытеканию связующего, приводящее к повышению силы трения, а следовательно, и усилия протяжки. Повышение температуры фильеры значительно уменьшает $t_{втс}$, поэтому необходимо увеличение скорости протяжки, что приведет к возрастанию усилия протяжки.

Скорость протяжки определяет не только $N_{пр}$, но и длину калибровочной зоны фильеры: с увеличением $v_{пр}$ возрастает и L_{II}.

Выводы, вытекающие из анализа полученных выражений, хорошо подтверждаются экспериментальными данными, представленными в работе [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tickle J.* New materials and systems simplify thick pultrusion pressing // Plastics Design and Processing. 1977. Vol. 17. N 10. P. 33—36.
2. *Sumerak J. E.* Understanding pultrusion process variables // Modern Plastics. 1985. Vol. 62. N 3. P. 58—64.

В. А. ГОРЕЛОВ, канд. техн. наук
МГТУ "Станкин"

Формирование баз данных для автоматизированного выбора режимов резания на основе термомеханической модели стойкости инструмента

Модернизация предприятий авиационной промышленности России и мировых производителей газотурбинных двигателей, обусловленная увеличением экспорта продукции и расширением рынка высоких технологий, основана на развитии и внедрении CALS (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support) — непрерывной информационной поддержки жизненного цикла изделия (ЖЦИ) [1].

Одной из первоочередных задач CALS-технологий является обмен информацией на дорогостоящих автоматизированных этапах конструирования, проектирования технологических процессов и технологической подготовки производства деталей на станках с ЧПУ инструментами, оснащенными сменными многогранными пластинами (СМП). Действующая на российских машиностроительных предприятиях нормативно-техническая документация на процессы обработки резанием в значительной мере устарела и не отражает вопросов перехода на новые информационные технологии, не говоря уже о требованиях международных стандартов на представление информации.

Информационное обеспечение CALS базируется на реализованных и разрабатываемых информационных системах: САПР-К, САПР-Т, АСУТП, АСУ и других автоматизированных функциональных системах. Системы технологического проектирования обладают свойством по мере внедрения и эксплуатации аккумулировать современные технологические знания и опыт передовых предприятий в базах данных (БД). Последние содержат классификаторы, технологии-аналоги, стандарты, технологическое оборудование, оснастки, средства измерения, руководящие материалы, справочники, словари, нормативы на режимы резания и т. д.

Не вызывает технических сложностей создание БД на оборудование, станочные приспособления, стандартные инструменты и применяемые на предприятии СОТС. Более сложной задачей является создание БД на режимы резания в зависимости от геометрии обрабатываемых поверхностей, когда инструмент при обработке совершает по программе сложные кинематические движения по нескольким координатам.

Функции, связанные с назначением режимов резания для конкретной операции, решаются в САПР-Т, как правило, с помощью табличных значений режимов резания, полученных экспериментально при других условиях резания, не соответствующих конкрет-

ной операции. Поэтому возникает большое количество ошибок и исправлений как непосредственно в производстве, так и при нормировании технологических операций, для предотвращения которых необходима отладка операций и уточнение режимов технологами и операторами станков с ЧПУ.

Создание БД на режимы резания представляет весьма трудоемкую и материалоемкую задачу, если руководствоваться ранее известными методами построения эмпирических стойкостных зависимостей от режимов резания и других технологических условий обработки.

На рис. 1 приведен алгоритм формирования БД, необходимых для выбора режимов резания, основанный на новом термосиловом подходе к расчету стойкости режущего инструмента.

Общий износ *k* за время работы инструмента, используя метод накопления повреждений, можно найти при помощи суммирования элементарных износов, вызванных силами *P* и температурами *T*, взаимодействующими на бесконечно малом отрезке времени *dt*:

$$k(t) = \int_0^t f[P(t),\ T(t)]\,dt. \qquad (1)$$

Тогда стойкость инструмента *t* в зависимости от действующих сил и температур на контактных поверхностях инструмента при заданном критерии износа инструмента представим в виде

$$t = \sum_{i=1}^{n} t_i = R \sum_{i=1}^{n} \frac{k_i}{P_i^r + P_i \exp^{\alpha T}},$$

$$\text{при } k_i = \frac{h_i}{[h_з]} - h_{\text{приработки}}, \qquad (2)$$

где *R*, *r* — эмпирические коэффициенты пропорциональности, определяемые для заданного обрабатываемого материала и инструментального материала с различной геометрией инструмента;

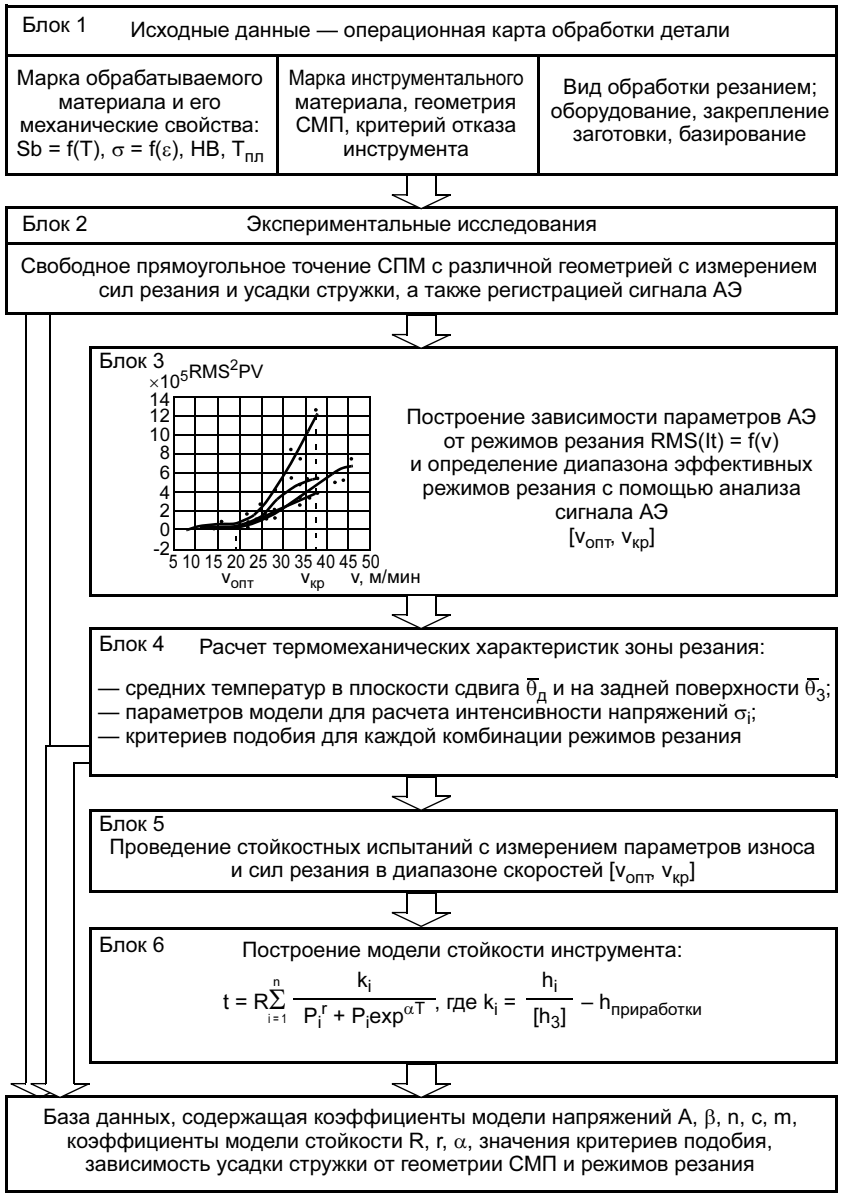


Рис. 1. Алгоритм формирования БД для автоматизированного выбора режимов резания

α — коэффициент, пропорциональный энергии активации доминирующих процессов в зоне резания, вызванных температурой на контактных поверхностях; *i* — номер отрезка времени, на котором определяется мгновенное значение интенсивности изнашивания. Число отрезков $n = [h_з]/0{,}01$ ($h_з$ — максимально допустимый износ режущего инструмента по задней поверхности; знаменатель "0,01" соответствует точности, с которой измерительное оборудование позволяет измерить износ инструмента).

Функция (1), характеризующая накопленную поврежденность инструмента, представляет предельную поверхность в области параметров *P*, *T* и *t*, характеризующую потерю инструментом работоспособности, соответствующей заданной предельной величине износа инструмента. Т. е. при изменении параметров в процессе обработки накапливаются повреждения, пропорциональные

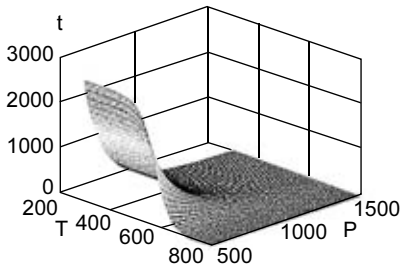


Рис. 2. Функция, характеризующая накопленную поврежденность инструмента и позволяющая оценить потерю работоспособности инструмента в условиях изменения напряженного состояния под действием силовых нагрузок с учетом температуры резания

интенсивности износа, и при достижении функцией поврежденности k ее предельной величины k_0 работоспособность инструмента будет исчерпана. Время, за которое система достигнет поврежденности $k = k_0$, и есть стойкость инструмента. Функция (1) имеет трехмерное представление в координатах сила резания—температура—время (рис. 2). Эта поверхность описывается нелинейной зависимостью

$$k = f(P, T, t) = \\ = \frac{1}{nR} \sum_{i=1}^{n} (P_i^r + P_i \exp^{\alpha T_i}) t_i. \quad (3)$$

Зависимость (3) получена из принципа линейного суммирования повреждений, когда в процессе обработки изменяются сила резания и температура. Эти изменения вызваны за счет как изменения режимов резания, так и геометрии режущего клина при износе. Эмпирические параметры разработанной модели определяются на основании данных, полученных при продольном точении деталей. При этом измеряются составляющие сил резания и значение высоты фаски износа по задней грани, накопленные за время обработки t_i.

В качестве исходных данных для определения параметров модели (2) используется информация из операционной карты обработки детали (см. рис. 1, блок *1*): марка и механические свойства обрабатываемого материала, марка инструментального материала, геометрия инструмента, максимально допустимый износ инструмента (критерий отказа инструмента), вид обработки резанием, особенности оборудования, закрепления заготовки, базирование.

Перед тем, как определять параметры модели (2), проводится расчет средней температуры в плоскости сдвига (температуры деформации $\bar{\theta}_д$) и температур на передней и задней поверхностях контакта инструмента с заготовкой [2] (см. рис. 1, блок *4*).

Недостающая для определения параметров модели стойкости инструмента зависимость износа инструмента от времени резания получается при проведении стойкостных испытаний косоугольным резанием (см. рис. 1, блок *5*) согласно предварительно построенному плану эксперимента.

Установлено, что необходимо и достаточно семь стойкостных экспериментов для описания всего диапазона сил и температур, возникающих при резании на режимах из эффективного диапазона.

Так, например, для обработки точением сплава ХН73МБТЮ инструментом с СМП из твердого сплава IC9025 фирмы Iscar на скорости υ = 15÷35 м/мин с глубиной t = 1 мм и подачей S = 0,2 мм/об с использованием в качестве СОТС ЭГТ при заданном предельном допустимом износе инструмента по задней поверхности $[h_з]$ = 0,39 мм модель для расчета стойкости будет выглядеть следующим образом:

$$t = 21 \cdot 10^{15} \times \\ \times \sum_{i=1}^{n} \frac{k_i}{P_i^{4,44} + P_i \exp^{0,036T}}.$$

Так называемый эффективный диапазон режимов резания выбирается на начальном этапе формирования БД, когда проводят эксперименты по свободному прямоугольному точению указанного обрабатываемого материала инструментом с геометрией в соответствии с операционной картой детали в большом диапазоне режимов резания (см. рис. 1, блок *2*). При этом измеряются силы резания и усадка стружки, а также регистрируются параметры акустической эмиссии (АЭ). Как показали результаты исследования [3], параметры АЭ хорошо коррелируют с интенсивностью изнашивания инструмента, поэтому, анализируя график $RMS = f(\upsilon)$, можно выбрать диапазон эффективных режимов резания — между оптимальной и критической скоростями резания с точки зрения интенсивности изнашивания $[\upsilon_{опт}, \upsilon_{кр}]$ (см. рис. 1, блок *3*). Все дальнейшие исследования целесообразно проводить только в этом диапазоне режимов резания.

Полученные коэффициенты модели (3) R, r, α являются общими для пары инструментальный — обрабатываемый материал и заносятся в БД. Полученная функция $T_{ст} = f(P, T)$ может быть оптимизирована с учетом заданных критериев себестоимости, производительности и качества обработки, и могут быть рекомендованы режимы резания, соответствующие оптимальной стойкости инструмента.

Полученная БД может использоваться для автоматизированного выбора режимов резания, например, следующим образом. Для определенных условий технологической операции резания рассчитывают температуры деформации, температуры на передней и задней поверхностях инструмента для всего диапазона режимов резания. Затем значения сил резания определяют в результате трудоемких стойкост-

ных испытаний либо рассчитывают с помощью существующих методик. Тогда и на всем диапазоне режимов резания можно прогнозировать износ инструмента в конкретный момент времени и стойкость инструмента при заданном критерии его отказа на конкретных режимах резания.

При использовании модели (3) одной из главных целей повышения эффективности автоматизированных процессов выбора режимов резания является снижение количества трудоемких и материалоемких стойкостных испытаний для определения сил резания. Однако, как показывает анализ работ по механике резания, в настоящее время не существует единого подхода к расчету сил при свободном косоугольном резании и резании инструментом со сложной геометрией, например, инструментом, оснащенным СМП. В общем случае эта задача сводится к исследованию связанной термомеханической задачи деформирования материала в условиях высоких температур, больших деформаций и скоростей деформирования, переменных по длине режущей кромки. Геометрия косоугольного резания настолько сложна, что делает невозможным простое применение для нее соотношений прямоугольного резания. Поэтому необходимо иметь термомеханическую модель поведения материала, учитывающую реальные условия нагружения в зоне больших пластических деформаций.

Общий вид зависимости интенсивности напряжений σ_i в плоскости сдвига от уровня интенсивности деформации ε_i, скорости интенсивности деформирования $\dot{\bar{\varepsilon}}_i$ и температуры в плоскости сдвига $\bar{\theta}_д$ принимается согласно модели Джонсона—Кука [4]:

$$\pi_\sigma = \sigma_i/\sigma_т = A(1 + \beta\,\bar{\varepsilon}_i^{\,n}) \times$$
$$\times \left(1 + c\lg\frac{\dot{\bar{\varepsilon}}_i}{\dot{\bar{\varepsilon}}_{io}}\right)\left(\frac{\theta-\theta_0}{1-\theta_0}\right)^m, \quad (4)$$

где $\sigma_т$ — предел текучести; ε_i — интенсивность пластической деформации; $\frac{\dot{\bar{\varepsilon}}_i}{\dot{\bar{\varepsilon}}_{i0}}$ — скорость интенсивности пластической деформации, приведенная к базовой скорости пластической деформации; θ — безразмерная температура в зоне резания, определяемая как средняя температура деформации $\bar{\theta}_д$, отнесенная к температуре плавления обрабатываемого материала $T_{пл}$; θ_0 — безразмерная температура окружающей среды, определяемая отношением комнатной температуры к температуре плавления обрабатываемого материала.

В основе предложенного подхода к формированию БД лежит теория подобия термомеханических процессов пластического деформирования при резании. С помощью методов теории подобия решена проблема определения таких параметров зоны свободного косоугольного резания и резания инструментом со сложной геометрией, как усадка стружки, нормальный угол наклона плоскости сдвига и угол трения, необходимые для расчета сил косоугольного резания.

Предполагается, что процессы пластического деформирования при резании будут подобны, если выполняется равенство трех критериев подобия: интенсивности деформации в условной плоскости сдвига — линейной ε_i или угловой γ_s, относительной скорости деформирования (отнесенной к скорости деформирования базового процесса) $\dot{\varepsilon}_i/\dot{\varepsilon}_{i0} = \dot{\gamma}_s/\dot{\gamma}_{s0}$ и относительной температуры $\bar{\theta}_д/T_{пл}$.

Поскольку подобие процессов пластического деформирования предполагает равенство геометрических параметров в плоскости сдвига для процесса косоугольного резания и базового, то для расчета сил косоугольного резания недостающие параметры (угол трения, угол наклона плоскости сдвига и усадку стружки) берем из подобного ему процесса прямоугольного резания. В качестве базового процесса для сравнения используется процесс прямоугольного свободного резания, для которого силовые и геометрические параметры (усадка стружки, угол трения, угол наклона плоскости сдвига и т. д.) определены экспериментально или рассчитаны по известным формулам.

Параметры модели A, β, c, n, m для расчета интенсивности напряжений σ_i в плоскости сдвига, а также критерии подобия рассчитывают с помощью измеренных сил резания, усадки стружки и рассчитанных температур деформации на всем диапазоне режимов резания (см. рис. 1, блок *4*).

Полученные коэффициенты являются общими для пары инструментальный—обрабатываемый материал и используются для расчета интенсивности напряжений при определении сил резания при токарной обработке инструментом со сложной геометрией.

Коэффициенты модели (3) рассчитывают на заключительном этапе (см. рис. 1, блок *6*) и также заносят в БД. Для каждой отдельной пары инструментальный—обрабатываемый материал формируется БД по представленному алгоритму (см. рис. 1).

В современных условиях, когда предприятиям предлагается большая номенклатура импортных и отечественных инструментальных материалов, СОТС и др., объективную и быструю оценку их технологических свойств мож-

но получить с помощью разработанной методики термосиловой оценки стойкости инструмента с использованием автоматизированной многопараметровой измерительной системы. Такая работа проводилась на кафедре "ВТО" МГТУ "Станкин", на ФГУП «ММПП "Салют"», в НИИД и др. Разработанный термосиловой метод оценки позволяет с большей точностью установить технологические возможности СОТС, инструментальных и обрабатываемых материалов, СМП различных геометрий, при этом на 80 % уменьшить количество материалоемких и трудоемких испытаний резанием по сравнению с традиционными методиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *CALS* (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support — непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделий) в авиастроении / А. Г. Братухин, Ю. В. Давыдов, Ю. С. Елисеев и др. М.: Изд-во МАИ, 2000. 303 с.
2. *Горелов В. А.* Совершенствование технологии обработки жаропрочных сплавов на основе теоретических методов диагностики процесса резания // Высокие технологии: тенденции развития. Харьков, 2003. С. 64—71.
3. *Подураев В. Н., Барзов А. А., Горелов В. А.* Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии. М.: Машиностроение, 1988. 53 с.
4. *Sartkulvanich P., Altan T.* Effects of flow stress and friction models in finite ekement simulation of orthogonal cutting — a sensitivity analysis // Machine science and Technology. 2005. N 9. P. 26.

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

Модель взаимодействия абразивного зерна и обрабатываемого материала при шлифовании. Схема стружкообразования

Взаимодействие абразивного зерна и обрабатываемого материала — очень сложный и многогранный механизм, на эффективность которого влияет множество факторов, возникающих во время обработки. Степень их воздействия на процесс шлифования, как правило, определяется экспериментально в реально сложившихся производственных условиях. При этом затрудняются отдельное изучение той или иной стороны процесса и оценка степени влияния выделенного фактора, так как на механизм микрорезания воздействует комплекс посторонних факторов, являющихся "помехами" при проведении эксперимента и трудно поддающихся учету. Поэтому стараются максимально выделить исследуемую сторону процесса и снизить влияние "помех", например, нанесение на образец царапин единичным зерном при изучении процесса микрорезания. Но полностью избавиться от влияния посторонних факторов при таком подходе не удается — эксперимент есть эксперимент. По мнению авторов, наиболее приемлемым методом исследования является построение теоретической модели, отражающей только исследуемые стороны процесса. А проведение эксперимента необходимо лишь на заключительной стадии с целью подтверждения или опровержения получаемых при моделировании результатов.

Следуя данным рассуждениям, разработана математическая модель взаимодействия абразивного зерна и обрабатываемого материала, отражающая характер контакта и конечность скорости распространения ударной волны в материале. Выводы, полученные в ходе моделирования, проанализированы и сопоставлены с экспериментальными данными, накопленными в результате многолетней работы авторов и других работ.

Суть модели заключается в следующем. Тело в форме шара радиуса ρ частично погружено в среду на глубину h (рис. 1) и является для нее источником возмущений. Среда представляет часть пространства, ограниченного плоскостью, носит энергетический характер и является аналогом обрабатываемого материала.

Основное ее свойство — это проводимость возмущений с фиксированной скоростью I. Шар является аналогом абразивного зерна, а возмущения — аналогом контактного давления. При моделировании принято, что контактное давление в любой точке взаимодействующей поверхности шара постоянно, возмущения сообщаются среде в направлении нормали к поверхности тела и в дальнейшем передаются вдоль линий, называемых лучами, ортогональных перемещающемуся в пространстве фронту волны возмущений. Геометрия лучей определяется параметром δ, который представляет отношение скоростей звука в недеформируемом состоянии и состоянии пластического деформирования обрабатываемого материала. Таким образом, по-

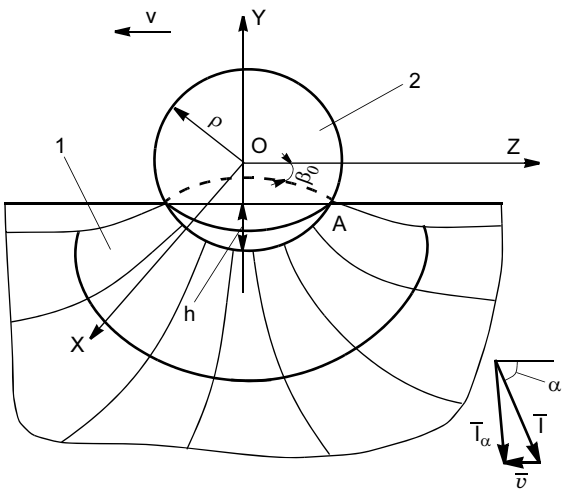


Рис. 1. Модель взаимодействия абразивного зерна и обрабатываемого материала (в произвольный момент времени): *1* — среда; *2* — твердое тело в форме шара

строенная модель основана на лучевых методах теории распространения волн [1], хорошо зарекомендовавших себя при исследовании ударных процессов.

Наличие относительного движения среды и твердого тела со скоростью υ приводит к изменению скорости передачи возмущений относительно шара, результирующее значение которой в зависимости от направления передачи определится из выражения

$$I_p = \sqrt{I^2 - 2I\upsilon\cos\alpha + \upsilon^2}, \qquad (1)$$

где α — угол наклона вектора I к оси OZ.

Изменение проводимости среды является причиной неравномерного отвода передаваемой телом энергии из различных частей среды. В результате происходит изменение напряженного состояния в окрестности шара, и в каждом элементарном объеме накапливается разное количество энергии:

$$\theta = \frac{dQ}{dt} = \frac{J(X, Y, Z)}{I_p}, \qquad (2)$$

где dQ — количество энергии, накопленное в объеме dW; $J(X, Y, Z)$ — значение плотности потока возмущений в данной точке пространства.

На рис. 2 приведено положение лучей передачи возмущений и линии равнонапряженного состояния для различных соотношений υ/I, полученных в результате моделирования полученных зависимостей на ЭВМ в среде для имитационного моделирования MATLAB.

Из анализа графиков следует, что с увеличением скорости обработки изменяется геометрия лучей. При этом в области среды, находящейся вблизи фронтальной части шара, наблюдается следующий эффект. Происходит смещение в сторону шара точек пересечения лучей с границей среды. Ухудшаются условия для отвода и рассеяния энергии, вследствие чего осуществляется ее накопление в данной области, о чем свидетельствует смещение линий равнонапряженного состояния вдоль оси OY. При определенном значении υ/I (в рассматриваемом случае около 0,45, см. рис. 2, *г*) появляется линия, являющаяся огибающей для семейства лучей. Математический анализ показывает, что вблизи данной линии концентрируется большое количество энергии, "подводимой" со стороны шара. С противоположной стороны линии концентрация энергии равна нулю, так как данную область лучи не пересекают. Таким образом, огибающая является границей, при переходе через которую происходит резкое изменение параметров напряженного состояния, т. е. является ударной волной. Причем скорость ее движения меньше величины I. Очевидно, с данным явлением связан тот факт, что процесс стружкообразования при шлифовании носит адиабатический характер [2].

В процессе моделирования были проанализированы факторы, влияющие на формирование ударной волны. Установлено, что увеличение глубины h/ρ внедрения зерна вызывает смещение условия формирования волны в сторону меньших скоростей. В научно-технической литературе данный факт известен как эффект смещения начала стружкообразования в сторону меньшей глубины внедрения абразива при увеличении скорости резания [2, 3]. Также установили, что описываемый эффект напрямую связан с углом β_0 между нормалью к поверхности зерна в крайней точке контакта *A* и поверхностью обрабатываемого материала (см. рис. 1), а не с величиной заглубления. Увеличение глубины внедрения вызывает уменьшение угла β_0, что положительно влияет на условие формирования ударной волны.

Аналогичным образом сказывается увеличение величины δ. Поэтому можно предположить, что процесс образования стружек при шлифовании более пластичных материалов начинается при более низких скоростях обработки. Что касается влияния размера абразивного зерна на начальную скорость образования ударной волны, то установлено, что форма линий равнонапряженного состояния не изменяется, происходит лишь изменение их размеров пропорционально изменению радиуса шара, а общее количество передаваемой в среду энергии изменяется пропорционально квадрату изменения размера режущего инструмента. Таким образом, при изменении размера абразивного зерна условия для формирования ударной волны остаются прежними, но существенно изменяется нагрузка на инструмент.

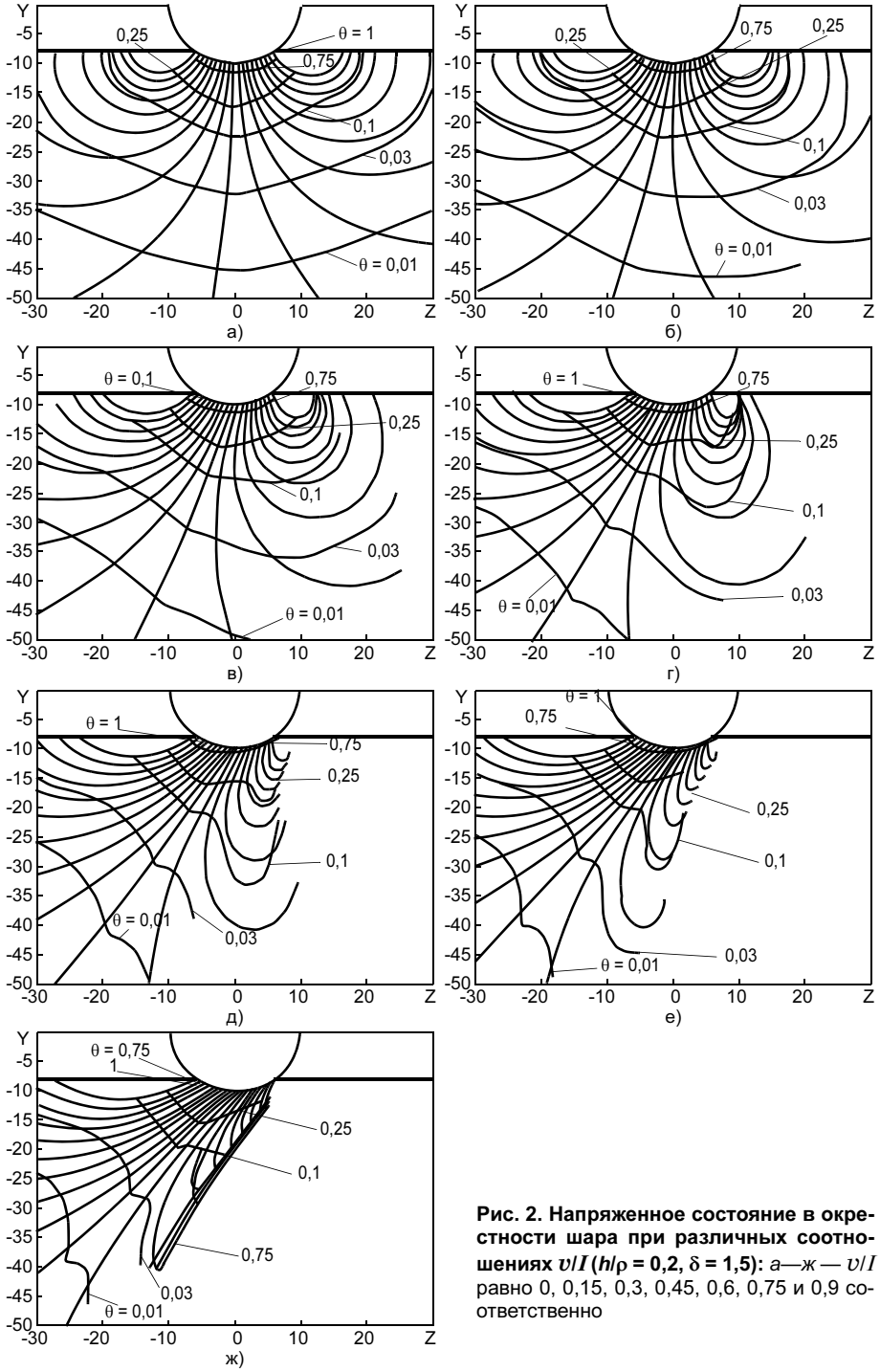


Рис. 2. Напряженное состояние в окрестности шара при различных соотношениях v/I (h/ρ = 0,2, δ = 1,5): *а—ж* — v/I равно 0, 0,15, 0,3, 0,45, 0,6, 0,75 и 0,9 соответственно

Дальнейшее повышение скорости относительного движения среды и шара приводит к увеличению протяженности огибающей и более четкому проявлению ударной волны. В то же время в области вблизи поверхности шара улучшаются условия для отвода энергии, поэтому линии равнонапряженного состояния приближаются вплотную к поверхности. Применительно к процессу шлифования можно сказать, что в этом случае давления на обрабатываемый материал недостаточно для того, чтобы вызвать пластическую деформацию, поэтому начинает увеличиваться усилие на зерно. С увеличением усилия материал начинает деформироваться и нагрузка на зерно падает. Часть энергии отводится, и усилия вновь увеличиваются и так далее. Отсюда эффект неустойчивости при шлифовании.

Накопление энергии перед абразивным зерном в связи с ухудшением условий для ее отвода приводит к снижению давления на материал, необходимого для его пластического деформирования. Поэтому уменьшаются величины составляющих P_z и P_y силы резания. Но вследствие того, что условия отвода энергии в части материала, находящейся непосредственно под зерном, лучше, чем во фронтальной части, составляющая P_z уменьшается более интенсивно, чем P_y, а значит, уменьшается соотношение P_z/P_y, что экспериментально подтверждено в работах [2—6] и ряда других исследователей.

Энергия, отводимая из области среды вблизи фронтальной части шара, суммируется с энергией, передаваемой боковой и нижней частями поверхности. Поэтому размеры линий увеличиваются. В конечном итоге накопленная энергия в боковой части шара высвобождается в виде всплеска в направлении, самом благоприятном для ее выхода, т. е. в направлении поверхности среды. Данное явление при шлифовании означает начало процесса стружкообразования. Высвобождение энергии в боковых окрестностях шара приводит к разупрочнению, энергетической разрядке. В нижней части шара такой возможности для выплеска нет, так как в этом случае все направления для течения практически равнозначны. Поэтому при абразивной обработке в данной части обрабатываемого материала можно ожидать максимального изменения структуры по сравнению с областью вблизи его поверхности. Это положение подтверждается результатами исследований в работе [1], где отмечается, что интен-

сивность наклепа на дне риски гораздо выше, чем в зоне наплывов.

С учетом сказанного, можно сделать окончательный вывод, что при скоростном шлифовании стружка образуется в боковой части зерна (рис. 3). Во время контакта абразивного зерна с обрабатываемым материалом образуется ударная волна, движущаяся вместе с режущим элементом. Так как волна обладает огромной энергией, которая непрерывно подводится со стороны зерна, то при прохождении через ее фронт материал переходит из твердого состояния в пластическое и в дальнейшем вытесняется в боковых частях зерна. Вытесненный материал мгновенно затвердевает, так как уже не находится в условиях всестороннего сжатия. Можно предположить несколько схем затвердевания.

1. Затвердевание в момент вытеснения материала (см. рис. 3, зона I), при этом сил инерции недостаточно, чтобы стружка отделилась от материала. Происходит ее неполное отделение и зависание в области наплыва. Окончательное отделение осуществляется следующим абразивным зерном. При этом возможно образование рваных краев наплывов по краям риски, например, как на рис. 4 [1].

2. Затвердевание непосредственно после вытеснения материала или в момент вытеснения (см. рис. 3, зона II), причем сил инерции стружки достаточно для ее отрыва от основного материала. При этом возможно образование сливной стружки.

3. Затвердевание через некоторое время после вытеснения (см. рис. 3, зона III). В этом случае материал стружки разлетается на мелкие частицы, так как находится в состоянии пластичности, и сил притяжения частиц недостаточно для преодоления сил инерции. После чего осуществляется переход стружек в твердую фазу. Наиболее вероятная форма при этом — форма шара, так как соответствует

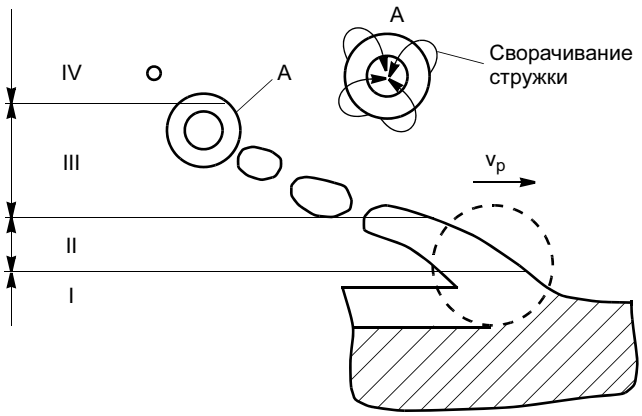


Рис. 3. Зоны затвердевания стружки

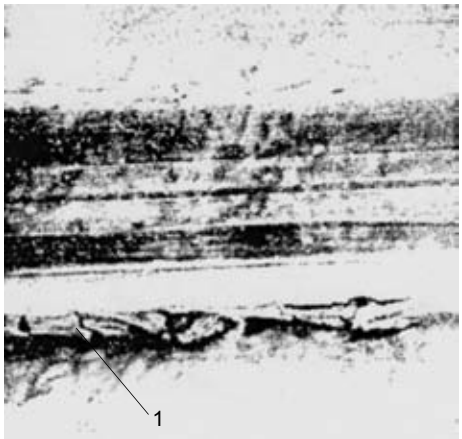


Рис. 4. Участок риски, образованной на образце из стали Р18 при скорости резания 160 м/с: *1* — рваные края наплывов

минимуму поверхностной энергии. При этом происходит как бы свертывание разлетающихся частиц. Поэтому получаемые на практике стружки, имеющие форму шара, внутри полые.

4. Затвердевание при химическом взаимодействии с окружающей средой (см. рис. 3, зона IV), в результате чего возможно образование искр. Так как материал вытесняется в боковые части зерна, то ожидается увеличение угла разлета искр. Подтверждением сказанного являются результаты исследований в работе [1], показывающие, что при увеличении скорости резания образуется веерообразная форма искр с углом расхождения свыше 90°.

Необходимо отметить, что в реальных условиях возможна реализация сразу нескольких видов затвердевания. Хаотическое распределение в связке, разброс размеров и формы зерен приводит к тому, что в окрестности каждого элементарного режущего выступа складываются индивидуальные условия для вытеснения материала, что в конечном итоге и определяет разнообразие форм стружек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Подильчук Ю. Н., Рубцов О. К.* Лучевые методы в теории распространения и рассеивания волн. Киев: Наукова думка, 1988. 220 с.
2. *Филимонов Л. Н.* Высокоскоростное шлифование. Л.: Машиностроение, 1979. 248 с.
3. *Байкалов А. К.* Введение в теорию шлифования материалов. Киев: Наукова думка, 1978. 207 с.
4. *Евсеев Д. Г., Сальников А. Н.* Физические основы процесса шлифования. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1978. 128 с.
5. *Евсеев Д. Г.* Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1975. 204 с.
6. *Пилинский В. И., Донец И. П.* Производительность, качество и эффективность скоростного шлифования. М.: Машиностроение, 1986. 80 с.

Ж. В. ШЕСТАКОВА, аспирант, А. В. ШАШОК, канд. техн. наук
Рубцовский индустриальный институт Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова

Оценка надежности эксплуатации режущего инструмента, применяемого на операциях торцевого фрезерования

Недостаточный уровень надежности технологических процессов приводит к увеличению брака обрабатываемых деталей и повышению затрат на устранение отказов режущего инструмента и оборудования. Поэтому необходимо прогнозировать уровень надежности на стадии проектирования технологических процессов преимущественно без экспериментальных проверок, так как они чрезвычайно дороги и часто неосуществимы. Прогнозирование на базе экспериментов при условии, что в проектируемом технологическом процессе предусмотрено применение специального оборудования, инструмента, потребует фактически внедрения этого процесса. Учитывая, что при запуске в производство нового изделия требуется разработка большого количества технологических процессов, становится очевидным, что прогнозирование в этом случае фактически неосуществимо. Поэтому оценка уровня надежности технологических процессов на стадии их проектирования расчетными методами является актуальной.

Технологические процессы металлообработки представляют сложные системы, состоящие из большого числа подсистем. Одной из основных подсистем, определяющих общую надежность технологических процессов, является подсистема режущего инструмента.

Анализ существующих методов оценки надежности показал, что в настоящее время показатели надежности режущего инструмента оценивают преимущественно методами параметрической теории надежности. Несмотря на универсальность данных методов, они имеют ряд недостатков, среди которых наиболее существенным является необходимость проведения значительного количества испытаний для определения показателей надежности. Одним из возможных направлений решения данной проблемы является моделирование процессов развития преимущественных отказов режущего инструмента системами массового обслуживания. Это позволит получать гарантированные "нижние" оценки надежности эксплуатации режущего инструмента.

В данной работе предлагается единая модель надежности для оценки вероятности безотказной работы режущих элементов торцовых фрез по преимущественным видам отказов, имитирующая процессы возникновения данных отказов. В качестве преимущественных видов отказов, возникновение которых возможно в процессе эксплуатации торцовых фрез, приняли адгезионный износ по передней и задней поверхностям режущего элемента и усталостное разрушение режущей части инструмента.

Для разработки модели, оценивающей вероятность отсутствия рассматриваемого вида отказа, использовали аппарат теории массового обслуживания [1] при следующих основных допущениях:

— процессы возникновения какого-либо вида отказов рассматривают изолированно друг от друга;

— потоки случайных событий, влияющих на образование рассматриваемого отказа режущего инструмента, считают ординарными, стационарными и без последействия.

В качестве исходной при разработке модели надежности функционирования режущих элементов торцовых фрез выбрали многоканальную систему массового обслуживания (СМО) с очередью на обслуживание при следующих основных допущениях:

— требованием на обслуживание в данной системе является инструмент, применяемый на операциях торцевого фрезерования;

— обслуживанием инструмента является его выведение из строя в процессе обработки партии деталей в результате возникновения рассматриваемого преимущественного вида отказа;

— отказом торцовой фрезы считается выведение из строя хотя бы одного зуба;

— под каналами обслуживания понимают элементы зуба фрезы, наиболее критичные к отказам;

— время между поступлениями требований на обслуживание равно среднему времени нагружения инструмента при обработке партии заготовок;

— среднее время обслуживания в каналах одинаково и равно среднему времени эксплуатации инструмента до возникновения определенного вида

преимущественного отказа, его принимают равным среднему числу заготовок, обработка которых возможна до возникновения рассматриваемого отказа.

Если время нагружения инструмента при обработке партии заготовок оказывается меньше, чем время, за которое возникает рассматриваемый отказ, то инструмент получает "отказ в обслуживании" и поступает в "очередь на обслуживание". Время первого, второго, третьего и т. д. "ожидания в очереди на обслуживание"— это время нагружения инструмента при обработке первой, второй, третьей и т. д. партии заготовок. При нагружении инструмента в ходе обработки второй, третьей и т. д. партии заготовок вероятность возникновения отказов возрастает. Потоки событий, переводящие систему из состояния в состояние, считают ординарными, стационарными и без последействия.

Граф состояний СМО с очередями на обслуживание включает следующие состояния инструмента (рис. 1): "*0*" — инструмент "готов к обслуживанию" или "обслужен", что соответствует выведению его из строя в результате отказа; "*1*" — инструмент обслуживается во всех каналах при обработке первой партии заготовок или выведен из строя при обработке 2-й партии заготовок; "*2*" — инструмент обслуживается во всех каналах при обработке 2-й партии заготовок и выведен из строя при обработке 3-й партии заготовок; "*k*" — инструмент обслуживается во всех каналах при обработке *k*-й партии заготовок и выведен из строя при обработке (*k* + 1)-й партии заготовок.

Интенсивности потоков событий, переводящих СМО из состояния "*0*" в состояние "*k*" и обратно

$$\lambda_{0.1.i} = \lambda_{1.2.i} = \ldots = \lambda_{k-1.k.i} = \frac{1}{N_n},$$

$$\lambda_{1.0.i} = \lambda_{2.1.i} = \ldots = \lambda_{k.k-1.i} = \frac{m_i}{N_i}, \qquad (1)$$

$$\mu_{2.1.i} = \frac{\lambda^2_{2.1.i}}{\lambda_{0.1}}, \quad \mu_{3.2} = 2\frac{\lambda^2_{2.1.i}}{\lambda_{0.1}}, \ldots, \mu_{k.k-1.i} = (k-1)\frac{\lambda^2_{2.1.i}}{\lambda_{0.1}},$$

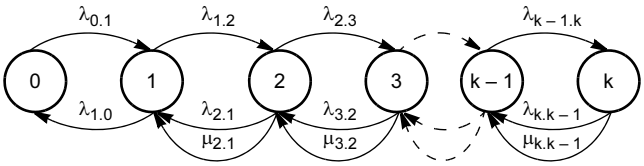


Рис. 1. Граф состояний СМО, моделирующий работу режущего инструмента

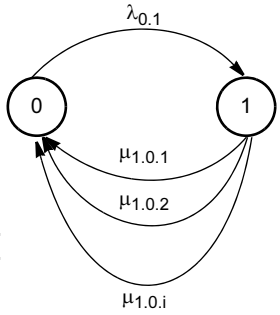


Рис. 2. Граф состояний СМО, моделирующий одновременное развитие всех видов отказов

где *i* — общее число преимущественных видов отказов, возникновение которых возможно в процессе эксплуатации торцовых фрез: адгезионный износ задней поверхности (*i* = 1), адгезионный износ передней поверхности (*i* = 2), усталостное разрушение режущей части инструмента (*i* = 3); N_n — число заготовок в партии; m_i — число элементов зуба фрезы, наиболее критичных к возникновению *i*-го отказа; N_i — среднее число заготовок, обработка которых возможна до возникновения *i*-го отказа.

Решая систему уравнений Колмогорова, описывающую функционирование СМО в стационарном режиме, с учетом выражений (1), получим выражение для вычисления вероятности отсутствия *i*-го вида преимущественного отказа:

$$P_{б.i} = 1 - \left\{1 + \rho_i + \frac{\rho_i^3}{1+\rho_i} + \frac{\rho_i^5}{(1+\rho_i)(2+\rho_i)} + \frac{\rho_i^7}{(1+\rho_i)(2+\rho_i)(3+\rho_i)} + \ldots\right\}^{-1}, \qquad (2)$$

где $\rho_i = \lambda_{0.1.i}/\lambda_{1.0.i}$.

Для оценки вероятности безотказной работы торцовых фрез по условию одновременного отсутствия рассматриваемых отказов использовали многоканальную СМО с двумя состояниями. Каждый канал моделирует развитие определенного вида отказа и представляет одноканальную систему-аналог, полученную в результате свертки многоканальной СМО. Граф состояний данной СМО приведен на рис. 2.

Требованием на обслуживание в данной системе является инструмент, применяемый на операциях торцевого фрезерования. Под обслуживанием требования понимается выведение инструмента из строя в ходе эксплуатации в результате возникновения преимущественных видов отказов. Возможны следующие состояния системы: "*0*" — состояние готовности системы к эксплуатации или завершенной эксплуатации; "*1*" — состояние нагружения системы при эксплуатации.

Параметры данной СМО определяют по следующим формулам:

$$\lambda_{0.1} = \frac{1}{N_n},$$

$$\mu_{1.0.i} = \lambda_{0.1}\frac{1 - P_{б.i}}{P_{б.i}}. \qquad (3)$$

Вероятность безотказной работы инструмента $P_б$ — это вероятность P_1 состояния "*1*". Функционирование данной системы-аналога во времени описывается системой уравнений Колмогорова, в результате решения которой получим искомую вероятность безотказной работы режущего инструмента:

$$P_1 = \frac{1}{B_m}(1 + (B_m - 1)\exp(-B_m)),$$

$$B_m = \sum_{i=1}^{L_m}\frac{1}{P_{б.i}} - (L_m - 1), \qquad (4)$$

где $P_{б.i}$ — вероятность отсутствия *i*-го вида преимущественного отказа, определяемая по выражению (2); L_m — число преимущественных видов отказов, возникающих в процессе эксплуатации режущего инструмента.

Для оценки среднего числа заготовок N_i, обработка которых возможна до возникновения *i*-го отказа, разработали физико-математические модели.

Количество деталей, обработка которых возможна до возникновения отказа по критерию предельно допустимого адгезионного износа по задней поверхности, оценивали при следующих основных допущениях:

— количество деталей, обработка которых возможна до достижения величины [*h*], определяется зависимостью

$$N_1 = \frac{[h]}{h}, \qquad (5)$$

где *h* — приращение площадки износа за время контакта инструмента и обрабатываемой детали;

— основным видом износа зуба торцовой фрезы является адгезионный износ по задней поверхности;

— напряженное состояние режущей части инструмента является плоским;

— критерием износа зуба фрезы является образование на его задней поверхности площадки износа предельно допустимой шириной [*h*];

— средняя температура на площадке физического контакта задней поверхности режущего инструмента с материалом обрабатываемой заготовки постоянна в течение времени контакта и определяется в соответствии с алгоритмом теплофизического анализа, рассмотренного в работе [2]:

$$\Theta = (1 + c)\Theta_д T_и + \frac{0,1}{\lambda_м}\sqrt{\frac{\omega h_0}{\upsilon}}(q_m - 1,82q_д), \qquad (6)$$

где $\Theta_д$ — средняя температура деформации обрабатываемого материала; $\lambda_м$, ω — теплопроводность и температуропроводность обрабатываемого материала соответственно; h_0 — ширина площадки физического контакта задней поверхности зуба фрезы с обрабатываемым материалом; υ — скорость резания; q_m — плотность теплового потока от сил трения на задней поверхности; $q_д$ — плотность теплового потока от деформации обрабатываемого материала; *c*, $T_и$ — безразмерные коэффициенты;

— материалы режущей части инструмента и обрабатываемой заготовки в зоне резания считаются жесткопластичными и для всей этой зоны характеризуются постоянными значениями напряжений текучести инструментального σ_{si} и обрабатываемого $\sigma_{sм}$ материалов, которые для практических расчетов можно принять:

$$\sigma_{si} = \sigma_{ви},\quad \sigma_{sм} = \sigma_м,\quad \sigma_{ви} = 0,7\sigma_и, \qquad (7)$$

где $\sigma_{ви}$, $\sigma_м$ — пределы прочности на растяжение материалов инструмента и обрабатываемой заготовки; $\sigma_и$ — предел прочности на изгиб материала инструмента. Значения $\sigma_и$ и $\sigma_м$ определяют с учетом средней температуры на поверхности контакта режущего инструмента с обрабатываемым материалом. Их значения в зависимости от величины Θ для различных видов инструментального и обрабатываемого материалов предлагается аппроксимировать выражениями, приведенными в табл. 1, 2. При проведении аппроксимации использовали результаты экспериментальных исследований, представленные в работах [3—5];

— средняя величина нормальных давлений (рис. 3) на площадке контакта в первом приближении

$$q = \frac{q_{max.з}}{h}\int_0^h\left(1 - \left(\frac{y}{h}\right)\right)dy \cong \frac{q_{max.з}}{2},$$

$$q_{max.з} = 2\tau_ф(1,3 + \gamma) + \tau_ф\sin 2\gamma, \qquad (8)$$

Таблица 1

Материал режущей части инструмента (сплав)	Интервал температур, °С	Зависимость для определения $\sigma_и$	Погрешность аппроксимации R^2
ВК8	<397 >397	$\sigma_и = 1655 + 0,094(\Theta - 20)$ $\sigma_и = 1380\exp[0,0009(600 - \Theta)]$	0,03 0,04
Т14К8	<600 >600	$\sigma_и = 890 - 0,044(\Theta - 200)$ $\sigma_и = 628 + 0,55(\Theta - 1000)$	0,07 0,02
Т15К6	<727 >727	$\sigma_и = 1080 - 0,15(\Theta - 400)$ $\sigma_и = 700 - 0,93(\Theta - 800)$	0,05 0,08
Т5К10	>20	$\sigma_и = 1180\exp[0,0005(20 - \Theta)]$	0,068

Таблица 2

Обрабатываемый материал (сталь)	Зависимость для определения $\sigma_м$	Погрешность аппроксимации
45	$\sigma_м = 110\exp[0{,}004(800 - \Theta)]$	0,03
15Х25Т	$\sigma_м = 76\exp[0{,}004(700 - \Theta)]$	0,07
12ХН3А	$\sigma_м = 40\exp[0{,}003(1000 - \Theta)]$	0,03
40Х	$\sigma_м = 499\exp[0{,}0014(500 - \Theta)]$	0,07
5ХНМ	$\sigma_м = 363\exp[0{,}0056(600 - \Theta)]$	0,03
12Х18Н9Т	$\sigma_м = 620\exp[0{,}0014(20 - \Theta)]$	0,06
Сплав ВМ-1	$\sigma_м = 800\exp[0{,}0005(20 - \Theta)]$	0,068
Сплав 3В	$\sigma_м = 530\exp[0{,}001(600 - \Theta)]$	0,05

где $q_{max.з}$ — максимальное нормальное давление на задней поверхности; $\tau_ф$ — напряжение сдвига в срезаемом слое.

Для оценки величины N_1 примем, что объем изношенной части зуба фрезы dQ, удаляемый за элементарный отрезок времени контакта задней поверхности зуба фрезы с обрабатываемым материалом $d\tau$, определяется из геометрических соображений (рис. 4) по формуле

$$dQ = b(h_{из}\, dh_{из}\, \mathrm{tg}\alpha + 0{,}5\, dh_{из}^2\, \mathrm{tg}^2\alpha(1 - \mathrm{tg}\gamma)),$$

$$b = \frac{t}{\sin\varphi\cos\lambda}, \qquad (9)$$

где b — ширина зоны контакта задней поверхности зуба фрезы с обрабатываемым материалом; $h_{из}$ — высота площадки износа, соответствующая моменту времени τ; $dh_{из}$ — приращение площадки износа за время $d\tau$; t — глубина срезаемого слоя; φ — угол наклона главных лезвий к торцовой плоскости; λ — угол наклона режущей кромки зуба фрезы;

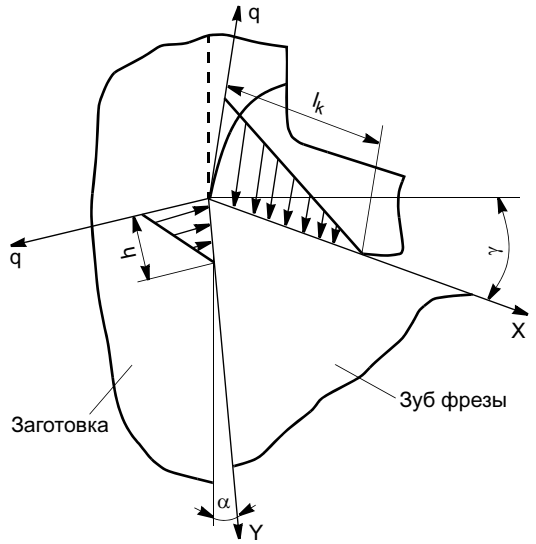


Рис. 3. Форма эпюры контактных давлений на режущей кромке зуба фрезы

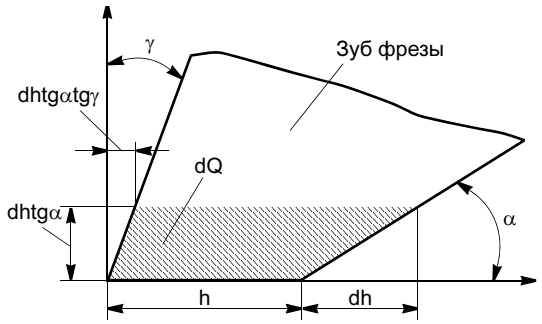


Рис. 4. К расчету объема материала, удаленного с задней поверхности режущего инструмента за элементарный отрезок времени контакта с обрабатываемым материалом

γ, α — передний и задний углы зуба фрезы соответственно.

С другой стороны, основываясь на допущении об адгезионном механизме износа режущего инструмента, объем dQ за время $d\tau$ можно оценить зависимостью

$$dQ = P_и\, \upsilon\, \eta\, \delta\, b\, d\tau;$$

$$\eta \approx \frac{q}{q_n};$$

$$q_n = 2{,}5\sigma_{sм}(1 - \mu), \qquad (10)$$

где η — доля области контакта задней поверхности зуба фрезы с материалом обрабатываемой заготовки, на которой возможно образование адгезионных металлических связей (АМС); $P_и$ — вероятность смещения зоны разрушения АМС в материал инструмента; υ — скорость резания; δ — толщина слоя, из которого происходит вынос продуктов разрушения АМС, равная $3 \cdot 10^{-10}$—$5 \cdot 10^{-9}$ м [6]; q — среднее нормальное давление на площадке контакта; q_n — нормальное давление, необходимое для полного пластического смятия поверхностных микронеровностей обрабатываемого материала на данной площадке [7]; μ — коэффициент трения на контактных поверхностях режущего инструмента с обрабатываемым материалом, равный 0,4—0,6.

Вероятность $P_и$ может быть оценена из соотношения длин критических трещин Гриффитса [6] в поверхностных слоях инструментального $l_и$ и обрабатываемого $l_м$ материалов. В первом приближении можно полагать, что

$$P_и = \frac{l_и}{l_и + l_м}, \quad \frac{l_и}{l_м} = \frac{\sigma_м^2}{\sigma_и^2}, \qquad (11)$$

где $\sigma_и$, $\sigma_м$ — пределы прочности на разрыв материала инструмента и обрабатываемого материала при средней температуре на площадке контакта.

Полагая материал режущей части инструмента и материал обрабатываемой заготовки жесткопла-

стичными, отношение $\sigma_м^2/\sigma_и^2$ можно заменить отношением $\sigma_{sм}^2/\sigma_{sи}^2$.

Приравнивая выражения (9), (10) получим зависимость для определения приращения площадки износа при обработке одной детали

$$h = \begin{cases} \sqrt{\upsilon\tau_1\delta\dfrac{q_{max.з}}{2{,}5\,\mathrm{tg}\alpha(1-\mu)}\dfrac{\sigma_{sм}}{(\sigma_{sм}^2+\sigma_{sи}^2)}}, & \eta < 1; \\ \sqrt{\dfrac{2\upsilon\tau_1\delta\sigma_{sм}^2}{(\sigma_{sм}^2+\sigma_{sи}^2)\mathrm{tg}\alpha}}, & \eta > 1. \end{cases} \quad (12)$$

Число деталей, обработка которых возможна до образования предельно допустимой величины площадки износа по задней поверхности,

$$N_1 = \begin{cases} [h]\sqrt{\dfrac{2{,}5(1-\mu)\mathrm{tg}\alpha(\sigma_{sм}^2+\sigma_{sи}^2)}{\upsilon\delta\tau_1 q_{max.з}\sigma_{sм}}}, & \eta < 1; \\ [h]\sqrt{\dfrac{\mathrm{tg}\alpha(\sigma_{sм}^2+\sigma_{sи}^2)}{2\upsilon\delta\tau_1\sigma_{sм}^2}}, & \eta > 1. \end{cases} \quad (13)$$

Число деталей, обработка которых возможна до возникновения отказа по критерию предельно допустимого адгезионного износа передней поверхности, оценивали при следующих допущениях:

— основным видом износа зуба торцовой фрезы является адгезионный износ по передней поверхности;

— критерием износа является образование на передней поверхности зуба фрезы лунки износа с предельно допустимым объемом изношенного инструментального материала [Q], определяемым из геометрических соображений (рис. 5):

$$[Q] = fb,$$

$$f = \frac{R^2(\alpha - \sin\alpha)}{2},$$

$$R = \frac{[h_л]}{2} + \frac{[l]^2}{8[h_л]}, \quad (14)$$

где b — ширина контакта передней поверхности зуба фрезы с обрабатываемым материалом, равная $\dfrac{t}{\sin\varphi\cos\lambda}$; $[l]$, $[h_л]$ — предельно допустимые длина и глубина лунки износа, соответствующие [Q];

— число деталей, обработка которых возможна до достижения величины [Q],

$$N_2 = \frac{[Q]}{Q}, \quad (15)$$

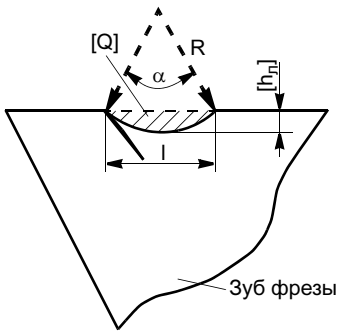


Рис. 5. К расчету предельно допустимого объема материала, удаленного с передней поверхности режущего инструмента

где Q — объем материала инструмента, удаленный с передней поверхности за время обработки одной детали;

— средняя температура на площадке физического контакта передней поверхности режущего инструмента с обрабатываемым материалом постоянна в течение времени контакта и определяется в соответствии с зависимостью [2]

$$\Theta_k = \Theta_д + \frac{0{,}142}{\lambda_м}\sqrt{\frac{\omega l_k\xi}{\upsilon}}(q_{m_1} - 1{,}82q_1), \quad (16)$$

где q_{m_1} — плотность теплового потока от сил трения на передней поверхности; q_1 — плотность итогового потока теплообмена на передней поверхности;

— среднее значение нормальных давлений на площадке контакта передней поверхности со стружкой в первом приближении

$$q = \frac{q_{max.n}}{l_k}\int_0^{l_k}\left(1 - \left(\frac{x}{l_k}\right)\right)dx \cong \frac{q_{max.n}}{2};$$

$$q_{max.n} = 2\tau_Ф(1{,}3 - \gamma), \quad (17)$$

где l_k — длина контакта стружки с передней поверхностью зуба фрезы; $q_{max.n}$ — максимальное нормальное давление на передней поверхности режущего инструмента.

Длина контакта стружки с передней поверхностью режущего инструмента [2]

$$l_k = a(\tau)(\xi(1 - \mathrm{tg}\gamma) + \sec\gamma), \quad a(\tau) = s_z\sin(\psi(\tau)), \quad (18)$$

где $a(\tau)$ — переменная толщина срезаемого слоя; s_z — подача на зуб фрезы; $\psi(\tau)$ — мгновенный угол контакта инструмента с обрабатываемым материалом.

С учетом адгезионного характера износа объем инструментального материала, удаляемый с передней поверхности зуба фрезы за фактическое время обработки одной детали τ_1

$$Q = \int_0^{\tau_1} P_и\upsilon_с\eta\delta b\,d\tau_1,$$

$$\upsilon_с = \upsilon/\xi, \quad (19)$$

где η — относительная доля областей контакта

стружки с передней поверхностью режущего инструмента, на которых возможно образование АМС, определяемая по формуле (10); υ_c — скорость скольжения стружки по передней поверхности инструмента; ξ — коэффициент усадки стружки.

При допущении о том, что величины, входящие в выражение (19), незначительно изменяются за время контакта зуба фрезы с обрабатываемым материалом, в соответствии с теоремой о среднем значении интеграла получим

$$Q \cong \begin{cases} \dfrac{\sigma_{sм}^2}{\sigma_{sм}^2 + \sigma_{sи}^2} \dfrac{\upsilon}{\xi} \dfrac{t}{\sin\varphi\cos\lambda} \delta \dfrac{q_{\max.n}}{5\sigma_{sм}(1-\mu)} \tau_1, \\ \eta < 1; \\ \dfrac{\sigma_{sм}^2}{\sigma_{sм}^2 + \sigma_{sи}^2} \dfrac{\upsilon}{\xi} \dfrac{t}{\sin\varphi\cos\lambda} \delta\tau_1, \ \eta > 1. \end{cases} \quad (20)$$

Число деталей, обработка которых возможна до образования предельно допустимой глубины лунки износа [$h_л$], согласно выражениям (15) и (20)

$$N_2 = \begin{cases} [Q] \dfrac{(\sigma_{sм}^2 + \sigma_{sи}^2)\xi\sin\varphi\cos\lambda 5\sigma_{sм}(1-\mu)}{\sigma_{sм}^2 \upsilon t \delta q_{\max.n}\tau_1}, \\ \eta < 1; \\ [Q] \dfrac{(\sigma_{sм}^2 + \sigma_{sи}^2)\xi\sin\varphi\cos\lambda}{\sigma_{sм}^2 \upsilon t \delta \tau_1}, \ \eta > 1. \end{cases} \quad (21)$$

Число деталей, обработка которых возможна до возникновения отказа по критерию усталостного разрушения, оценивали при следующих допущениях:

— напряженное состояние режущей части инструмента есть плоскодеформированное состояние;

— циклом нагружения является один оборот фрезы;

— разрушение режущей части инструмента происходит в условиях многоцикловой усталости под действием пульсирующих механических и температурных напряжений, действующих в процессе фрезерования.

В качестве критерия, определяющего возникновение данного вида отказа режущего инструмента при его эксплуатации, предлагается принять предельно допустимое число циклов нагружения режущей кромки зуба [N], которое в первом приближении можно оценить зависимостью [8]

$$[N] = N_б \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{\max}}\right)^m, \quad (22)$$

где σ_0 — предел выносливости инструментального материала при пульсационном цикле нагружения; $N_б$ — базовое число циклов нагружения, соответствующее σ_0; $\sigma_{\max}$ — максимальное напряжение, возникающее в пределах цикла нагружения зуба фрезы; m — постоянная, характерная для инструментального материала.

Переходя к стандартным показателям, характеризующим работу режущего инструмента, и учитывая, что предельно допустимое число циклов нагружения режущей кромки зуба соответствует стойкости инструмента [N] = $T_з n$ [9], выражение для определения стойкости режущего инструмента в случае торцевого фрезерования примет вид

$$T_з = \frac{N_б}{n} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{\max}}\right)^m, \quad (23)$$

где n — частота вращения фрезы.

Среднее число деталей, обработка которых возможна до усталостного разрушения режущей части инструмента,

$$N_з = \frac{T_з}{\tau};$$

$$N_з = \frac{N_б}{n\tau} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{\max}}\right)^m, \quad (24)$$

где τ — время обработки одной детали.

Напряжения в режущей части инструмента в общем случае определяют как сумму напряжений, возникающих под действием контактных давлений и растягивающих температурных напряжений σ_θ, вызванных неравномерностью нагрева. Максимальное напряжение в пределах цикла нагружения зуба фрезы [10]

$$\sigma_{\max} = \chi\sigma_i + (1-\chi)\sigma_1 A^{1-J},$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{2}((\sigma_1-\sigma_2)^2 + (\sigma_2-\sigma_3)^2 + (\sigma_3-\sigma_1)^2)},$$

$$J = \frac{\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3}{\sigma_i},$$

$$\sigma_1 = \frac{1}{2}[\sigma_x + \sigma_y + \sqrt{(\sigma_x-\sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}],$$

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}[\sigma_x + \sigma_y - \sqrt{(\sigma_x-\sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}], \ \sigma_3 = 0, \quad (25)$$

где χ — параметр, определяющий долю сдвиговой деформации в разрушении и равный $\sigma_в/\sigma_{-в}$ ($\sigma_в$, $\sigma_{-в}$ — пределы прочности инструментального материала при растяжении и сжатии соответственно); A — параметр, определяющий статическую сущность процесса разрушения и зависящий от характера имеющихся в материале дефектов и размеров тела; σ_1, σ_2, σ_3 — главные нормальные напряжения, действующие в режущей части инструмента; σ_i — интенсивность нормальных напряжений; J — параметр напряженного состояния; σ_x, σ_y, τ_{xy} — нормальные и касательное напряжения, воз-

никающие в режущем клине в процессе фрезерования.

Значения величин σ_x, σ_y, τ_{xy} оценивали методом конечных элементов [11].

Растягивающие температурные напряжения σ_θ возникают в режущей части инструмента в результате ее циклического охлаждения. Распределение температуры на передней и задней поверхностях режущего инструмента в период охлаждения определяют следующим образом:

$$\Theta(x) = \Theta_k - (\Theta_k - \Theta_0)k',$$

$$k' = \left(\operatorname{erfc}\frac{x}{2\sqrt{\omega_и\tau}} - e^{bi + bi^2\frac{\omega_и\tau}{x^2}} \times \right.$$

$$\left. \times \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\omega_и\tau}} + bi\frac{\sqrt{\omega_и\tau}}{x}\right)\right), \qquad (26)$$

где Θ_0 — температура окружающей среды; $\omega_и$ — температуропроводность инструментального материала; τ — время контакта зуба фрезы с обрабатываемым материалом; bi — критерий Био.

В качестве допущения примем, что значение постоянной m может быть оценено следующей зависимостью [7]:

$$m = 5 + 0{,}001\sigma_и, \qquad (27)$$

где $\sigma_и$ — предел прочности на изгиб материала инструмента.

В табл. 3 приведены значения σ_0, $\sigma_и$, $N_б$, m для материалов инструмента, наиболее часто применяемых на операциях торцевого фрезерования [3, 4].

Для проверки адекватности предлагаемой модели провели экспериментальные исследования, целью которых являлось установление характера распределения отказов режущих элементов торцовых фрез.

В рамках экспериментальных исследований осуществляли обработку заготовок из стали 5ХНМ фрезой, оснащенной пятигранными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава Т15К6. Контролировали возникновение отказов по критериям адгезионного износа и усталостного разрушения режущих кромок пластин фрезы. В качестве критериев, характеризующих предельное состояние инструмента, приняли:

Таблица 3

Сплав	$\sigma_и$, МПа	σ_0, МПа	m
ВК8	1650	600	6,65
Т14К8	1300	500	6,30
Т15К6	1180	500	6,18
Т5К10	1300	600	6,30
Примечание. Во всех случаях $N_б = 1 \cdot 10^6$.			

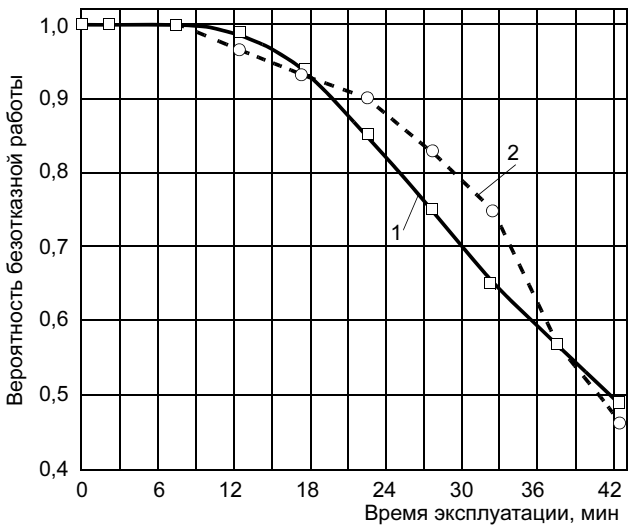


Рис. 6. Расчетные (*1*) и экспериментальные (*2*) значения вероятности безотказной работы инструмента, применяемого на операциях торцевого фрезерования

— высоту площадки износа по задней поверхности $[h] = 0{,}9 \cdot 10^{-3}$ м;

— поломку режущей пластины.

Процесс резания проводили при следующих режимах: скорость v = 120 м/мин, подача s_z = = 0,1 мм/зуб, глубина резания t = 1 мм; диаметр фрезы $D_ф$ = 125 мм; z = 8; ширина фрезерования B = 120 мм.

На рис. 6 приведены расчетные значения вероятности безотказной работы режущего инструмента и функция распределения стойкости торцовых фрез, полученная в результате статистической обработки экспериментальных данных. Максимальное несовпадение экспериментальных и расчетных данных не превышает 10 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вентцель Е. С., Овчаров Л. А.* Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1988. 480 с.
2. *Резников А. Н.* Теплофизика процессов механической обработки материалов. М.: Машиностроение, 1981. 279 с.
3. *Лошак М. Г.* Прочность и долговечность твердых сплавов. Киев: Наукова думка, 1984. 328 с.
4. *Креймер Г. С.* Прочность твердых сплавов. М.: Металлургия, 1971. 248 с.
5 *Полухин П. И., Гун Г. Я., Галкин А. М.* Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов: Справочник. М.: Металлургия, 1983. 352 с.
6. *Владимиров В. И.* Физическая природа разрушения металлов. М.: Металлургия, 1984. 280 с.
7. *Степанский Л. Г.* Оценка стойкости инструмента для обработки давлением: Учеб. пособие. М.: Мосстанкин, 1988. 68 с.
8. *Когаев В. П.* Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. М.: Машиностроение, 1977. 232 с.
9. *Хает Г. Л.* Прочность режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1975. 168 с.
10. *Сопротивление* материалов / Под ред. Г. С. Писаренко. Киев: Вища школа, 1973. 672 с.
11. *Зенкевич О., Морган К.* Конечные элементы и аппроксимация: Пер. с англ. М.: Мир, 1986. 318 с.

Т. Н. ПЕЩЕРОВА, инж.
(ООО "Петер Лакке"),
Г. В. КОЗЛОВ, д-р хим. наук
(МГТУ "Станкин")

Влияние конструкционных особенностей и технологических параметров формирования клеевых соединений на их прочность

Клеевые соединения чаще всего выполняют на основе высокомолекулярных веществ — полимеров, которые делятся на два класса — термопласты и реактопласты. Термопласты состоят из длинных цепных или разветвленных макромолекул, а реактопласты представляют собой сшитые полимеры в виде трехмерных сеток.

Реактопласты (и изделия из них) получают в процессе отверждения, при котором жидкие реакционноспособные полимеры низкой молекулярной массы (олигомеры или смолы) необратимо превращаются в твердые, неплавкие и нерастворимые полимеры. При нагревании реактопластов только некоторые из них приобретают эластичные свойства. Текучестью реактопласты не обладают. Процесс их отверждения из олигомеров сопровождается химической реакцией между реакционноспособными группами олигомеров или между олигомерами и специальными реагентами — отвердителями. Как правило, отверждение протекает при нагревании или облучении реакционной массы ультрафиолетовым светом и другими лучами высокой энергии. В результате отверждения происходит уменьшение объема олигомера между субстратами (рис. 1), которое называют химической или реакционной усадкой.

Формирование клеевых соединений обычных конструкций (рис. 1, *г*) сопровождается усадкой ε отверждения ($\varepsilon = \Delta V/V_1$, где V_1 — исходный объем жидкого клея; $\Delta V = V_2 - V_1$, V_2 — объем отвержденного клея) и сближением субстратов на расстояние ΔH ($\Delta H = H_1 - H_2$, где H_1, H_2 — соответственно высота клеевого шва исходного и отвержденного). Конструкционные особенности клеевых соединений (рис. 1, *а—в*) могут затруднить усадку клеев. В случае реактопластов последняя может достигать 10 % от их объема и проявиться полностью или частично в появлении в клеях растягивающих напряжений или увеличении воздушных включений. Например, у клеевых соединений с неподвижными (для сближения и реализации ΔH, т. е. H = const) при формировании субстратами (см. рис. 1) клей при усадке затекает в шов.

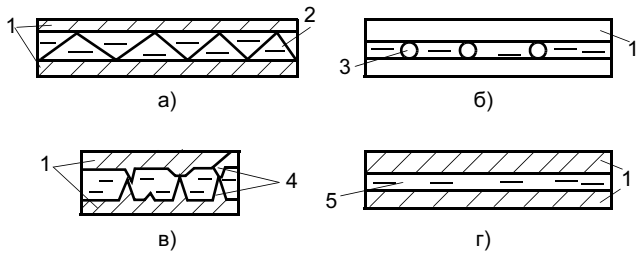


Рис. 1. Схемы конструкций клеевых соединений, в которых сближение субстратов *1* затруднено (*а—в*), и обычная конструкция клеевого соединения *5* (*г*): *а*, *б* — электропроводящие соединения за счет металлической сеточки *2* и прутков проволоки *3*; *в* — "голодное" клеевое соединение, когда при усадке клея субстраты упираются друг в друга по микровыступам шероховатостей *4*

В модели[1] клеевого шва, находящегося между неподвижными субстратами, при температуре сшивки $t_{сш}$ за время усадки τ клей должен затечь от торца в глубину шва на расстояние L_1 (за счет разности давлений окружающего воздуха p_1 и в глубине клеевого шва ($p_1 - K\varepsilon$)):

$$L_1 = \sum_1^m 0{,}5\varepsilon' \sqrt{KH^2\tau'(i-0{,}5)/12\eta_i}, \qquad (1)$$

где m — число промежутков времени отверждения клея; ε' — часть реакционной усадки клея, равная ε/m; K — модуль объемной упругости клея; $\tau' = \tau/m$; η_i — вязкость клея в i-й промежуток времени, принятая для каждого τ' постоянной.

Для эпоксидных клеев $K \approx 2 \cdot 10^9$ Па, исходная вязкость η_0 изменяется от 0,2 до 8 Па · с, ε — от 0,05 до 0,1 и в точке гелеобразования реализуется до $0{,}7\varepsilon$, вязкость при этом достигает значения 10^5 Па · с, а текучесть теряется, τ изменяется от 60 до 300 с, тогда

$$L_1 = 30H \div 220H. \qquad (2)$$

[1] *Пещерова Т. Н.* Моделирование реакционной усадки связующего клеевого шва ньютоновским течением // 7-я научн. конф. МГТУ "Станкин" и Учебно-научного центра математического моделирования МГТУ "Станкин" — ИММ РАН по математическому моделированию и информатике. М.: МГТУ "Станкин", 2004. С. 186—189.

Так как у клеевых швов H = 30÷150 мкм, то клеи должны затекать в глубину швов на 0,9—33 мм. Согласно экспериментальным исследованиям, при $H \leqslant$ 300 мкм затекания клеев в глубину швов не происходит. Поэтому в идеальных клеевых швах должны появиться усадочные напряжения

$$\sigma_у = K\varepsilon_н = 3 \cdot 10^9(0{,}05 \div 0{,}1) = 150 \div 300 \text{ МПа}, \quad (3)$$

где $\varepsilon_н$ — нереализованная усадка клеев.

К усадочным напряжениям $\sigma_у$ следует добавить температурные напряжения $\sigma_т$, возникающие вследствие нереализованной термической усадки $\varepsilon_т$ при охлаждении клеев от температуры стеклования до комнатной (18—20 °С) температуры ($\varepsilon_т \approx 0{,}01$):

$$\sigma_т = K\varepsilon_т \approx 3 \cdot 10^7 \approx 30 \text{ МПа}. \quad (4)$$

Тогда с учетом формул (3) и (4) напряжения в отвержденном клее клеевого шва могут достичь следующих значений:

$$\sigma_{у+т} \approx \sigma_т + \sigma_у \approx 180 \div 330 \text{ МПа}. \quad (5)$$

Полученные значения остаточных напряжений сопоставимы с теоретической прочностью на разрыв эпоксидных полимеров и превосходят их реальную прочность (60—80 МПа). В этом случае клеевые швы должны разрушиться. Но так как разрушения не происходит, то и напряжения в клеях, равные $K\varepsilon_н + K\varepsilon_т$, не образуются. Следовательно, необходимо найти такой механизм усадки клеев, который устраняет данное противоречие.

Известно, что в клеевых швах всегда имеются воздушные включения, находящиеся, в частности, во впадинах микрошероховатостей субстратов. Допустим, что в единице объема исходного клея между неподвижными субстратами суммарный объем воздушных включений равен b. Тогда при $t_{сш}$ и нахождении клея в текучем состоянии (до реализации усадки, равной $0{,}7\varepsilon$) в процессе реакционной усадки воздушные пузырьки должны расширяться (рис. 2).

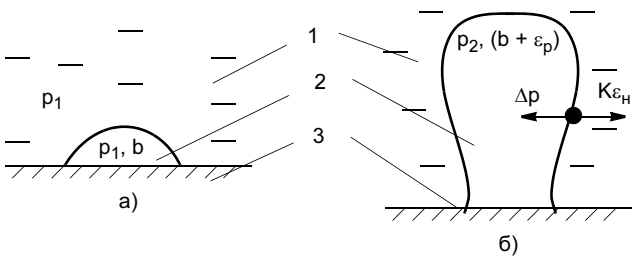


Рис. 2. Схемы исходного объема пузырька воздуха в клеевом шве (*а*) и расширения его объема за счет усадки клея (*б*): *1* — клей; *2* — пузырек воздуха; *3* — субстрат

К моменту гелеобразования в воздушных пузырьках и клее установится равновесие

$$-\Delta p = \sigma, \quad (6)$$

где Δp — уменьшение давления в пузырьках воздуха, равное $p_2 - p_1$ (p_2 — конечное давление воздуха); σ — напряжение в клее, равное $K\varepsilon_н$ ($\varepsilon_н = \varepsilon - \varepsilon_р$, где $\varepsilon_р$ — реализованная часть усадки клея).

Учитывая закон Бойля, для единицы объема клея получим

$$p_1 b = p_2[\varepsilon + b]. \quad (7)$$

Вычислим p_2 и Δp из формулы (7):

$$p_2 = p_1 b/(\varepsilon_р + b),$$
$$p_2 - p_1 = (p_1 b - p_1\varepsilon_р - p_1 b)/(\varepsilon_р + b) =$$
$$= -p_1\varepsilon_р/(\varepsilon_р + b). \quad (8)$$

Учитывая выражения (6) и (8), получим

$$K\varepsilon_н = p_1[\varepsilon_р/(\varepsilon_р + b)]. \quad (9)$$

Так как в формуле (9) в квадратных скобках знаменатель всегда больше числителя, то правая часть равенства всегда меньше p_1: $K\varepsilon_н < p_1$. Следовательно, в клеевых швах после отверждения при $t_{сш}$ возникнут напряжения $K\varepsilon_н$, величина которых будет меньше p_1, т. е. меньше 10^5 Па. Из формулы (9) найдем

$$\varepsilon_н = (p_1/K)[\varepsilon_р/(\varepsilon_р + b)], \quad (10)$$

где $(p_1/K) = 10^5/(1{,}5 \cdot 10^9) = 6{,}75 \cdot 10^{-5}$.

Учитывая, что величина в квадратных скобках меньше единицы, получим $\varepsilon_н < 6{,}75 \cdot 10^{-5}$, следовательно, $\varepsilon_р \approx \varepsilon$. Другими словами, практически вся усадка клея превращается в прирост объема воздушных включений, а напряжения σ, полученные по формуле (9), так малы ($\varepsilon_н K < 10^5$ Па)

$$\sigma_у < 0{,}1 \text{ МПа}, \quad (11)$$

что не могут разрушить клеевые швы. С другой стороны, использование этих напряжений в уравнении (1) вместо $K\varepsilon$ дает значения L_1 примерно в 1000 раз меньшие, чем ранее полученные по формуле (2), а именно $L_1 = (0{,}1 \div 10^{-2})H$. Поэтому в проведенных экспериментах не наблюдалось затекания клея в глубину клеевых швов с неподвижными субстратами.

На рис. 3 приведена зависимость адгезионной прочности от толщин швов на сдвиг клеевых соединений сталь—сталь с эпоксидным клеем (время отверждения 3 ч при 150 °С; давление склеивания $p_{ск}$ = 0,15÷1,00 МПа). Видно, что при H < 15 мкм прочность клеевых соединений резко снижается.

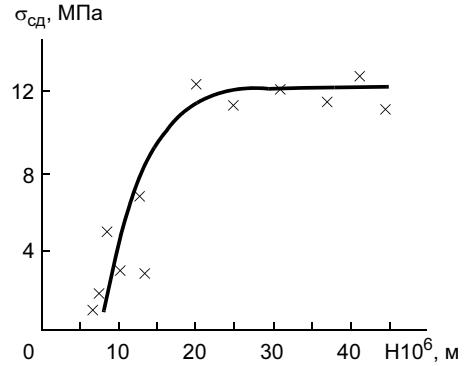


Рис. 3. Зависимость адгезионной прочности на сдвиг $\sigma_{сд}$ стальных клеевых соединений от толщины клеевых швов на основе эпоксидного клея

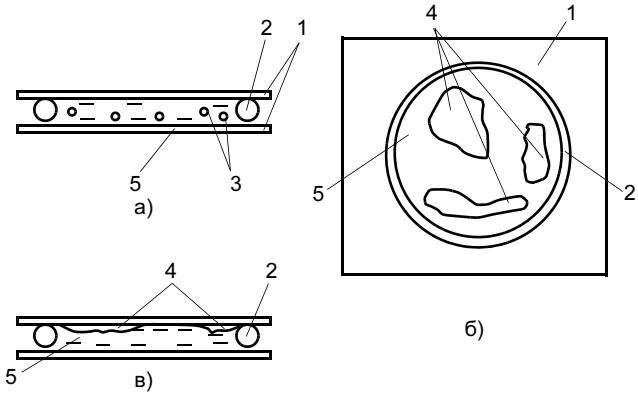


Рис. 4. Схема клеевого соединения двух стеклянных пластин *1*, соединенных эпоксидным клеем *5*, усадка которого ограничена проволокой *2*: *а* — до отверждения, вид сбоку; *б*, *в* — после отверждения, вид сверху и сбоку соответственно; *3* — воздушные пузырьки; *4* — воздушные полости — "линзы"

Такие соединения называют "голодными" клеевыми соединениями, полагая, что в них недостаточно клея для полного смачивания субстратов и большие значения остаточных напряжений.

Для уточнения механизма влияния конструкционных особенностей на их прочность экспериментально исследовали модель клеевого соединения в виде стеклянных пластин размером 12 × 9 × 0,13 см, сближение которых в процессе реакционной усадки клея ограничивали петлей из тонкой проволоки диаметром 0,27 мм, находящейся между пластинами (рис. 4).

Эксперименты показали, что в исходном клее пузырьки воздуха в процессе отверждения клеевых швов укрупнялись в большие по сечению полости (до 80—90 % от площади контакта связующего со стеклом), имеющие форму очень тонких линз. Эти "линзы" образовывались на границе раздела фаз клей—верхняя пластина. Таким образом, в клеевых соединениях, полученных с ограничением усадки отверждения клеев, возникает ослабляющий фактор в виде воздушных полостей.

Для клеевых соединений металлов с малыми значениями *H* усадки клеев при отверждении может ограничиваться по двум причинам. Во-первых, сближение субстратов ограничивается их непараллельностью и выступами микрошероховатостей, во-вторых, малы расстояния L_1, на которые клей может затекать в клеевые швы вследствие малых значений в них напряжений σ согласно формуле (11).

При $H < 10$ мкм микровыступы субстратов могут упереться друг в друга и их дальнейшее сближение, вызываемое реакционной усадкой клея, прекратится. Экспериментально установлено, что как только при формировании под давлением клеевого соединения металл—связующее—металл между пластинами появлялся электрический контакт, то его прочность после отверждения значительно снижалась — до единиц мегапаскалей и менее ("голодное" клеевое соединение) (в этом заключается неразрушающий метод контроля клеевых соединений). В таких случаях значения *H* часто были соизмеримы с высотой микровыступов склеиваемых металлических поверхностей.

Для увеличения прочности клеевых соединений, в которых затруднена усадка сшивки связующих, необходимо при их отверждении повышать давление окружающей газовой среды. Вычисления показывают, что должна быть корреляция между величиной этого давления и прочностью клеевых соединений, а для достижения теоретических значений прочности клеевых соединений при малых *H* давление должно составлять сотни атмосфер.

ВЫВОДЫ

1. В клеевых соединениях, конструкции которых ограничивают сближение субстратов при реакционной усадке клеев, последняя практически полностью реализуется за счет образования в клеевых швах воздушных полостей (дефектов), уменьшающих прочность соединений.

2. В случае металлических субстратов и очень тонких клеевых швов предложен неразрушающий метод контроля — изменение электрического сопротивления клеевых швов.

3. Для увеличения прочности клеевых соединений, конструкции которых ограничивают сближение субстратов при реакционной усадке клеев, их отверждение проводят при больших значениях давления окружающей газовой среды.

С. С. ВОЛКОВ, канд. техн. наук
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Основные способы и технологические особенности сварки разнородных пластмасс

При создании конструкций из полимерных материалов с заданным комплексом необходимых физико-механических свойств возникает необходимость соединения заготовок из разнородных пластмасс, сочетание характеристик которых удовлетворяет поставленным требованиям. Из-за различия в химическом строении, молекулярной массе, температурных фазовых переходах и т. п. использование существующих способов сварки не всегда позволяет получать качественное соединение. Особенности ультразвуковой сварки определялись коэффициентом механических потерь, динамическим модулем упругости материала, демпфирующими свойствами и температурным интервалом вязкотекучего состояния.

Однако для многих конструкций требуется сочетание таких свойств, которые не могут обеспечить отдельно взятые полимерные материалы, например, в специальной одежде — теплостойкость и гигиенические характеристики; в полевой измерительной аппаратуре — температуро- и атмосферостойкость и высокая сопротивляемость ударным нагрузкам и т. п. Следовательно, совершенствование существующих и разработка новых способов ультразвуковой сварки, позволяющих соединять термопластичные материалы с различными свойствами, является актуальной проблемой.

Трудности, с которыми приходится сталкиваться при ультразвуковой сварке разнородных полимерных материалов, можно разделить на две группы: общие — характерные для всех видов сварки пластмасс и специфические — характерные только для ультразвуковой сварки. Очевидно, что разработка технологических приемов сварки разнородных полимерных материалов невозможна без анализа этих трудностей [1].

Основным затруднением, с которым приходится сталкиваться при любом способе сварки разнородных полимерных материалов, является необходимость обеспечения смешения их в переходной зоне от одного полимера к другому. О том, что такая зона смешения существует, свидетельствуют, например, эксперименты, проведенные в МГТУ им. Н. Э. Баумана по ультразвуковой сварке ударопрочного полистирола (ПСУ) и полиметилметакрилата (ПММА) [2]. Эксперименты заключались в снятии рентгенодифрактограмм различных зон переходного слоя от одного полимерного материала к другому и сравнении их с эталонными дифрагентограммами смесей ПС и ПММА с различными концентрациями компонентов. При этом была обнаружена значительная зона взаимного проникновения свариваемых полимерных материалов.

Образование в переходной области смесей свариваемых полимеров указывает на то, что одним из критериев свариваемости разнородных полимерных материалов должна являться их совместимость. Под этим термином, как известно, понимают способность полимерных материалов образовывать при конкретных условиях (температуре T, давлении p, концентрации C) термодинамическую устойчивую систему, состоящую из молекулярно диспергированных компонентов [3]. Кроме того, совместимость можно оценивать плотностью и вязкостью расплавов, наличием в составе молярной доли сополимеров более 50 %, а в ряде случаев — более 80 % идентичных звеньев.

При этом термодинамическую устойчивость оценивают изменением изобарно-изотермического потенциала смеси. Анализ изобарно-изотермического потенциала смеси показывает, что, к сожалению, в большинстве случаев смеси полимеров оказываются термодинамически несовместимыми. Это означает, что такая смесь должна распадаться (расслаиваться) с течением времени, причем эти процессы должны ускоряться под действием внешних эксплуатационных факторов: температуры, напряжения и т. п. В работе [4] при рассмотрении вопросов создания композиционных материалов указывалось, что всего 2 % применяемых полимерных материалов могут образовывать термодинамически устойчивые пары.

Несмотря на термодинамическую несовместимость, на сварку разнородных полимеров не нужно смотреть слишком пессимистически. Дело в том, что кроме термодинамических соображений следует учитывать и чисто механические процессы перемешивания, которые при надлежащем подборе технических средств можно довести до уровня молекулярного перемешивания. При этом, хотя и будет получаться термодинамически неустойчивая смесь, она окажется пригодной при условии экс-

плуатации благодаря тому, что изменение характеристик этой смеси, например прочности, за время эксплуатации не превысит допустимых значений. Таким образом, использование только термодинамического подхода к анализу свариваемости разнородных полимерных материалов, как это делается в большинстве литературных источников, явно недостаточно.

Как известно, основой механизма перемешивания жидкостей является конвекция [5], заключающаяся в перемещении капель жидкости из одной области в другую. При сварке конвективное смешение происходит за счет деформирования системы и возникающего вследствие деформационного сдвига течения (сдвиговое течение). Преимуществом ультразвуковой сварки перед другими видами сварки полимерных материалов на данном этапе, очевидно, будет являться то, что при ультразвуковой сварке течение происходит в турбулентном режиме, в то время как при других способах сварки — в ламинарном. Так как в течении должны участвовать обе контактирующие фазы, то процесс смешения будет определяться соотношением значений вязкости расплавов и плотности фаз. Таким образом, несовпадение плотностей и вязкостей расплавов является следующей трудностью при сварке разнородных полимерных материалов.

Наконец, еще одной трудностью, с которой приходится сталкиваться, является разница температур вязкотекучего состояния $T_в$ или плавления кристаллической фазы $T_{пл}$ свариваемых полимерных материалов. Поэтому будет наблюдаться перегрев материала с меньшей $T_в$ или $T_{пл}$, причем этот перегрев может происходить до температур, при которых резко возрастает скорость термодеструкции. Кроме того, развивающаяся при смешении деформация сдвига и высокие напряжения сдвига неизбежно приводят к возникновению механо-химических эффектов. При этом, если суммарная сила внешнего воздействия, приложенного к молекулярной цепи, окажется больше ее продольной прочности, то полимерная молекула может разорваться. Образующиеся при этом обрывки полимерной цепи будут являться свободными радикалами. Эти свободные радикалы могут участвовать в процессах рекомбинации с образованием полимерной молекулы, мало отличающейся от исходной; взаимодействия с молекулами кислорода и других низкомолекулярных веществ, присутствующих в полимерном материале; образовании блок- и привитых полимеров. Впервые этот эффект применительно к ультразвуковой сварке был обнаружен для ряда материалов в МГТУ им. Н. Э. Баумана [1].

Во всех этих случаях решающую роль играют силы взаимодействия, которые в свою очередь связаны с вязкостью расплавов. В связи с этим все факторы, увеличивающие вязкость (понижение T, повышение гидростатического давления) затрудняют сварку разнородных полимерных материалов.

Механизм образования сварного соединения при ультразвуковой сварке разнородных пластмасс проходит через четыре стадии, что обусловлено природой полимерного материала и технологией ультразвуковой сварки.

На первой стадии материалы в зоне контакта находятся в стеклообразном состоянии, которое характеризуется активацией свариваемых поверхностей за счет повышения энергетического уровня макромолекул, что обусловлено гистерезисными потерями при циклическом деформировании. После перехода материалов на границе раздела в высокоэластичное состояние наступает вторая стадия. Поверхностные слои в контактирующих областях разрушаются и удаляются из зоны сварки в грат при течении расплава. В вязкотекучем состоянии происходит перемешивание макрообъемов свариваемых материалов, обусловленное неравномерным статическим и динамическим давлением по плоскости контакта и "насосным" действием ультразвуковых колебаний. Диффузионные процессы происходят только внутри макрообъемов и на этой стадии не оказывают существенного влияния на механизм образования сварного соединения. После отключения ультразвуковых колебаний наступает третья стадия, протекающая до начала стеклования материала сварного шва. Она характеризуется в первую очередь диффузионными процессами на границах контакта макрообъемов, интенсивность которых падает с уменьшением температуры. Наряду с этим третья стадия характеризуется образованием блок-сополимера в результате комбинаций свободных макрорадикалов от разных материалов и возникновением внутренних напряжений. На этом заканчивается образование сварного соединения, так как четвертая стадия (при температуре окружающей среды), в значительной мере определяющая свойства сварного соединения, зависит от характера кинетики и морфологии образующихся надмолекулярных структур, процесса возникновения и релаксации внутренних напряжений в зоне сварного шва. Такой механизм образования сварного соединения при ультразвуковой сварке разнородных полимерных материалов служит основанием для создания новых технологических приемов сварки, позволяющих исключить влияние различия физико-механических свойств свариваемых пластмасс.

Технологические приемы (способы), позволяющие получать качественные сварные соединения разнородных пластмасс, заключаются в подборе свариваемых пар; определении температуры нагрева, при которой каждый из свариваемых материалов имеет оптимальную текучесть в зоне шва;

введении низкомолекулярных добавок (растворителей) в зону сварки полимерных материалов; использовании промежуточных прослоек (прокладок) из сополимеров, имеющих в своем составе мономерные звенья обоих свариваемых полимеров; прививке к одной из свариваемых поверхностей сополимера, частично совместимого с каждым из свариваемых материалов; обеспечении реакции взаимодействия вводимого в зону шва полифункционального вещества с материалом соединяемых поверхностей (химическая сварка); применении контролируемой атмосферы (вакуума).

Подбор свариваемых пар. При конструировании изделий из полимерных материалов необходимо обращать особое внимание на правильный подбор свариваемых пар. В первую очередь эти пары должны быть термодинамически совместимыми. Одним из необходимых условий образования прочного сварного соединения является обеспечение в зоне контакта температур, близких к температурам перехода из высокоэластичного состояния в вязкотекучее или выше температур плавления.

Другим, не менее важным фактором, является обеспечение протекания диффузионных и реологических процессов перемешивания, которые возможны при совпадении показателей вязкости расплавов свариваемых материалов. При ультразвуковой сварке разнородных полимерных материалов происходят процессы интенсивного перемешивания макрообъемов расплавов свариваемых материалов, а диффузионные процессы являются сопутствующими и протекают по границам этих макрообъемов. В противном случае даже динамическое воздействие ультразвуковых колебаний не может обеспечить проникновения частиц менее вязкого расплава в область более вязкого. Выбрав за критерии свариваемости при ультразвуковой сварке разнородных материалов соотношение интервалов вязкотекучего состояния (для кристаллических пластмасс — температуру плавления) и показатели вязкости расплавов при этих температурах, пары подобранных материалов можно разделить на четыре группы. При этом показателем качества сварного соединения являлась относительная прочность сварного соединения.

В первую группу входят пары материалов, хорошо свариваемых между собой ультразвуковой сваркой: полистирол с полиметилметакрилатом и полиэтилен с полипропиленом. У данных материалов совпадают интервалы вязкотекучего состояния (для второй пары — плавления) и незначительно расходятся показатели вязкости при этих температурах.

Во вторую группу входят пары материалов, удовлетворительно свариваемых между собой ультразвуковой сваркой. У этих материалов при незначительных отклонениях в значениях показателей вязкости расплавов не совпадали температурные интервалы вязкотекучего состояния. К этой группе относятся полистирол с поликарбонатом, полиметилметакрилат с поликарбонатом, поликарбонат с полиамидом.

К третьей группе относятся пары материалов, неудовлетворительно свариваемых между собой ультразвуковой сваркой. У этих материалов совпадают значения температурных интервалов вязкотекучего состояния, но показатели вязкости расплавов в этих интервалах значительно отличаются. Сварное соединение образуется в основном за счет диффузионных процессов, но время пребывания при температурах, когда они могут протекать, незначительное. К этой группе относятся полиэтилен с поливинилхлоридом.

В четвертую группу входят пары материалов, которые не удавалось сварить ультразвуковой сваркой. У этих материалов не совпадали оба выбранных критерия подбора, например полиамид с поливинилхлоридом.

Подбор температур нагрева. Подбор температуры сварки разнородных полимеров следует производить по оптимальным режимам сварки более низкоплавкого из них. В этом случае определяют интервал температур, в котором соединяемые полимеры наиболее активны к реакции объемного взаимодействия между собой. Температуру реакции подбирают для каждой свариваемой пары полимерных материалов так, чтобы скорости реакции были примерно равными. Для создания в зоне контакта свариваемых пар температурного поля, при котором оба материала могли бы вступить в процессы объемного взаимодействия, было предложено изменить начальную температуру одного из свариваемых материалов на величину, компенсирующую различие в температуре перехода в вязкотекучее состояние и скорости прироста температуры.

Для полимерных материалов, способных обеспечивать плоскую упаковку макромолекулярных образований при их соединении в вязкотекучем состоянии, эффективен способ ультразвуковой сварки с подогревом свариваемых поверхностей. Нагрев полимеров, имеющих разные температуры плавления, можно производить при помощи нагревателей с регулируемой температурой на каждой из его поверхностей. Глубина проплавления при этом регулируется по времени нагрева полимерных материалов.

Введение растворителей. Критерием, обусловливающим получение качественного сварного соединения между разнородными пластмассами, является соотношение вязкости расплавов в температурном интервале вязкотекучего состояния. В случаях, когда свариваемые полимерные материалы имеют большую разницу вязкости расплава,

предложено проводить ультразвуковую сварку с помощью растворителей. В работах, проведенных в МГТУ им. Н. Э. Баумана [1, 2], показано, что такой способ дает хорошие результаты при сварке полистирола с полиамидом, поликарбоната с полиамидом и др.

Применение растворителей для сварки известно давно. С помощью растворителя снижают в полимере на границе контакта при сварке межмолекулярное взаимодействие, облегчая диффузию молекул. Этот метод сварки возможен в случае, когда соединяемый полимер находится в аморфном состоянии, а следовательно, может быть переведен в стадию высокой степени набухания. Сварка с помощью растворителя возможна и в случае частично кристаллического полимера, содержащего значительный объем аморфной фазы, в которую могут диффундировать молекулы аморфного полимера, находящегося в набухшем состоянии и совмещающегося с аморфной фазой кристаллического полимера [6, 7].

Этот способ сварки характеризуется длительным временем выдержки после отключения ультразвуковых колебаний.

Использование прослоек. В работе [8] показано, что при сварке совместимых полимерных материалов следует использовать промежуточный слой из сополимеров, содержащих преимущественно неполярные или слабо полярные звенья обоих соединяемых полимеров. При значительной разнице свойств используют несколько слоев прослоек из сополимеров, образующих как бы переходные фазы, обеспечивающие плавное изменение химического строения и свойств полимеров в переходной зоне от одного полимера к другому [7].

При этом звенья, присущие макромолекулам одного из соединений полимеров, постепенно заменяются в сополимерах промежуточных слоев звеньями макромолекул другого полимера [6]. В результате на каждой границе можно обеспечить плотное молекулярное соединение однотипных звеньев и прочность, сравнимую с прочностью соединяемых полимеров. Значительное количество полимерных материалов имеют определенное процентное соотношение однотипных или близких по составу звеньев, которые при сварке могут образовывать прочное соединение. Поэтому условием образования качественного сварного соединения с применением промежуточного слоя из набора сополимеров считается наличие в зоне контакта молярной доли чужеродных звеньев не более 25 % [6]. Например, соединение полиэтиленовой пленки с пленками полистирола, поливинилацетата и поливинилового спирта можно осуществлять с использованием прослоек из сополимера этилена с виниловым спиртом и сополимера этилена с винилацетатом при содержании в них молярной доли звеньев этилена не менее 80 %. Возможен также набор пакетов сополимеров этилена с последовательным замещением звеньев этилена звеньями свариваемого с полиэтиленом полимерного материала.

Прививка сополимера. Способ создания на поверхности одного из соединяемых изделий привитого слоя второго полимера наиболее эффективен для образования на границе соединения физических связей, которые реализуются за счет полярных групп привитого слоя. Поэтому формировать такой слой целесообразно на менее полярном из соединяемых полимеров [6].

Прививка мономера происходит за счет его протекания в аморфные участки основного полимера, что обеспечивает неравномерное покрытие поверхности основы. С увеличением количества прививаемого мономера наблюдается его глубинное проникновение, Это влечет за собой образование гетерогенности основы, снижает степень кристалличности и прочность основного материала.

Для плохо сваривающихся по диффузионному механизму разнородных полимеров возможно эффективное использование способа химической сварки путем введения в зону сварки ди-, три-, тетраминов или диизоцианатов [6].

Химическая сварка. Предусматривает введение в зону сварки полифункционального вещества, способного одновременно вступать в химическую реакцию взаимодействия с макромолекулами обоих соединяемых полимеров. На выбор реагента влияют типы функциональных групп рассматриваемых полимеров, которые способны к реакции соединения в процессе сварки. Необходимыми условиями осуществления реакции взаимодействия являются правильный выбор присадочного реагента, достаточно активного к функциональным группам свариваемых полимерных материалов, сближение компонентов на расстояние, достаточное для протекания реакции, определение интервала температур, при котором соединяемые полимеры наиболее активны к реакции взаимодействия с присадочным реагентом.

Химическая сварка предпочтительна, когда необходимо снизить температурные деформации сварного шва, обеспечить стойкость соединений путем воздействия тепла или растворителей [6].

Ультразвуковая сварка. Для сварки полимерных материалов, таких как поликарбонат (ПК) с АБС-пластиком, сополимер стирола с полиметилметакрилатом (ПММА) и сополимер тетрафторэтилена (ТФЭ) с винилиденфторидом (ВФ), имеющих разные температуры плавления, различную молекулярную массу, аморфную и частично кристаллическую структуру, можно применять ультразвуковую сварку в контролируемой атмосфере (в вакууме), по-

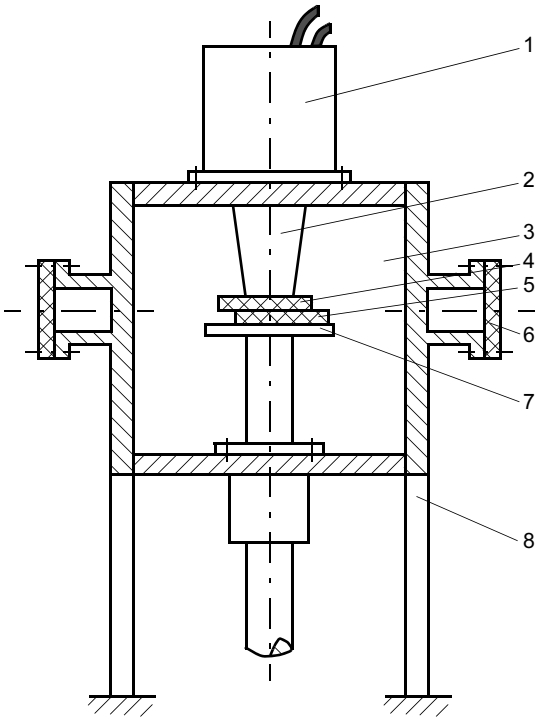
зволяющую исключить взаимодействие полимеров с окружающей средой, приводящее к термоокислительной деструкции и изменению физико-механических свойств свариваемых термопластов.

Ультразвуковая сварка в вакууме по сравнению со сваркой в атмосфере обеспечивает следующие преимущества:

— отсутствие продуктов термоокислительной деструкции, несмотря на перегрев деталей, имеющих меньшую температуру вязкотекучего состояния $T_в$ или температуру плавления кристаллической фазы $T_{пл}$;

— значительное снижение вязкости расплава за счет уменьшения гидростатического давления. Это в свою очередь будет способствовать протеканию процессов рекомбинации и образованию блок- и привитых полимеров в переходной зоне от одного полимера к другому. Кроме того, снижение вязкости расплава приведет к лучшему перемешиванию полимерных материалов в зоне соединения за счет увеличения турбулентности течения;

— значительное увеличение коэффициента молекулярной диффузии, сопровождающееся образованием блок-сополимеров и, как следствие, увеличение прочности сварного соединения и никаких изменений физико-механических свойств свариваемых термопластов.



Принципиальная схема вакуумной ультразвуковой установки для сварки разнородных полимерных материалов: *1* — магнитострикционный преобразователь; *2* — волновод: *3* — вакуумная камера; *4*, *5* — свариваемые изделия; *6* — смотровое окно; *7* — стол-опора; *8* — станина-рама

Проведенные эксперименты показали, что прочность данных сварных соединений зависит от степени разрежения в сварочной камере: при ее увеличении относительная прочность сварного соединения увеличивается. При достижении 0,133 Па она составляет 80—90 % прочности основного материала за счет снижения влияния процессов окисления и термодеструкции. Дальнейшее увеличение степени разрежения позволяет увеличить прочность сварных соединений еще на 2—4 %, однако производительность при этом резко снижается. Исследования структурных превращений полимеров при ультразвуковой сварке в вакууме показали, что свойства сварных соединений не только сохраняются, но и улучшаются. В частности, в процессе исследования молекулярно-массовых характеристик полимеров с применением гель-проникающей хроматографии установлено, что при ультразвуковой сварке в вакууме в поликарбонате (ПК) и АБС-пластике молекулярно-массовые характеристики не претерпевают значительных изменений, т. е. сохраняется исходная структура материала, а молекулярная масса увеличивается — происходит реакция рекомбинации, что способствует улучшению физико-механических свойств разнородных полимерных материалов,

В лаборатории ультразвуковой сварки и резки полимерных материалов МГТУ им. Н. Э. Баумана спроектирована и изготовлена опытная экспериментальная вакуумная установка для сварки разнородных полимерных материалов (см. рисунок).

Отличительной чертой ультразвуковой сварки разнородных материалов в вакуумной установке является сжатие свариваемых деталей с противоположной стороны ввода ультразвуковых колебаний с помощью механизма сжатия. Данный механизм может быть пневматическим, пружинным или с электроприводом. Предлагаемая схема позволяет варьировать сварочное давление в широких пределах с тем, чтобы изменять создаваемое напряжение.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее значительное влияние на глубину взаимного проникновения (проплавления) материалов при ультразвуковой сварке разнородных пластмасс оказывает соотношение показателей вязкости расплавов свариваемых материалов и их свойств.

2. Разработанные технологические приемы (способы) позволяют получать качественные сварные соединения разнородных пластмасс.

3. Процессы на макроуровне (тепловая диффузия, образование новых химических связей) в значительной степени обусловливает прочность после сварки разнородных пластмасс, а реологиче-

ские процессы на макроуровне — прочность при длительной эксплуатации сварных изделий.

4. При ультразвуковой сварке в вакууме при разрежении в камере 0,133 Па разнородные полимерные материалы не претерпевают структурных изменений, т. е. сохраняется исходная структура полимера, которая обеспечивает прочность сварного соединения, равную 80—90 % прочности основного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Волков С. С., Черняк Б. Я.* Сварка пластмасс ультразвуком. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1986. 256 с.
2. *Волков С. С., Гаранин И. Н., Мартыненко Л. В.* Особенности ультразвуковой сварки изделий из разнородных пластмасс // Сварочное производство. 1955. № 7. С. 4—6.
3. *Гуль В. Е., Акутин М. С.* Основы переработки пластмасс. М.: Химия, 1985. 399 с.
4. *Многокомпонентные* системы / Под ред. А. Ф. Голда. М.: Химия, 1974. 328 с.
5. *Минскер К. С., Федосеева Г. Т.* Деструкция и стабилизация поливинилхлорида. М.: Химия, 1971. 154 с.
6. *Комаров Г. В.* Способы соединения деталей из пластических масс. М.: Химия, 1979. 286 с.
7. *Вакула В. Л., Притыкин Л. М.* Физическая химия адгезии полимеров. М.: Химия, 1984. 224 с.
8. *Волков С. С., Гаранин И. Н., Холопов Ю. В.* Ультразвуковая сварка разнородных пластмасс с применением термопластичной прокладки и влияние шероховатости поверхностей на свариваемость // Сварочное производство. 1966. № 11. С.19—20.

М. В. РАДЧЕНКО, д-р техн. наук, В. Г. РАДЧЕНКО, д-р техн. наук, Ю. О. ШЕВЦОВ, канд. техн. наук, К. С. КРОВЯКОВ, канд. техн. наук
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (Барнаул)

Практика использования электронно-лучевых технологий сварки, упрочнения и наплавки в дизелестроении

Технология электронно-лучевого упрочнения зон кольцевых канавок алюминиевых поршней под компрессионные кольца

Практика эксплуатации двигателей внутреннего сгорания (ДВС), особенно форсированных дизельных двигателей, показывает, что наиболее слабым местом поршней являются зоны кольцевых канавок под компрессионные кольца. Образование предельного зазора между компрессионным кольцом и кольцевой канавкой поршня в основном и определяет ресурс двигателя до переборки, расход топлива и масла, а также затраты на ремонт. Поэтому повышение моторесурса кольцевых канавок поршней является основной задачей научных исследований в области двигателестроения как в России, так и за рубежом.

В межвузовской лаборатории электронно-лучевой технологии АлтГТУ им. И. И. Ползунова на основе более чем 20-летних исследований в области электронно-лучевых технологий разработана технология электронно-лучевого упрочнения наиболее технологически сложных поршневых алюминиевых заэвтектических сплавов типа АК21М2,5Н2,5. Технология упрочнения заключается в электронно-лучевом переплаве слоя металла в том месте поршня, где в последующем выполняется проточка кольцевой канавки необходимых геометрических размеров[1].

Упрочнение проводят на поршневых заготовках, полученных методом литья в кокиль. Предпочтительным является вариант применения технологии упрочнения как одной из технологических операций при производстве поршней. Перед упрочнением заготовку поршня очищают от грязи, пыли, масла, затем закрепляют в приспособлении для обеспечения вращения вокруг своей оси. После закрепления проводят герметизацию вакуумной камеры до необходимого остаточного давления (не более 0,01 Па) и выполняют упрочнение с легированием или без него.

Основными проблемами при электронно-лучевом переплаве в вакууме высококремнистого поршневого сплава являются растрескивание зоны переплава и высокий уровень остаточной пористости металла.

Для анализа причин их возникновения изучали технологии литья и дополнительной обработки алюминиево-кремниевых заготовок на специализированных предприятиях "Поршень" (Алма-Ата) и Новосибирском заводе им. В. П. Чкалова.

Решение этих проблем получено в результате анализа структурообразования поршневых заготовок в процессе их отливки и модификации, анализа теплового состояния поршня в процессе переплава зоны упрочнения и рационального выбора

[1]Патент 2148750 (РФ).

траектории высокочастотного сканирования электронного луча.

Для принудительной дегазации жидкой металлической ванны и более равномерного распределения в ней легирующих элементов потребовалось оснащение электронно-лучевых установок приборами управления луча (ПУЛ), позволяющими осуществлять перемешивание расплава за счет сканирования электронного луча по заданной траектории с определенной амплитудно-частотной характеристикой. Для этого в течение 1,5—2 лет была разработана и изготовлена серия специализированных приборов управления электронным лучом, обладающих большим объемом памяти, широким диапазоном частот и траекторий перемещения электронного луча, независимым регулированием развертки по осям координат, плавным регулированием амплитуды и универсальных для применения в электронно-лучевых пушках различных типов.

Такие характеристики ПУЛ позволяют выполнять технологические операции как исследовательского, так и производственного характера (рис. 1).

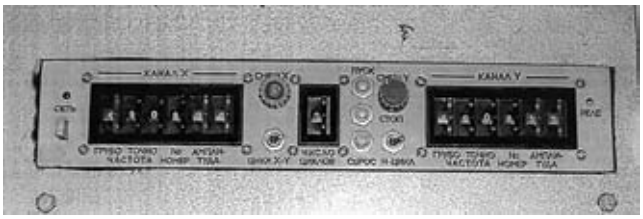


Рис. 1. Панель прибора программного управления электронным лучом

В результате комплексных экспериментальных исследований установлены оптимальные технологические параметры режима упрочнения, позволяющие получать практически бездефектный металл в зоне переплава с высокими показателями износостойкости.

В процессе отработки опытно-производственной технологии электронно-лучевого упрочнения поршней для дизелей ОАО "Барнаултрансмаш" был выявлен существенный резерв повышения износостойкости первой кольцевой канавки за счет упрочнения с легированием, что позволяет значительно расширить область применения данного способа упрочнения [1—4].

Для дополнительного легирования алюминиевого сплава с целью получения более высоких показателей износостойкости в качестве легирующего материала предлагается использовать нихромовую или медную проволоку.

Внешний вид поршневых заготовок с упрочненными зонами под кольцевую канавку приведен на рис. 2. Геометрические размеры поршней: диаметр 150 мм, высота 120 мм. Геометрические размеры компрессионных колец: радиальная ширина $6{,}05_{-0{,}2}$ мм, толщина 3,0 мм. Такими поршнями комплектуются быстроходные форсированные дизельные двигатели.

Рис. 2. Заготовки поршней из сплава АК21М2,5Н2,5 с упрочненными зонами под проточку кольцевых канавок (указаны стрелками)

При практической реализации разработанного способа упрочнения кольцевых канавок на заводе ОАО "Барнаултрансмаш" спроектировали и изготовили электронно-лучевую аппаратуру с 14-позиционным манипулятором под данный типоразмер поршней. С применением электронно-лучевой пушки с "холодным катодом" и манипулятором (рис. 3, 4) выполняли упрочнение поршней без легирования.

Результаты производственных испытаний упрочненных поршней при работе на форсированных дизелях показали повышение их моторесурса в 3 раза. Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанной технологии составляет 200 р. на один упрочненный поршень (в ценах 2000 г.).

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о перспективности применения электрон-

Рис. 3. Заводская электронно-лучевая установка с пушкой с "холодным катодом" и прибором управления лучом

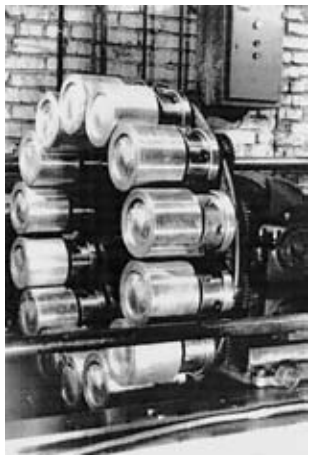


Рис. 4. 14-позиционный манипулятор для сварки и упрочнения поршней

но-лучевого упрочнения с легированием алюминиевых поршней ДВС.

Разработанная технология может быть рекомендована к внедрению на предприятиях, специализирующихся в области двигателестроения или производстве деталей и комплектующих для ДВС.

Технология электронно-лучевой сварки алюминиевых поршней ДВС

Одной из проблем, возникающих при эксплуатации поршней, является растрескивание днища поршня вследствие термоусталостных напряжений. Существует ряд способов снижения термоусталостных напряжений, в том числе за счет изменения конструкции поршней, в частности создания в зоне первой поршневой канавки дополнительной полости, по которой циркулирует моторное масло.

В такой конструкции поршня благодаря более интенсивному охлаждению за счет циркуляции моторного масла от днища поршня происходит более равномерный отвод теплоты, что приводит к снижению термоусталостных напряжений и предотвращению растрескивания алюминиевого сплава вблизи днища поршня.

Разработанная технология производства сварного поршня имеет определенные преимущества перед аналогичными технологиями, применяемыми для образования полости охлаждения в днище поршня, например методом заливки соляных стержней. Применение электронно-лучевой сварки в вакууме обеспечивает кинжальное проплавление, что предотвращает возникновение напряжений и последующих деформаций.

Такого рода принципиальные конструкторские и технологические работы были известны ранее, в частности, исследования германских (фирма "Мале") и российских ученых-конструкторов, в том числе сотрудников ЦКБ ОАО "Барнаултрансмаш". Однако во всех случаях применение электронно-лучевой технологии относилось только к низкокремнистым алюминиевым поршневым сплавам, "благополучным" в отношении металлургических дефектов при переплаве высококонцентрированными потоками энергии (плазменной струей, электронным лучом).

Авторами разработана и прошла успешное тестирование технология производства составного поршня с полостью охлаждения из высококремнистого алюминиевого сплава АК21М2,5Н2,5. Поршень выполнен из двух частей с последующей их сваркой электронным лучом (рис. 5). Результаты комплексного тестирования качества металла и всей конструкции поршней в целом показали практическое отсутствие каких-либо дефектов.

Разработанная технология электронно-лучевой сварки алюминиевых поршней может быть рекомендована для предприятий, специализирующихся в области двигателестроения.

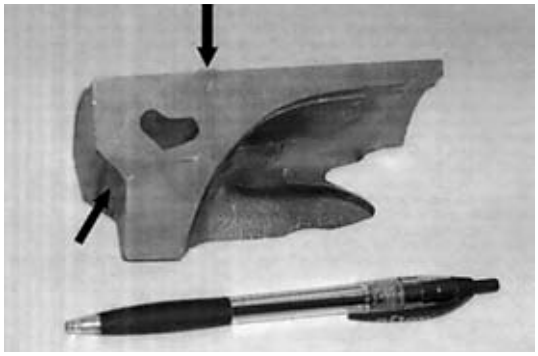


Рис. 5. Темплет составного сварного поршня с полостью охлаждения (стрелками указаны сварные швы)

Технологии электронно-лучевой сварки, упрочнения и наплавки других деталей ДВС

В связи с относительно высокой стоимостью оборудования использование высококонцентрированного источника нагрева — электронного луча в вакууме — для сварки и нанесения упрочняющих и защитных покрытий целесообразно в тех случаях, когда обеспечивает получение качественно новых результатов, свойств сварных, упрочненных и наплавленных изделий, а также при невозможности применения других методов поверхностного нагрева. В частности, авторами для предприятия ОАО "Барнаултрансмаш" выполнен комплекс технологических работ по электронно-лучевой сварке тела гильзы цилиндра с посадочным буртом. Экономия дорогостоящей легированной стали 38Х2МЮА при этом составила до 40 % за счет резкого уменьшения толщины стенки заготовки и устранения операции токарной обработки [5].

Разработанный метод наплавки электронными пучками низких энергий (до 5 кэВ) благодаря сочетанию преимуществ порошковых материалов и вакуумной защиты металла позволяет получать уникальные по эксплуатационным свойствам упрочняющие слои на поверхностях различных деталей дизелей [6—11].

Весьма эффективным является получение с помощью упрочнения и наплавки электронным лучом защитных слоев на поверхности деталей с высоким уровнем функциональных свойств (твердости, износо- и коррозионной стойкости) на деталях или заготовках из относительно дешевых низкоуглеродистых сталей. Благодаря подаче энергии точной дозировки при наплавке электронным лучом (ЭЛН) формируются равномерные по толщине слои с минимальным проплавлением основы, исключаются деформации нежестких деталей. Прочность сцеп-

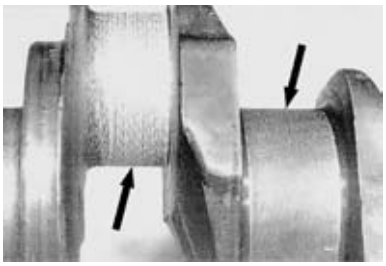


Рис. 6. Коленчатый вал форсированного дизеля с коренными и шатунными шейками, упрочненными методом электронно-лучевого оплавления (стрелками указаны места упрочнения)

Рис. 7. Распределительный вал ДВС после ремонта методом электронно-лучевой наплавки (стрелкой указано место износостойкой наплавки)

ления с основой наплавленных методом ЭЛН покрытий находится на уровне металлической связи. Поэтому в отличие от напыленных они не растрескиваются и не отслаиваются в результате воздействия интенсивных многоцикловых контактных нагружений. Возможна многократная наплавка после перешлифовки наплавленных деталей. Как показывает практический опыт, стоимость ремонта деталей составляет порядка 30 % стоимости новых при существенно более высоких функциональных показателях свойств поверхности.

Например, упрочнение с оплавлением рабочих кромок матриц для горячего деформирования распылителей дизельного топлива позволило в ОАО "Алтайдизель" повысить разгаростойкость поверхности в 2 раза.

Особенно актуальным является практическое применение электронно-лучевой наплавки высоколегированных порошковых сплавов на основе системы Ni—Cr—B—Si для ремонта и восстановления изношенных поверхностей тяжелонагруженных деталей: коленчатых и распределительных валов ДВС (рис. 6, 7), крестовин, шаровых опор, толкателей распределительного валика, ступиц шкивов клиноременных передач, ходовых винтов и др.

Использование высококонцентрированных электронных пучков для сварки, упрочнения с оплавлением и прямой порошковой наплавки является перспективной областью, в которой накоплен достаточно большой практический конструкторско-технологический опыт.

Перспективным является производство тяжелонагруженных деталей дизелей с наплавленными композиционными покрытиями, когда каждая из фаз — пластичная матрица и твердые упрочняющие частицы карбидов, боридов, силицидов тугоплавких элементов — выполняет определенные функции, образуя в комплексе материалы с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Разработанные технологии могут быть рекомендованы к внедрению на предприятиях, специализирующихся в области двигателестроения при производстве новых или восстановлении и ремонте изношенных деталей и комплектующих для ДВС.

Хорошая воспроизводимость результатов упрочнения и наплавки в автоматизированном режиме, возможность полной автоматизации технологического процесса с компьютерным управлением, существенного улучшения свойств поверхностного слоя изделий, экологическая чистота процесса в сочетании с выпускаемым в России и странах ближнего зарубежья надежным, апробированным в течение 30—35 лет оборудованием значительно расширяют диапазон технологических операций обработки деталей дизелей с использованием электронных пучков в вакууме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Радченко М. А., Кровяков К. С.* Исследование структуры и свойств поршневого алюминиевого сплава, обработанного электронным лучом // Сварочное производство. 1998. № 11. С. 9—12.
2. *Радченко М. В., Радченко В. Г., Кровяков К. С.* Получение упрочненных слоев на поверхности поршней из силуминов методом электронно-лучевой наплавки // Сварочное производство. 1999. № 11. С. 48—51.
3. *Кровяков К. С., Радченко М. В.* Упрочнение кольцевых канавок поршня дизеля электронно-лучевой обработкой // Техника машиностроения. 2000. № 3. С. 23—25.
4. *Радченко М. В., Зубков А. В., Косоногов Е. Н.* Электронно-лучевое упрочнение поршневого сплава АК21 // Электронно-лучевая сварка. М., 1986. С. 27—30.
5. *Радченко М. В., Батырев Н. И.* О структурообразовании в процессе электронно-лучевого упрочнения стали 55Х2Н2МФА с оплавлением поверхности // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. 1987. № 4. Вып. 1. 4 с.
6. *Электронно-лучевая* сварка гильзы цилиндров дизельных двигателей / Н. А. Ольшанский, В. Г. Радченко, М. В. Радченко и др. // Материалы 8-й Всесоюзн. конф. по электронно-лучевой сварке. М., 1983. С. 16—19.
7. *Радченко М. В., Радченко В. Г., Шевцов Ю. О.* Упрочнение поверхности деталей и инструментов электронным пучком в вакууме // Сб. тез. регион. научно-техн. конф. Иркутск, 1990. С. 87—88.
8. *Radchenko M. V., Shevtsov Yu. O., Batyrev N. I.* Metallurgical coating made by electron beam surfacing // 5 Int. Conf. On Electron beam techn. Varna, 1991. P. 487.
9. *Оценка* твердости и пластичности слоев, созданных электронно-лучевым наплавлением в вакууме / М. В. Радченко, В. Г. Радченко, А. М. Кириенко, Ю. О. Шевцов // Металлург. 1997. № 8. С. 33—35.
10. *Радченко М. В., Белянина Т. Н.* Исследование характера коррозионного износа защитных покрытий, выполненных методом электронно-лучевой наплавки порошковых сплавов в вакууме // Перспективные материалы. 1997. № 6. С. 56—60.
11. *Радченко М. В., Шевцов Ю. О., Радченко В. Г.* Комплексный анализ износостойких защитных покрытий, наплавленных электронными пучками в вакууме // Ползуновский вестник. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. № 2 (ч. 2). С. 67—71.

П. В. ГЛАДКИЙ, канд. техн. наук, Е. Ф. ПЕРЕПЛЕТЧИКОВ, канд. техн. наук, И. А. РЯБЦЕВ, канд. техн. наук
ИЭС им. Е. О. Патона

Плазменная наплавка *(обзор)*

В промышленных масштабах плазменную наплавку начали применять в СССР и США в 60-х гг. прошлого века [1—3]. За прошедшие десятилетия разработаны многочисленные способы плазменной наплавки, при которых наплавляемое изделие включается в электрическую цепь (наплавка плазменной дугой) или является нейтральным (наплавка плазменной струей), а в качестве присадочных материалов используются порошки, проволоки, пасты, литые прутки, пластины и др. [4].

По виду применяемого присадочного материала известные способы плазменной наплавки можно разделить на три основные группы:

— наплавка проволокой или прутками;

— наплавка по неподвижной присадке, уложенной или каким-либо образом закрепленной на наплавляемой поверхности;

— наплавка порошком.

Плазменная наплавка проволокой (прутками)

Наплавку плазменной струей с токоведущей присадочной проволокой (рис. 1, *а*) выполняют постоянным током прямой полярности [5]. Дуга горит между вольфрамовым катодом и присадочной проволокой, подаваемой сбоку под прямым углом к оси плазмотрона. Между катодом и соплом плазмотрона постоянно горит также слаботочная (15—25 А) дежурная дуга (на схеме не показана), которая обеспечивает надежное возбуждение и устойчивое горение рабочей дуги.

Основной металл нагревается за счет теплового воздействия струи плазмы и теплоты, переносимой каплями присадочного металла. Эффективная тепловая мощность такого источника нагрева зависит от тока дуги и расстояния *h* между проволокой и основным металлом (рис. 2). Сохраняя ток и, следовательно, скорость плавления присадочной проволоки неизменными, варьируя *h*, можно в довольно широких пределах изменять мощность, расходуемую на нагрев основного металла. Благодаря этому при наплавке плазменной струей можно регулировать тепловые и диффузионные процессы на границе сплавления, определяющие глубину проплавления основного металла и его содержание в наплавленном слое, протяженность, состав и свойства зоны сплавления.

Наплавку рекомендуется производить с поперечными колебаниями плазмотрона и присадочной проволоки. Размах колебаний обычно не превышает 50—60 мм. Частота колебаний находится в пределах 20—50 мм$^{-1}$.

По производительности (4—10 кг/ч) наплавка плазменной струей с токоведущей проволокой сопоставима с наплавкой под флюсом проволочным электродом. Коэффициент наплавки составляет 25—30 г/(А · ч).

Наплавку плазменной струей применяют в судовом машиностроении для нанесения коррози-

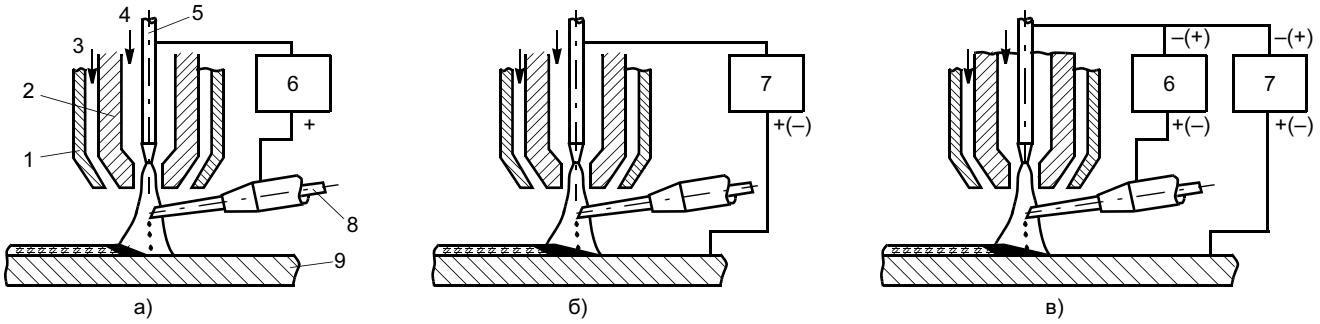


Рис. 1. Схемы плазменной наплавки с присадкой одной проволоки: *а* — плазменной струей с токоведущей присадочной проволокой; *б* — плазменной дугой с нейтральной присадочной проволокой; *в* — комбинированной (двойной) дугой; *1* — защитное сопло; *2* — формирующее сопло; *3* — защитный газ; *4* — плазмообразующий газ; *5* — электрод; *6*, *7* — источники питания косвенной дуги и дуги прямого действия соответственно; *8* — проволока; *9* — изделие

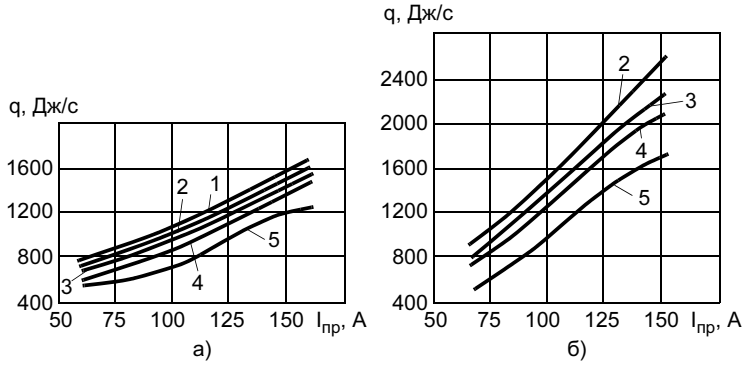


Рис. 2. Зависимость эффективной тепловой мощности *q* плазменной струи (*а*) и плазменной струи с расплавленным присадочным металлом (*б*) от тока $I_{пр}$ (присадочная проволока 0Х18Н9Т диаметром 1,6 мм): *1—5* — расстояние от проволоки до изделия соответственно 5, 10, 15, 20 и 30 мм

онно-стойких и антифрикционных сплавов. Наплавку различных валов, штоков арматуры и других деталей выполняют медными сплавами с применением присадочных проволок сплошного сечения или порошковых Бр КМц 3-1, Бр АМц 9-2, Бр АЖНМц 8,5-4-5-1,5, МНЖКТ 5-1-0,2-0,2, Бр ОН8-3 и др. [6—9]. Плазмообразующий и защитный газ — аргон. Перед наплавкой алюминиевых бронз на поверхность изделия наносят тонкий слой флюса 34-А [9]. Детали запорной арматуры судовых трубопроводов наплавляют проволоками Св-02Х19Н9, Св-06Х19Н10Т и др. [6, 7].

Используя вместо проволоки сварно-литые прутки или трубчатые электроды, этим способом можно наплавлять также износостойкие сплавы — стеллит, сормайт, релит и др. [10]. Однако это менее надежно и удобно, чем наплавка с присадкой проволоки.

Наплавка плазменной дугой с нейтральной присадочной проволокой (см. рис. 1, *б*) впервые была описана в работе [11]. Наплавку с применением нейтральной присадки можно выполнять механизированным способом и вручную. То, что присадочная проволока электрически нейтральна, снижает интенсивность ее плавления, но в ряде случаев дает определенные технологические и металлургические выгоды: меньше разбрызгивание при наплавке порошковой проволокой, меньше угар легкоиспаряющихся легирующих элементов, предупреждается чрезмерное растворение карбидных зерен при наплавке композиционных сплавов и др.

При токе 300—500 А производительность наплавки достигает 6—9 кг/ч. На практике производительность наплавки по этой схеме значительно ниже, так как с ростом тока недопустимо увеличивается проплавление основного металла. Например, наплавку стеллита дугой прямой полярности с присадкой порошковой проволоки диаметром 2,4 и 3,2 мм рекомендуется вести на токе 80—150 и 120—170 А соответственно. При этом производительность наплавки составляет 1,4—2,5 кг/ч, доля основного металла в первом слое $\gamma_0 \approx 15$ %. Производительность наплавки стеллита плазменной дугой обратной полярности примерно такая же — около 1,8 кг/ч при токе 200—220 А, но проплавление основного металла значительно меньше ($\gamma_0 < 5$ %).

Наплавка плазменной дугой с нейтральной присадочной проволокой нашла значительное и разнообразное применение в промышленности. Этим способом наплавляют медь и ее сплавы, инструментальные стали, жаропрочные и коррозионно-стойкие сплавы на основе никеля, кобальта и титана, композиционные и другие материалы.

В качестве присадочного материала используют проволоку сплошного сечения, порошковую проволоку или литые прутки [12—14]. Для прецизионной наплавки применяют присадочную проволоку диаметром 0,4—0,6 мм [15]. Плазмообразующим газом служит аргон или аргоногелиевая смесь, защитным — аргон, азот, смесь аргона, содержащая 5—8 % водорода, и другие газы и смеси в зависимости от наплавляемого металла. При наплавке на обратной полярности рекомендуется добавлять в защитный газ небольшое количество кислорода (0,1—0,2 %) или CO_2, что уменьшает диаметр пятна нагрева плазменной дуги, повышает ее стабильность и улучшает формирование наплавленных валиков.

Характерные наплавляемые детали — клапаны и седла клапанов двигателей внутреннего сгорания, детали трубопроводной арматуры для воды, пара и газа, ножи для резки металла, прокатные валки, штампы, шнеки, замки и муфты бурильных труб, лабиринтные уплотнения авиационных турбин и др. [12—15].

Во ВНИИЭСО разработаны универсальные установки УПН-601 и УПН-602, позволяющие вести наплавку плазменной дугой прямой и обратной полярности с токоведущей или нейтральной присадочной проволокой [16]. В ИЭС им. Е. О. Патона разработана специализированная установка Об-1795 для плазменной наплавки замков и муфт бурильных труб с присадкой "ленточного релита" [14].

За рубежом для наплавки плазменной дугой с нейтральной присадочной проволокой применяют как универсальные, так и специализированные установки. Последние, как правило, автоматизированы и снабжены программным управлением [13].

Для ремонта мелких прецизионных вырубных штампов, широко применяемых в приборостроении, радио- и электротехнической промышленности, эффективной оказалась ручная микроплазменная наплавка [12]. Для наплавки используют серийные установки для микроплазменной сварки УПУ-4; присадочный материал — порошковая проволока ПП-АН148 диаметром 1,6—2,0 мм. Благодаря малому термическому воздействию микроплазменной дуги на основной металл восстановленные штампы из закаленной стали Х12 сохраняют твердость, не нуждаются в последующей термической обработке и не требуют больших затрат на механическую обработку.

Другим примером прецизионной наплавки, выполняемой с помощью микроплазменной дуги, но не вручную, а механизированным способом, является восстановление лабиринтных уплотнений авиационных турбин [15]. Наплавку выполняют в импульсном режиме: минимальные значения тока 2—5 А, максимальные — 7—15 А, частота импульсов 10—50 Гц. Основной металл — сплав TiAl6V4, присадочный материал — проволока диаметром 0,4—0,6 мм такого же состава или из сплавов НХ20К13М4Т3ЮР и Н50Х20Б5М3.

Наплавку двойной плазменной дугой с токоведущей присадочной проволокой (см. рис. 1, *в*) выполняют двумя дугами прямой или обратной полярности, питаемыми, как правило, от автономных источников [17]. Одна из них горит между электродом плазмотрона и изделием, другая — между электродом и присадочной проволокой. Плавление присадочного материала происходит за счет теплоты, получаемой им путем теплообмена с плазмой столба дуги электрод—изделие, и теплоты, выделяющейся в активном пятне дуги электрод—проволока.

По производительности (10 кг/ч) этот способ значительно превосходит наплавку плазменной дугой с нейтральной присадкой, обеспечивая при этом во многих случаях меньшее проплавление основного металла. По сравнению с наплавкой плазменной струей с токоведущей присадочной проволокой он более универсален и надежен.

Практическое применение находит наплавка двойной плазменной дугой обратной полярности в аргоне. Применяемые для наплавки материалы — сплавы на основе меди [6, 18], хромоникелевые коррозионно-стойкие стали [6, 19] и др. Наплавляемые изделия — преимущественно детали судового машиностроения, в частности, в серийном производстве наплавляют бронзой Бр АМц 9-2 поршни диаметром 60—160 мм из стали 40Х. Успешно применяют также наплавку деталей диаметром 300—350 мм из стали 35 проволокой Св-04Х19Н11М3. Имеется опыт наплавки стального вала диаметром 200 мм с длиной наплавляемого участка около 3 м бронзой Бр ОН8-3 с подслоем из бронзы Бр КМц3-1 [6].

Наплавка комбинированной плазменной дугой с присадкой двух проволок (рис. 3) подробно рассматривается в работе [20]. Благодаря применению двух присадочных проволок, подаваемых в столб плазменной дуги прямого действия навстречу друг другу, компенсируется их магнитное дутье и повышается производительность наплавки, достигающая 30 кг/ч и более.

Толщину наплавленного слоя можно регулировать в пределах 3—8 мм независимо от производительности наплавки. Наплавка ведется с поперечными колебаниями наплавочной головки (размах колебаний до 70 мм). Зона наплавки защищается от воздуха с помощью насадки размером 230 × 120 мм. Защитный газ — аргон или смесь аргона с водородом; плазмообразущий газ — аргон или аргоногелиевая смесь.

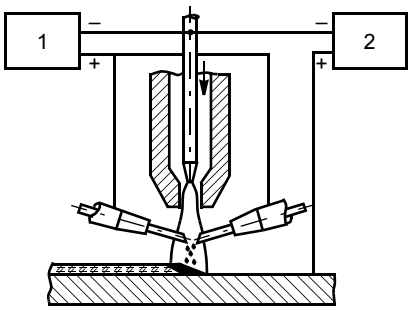


Рис. 3. Схема плазменной наплавки с присадкой двух проволок: *1* — источник питания дуги электрод—проволока; *2* — источник питания дуги электрод—изделие

Практическое применение плазменная наплавка комбинированной дугой с двумя присадочными проволоками нашла в атомном и химическом машиностроении. Например, трубные доски теплообменников диаметром 1000—2000 мм и толщиной 120—380 мм наплавляли проволоками диаметром 1,6 мм из хромоникелевых сталей Х21Н11 и Х20Н10 или никелевых сплавов с производительностью 16 кг/ч. При наплавке сталью типа Х20Н10 направляющих регулировочных стержней ВВР, несмотря на малый диаметр деталей (100—200 мм), производительность составляла 12 кг/ч [20, 21].

Плазменную наплавку "горячими" проволоками выполняют [22] при подогреве за счет джоулевой теплоты присадочных проволок, подключенных к автономному источнику тока (рис. 4). Две присадочные проволоки диаметром 1,6 или 2,4 мм подаются с постоянной скоростью в сварочную ванну, создаваемую мощной плазменной дугой прямого действия. Проволоки расположены V-образно под углом 30° друг к другу и включены последовательно через сварочную ванну в цепь источника переменного тока с жесткой внешней ВАХ. Ток, скорость подачи проволок и расстояние от токоподводящих мундштуков до поверхности сварочной ванны выбирают таки-

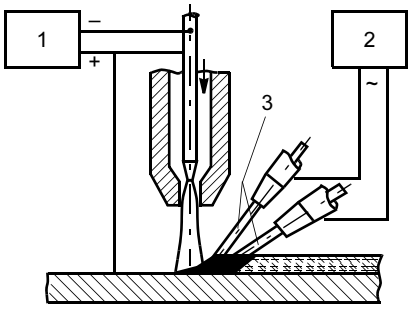


Рис. 4. Схема плазменной наплавки горячими проволоками: *1* — источник постоянного тока для питания плазменной дуги; *2* — источник переменного тока для подогрева проволок; *3* — присадочные проволоки

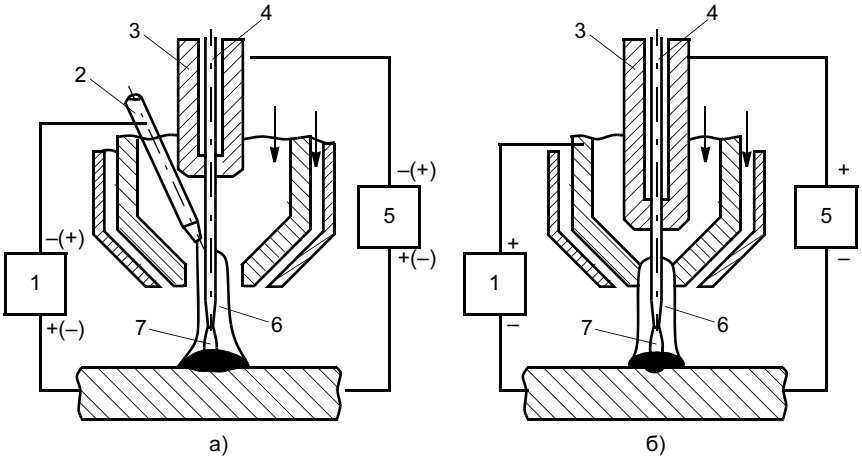


Рис. 5. Схема плазменной наплавки плавящимся электродом: *а* — с неплавящимся электродом плазменной дуги; *б* — с медным соплом в качестве электрода плазменной дуги (с токоподводящим соплом); *1* — источник питания плазменной дуги; *2* — вольфрамовый или водоохлаждаемый медный электрод; *3* — мундштук; *4* — электродная проволока; *5* — источник питания дуги с плавящимся электродом; *6* — плазменная дуга; *7* — дуга плавящегося электрода

ми, чтобы проволоки нагревались проходящим током почти до температуры плавления, в результате чего резко повышается производительность наплавки.

Наплавку выполняют, как правило, с поперечными колебаниями плазмотрона. При этом ширина наплавленного валика достигает 60—65 мм. При наплавке без колебаний валик имеет ширину 18—20 мм. Высота наплавленных валиков 3—6 мм.

Производительность плазменной наплавки горячими проволоками достигает 27 кг/ч. Доля основного металла γ_0 в наплавленном слое может быть весьма малой, но на практике она обычно составляет 5—15 %.

Рассматриваемым способом можно наплавлять практически все металлы и сплавы (за исключением алюминиевых), которые поставляются в виде проволок. Кроме проволок сплошного сечения можно использовать также порошковые проволоки, но без флюсообразущих компонентов в сердечнике. В промышленности применяют наплавку этим способом хромоникелевых и хромистых сталей, никеля с содержанием 1—4 % Ti, монеля, инконеля, хастеллоя B, меди, алюминиевых и оловянных бронз и других сплавов. Наплавляемые детали — фланцы крупных сосудов высокого давления, трубные доски теплообменников, детали химических аппаратов, элементы корпусов реакторов и оборудования первого контура атомных электростанций [22—24].

Плазменная наплавка плавящимся электродом (рис. 5) представляет комбинацию плазменной и дуговой сварки (наплавки) плавящимся электродом[1]. От обычной дуговой наплавки отличается тем, что конец проволочного электрода и дуга, горящая между проволокой и изделием, окружены аксиальным потоком плазмы, создаваемым плазменной дугой прямого или косвенного действия. Благодаря этому значительно возрастает скорость плавления проволоки, повышается стабильность дуги, улучшаются перенос электродного металла и формирование наплавленных валиков.

Наплавку по схеме на рис. 5, *а* можно вести дугой как прямой, так и обратной полярности. При обратной полярности резко возрастает тепловая нагрузка на неплавящийся электрод, что ограничивает ток плазменной дуги. Например, для вольфрамового электрода диаметром 6 мм он не должен превышать 200 А.

Чтобы повысить допустимый ток плазменной дуги, применяют медный водоохлаждаемый электрод или, что более эффективно, используют в качестве неплавящегося электрода сопло (рис. 5, *б*). Во втором случае упрощается конструкция горелки, уменьшаются ее габаритные размеры.

Производительность наплавки определяется током дуги плавящегося электрода $I_{пэ}$ и при $I_{пэ}$ = = 500 А и вылете 65 мм составляет около 34 кг/ч. При этом коэффициент расплавления равен 67,8 г/(А · ч), если учитывать только ток дуги плавящегося электрода, или 56,4 г/(А · ч), если учитывать суммарный ток обеих дуг.

В качестве плазмообразующего газа при наплавке плавящимся электродом в большинстве случаев используют аргон. Для защиты сварочной ванны применяют в зависимости от состава электродной проволоки и основного металла аргон и его смеси с кислородом, углекислым газом, гелием, азотом или водородом, а также углекислый газ.

[1] Патент 3612807 (США).

В промышленных условиях плазменную наплавку плавящимся электродом применяют для нанесения износостойких и антикоррозионных сплавов. Хорошие результаты получены при восстановлении полых роликов установок непрерывной разливки стали [25]. Эффективной оказалась наплавка сплавом инконель 625 шарнирных соединений трубопроводов для слива нефти из танкеров [26]. Из технологических и конструктивных соображений на практике применяют наплавку проволокой диаметром 1,6 мм в два и пять слоев производительностью от 10 до 20 кг/ч в зависимости от ширины наплавляемых валиков (30—60 мм).

Наплавка по неподвижной присадке

Характерная особенность этой группы способов плазменной наплавки состоит в том, что в процессе наплавки присадка неподвижна относительно изделия. Присадочный материал укладывается, насыпается, наклеивается или иным способом наносится заранее на подлежащую наплавке поверхность изделия или же подается на нее в процессе наплавки, перед дугой. В качестве присадки используют кольца или пластины, форма и размеры которых соответствуют разделке под наплавку, пасты, порошки и другие материалы.

Наплавка с применением компактной присадки (колец и пластин) требует изготовления соответствующей присадки для каждого типоразмера наплавляемых деталей, что является технически и экономически оправданным только в условиях серийного производства.

Примером может служить способ плазменной наплавки выпускных клапанов автомобильных двигателей [1]. Присадочным материалом для наплавки клапанов служат кольца, изготовляемые из смеси порошков никеля, хрома, графита и других компонентов методами порошковой металлургии. Кроме легирующих элементов в их состав введены также небольшие добавки CaF_2 (до 0,1 %) и лигатуры Al—Ce, улучшающие сварочно-технологические свойства колец.

Схема наплавки клапанов приведена на рис. 6. Клапан с уложенным в разделку присадочным кольцом устанавливают в патроне наплавочного станка вертикально. Присадочное кольцо расплавляется плазмотроном, расположенным под углом 45° к оси клапана; при этом на рабочей фаске клапана образуется слой жаропрочного коррозионно-стойкого сплава. Чтобы предотвратить прожог кромки, снизу к тарелке клапана поджимается медная водоохлаждаемая подкладка. В процессе наплавки ток дуги изменяется по определенной программе, благодаря чему исключается образование дефектов в месте возбуждения дуги и обеспечивается безупречное замыкание кольцевого валика. Наплавку клапанов производят на станках У151 и У151-М конструкции ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона. Производительность 100—120 наплавленных клапанов в 1 ч.

Способ наплавки по слою пасты, как и пасты ЦИС218 и ЦИС770В, разработан в Центральном институте сварочной техники (Галле, Германия) [27]. Основой паст служит смесь порошков металлов, ферросплавов, карбидов и др., при расплавлении которой образуется износостойкий Fe—Cr—C- или Fe—Cr—V—Ni—C-сплав. Пасту наносят на изношенную поверхность детали и после высыхания оплавляют плазмотроном. С использованием пасты ЦИС218 проводили наплавку пластин размером 500 × 200 × 6 мм, которыми облицовывали быстроизнашивающиеся поверхности роторных экскаваторов.

При наплавке по слою гранулированной присадки (крупки) (рис. 7) присадочный материал в виде гранул неправильной формы размером 0,5—3,0 мм в поперечнике заранее насыпают равномерным слоем на наплавляемую поверхность изделия или же подают на нее специальным питателем в процессе наплавки. Расплавляется он плазмотроном, перемещающимся вслед за наконечником питателя и совершающим поперечные колебания, размах которых равен ширине насыпанного слоя крупки.

Пригодную для наплавки этим способом крупку можно изготовлять практически из любого хрупко-

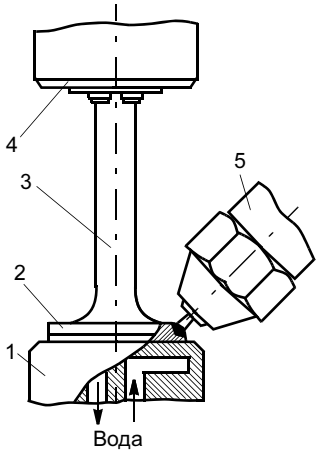


Рис. 6. Схема наплавки клапана плазменной дугой: *1* — медная подкладка; *2* — присадочное кольцо; *3* — клапан; *4* — патрон вращателя; *5* — плазмотрон

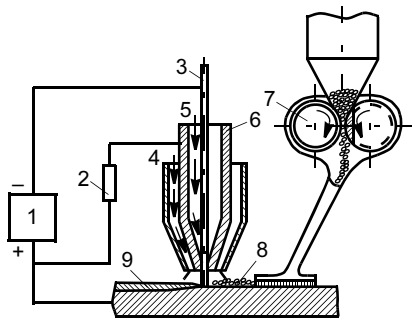


Рис. 7. Схема наплавки по слою крупки: *1* — источник питания; *2* — ограничительное сопротивление; *3* — электрод; *4*, *5* — ввод защитного и плазмообразующего газов соответственно; *6* — сопло плазмотрона; *7* — питатель для подачи крупки; *8* — крупка; *9* — наплавленный металл

го сплава механическим измельчением. Изготовленная по такой технологии крупка из сплавов Co—Cr—W—C, Ni—Cr—Si—B, Fe—Cr—C, Fe—Cr— C—B и др. имеет хорошие сварочно-технологические свойства. Осколочная форма позволяет им хорошо удерживаться на наплавляемой поверхности.

При токе 250—300 А производительность наплавки составляет 6—8 кг/ч и может быть значительно повышена при использовании более мощных плазмотронов.

Центробежная плазменная наплавка является разновидностью способа плазменной наплавки по слою порошковой или гранулированной присадки применительно к наплавке внутренних поверхностей втулок, гильз и других деталей цилиндрической формы (рис. 8). Во вращающуюся с большой скоростью цилиндрическую втулку при помощи загрузочного устройства засыпают необходимое для получения наплавленного слоя заданной толщины количество порошка (крупки). Под действием центробежных сил порошок равномерно распределяется по внутренней поверхности втулки. Затем в нее на длинной жесткой штанге, внутри которой проложены коммуникации для тока, воды и газа, вводится плазмотрон и возбуждается дуга прямого действия. После образования кольцевой ванны расплавленного присадочного металла включается продольное перемещение плазмотрона.

Наплавку выполняют без флюса, в аргоне или другом защитном газе. Как присадочный материал хорошо зарекомендовали себя распыленные порошки сплавов Ni—Cr—Si—B, Co—Cr—W—C, Fe—Cr—C—B и др. с размером частиц 100—250 мкм.

Центробежным способом можно наплавлять слои толщиной от 0,5 до 4 мм с хорошим качеством поверхности и минимальными припусками на обработку. При токе дуги 400—450 А производительность наплавки достигает 12 кг/ч.

Основными параметрами режима центробежной плазменной наплавки являются число оборотов детали, ток дуги, скорость наплавки (скорость продольного перемещения плазмотрона) и толщина наплавляемого слоя. С увеличением числа оборотов детали поверхность наплавленного металла становится более ровной и чистой. При достаточно большой скорости вращения исключается раздувание присадочного порошка дугой, резко уменьшается влияние давления дуги на проплавление основного металла, обеспечивается отличное формирование наплавленного металла.

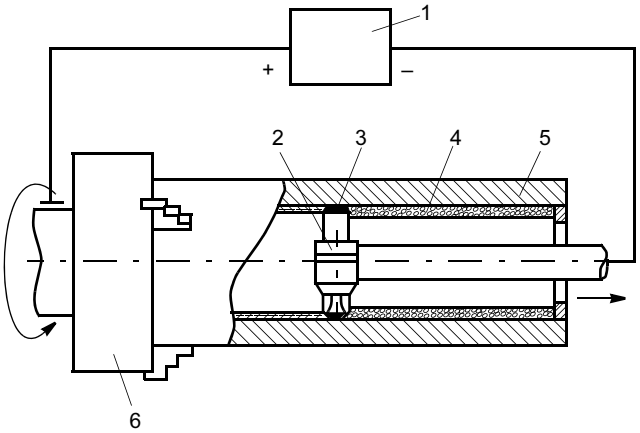


Рис. 8. Схема центробежной плазменной наплавки: *1* — источник питания плазменной дуги; *2* — плазмотрон; *3* — кольцевая сварочная ванна; *4* — присадочный порошок; *5* — деталь; *6* — патрон

На разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона установках типа УД251 можно наплавлять этим способом детали типа втулок с внутренним диаметром от 60 до 300 мм и длиной до 1300 мм. Установки комплектуются тремя плазмотронами с максимальным рабочим током 300 А (один плазмотрон для втулок диаметром 60—90 мм) и 500 А (для втулок диаметром 90—160 мм применяют один плазмотрон, для втулок диаметром 160—300 мм — два).

Плазменную наплавку порошком выполняют плазменной дугой прямого действия или двумя плазменными дугами прямого и косвенного действия с общим электродом. При этом используют различные схемы ввода порошка в дугу, которые можно разделить на две большие группы, отличающиеся тем, что в одном случае порошок вводится в дугу внутри плазмотрона (рис. 9), а в другом — вне его (рис. 10). В плазмотронах с внутренним вводом порошка в дугу создаются, как правило, более благоприятные условия для его нагрева плазмой. При внешней подаче порошка его нагрев менее эффективен, зато надежность работы плазмотрона несколько выше. Плазмотроны с подачей порошка через осевое отверстие в катоде пока не нашли практического применения вследствие трудностей изготовления электродов с отверстием и сложностями, связанными с подачей порошка через отверстие относительно малого диаметра.

Радиальный ввод порошка через боковое отверстие в канале сопла (см. рис. 9, *в*) типичен для напыления, но для наплавки используется редко. При такой схеме ввода порошка стабильная работа плазмотрона возможна лишь при сравнительно больших расходах плазмообразующего газа и малых транспортирующего. Это условие легко выполняется при напылении, но при наплавке большой расход плазмообразую-

щего газа нежелателен, так как ведет к увеличению глубины проплавления основного металла.

Для наплавки эффективной является схема ввода порошка в дугу под углом 25—80° через воронкообразную щель, образуемую сопрягаемыми коническими поверхностями внутреннего и наружного сопл плазмотрона (см. рис. 9, *г*). В этом случае поток транспортирующего газа и порошка концентричен дуге и поэтому не только не снижает, но повышает ее стабильность. Дуга косвенного действия горит между электродом и внутренним соплом и служит в основном для обеспечения устойчивой работы плазмотрона. Более мощная дуга прямого действия обеспечивает необходимый нагрев поверхности изделия, плавление присадочного металла и образование сварочной ванны.

Схемы плазменной наплавки с внешней подачей присадочного порошка приведены на рис. 10. Порошок подается в зону наплавки через отверстия в торце сопла плазмотрона или по трубке, расположенной сбоку сопла.

При наплавке сплавов на основе никеля, кобальта или железа угол наклона этих отверстий, их сечение, расход транспортирующего газа и другие параметры режима выбирают такими, чтобы порошок вводился в дугу на небольшом расстоянии от поверхности изделия и попадал в сварочную ванну под дугой. При этом порошок может подаваться в дугу спереди (см. рис. 10, *а*), сзади (см. рис. 10, *б*) и сбоку одновременно с нескольких сторон (см. рис. 10, *в*).

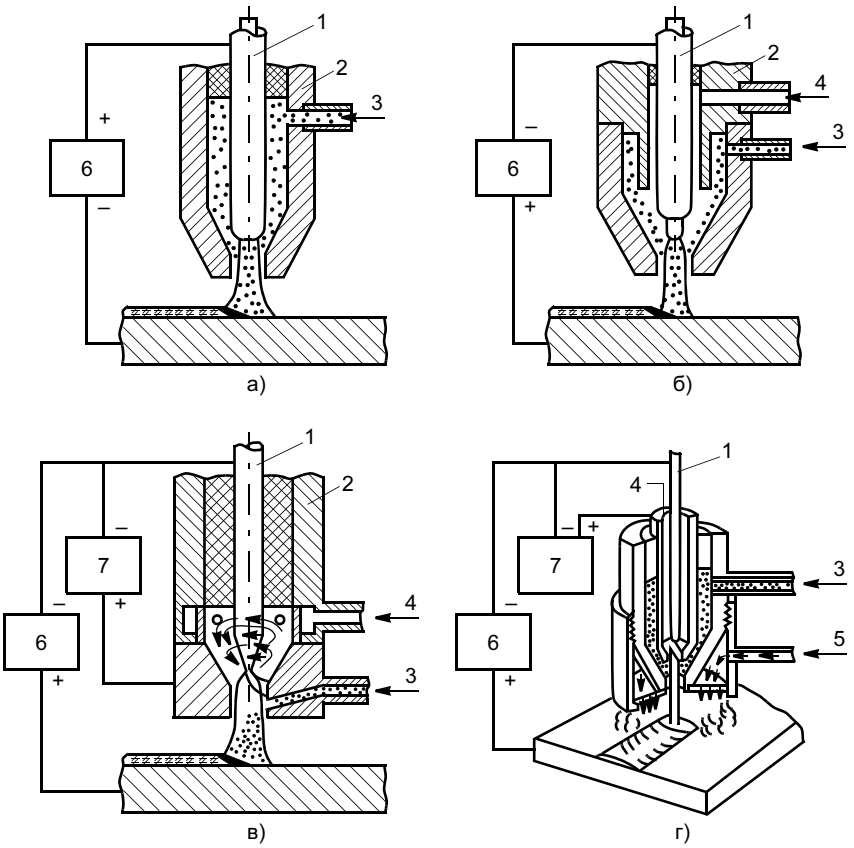


Рис. 9. Схема плазменной наплавки с вводом присадочного порошка в дугу внутри плазмотрона: *а* — вместе с плазмообразующим газом; *б* — через электродную камеру; *в* — через боковое отверстие в канале сопла; *г* — через воронкообразную щель между соплами; *1* — электрод: медный водоохлаждаемый (*а*), водоохлаждаемый с вольфрамовой вставкой (*б*) или вольфрамовый (*в*, *г*); *2* — сопло; *3* — ввод присадочного порошка с транспортирующим газом; *4*, *5* — ввод плазмообразующего и защитного газов соответственно; *6*, *7* — источники питания дуги прямого и косвенного действия соответственно

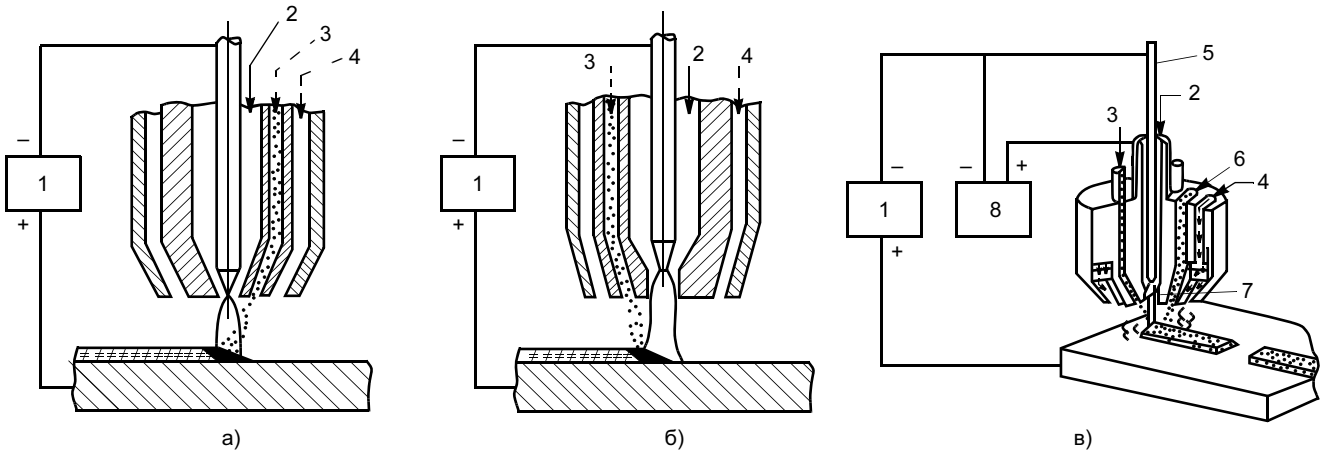


Рис. 10. Схема плазменной наплавки с внешней подачей присадочного порошка: *а* — подача порошка через отверстие в торце сопла "углом назад"; *б* — то же, "углом вперед"; *в* — подача порошка по каналам в сопле плазмотрона; *1* — источник питания дуги прямого действия; *2*, *4* — ввод плазмообразующего и защитного газов соответственно; *3* — ввод присадочного порошка транспортирующим газом; *5* — электрод; *6* — ввод дополнительного присадочного порошка; *7* — плазменная дуга; *8* — источник питания косвенной дуги

Направление подачи порошка в данном случае не имеет решающего значения: на практике используют все эти варианты.

При наплавке композиционных сплавов канал для подачи карбидов чаще всего расположен сзади дуги и имеет такой угол наклона, чтобы зерна карбида попадали в ванну, минуя дугу. Это позволяет устранить или хотя бы уменьшить их растворение в расплаве. Сварочная ванна образуется за счет расплавления основного металла, защитного покрытия, нанесенного на зерна карбида вольфрама, или порошка сплава-связки, который подается вместе с карбидом либо отдельно от него по боковым каналам.

Представленные на рис. 10 схемы подачи порошка являются весьма распространенными при плазменной наплавке. Схема на рис. 10, *б* (как и на рис. 9, *г*) реализована в первых аппаратах моделей А1105 и А1299 ИЭС им. Е. О. Патона для плазменной наплавки порошками. Она применяется также в специализированной установке Об1795 конструкции ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона для наплавки композиционными сплавами замков и муфт бурильных труб [14].

По данным работы [28], в которой исследовали энергетический баланс процесса плазменной наплавки, на нагрев порошка расходуется при внутренней его подаче от 9 до 20 % мощности дуги, при внешней подаче — около 12 %.

В зависимости от конструкции плазмотрона для наплавки применяют присадочные порошки с размером частиц от 45 до 250 мкм, реже — до 500 мкм, получаемые, как правило, путем распыления жидкого металла инертным газом или водой.

Для наплавки композиционных слоев используют механические смеси порошков сплава-связки и карбидов вольфрама, ниобия или ванадия [29]. Содержание карбидов в смеси может достигать 75—80 %. Размер зерна от 20 до 200 мкм. Такие смеси служат преимущественно для наплавки плазмотронами с внутренней подачей порошка. В остальных случаях применяют раздельную подачу порошков карбида и сплава-связки.

Для плазменной наплавки используют также порошки литых карбидов вольфрама и спеченных твердых сплавов, каждая частица которых покрыта сравнительно легкоплавким никелевым или кобальтовым сплавом-связкой [30]. Покрытие может составлять от 5 до 50 % массы порошка. Оно надежно предохраняет частицы карбидов от растворения в сварочной ванне и образует матрицу композиционного сплава.

В качестве плазмообразующего и транспортирующего газов для наплавки порошком применяют аргон, в качестве защитного газа — аргон, смесь аргона и 5—8 % водорода, азот. Аргоноводородная смесь может служить также и для подачи порошка.

Максимальная производительность плазменной наплавки порошком составляет 4—10 кг наплавленного металла в 1 ч. Реальная производительность наплавки зависит от размеров и формы изделия, толщины наплавляемого слоя, типа присадочного порошка и других факторов и находится в пределах 0,8—6 кг/ч. Минимальная толщина наплавленного слоя при внутренней подаче порошка равна 0,25 мм, при внешней — 0,5 мм. Наибольшая высота однослойного валика в обоих случаях составляет 5—6 мм.

При наплавке без колебаний плазмотрона наплавленные валики имеют ширину 3—10 мм, при наплавке с колебаниями она может достигать 40—50 мм.

Как правило, плазменную наплавку порошком применяют при изготовлении новых деталей. Этот способ наплавки обеспечивает значительное (от 30 % до 3—5, в некоторых случаях до 12 раз) повышение производительности труда, снижение расхода наплавочных материалов и улучшение качества наплавленного металла.

Наибольшее применение получила наплавка этим способом кобальтовых и никелевых сплавов. В меньших объемах используют для плазменной наплавки порошки сплавов на основе железа и меди.

Плазменная наплавка порошком особенно эффективна в условиях серийного производства. Ее широко применяют при изготовлении клапанов двигателей внутреннего сгорания (начиная с клапанов двигателей легковых автомобилей с диаметром тарелки 30—35 мм и заканчивая клапанами мощных судовых дизелей с диаметром тарелки около 200 мм); деталей трубопроводной арматуры для атомных электростанций, химических предприятий, нефте- и газопроводов, в том числе крупных задвижек Ду = 800÷1300 мм; червяков экструдеров и шнеков; опор шарошечных долот, замков и муфт бурильных труб, центраторов и других деталей бурового оборудования; ножей для резки металла, прокатных валков, штампов, прошивок; деталей паровых турбин; элементов оборудования атомных электростанций и химических предприятий и др. [31—34].

ВЫВОДЫ

1. Анализ приведенных способов плазменной наплавки показывает, что основными их преимуществами являются:

— малая глубина проплавления основного металла, что важно в тех случаях, когда в наплавленном слое допускается лишь малая примесь железа, когда разбавление наплавленного металла основным нельзя компенсировать за счет повышенного содержания легирующих элементов в электродном (присадочном) материале либо многослойной наплавке или когда оно приводит к суще-

ственному ухудшению свойств металла в зоне сплавления, например, вследствие образования хрупких кристаллизационных прослоек;

— меньшее по сравнению с дуговой наплавкой тепловложение в основной металл, что представляет интерес при наплавке деталей из термически упрочненных или чувствительных к перегреву сталей;

— отсутствие при наплавке трудностей металлургического характера, связанных с плохой отделимостью шлаковой корки, наличием шлаковых включений и т. п. (важно для ограниченного круга высоколегированных материалов);

— при плазменно-порошковой наплавке применение в качестве присадочного материала порошка, который может быть получен практически из любого сплава независимо от его твердости, прочности, степени легирования и других свойств, значительно расширяет номенклатуру сплавов, наплавляемых механизированными способами.

2. Недостатком оборудования для плазменной наплавки является его сложность, высокая стоимость и необходимость более квалифицированного обслуживания, чем оборудования для дуговой наплавки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каленский В. К., Гладкий П. В., Фрумин И. И.* Исследование и разработка способа автоматической наплавки выпускных клапанов автомобилей // Автоматическая сварка. 1963. № 1. С. 15—23.
2. *Zuchowski R. S., Culbertson R. P.* Plasma arc weld surfacing // Welding Journal. 1962. Vol. 41. N 6. P. 548—555.
3. *Witting E.* Grundlagtn und Anwendungen der Plasma-Verfahren // Schweissen und Schneiden. 1962. Bd. 14. N 5. S. 193—200.
4. *Переплетчиков Е. Ф.* Способы плазменной наплавки, применяемые в странах СНГ // Сварщик. 2004. № 3. С. 9—14.
5. *Красулин Ю. Л., Кулагин И. Д.* Регулирование температуры сварочной ванны при наплавке плазменной дугой // Автоматическая сварка. 1966. № 9. С. 11—15.
6. *Плазменная* технология: Опыт разработки и внедрения. Л.: Лениздат, 1980. 152 с.
7. *Плазменная* наплавка металлов / А. Е. Вайнерман, М. Х. Шоршоров, В. Д. Веселков, В. С. Новосадов. Л.: Машиностроение, 1969. 192 с.
8. *Вайнерман А. Е., Веселков В. Д., Сютьев А. Н.* Опыт промышленного применения наплавки плазменной струей с токоведущей присадочной проволокой медных сплавов. Л.: ЛДНТП, 1973. 20 с.
9. *Сютьев А. Н., Вайнерман А. Е.* Плазменная наплавка на изделия цилиндрической формы. Л.: ЛДНТП, 1970. 19 с.
10. *Лужанский И. Б., Медриш И. Н.* Плазменная наплавка стеллита на уплотнительные поверхности энергетической арматуры // Сварочное производство. 1971. № 10. С. 24—25.
11. *Дудко Д. А., Лакиза С. П.* О новых возможностях сварки высокотемпературной дугой, сжатой газовым потоком // Автоматическая сварка. 1960. № 11. С. 38—46.
12. *Антонов В. А., Кондратьев И. А.* Восстановительная наплавка мелких прецизионных вырубных штампов // Теоретические и технологические основы наплавки. Современные способы наплавки и их применение. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1982. С. 55—57.
13. *TIG-plasma* system hardfacing volve seats // Welding and Metal Fabrication. 1981. Vol. 49. N 5. P. 264, 266.
14. *Белый А. И., Кузьмин Г. Г.* Плазменная наплавка резьбовых замков и муфт геологоразведочных бурильных труб // Автоматическая сварка. 1978. № 9. С. 44—46.
15. *Wirth A.* Auftragschweißen von Dichtsegen bei der Instandsetzung von Flugtriebwerken // Oerlikon Schweißmitt. 1981. Bd. 39. N 96—97. S. 29—33.
16. *Данилов А. И.* Плазменная наплавка постоянным током обратной полярности. Л.: ЛДНТП, 1981. 20 с.
17. *Тавер Е. И., Шоршоров М. Х.* Сварка стали двойной плазменной дугой // Сварочное производство. 1971. № 10. С. 26—28.
18. *Плазменная* наплавка медных сплавов / Э. С. Комарчева, Т. Г. Гиндина, Л. А. Шпанцев, Ю. А. Журавлев // Плазменные методы обработки металлов. Л.: ЛДНТП, 1977. С. 35—40.
19. *Наплавка* сжатой дугой на обратной полярности хромоникелевой стали на конструкционные стали / А. Е. Вайнерман, В. Ф. Захаров, В. Н. Прилуков, А. Н. Сютьев // Плазменные методы обработки металлов. Л.: ЛДНТП, 1977. С. 27—34.
20. *Smars E., Backstrom.* Gas-metal- plasma arc welding, a new method for weld cladding // Exploiting welding in production technology. Abington, 1975. Vol. I. P. 179—187.
21. *Sandberg U. E.* Plasma arc overlay welding in nuclear manufacture of heavy nuclear components // Welding and Metal Fabrication Nuclear Industrie Process. London, 1979. P. 197—202.
22. *Garrabrant E. S., Zuchowski R. S.* Plasma-arc hot-wire surfacing — a new high deposition process // Weldung journal. 1969. Vol. 48. N 5. P. 85—395.
23. *Trarbach K. O.* Gladding nuclear steels — the application of plasma-arc hot wire surfacing // Metal Construction. 1981. Vol. 13. N 9. P. 508—510.
24. *Ruckdeschel W.* Anwendung des Lichtbogenschweißens mit Heißdrahtzusatz // Schweißtechnik. 1973. Bd. 63. N 8. S. 229—241.
25. *Eklung B., Skoglund H.* Major improvements in hard surfacing steel rolls for continuous casting, using Philips plasma-MIG with new metal cored wire // Steel Times. 1981. Vol. 209. N 9. P. 472—473.
26. *Swarf J. D.* Plasma-MIG suited to cladding oil delivery system // Welding and Metal Fabrication. 1982. Vol. 50. N 10. P. 477—480.
27. *Кречмар Э., Хорн Ф.* Разработка сплавов ЦИС 770 и технология плазменной наплавки его под флюсом // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавочные материалы. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1978. С. 54—61.
28. *Irmer W.* Energieverhaltnisse des Plasmaauftragesschweißprozesses // Schweißtechnik. 1972. Bd. 22. N 4. S. 164—167.
29. *A study* on a new hardfacing processe using an extremely hard material / M. Nakajima, A. Notomi, T. Knsano, M. Ueda // Mutsubishi Heavy Ind. Techn. 1982. Vol. 19. N 1. P. 23—30.
30. *Наплавка* тонких слоев износостойких композитных сплавов / Ю. А. Юзвенко, М. А. Пащенко, А. И. Белый и др. // Автоматическая сварка. 1974. № 7. С. 71—72.
31. *Переплетчиков Е. Ф.* Плазменно-порошковая наплавка клапанов двигателей внутреннего сгорания // Автоматическая сварка. 2002. № 1. С. 45—46.
32. *Аманов С. Р.* Технология плазменно-порошковой наплавки клапанов двигателей автомобиля "ВАЗ" // Сварочное производство. 2005. № 2. С. 33—40, 62, 63.
33. *Плазменная* наплавка бронзы в судовом машиностроении / Л. А. Чкалов, И. И. Фрумин, П. В. Гладкий и др. // Автоматическая сварка. 1983. № 7. С. 49—51.
34. *Чкалов Л. А., Кузнецов В. А., Ежов А. К.* Плазменная наплавка порошковыми твердыми сплавами деталей судового машиностроения // Судостроение. 1980. № 6. С. 38—39.

А. И. ЗВЯГИНА, инж.
НПЦ "Атлант" (Москва)

Вторичные сырьевые ресурсы и технологии их использования для производства строительных материалов

Разнообразие вторичных сырьевых ресурсов (многотоннажных отходов промышленности), по химическому и минералогическому составу подчас не уступающих добываемому сырью, целесообразно использовать для производства из них новых изделий — строительных материалов. Цивилизованный и профессиональный подход к решению данной проблемы позволяет предприятиям-производителям устранить расходы на транспортировку отходов к свалкам или площадкам для их захоронения, улучшить экологию окружающей среды, производить продукцию, востребованную на рынке, создать дополнительные рабочие места, получить прибыли от деятельности нового предприятия.

Экономическая составляющая использования вторичных ресурсов, т. е. годовые расходы по утилизации каждой тонны сырья, составляет в среднем 300 тыс. руб., при объеме 5000 т — соответственно 1500 млн руб. Использование непроизводительных расходов для организации производств строительных материалов обеспечивает предприятию долгосрочное решение задач по устранению затрат на утилизацию вторсырья и позволяет активно решать задачи социальной сферы — строительство доступного жилья для жителей, что весьма актуально.

В российских регионах имеются различные промышленные предприятия, многие из которых уникальны. Такие отрасли как нефтеперерабатывающая, угольная, металлургическая, машиностроительная, химическая, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная, производя свою продукцию, имеют отходы, многих из которых можно в дальнейшем использовать. Каждому предприятию целесообразно иметь паспорт на вторичное сырье с его основными характеристиками. Классификация отходов позволит грамотно использовать или утилизировать их.

Организация производств по использованию отходов требует первоначальных вложений средств. Срок окупаемости вложенных средств, в первую очередь, зависит от принятой технологии производства. Основные базисные мотивы эффективности технологий:

— максимальное использование вторичных ресурсов;

— применение оборудования и сырья российского производства;

— малая энергоемкость технологического цикла.

НПЦ "Атлант" на протяжении ряда лет проводил работы по исследованию вторичных ресурсов, отработке технологий их использования для производства строительных материалов и испытания их свойств. Главные критерии при разработке изделий — экологическая чистота вторичных ресурсов, максимальное использование положительных качеств и их объема, обеспечение эффективной, долгосрочной и безопасной работы. Отработку технологий проводили на стандартном оборудовании, обеспечивающем простоту технологического цикла, малую энергоемкость и значительные объемы производимой продукции.

Использование экологически чистых отходов органического происхождения, таких как любая макулатура (бумажная, картонная, денежная), скоп (отходы картонного производства), древесные отходы (опилки, кора деревьев, стружка), для производства теплоизоляционных материалов экономически целесообразно и востребовано на объектах стройиндустрии (рис. 1). Основные процессы разработанных технологий:

— грануляция измельченных отходов с минеральными вяжущими (магнезиальным, пеногипсом, пенобетоном, вспененным стеклом);

Рис. 1. Фрагмент теплоизоляции на объекте

— подпрессовка подготовленных смесей из отходов и вяжущего;

— изготовление прочных тонкостенных коробов с заполнением их теплоизоляцией.

По данным разработкам получены следующие строительные материалы: гравий легкий (плотность 110—250 кг/м^3, прочность 0,15—0,5 МПа); гравий тяжелый (350—520 кг/м^3, 0,7—1,2 МПа) (рис. 2); теплоизоляционные плиты: легкий гравий + + вяжущее (90—250 кг/м^3, 0,15—0,8 МПа). Основное оборудование при производстве изделий: гранулятор тарельчатый, смесители, пресс-формы.

Экономическое сравнение данных теплоизоляционных материалов с аналогичными показывает их конкурентоспособность. Капиталовложение в организацию производства составляет порядка 10 млн руб. Срок окупаемости меньше года.

Данная технология получила положительную оценку экологической секции ОЭС по малому предпринимательству при мэре и Правительстве Москвы. Предложенные технологии по денежной макулатуре отмечены ЦБ России как лучшие.

Отходы минерального сырья ТЭЦ (золы), стекольной и фаянсовой промышленности (бой), заводов черной и цветной металлургии (пыль газоуноса), химической и нефтеперерабатывающей промышленности (шламы) являются хорошей сырьевой базой для создания строительных материалов различного назначения. Минеральное сырье данных предприятий можно использовать для производства уникального теплоизоляционного материала "Эколит" (плотность — 130—250 кг/м^3, теплопроводность — 0,045—0,06 Вт/(м · °С), прочность — 0,3—0,7 МПа, огнестойкость до 2000 °С, экологически чистый, биостойкий). При использовании дополнительных добавок "Эколит" обеспечивает защиту от различных излучений. Кроме того, при его изготовлении можно использовать отходы органического происхождения.

"Эколит" прошел необходимые испытания, его применяли на различных объектах гражданского и промышленного строительства. Технология его производства является предельно простой: перемешивают вяжущее (жидкое стекло) со спецкомпонентом и наполнителем (сырьевые отходы производств) и заливают смесь в межопалубочное пространство строительных конструкций или форму при производстве плит. Высокая степень огнезащиты "Эколита" позволяет использовать его для нефтепроводов, нефтехранилищ, противопожарных преград, кровель АЭС и др. Основные изделия из "Эколита": теплоизоляционные плиты, сэндвич-панели, блоки, обечайки, огнестойкие облицовки и др. (рис. 3, 4).

Таким образом, переработка отходов различных производств является целесообразной и экономически выгодной.

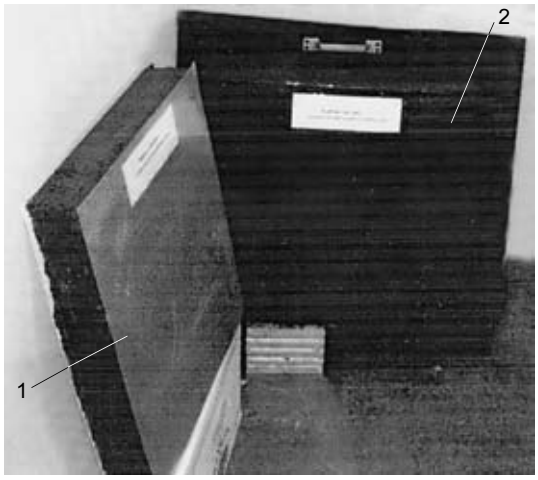


Рис. 3. Теплоизоляционные изделия из "Эколита": *1* — сэндвич-панель; *2* — панель с наружной обшивкой, применяемая при строительстве новых и реконструируемых зданий

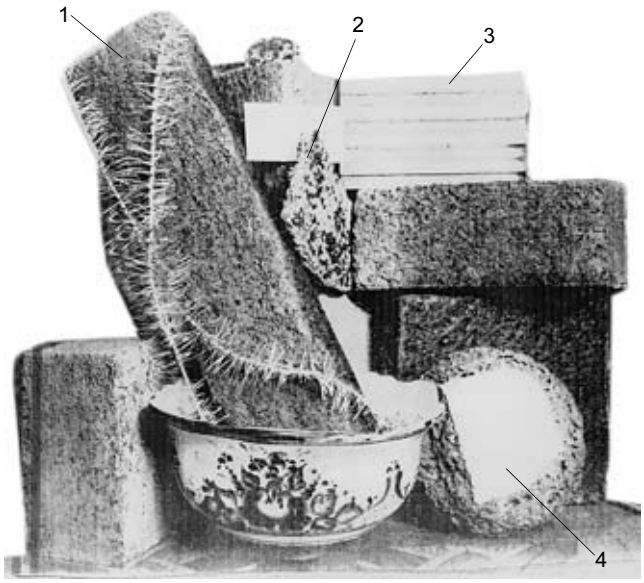


Рис. 4. Образцы теплоизоляционного материала "Эколит" различного назначения: *1* — чистый "Эколит"; *2* — "Эколит" с шунгитом; *3* — сэндвич-панель с металлической обшивкой; *4* — пенополистирольный вкладыш с защитным покрытием "Эколит"

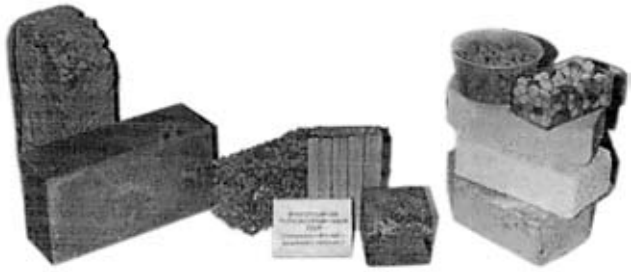


Рис. 2. Теплоизоляционные материалы, полученные с использованием макулатуры и других органических отходов

А. А. ПОГОНИН, д-р техн. наук, А. Ф. БОЙКО, канд. техн. наук, Т. А. БЛИНОВА, аспирант
Белгородский государственный технический университет

Влияние пневмоструйной обработки на качество обрабатываемых изделий машиностроения

При эксплуатации готового изделия одним из важнейших его качеств является внешний вид поверхности (следы обработки, шероховатость и степень макрогеометрической точности, состояние поверхностного слоя).

Для обеспечения эффективной обработки сложнопрофильных и ажурных конструкций миниатюрных и крупногабаритных изделий, которые традиционными методами не могут быть обработаны или требуют больших трудозатрат, применяют пневмоструйную обработку (ПСО). Она широко используется в различных отраслях промышленности: электронной, приборостроительной, часовой, электротехнической, авиационной и др., а также на малых предприятиях: станциях обслуживания, ювелирных и художественных мастерских, в стоматологии и предприятиях малого и большого бизнеса.

ПСО деталей осуществляется струей воздуха, в которую эжектированы частицы абразива или микрошарики. На первом этапе с поверхности деталей удаляются загрязнения, а также дефектные слои (ржавчина, окалина и др.). Затем струей твердых частиц сглаживается микрорельеф и снижается шероховатость поверхности. При правильном выборе фракции зерна абразивного порошка за один цикл обработки шероховатость поверхности снижается в 3—4 раза. При этом улучшаются ее адгезионные свойства. Следовательно, ПСО можно рекомендовать также для подготовки поверхностей перед нанесением гальванических и лакокрасочных покрытий, металлизацией и ионно-плазменным напылением покрытий в вакууме. В качестве рабочего инструмента используют абразивные порошки карбида кремния или электрокорунда, зернистость которых подбирают в зависимости от исходной шероховатости поверхности. Окончательная обработка микрошариками позволяет получить блестящую поверхность, причем геометрия профиля детали не изменяется. Кроме того, обработка металлическими микрошариками повышает поверхностную микротвердость и обеспечивает глубину наклепанного слоя до 0,15 мм. Срок службы металлических микрошариков значительно выше, чем стеклянных, кроме того, они обеспечивают большую эффективность сглаживания поверхности. Предпочтение стеклянным микрошарикам отдается в тех случаях, когда не допускается наклеп на обрабатываемой поверхности, например, при обработке тонкостенных ажурных деталей. Следует также отметить, что адгезионные свойства обработанной микрошариками поверхности снижаются.

Для проведения ПСО изделий широко используют пневмоструйные установки УП-500, УП-700, УП-1400. Краткая характеристика установок приведена в табл. 1.

Установки предназначены для устранения следов обработки, снижения шероховатости и отделки поверхностей, очистки изделий от грязи, ржавчины, удаления старых покрытий, пришедших в негодность, для подготовки поверхностей перед гальваническими и покрасочными операциями, снятия микрозаусенцев, скругления острых кромок, удаления тонкого облоя, размерной обработки с целью пригонки сопрягаемых поверхностей и др.

В зависимости от того какие детали подвергаются ПСО, достигается определенная эффективность обработки.

Таблица 1

Характеристика	УП-500	УП-700	УП-1400
Наибольшие размеры обрабатываемых деталей, мм	400 × 300 × 100	600 × 400 × 150	1300 × 900 × 400
Параметр шероховатости *Ra*, мкм	1,25—0,63	11,25—0,63	1,25—0,63
Размер фракций рабочего материала, мкм		600—20	
Рабочее давление воздуха, МПа		0,3—0,6	
Габаритные размеры станка, мм	720 × 715 × 1100	800 × 830 × 1450	1660 × 960 × 1700
Масса установки, кг	117	150	250
Потребляемая мощность, кВт		0,5	
Внешний вид установки			

Примеры использования и эффективность ПСО приведены в табл. 2.

Таблица 2

Обрабатываемые изделия	Достигаемый эффект
Детали штампов: матрицы, пуансоны, пуансон-матрицы, пуансонодержатели, съемники, пружины	Снижение шероховатости поверхностей после электроэрозионной обработки, снятие окалины после термической обработки, частичная пригонка сопрягаемых деталей, снижение трудоемкости слесарно-доводочных работ
Вкладыши литейных форм на конус электродвигателя	Снижение шероховатости в узких глубоких пазах литейных форм, облегчение удаления отливок из литейных форм
Детали и отдельные элементы деталей пресс-форм	Фактурирование поверхностей, снижение шероховатости, облегчение удаления пластмассовых деталей из формы
Детали литейных и пресс-форм после термической обработки	Снятие окалины перед слесарно-доводочными работами, электроэрозионной обработкой, снижение трудоемкости ручных работ, повышение эффективности последующей электроэрозионной обработки
Режущий инструмент	Очистка от окалины после термической обработки, снятие оксидированного слоя на режущих гранях перед нанесением упрочняющих покрытий
Термосы металлические из коррозионно-стойкой стали	Выведение рисок и направленных следов предшествующей обработки на внешней поверхности термоса, улучшение внешнего вида изделия, повышение производительности на отделочных операциях
Таблички, шильдики и пр.	Выведение рисок, мелкое матирование поверхности, качественная ее подготовка перед трафаретным или фотохимическим печатанием, улучшение качества изделий
Пластмассовые детали	Исправление брака: удаление некачественных надписей, рисок, следов утяжин, фактурирование поверхности и т. п.
Металлические и пластмассовые детали приборов, аппаратов, оборудования	Высококачественная подготовка поверхностей перед нанесением лакокрасочных и гальванических покрытий, повышение качества покрытий, улучшение внешнего вида изделий
Детали внешнего вида приборов, оборудования (ручки, обрамления, панели и др.)	Высококачественное матирование, глянцевание, улучшение эстетического вида изделий
Детали приборов и оборудования, пневмо- и гидроаппаратура	Снятие микрозаусенцев, замена ручного труда, улучшение эксплуатационных свойств изделий
Полупроводниковые пластины	Снижение шероховатости, удаление направленных следов предшествующей обработки, улучшение характеристик полупроводниковых приборов
Детали автомобилей	Снятие нагара со свечей, очистка днища, номерных знаков, колпаков дисков и др. деталей перед нанесением гальванических лакокрасочных покрытий
Медицинский инструмент, зубные и прочие протезы, бюксы	Скругление острых кромок, снятие микрозаусенцев и очистка рабочих каналов, выведение рисок и снижение шероховатости
Художественные изделия, украшения, детали аксессуара, в том числе из благородных металлов (браслеты, броши, запонки, значки, медали, металлические рамки очков и пр.)	Очистка от грязи, оксидов, декоративная отделка
Печатные платы	Предварительная обработка рабочей поверхности печатных плат, удаление флюса и грязи, зачистка паяных швов
Стволы стрелкового оружия	Удаление грязи, нагара, ржавчины
Полупроводниковые пластины	Снижение шероховатости, удаление направленных следов предшествующей обработки, улучшение характеристик полупроводниковых приборов
Стеклянные, хрустальные, пластмассовые, деревянные, металлические, в том числе из коррозионно-стойкой стали, предметы быта	Высококачественное матирование, глянцевание, улучшение эстетического вида деталей внешнего вида, качественная подгонка поверхности перед нанесением лакокрасочных и гальванических покрытий, повышение качества поверхности

В. А. КАРГИН, д-р техн. наук, А. Д. АБРАМОВ, канд. техн. наук, А. Г. БОНДАРЕНКО, аспирант, Т. К. ТЮНЮКОВА, аспирант
Сибирский государственный университет путей сообщения (Новосибирск)

Теория и практика комбинированных технологических процессов с управлением пластическим деформированием

В настоящее время для технологических операций, связанных с деформированием материалов, применяют оборудование и инструмент различных видов и способов преобразования энергии: механические, гидравлические и электрогидравлические прессы, электромеханические и пневматические молотки, пиротехнические устройства (пороховые прессы) и др. При такой широкой номенклатуре оборудования требуется высокая квалификация обслуживающего персонала, значительные эксплуатационные и энергетические затраты. Поэтому актуальной является разработка системы унифицированных машин, оснастки и технологий, обеспечивающих снижение трудовых и материальных затрат при одновременном повышении качества выполняемых работ.

Одна из основных задач при этом — группирование ремонтных технологий по нескольким направлениям, каждое из которых характеризуется уровнем механической работы, затрачиваемой для выполнения технологических операций. Определение энергоемкости этих направлений является основой для создания минимально возможного размерного ряда машин, не превышающего трех-четырех типоразмеров.

При таком подходе может быть существенно расширена область применения виброударных машин, переналаживаемых путем смены технологических насадок. В этой связи представляется целесообразным не ограничиваться ремонтными технологиями, а рассмотреть более широкий круг технологий, используемых в области транспорта и строительства.

В качестве примера рассмотрим технологии, существенно различающиеся между собой по способу силового воздействия на обрабатываемую заготовку. К ним можно отнести опрессование в трубчатых гильзах и наконечниках электрических неразъемных контактных соединений на многопроволочных алюминиевых и медных жилах проводов и кабелей сечением 16—240 мм^2.

К неразъемным контактным соединениям предъявляется ряд требований, основным из которых является необходимость получения минимального контактного электрического сопротивления. При этом начальное сопротивление должно быть не больше сопротивления участка провода, длина которого равна длине контактного соединения, а сопротивление соединения после испытания в циклическом режиме "нагрев (120 °С)—охлаждение (20 °С)" не должно превышать начальное значение более чем в 1,5 раза при 500 циклах нагружения. Достижение этих характеристик определяется усилием сближения контактирующих поверхностей, обеспечивающим разрушение оксидной пленки и образование чисто металлических участков. Но при периодическом нагреве и охлаждении происходит их разрыв, что ведет к образованию оксидных пленок, перегреву соединения за счет увеличения электрического сопротивления и выходу контакта из строя.

Для получения в процессе опрессования максимального давления в контактной зоне используют ручные механические или гидравлические прессы, развивающие усилия 70—200 кН при собственной массе до 7 кг, и пиротехнические прессы массой до 4 кг. Гидравлические прессы обеспечивают необходимое давление в контактной зоне и качество контактного соединения, но имеют низкую производительность, особенно при пониженных температурах. Пиротехнические прессы выполняют опрессование однократным ударом и обладают необходимым быстродействием. Однако при высокоскоростном деформировании контактные соединения, имеющие минимальное начальное сопротивление, не отвечают предъявляемым к ним требованиям при испытаниях на циклический нагрев.

Необходимое усилие в контактной зоне при относительно невысокой скорости деформирования соединения может быть достигнуто при многократном динамическом нагружении, что вызывает необходимость разработки виброударной технологии выполнения неразъемных контактных соединений.

Для электрического соединения дроссель-трансформаторов с рельсами применяют дроссельные перемычки, состоящие из медных перчаток, в которых опрессованием закрепляют медные гибкие провода. Эти перемычки зачастую являются причиной внезапных отказов, что обусловлено их неудовлетворительной сохраняемостью. То же самое относится и к стыковым соединениям. При этом сам термин "сохраняемость" в рассматриваемой проблеме приобретает нетрадиционный смысл. Действительно, сохраняемость остродефицитных медных элементов дроссельных перемычек, обусловленная стремлением к использованию меди в иных целях, в ряде случаев приближается к минимуму. А на железных дорогах, при невозможности осуществления постоянного контроля за каждой перемычкой, становится катастрофически малой.

Одним из путей решения этой проблемы является замена меди менее дефицитным алюминием, физико-механические свойства которого необходимо учитывать при разработке конструкций перемычек и технологии их монтажа. Для повышения механической прочности и невозможности несанкционированного перекусывания или вырезания многопроволочных алюминиевых жил проводов необходимо применение стальной защитной оплетки или сердечника. Но при использовании сталеалюминевых проводов, например АС, перемычка приобретает повышенную жесткость и не может быть изогнута для придания ей необходимой длины. Поэтому оконцевание таких жестких перемычек должно производиться по месту, что также может быть реализовано с использованием виброударной технологии.

Дальнейшей задачей повышения сохранности соединителей является уменьшение количества используемых цветных металлов или их полное исключение. При этом в качестве токопроводящих жил жестких перемычек в некоторых случаях могут быть использованы стальные канаты. Вполне понятно, что такие соединители будут обладать повышенными размерами. Так, например, при замене медной жилы сечением 35 мм^2, имеющей диаметр до

10 мм, потребуются две стальные жилы диаметром около 15 мм. Но так как стоимость жестких стальных перемычек будет существенно ниже, чем перемычек из цветных металлов при высокой их сохранности, то использование их в рельсовых цепях представляет несомненный интерес. При этом максимальная надежность и экономическая эффективность могут быть достигнуты при изготовлении токопроводящих жил из отбракованных грузовых канатов.

Аналогичная задача, связанная с формоизменением материала, решается при заделке концов стальных канатов в алюминиевых втулках. Такое втулочное соединение представляет собой опрессованную конструкцию втулки с прядями соединенных канатов.

Особым критерием при выборе способа заделки концов канатов является величина допускаемых нагрузок. Поэтому в настоящее время заделка в петлю стальных канатов осуществляется преимущественно путем заплетки его прядей в основной канат, установкой стяжных скоб, клин-коушей или втулок, залитых легкоплавким металлом. Наиболее просто выполняется заделка канатов опрессованием их в алюминиевых втулках с использованием прессов. Так, например, для опрессования канатов диаметром 8—9 мм необходимо усилие 200—250 кН.

В виброударном режиме заделка грузовых канатов преимущественно круглого сечения с механическими свойствами по ГОСТ 7372—72, кольцевых строп, буксировочных и молниезащитных тросов сечением до 70 мм^2 может осуществляться опрессованием "на круг" овальных алюминиевых втулок и соединителей с использованием ручного электрифицированного инструмента.

При ремонте путевых машин, например снегоуборочных, наиболее трудоемким является изготовление рабочих органов. Роторный рабочий орган снегоуборочных машин представляет щеточный ротор — питатель-барабан с вставленными в него кассетами, в которые запасованы щетки (тросы) длиной 0,8 м, диаметром 20—40 мм, концы которых опрессованы в трубчатых наконечниках соответствующего диаметра, предотвращающими расплетение троса и последующее его обламывание. При вращении ротора лопасти срезают снег до поверхности шпал и подают его на конвейер. Гибкие лопасти позволяют очищать стрелочные переводы, крестовины, переезды и т. п. Летом машины с таким заборным органом применяют для очистки путей от засорителей (угля, торфа, шлака). В процессе эксплуатации щетки приходят в негодное состояние, вследствие чего понижается эффективность работы, качество очистки. Для решения этой проблемы необходима перепасовка троса с периодичностью один—два раза в месяц в зависимости от условий и интенсивности эксплуатации, а это в свою очередь ведет к дополнительным затратам. Подобная проблема существует и при применении путевой техники, где используются тросы, в частности в подборщике машины типа ПБ (планировщик балласта).

Опрессование трубчатых наконечников ведется с помощью стационарных гидропрессов. При этом не обеспечивается необходимое качество и быстродействие выполнения технологической операции.

Одной из технологий технической эксплуатации путевых, строительных и дорожных машин является ремонт гибких связей — резиновых и резино-металлических рукавов гидросистем.

Обжатие наконечников гибких связей производится либо в статическом режиме, с использованием механических или гидравлических прессов с усилием 100—300 кН для рукавов с внутренним диаметром от 8 до 16 мм, либо в режиме единичного удара с использованием пиротехнических устройств. Операция опрессования гибких связей также может выполняться с использованием виброударного инструмента, что особенно важно для их ремонта в эксплуатационных условиях.

В виброударном режиме может производиться опрессовка гибких рукавов высокого давления для гидропривода с внутренним диаметром от 8 до 16 мм, параметры и основные размеры которых установлены ТУ22-4169—78, ТУ22-4272—78 и ТУ22-4584—80, а также эластичных трубопроводов и резинотканевых рукавов, изготовленных по ГОСТ 10362—76 и ГОСТ 18698—79 на давление до 1,6 МПа, выбираемых в зависимости от назначения и условий работы — пневмосистемы, подвод воды и др.

Осадка деталей — новая ремонтная технология, предназначенная для восстановления изношенных поверхностей деталей типа вал или втулка. В настоящее время в этих целях применяют наплавку или напыление, что требует сложного, дорогостоящего оборудования, устанавливаемого на специализированных участках. Но восстановление изношенного участка детали может быть выполнено перемещением материала из нерабочей зоны в рабочую путем осадки в горячем состоянии. При этом дефицит материала в нерабочей зоне может быть восполнен относительно простыми способами. Использование виброударной осадки не требует специального оборудования и является экономически целесообразным. Технология может быть рекомендована, например, для восстановления поршневых канавок двигателей внутреннего сгорания.

Также виброударная технология может найти применение при восстановлении детали давлением в сочетании с термической об-

работкой, позволяющей получить наилучшие свойства поверхности детали, по сравнению с деталями после вторичной термической обработки.

Данный комплекс мероприятий наиболее целесообразно применять для деталей, получаемых при минимальном наборе механических операций, преимущественно чистовой обработкой абразивным инструментом, и имеющих несложную геометрическую форму, что позволит уменьшить количество технологических операций и снизить расход металла за счет меньших припусков.

Это становится возможным за счет увеличения точности обработки давлением в специальном штампе, позволяющем производить управляемое перемещение металла в изношенную зону посредством виброударной машины.

Далее следует набор операций (например прошивка отверстия), повторное деформирование на 3—5 % и охлаждение водо-воздушной средой с определенной скоростью. Наиболее оптимальным было бы отсутствие промежуточных операций, в этих случаях необходимо изготовлять ступенчатые штампы, где наиболее сложные участки принимают за технологическую базу. Изменение размеров деформированных участков не более припусков на чистовую обработку.

Одним из условий является необходимость выстраивания технологической последовательности для уменьшения времени на передвижение детали по постам и сохранения температуры нагретой детали.

Примером таких деталей может служить палец шарнирно-тормозной системы вагонов с отверстием для шплинтования, изготовляемый пяти типоразмеров из стали Ст5 с последующей цементацией.

В процессе эксплуатации детали шарнирного соединения рычагов тормозного оборудования подвергаются интенсивному изнашиванию из-за сухого трения и попадания абразивных частиц в сопрягаемую область.

Проанализировав данные по параметрам выбракованных пальцев, установили, что основным дефектом пальцев являются изменение геометрических параметров на участке *А* свыше предельно допустимого износа (см. рисунок). Основным параметром для выбраковки является односторонний износ от качающих рычагов тормозной системы, достигающий величины 2 мм.

Применяемые в настоящее время методы восстановления не позволяют обеспечить требуемый ресурс детали (отсутствие операций, улучшающих механические свойства), поэтому при ремонте на увеличенные пробеги используют только новые пальцы, что является экономически невыгодным, так как на одну тележку при ремонте приходится до 40 замен пальцев.

Раздача заготовок стержнями в холодном или горячем состоянии является новой технологией, которая может быть реализована только в виброударном режиме.

В отличие от осадки деталей восстановление изношенного объема металла осуществляется за счет стержня, забиваемого в торец детали вращения. Восстановленная таким образом деталь является композитной, а соответствующий подбор материала стержня может придать ей новые, улучшенные механические свойства.

Обработка пластическим деформированием (давлением) основана на способности металла изменять свою форму, размеры и механические свойства без разрушения под действием внешних сил за счет его пластических (остаточных) деформаций.

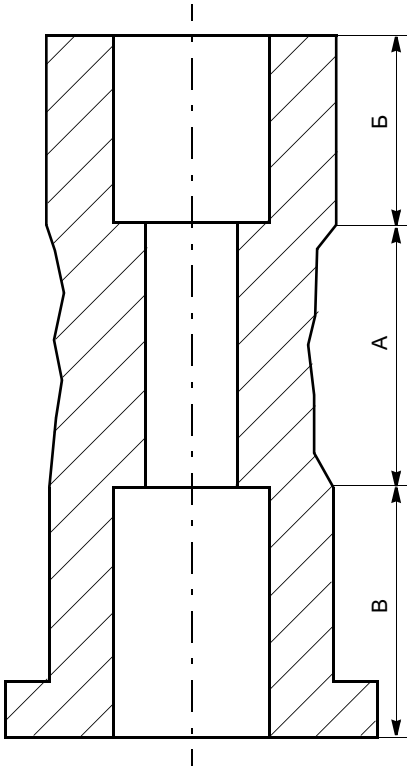
Известно, что наиболее эффективный способ деформирования деталей — механический удар. По результатам анализа различных процессов ударного деформирования материалов сформулирована задача — комплексное проектирование виброударной технологии и инструмента для ее реализации, для чего на основе анализа экспериментальных данных установлены взаимосвязи между режимами нагружения, характеристиками материалов и характером протекания деформационных процессов.

Ремонтные операции проводят как без предварительного нагрева деталей, так и с предварительным их нагревом.

При обработке деталей в холодном состоянии пластическая деформация происходит вследствие сдвигов частиц внутри кристаллов металла (внутрикристаллическая деформация), что сопровождается изменением физико-механических свойств металла (увеличением предела текучести, снижением вязкости, повышением твердости). При обработке давлением в горячем состоянии пластическая деформация происходит вследствие сдвигов целых зерен металла (межкристаллическая деформация). Нагрев деталей приводит к изменению физико-механических свойств и структуры металла, поэтому ответственные детали после обработки давлением подвергают повторной термической обработке.

Операцию раздачи применяют для увеличения по наружному диаметру изношенных полых деталей за счет изменения внутреннего диаметра (поршневые пальцы, втулки, пустотелые валы, чашки дифференциала и др.).

Очевидно, что восстановлению подлежит участок *А* до номинального диаметра (см. рисунок), для чего сверлят направляющее отверстие по всей длине детали. На участке *А* отверстие имеет установленный диаметр, меньший, чем диаметр забиваемого в палец стержня, а на участках *Б* и *В* диаметр отверстия равен диаметру стержня и является направляю-



Износ трущейся поверхности пальца

щим. При этом соотношение диаметров стержня и отверстия на восстанавливаемом участке существенно влияет на уровень энергии единичного удара и величину раздачи детали, также является определяющим для качественного выполнения технологической операции раздачи детали.

Экспериментально установлено оптимальное соотношение диаметра отверстия на участке деформирования и диаметра стержня в зависимости от диаметра восстанавливаемой детали, что позволяет произвести раздачу на этом участке детали без деформирования детали и стержня в продольном направлении.

Одним из путей повышения долговечности деталей машин является поверхностное холодное или термопластическое упрочнение. Деформация повышает усталостную прочность деталей вследствие возникновения в поверхностном слое остаточных внутренних напряжений сжатия. Повышение усталостной прочности наблюдается в результате снижения влияния поверхностных дефектов, являющихся концентраторами напряжений и очагами зарождения усталостных трещин.

При температурно-деформационных воздействиях повышаются твердость и прочность стали, причем с увеличением температуры металла снижается его сопротивление деформированию, а следовательно, и энергоемкость обработки.

В зависимости от соотношения температур деформации и рекристаллизации пластическое упрочнение деталей может быть осуществлено путем холодной, теплой и горячей деформаций. Диапазон температур холодной деформации находится в пределах $T < 0{,}3T_{пл}$, теплой деформации — $0{,}3\ T_{пл} < T < (0{,}5—0{,}6)T_{пл}$ и горячей деформации — $T > (0{,}5—0{,}6)T_{пл}$ ($T_{пл}$ — температура плавления, К).

Примером холодной деформации может служить поверхностный наклеп, выполняемый после полного цикла термической обработки детали путем накатывания поверхности роликами или шариками и наклепа дробью. Накатывание роликами применяют для шеек валов, осей, пальцев кривошипов и других подобных деталей. Стальные высокопрочные ролики с отшлифованной поверхностью прижимаются к оси за счет давления 20—40 кН. Степень наклепа зависит от давления на ролик, его размера, шероховатости поверхности оси, числа проходов.

Дробеструйный наклеп применяют для рессорных листов и зубьев зубчатых колес. Он осуществляется потоком стальной или чугунной дроби (диаметром 0,4—1,5 мм), ударяющейся со скоростью 70 м/с об обрабатываемую поверхность. Степень наклепа зависит от размера дроби, скорости потока, времени обработки.

Но обработка, основанная на теплой и горячей деформациях, мало используется при выполнении ремонтных работ из-за сложности применяемого в этих целях оборудования.

Применение в целях упрочнения машины ударного действия открывает возможности для совмещения его с операцией нагрева, в том числе и наплавки, т. е. виброударного термопластического упрочнения как ремонтной технологии.

Развальцовка стальных труб представляет разновидность осадки деталей в горячем или холодном состоянии. В отличие от раскатки позволяет получить калиброванное отверстие, с минимальной овальностью и максимальной плоскостью торца. Технология может быть рекомендована для развальцовки толстостенных и тонкостенных стальных труб диаметром от 6 до 150 мм, а также для труб из цветных металлов.

Фрикционная металлизация поверхностей трения является разновидностью смазывания деталей машин, осуществляемого с использованием твердых смазок, и может быть использована для снижения сил трения тяжелонагруженных элементов, например колесо—рельс.

Наиболее предпочтительным методом нанесения металлической смазки является фрикционная металлизация колеса или рельса. Металлизацию колеса можно проводить с помощью дополнительных антифрикционных колодок, выполненных из наносимого материала и имеющих профиль бандажа, или специальных колодок из композиционного материала с локальными металлическими включениями. Металлизация рельсов может осуществляться так называемыми "лыжами".

В общем случае фрикционная металлизация может быть выполнена медным, латунным или иным индентором при его поджатии с силой 200—400 Н к обраба-

тываемой поверхности. Прочность сцепления наносимой смазки с подложкой может возрастать при виброударном воздействии на индентор, в том числе и с использованием создаваемой в контактной зоне разности потенциалов 6—9 В.

В различных отраслях народного хозяйства применяют многослойные панели, представляющие незамкнутые оболочки с плавными пологими поверхностями, ограниченными контурами произвольных очертаний, и содержащие соединенные в определенной последовательности листовые материалы с различными физико-механическими свойствами. Наибольшее распространение они получили в транспортном машиностроении, при создании технологических машин и оборудования, промышленном и гражданском строительстве. Собранные из разных листовых элементов многослойные панели используются в качестве несущих плоскостей конструкций и могут выполнять роль защиты от воздействия химических, агрессивных сред, тепловых, электрических и других воздействий, быть декоративными или сочетать в себе комбинацию этих свойств. Соединение определенным образом подобранных конструкционных материалов позволяет создавать композиты, механические характеристики которых нельзя получить при использовании однородных материалов.

При изготовлении и сборке многослойных панелей реализуются различные технологии. При последовательном выполнении технологических операций предусматривается изготовление панелей, заключающееся в скреплении листовых элементов между собой, с последующей их установкой на защищаемую поверхность. В этом случае требуется предварительное сверление отверстий в листовых материалах или их пробивка.

Принципиально отличается от рассмотренной выше технология, совмещающая операции скрепления и установки листовых элементов панелей с использованием забиваемых стержней, например дюбель-гвоздей, что существенно сокращает время выполнения технологических операций и ограничивает номенклатуру используемого инструмента.

Многообразие рассматриваемых технологий, каждая из которых имеет свои характерные особенности, вызывает необходимость разработки методов расчета динамических режимов, которые могут быть использованы для решения широкого круга технологических задач. Построение и анализ моделей, отображающих физико-механические свойства деформируемых твердых тел, наиболее существенно влияющие на характер рассматриваемых процессов — упругость, пластичность, упрочнение, как раз и открывают возможность для решения поставленной задачи.

Развитие механики твердого тела привело к созданию различных моделей и методов описания поведения твердых тел и конструкций, находящихся в сложных условиях нагружения. Для практического использования в каждой конкретной ситуации целесообразно применять упрощенную модель тела, характеризующую только те механические свойства, которые наиболее существенны для исследуемого явления. При создании виброударных машин к таким свойствам относится способность твердых тел пластически деформироваться под действием удара.

Предлагаемая методика расчета основана на использовании дискретных физических моделей, отражающих основные физико-механические свойства деформируемых материалов в соответствии с нагрузочными статическими F—x характеристиками, устанавливающими связь между приложенной нагрузкой F и величиной осадки x деформируемого тела. Рассмотрим задачу, связанную с погружением стержня в упругопластическое полупространство, например забивку костыля в деревянную шпалу.

При расчете глубины погружения стержня под воздействием многократных ударов предполагается, что жесткость системы в течение каждого единичного удара является постоянной величиной, энергия единичного удара бойка от цикла к циклу остается неизменной, а движение бойка на любом интервале нагружения подчиняется закону изменения кинетической энергии.

Величина деформации в упругой зоне x_1 соответствует началу перемещения стержня, определяемого координатой x_2. Движение системы масса—стержень в зоне пластической деформации описывается системой уравнений

$$m\ddot{x}_1 + c_1(x_1 - x_2) = 0;$$
$$c_2(h_k + x_2) + F_0 = c_1(x_1 - x_2), \quad (1)$$

где c_1, c_2 — условные жесткости системы в упругой и пластической зонах; h_k — глубина погружения на произвольном k-м цикле нагружения; F_0 — сила сопротивления, определяющая начало погружения стержня.

Одно из решений этой системы предполагает упругопластический с упрочнением характер деформирования твердого тела, что соответствует случаю забивки стержней в строительные основания [1]. Глубина погружения стержня за произвольное число циклов динамического нагружения k равна

$$h_k = \sqrt{\left\{\left(\frac{c_1}{c_1 + c_2}\right)^k \frac{F_0^2 - m\upsilon_0^2 c_1}{c_2^2} + \frac{m\upsilon_0^2 c_1}{c_2^2}\right\}} - \frac{F_0}{c_2}. \quad (2)$$

Более простой вид уравнения

(2) можно получить в предположении жесткопластического характера деформирования основания и при условии, что стержень является абсолютно твердым телом. Такое допущение вполне оправдано для случая забивки костыля в шпалы.

В этом случае уравнение (2) будет иметь вид

$$h_k = \sqrt{\left[\left(\frac{F_0}{c_2}\right)^2 + \frac{mv_0^2}{c_2}k\right]} - \frac{F_0}{c_2}. \quad (3)$$

Но при снятии статических нагрузочных F—x характеристик определение условной жесткости c_2 обычно связано со сложностями технического характера, а зачастую и просто невозможно. Так, например, для исследования режимов статического и динамического погружения стержней в строительные основания используют специально изготовленные образцы. Поскольку строительные материалы являются весьма хрупкими, то для исключения возможности растрескивания образцы имеют вид стального контейнера, армированного по периметру стальной проволокой и залитого цементным раствором. При этом практически невозможно учесть усилия, затрачиваемые на деформирование самого контейнера и армирующей проволоки. Результаты испытаний будут лишь в той или иной степени приближенными к реальным характеристикам. И в этом случае предлагаемая методика построения модели и расчета динамических параметров деформационного процесса принципиально отличается от рассмотренной выше.

Исходной для построения модели является динамическая характеристика $h_k = f(k)$, которая может быть получена с использованием любой машины ударного действия или на стенде. При этом должно выполняться условие $k \geqslant 2$.

k	2	4	6	8	10	12
h_k, м	0,05	0,09	0,13	0,16	0,2	0,22

В наиболее простом варианте (дерево, кирпич, пенобетон) и в предположении жесткопластического характера процесса деформирования из выражения (3) может быть найдена зависимость

$$c_2 = \frac{mv_0^2k - 2h_kF_0}{h_k^2}. \quad (4)$$

Для жесткопластического упрочняющегося тела c_2 = const при любом числе циклов динамического нагружения. Зная энергию единичного удара и глубину погружения стержня на произвольных k и $(k + i)$-м циклах нагружения и приравнивая соответствующие им уравнения (3), получим равенство

$$\frac{mv_0^2k - 2h_kF_0}{h_k^2} = \frac{mv_0^2(k+i) - 2h_{(k+i)}F_0}{h_{(k+i)}^2},$$

откуда определяется величина F_0. Затем по уравнению (4) вычислим c_2. Уравнение (3) можно решить и относительно F_0. Тогда

$$F_0 = \frac{kmv_0^2 - c_2h_k^2}{2h_k}. \quad (5)$$

Так как F_0 = const, то после приравнивания уравнений (5) на k и $(k + 1)$-м циклах нагружения можно определить c_2, а затем вычислить F_0.

В качестве примера рассмотрим гипотетический случай. Задаемся для жесткопластического упрочняющегося тела величинами c_2 = 5000 Н/м; F_0 = 1000 Н и энергией единичного удара T = = 30 Дж. Рассчитаем для этого случая по выражению (3) динамическую характеристику. Величина погружения стержня на k-м цикле нагружения приведена в таблице.

Выбираем произвольные циклы нагружения и по формуле (4) определяем величину F_0. Например, для второго и десятого циклов нагружения

$$\frac{2 \cdot 30 \cdot 2 - 2 \cdot 0{,}0529F_0}{0{,}0529^2} = \frac{2 \cdot 30 \cdot 10 - 2 \cdot 0{,}2F_0}{0{,}2^2},$$

откуда F_0 = 1002,9 Н.

По уравнению (4) записываем равенство и определяем

$$c_2 = \frac{2 \cdot 30 \cdot 10 - 2 \cdot 0{,}2 \cdot 1002{,}9}{0{,}2^2} = 4999 \text{ Н/м}.$$

Таким образом, при таком подходе достигается практически полное соответствие результатов. Некоторое расхождение результатов объясняется погрешностью математических расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каргин В. А.* Выбор оптимальных выходных параметров машин ударного действия // Динамика и прочность судовых машин. Николаев, 1984. С. 27—32.
2. *Блейк Ф., Мелан Б.* Уравнения в конечных разностях статики сооружений / Под ред. А. П. Филиппова. Харьков: ОНТИ, 1936. 380 с.
3. *Каргин В. А., Абрамов А. Д.* Виброударная технология и инструмент для железнодорожного транспорта // Современные технологии строительства, ремонта и эксплуатации путевого хозяйства Западно-Сибирской железной дороги. Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2001. С. 116—123.

В. В. МАКАРЕНКО, инж., О. С. ЛОМОВА, канд. техн. наук, А. П. МОРГУНОВ, д-р техн. наук, С. М. ЛОМОВ, канд. техн. наук
Омский государственный технический университет

Измерение параметров профилей пера лопаток осевых компрессоров и газодувок, применяемых в нефтехимическом производстве

При измерении координат точек профиля пера лопатки на трехкоординатной измерительной машине с бесконтактной оптико-электронной головкой [1, 2] определить годность лопатки в производственных условиях достаточно сложно, так как техническими условиями допускается смещение и поворот профиля на некоторую величину. Кроме того, техническими условиями нормируются допуски на максимальную толщину профиля, толщину и смещения кромок, отклонения хорды и др. [3]. Поэтому необходимо автоматизировать не только процесс измерения, но и обработку полученной информации, и представлять результаты контроля в удобной и наглядной для обслуживающего персонала форме.

При измерении профиля сечения криволинейной поверхности на трехкоординатной измерительной машине с бесконтактной оптико-электронной головкой автоматически по программе или вручную устанавливается заданное сечение (координата Z_i), координаты X_i и Y_i измеряют оптико-электронной головкой. Для определения годности в измеряемой точке требуется сравнить отклонение ее положения от предельно допустимых. Так как допустимые отклонения профиля заданы по нормали к границе, а измерение производится вдоль оси Y, то необходимо знать в контролируемой точке допустимые отклонения в направлении оси Y.

Допуск вдоль оси Y зависит от угла наклона φ границы профиля (угол между нормалью границы в измеряемой точке и осью Y). Для криволинейной границы из простых геометрических построений допустимое отклонение вдоль оси Y

$$eu = \sqrt{(R+e)^2 - (R\sin\varphi)^2} - R\cos\varphi, \qquad (1)$$

где R — радиус кривизны в измеряемой точке; e — предельное допустимое отклонение.

Учитывая, что $e \ll R$, $eu \ll R$ и угол φ для лопаток ГТД не превышает 60—70°, получим

$$eu = \frac{e}{\cos\varphi}. \qquad (2)$$

Погрешность формулы (2) не превышает нескольких процентов, для реальных профилей она значительно меньше допустимой погрешности контроля. Если же в каких-то случаях, например, при контроле кромок лопаток, которые в сечениях являются окружностями малого радиуса, точность зависимости (2) недостаточна, то придется пользоваться выражением (1).

Угол наклона φ находится из уравнения кривой профиля

$$Y = S(X), \qquad (3)$$

полученной аппроксимацией или интерполяцией заданных координат точек профиля,

$$\varphi = \mathrm{arctg}(S'(X)). \qquad (4)$$

Радиус кривизны для окружности обычно задан, а для других криволинейных границ может быть определен из уравнения (3) по второй производной.

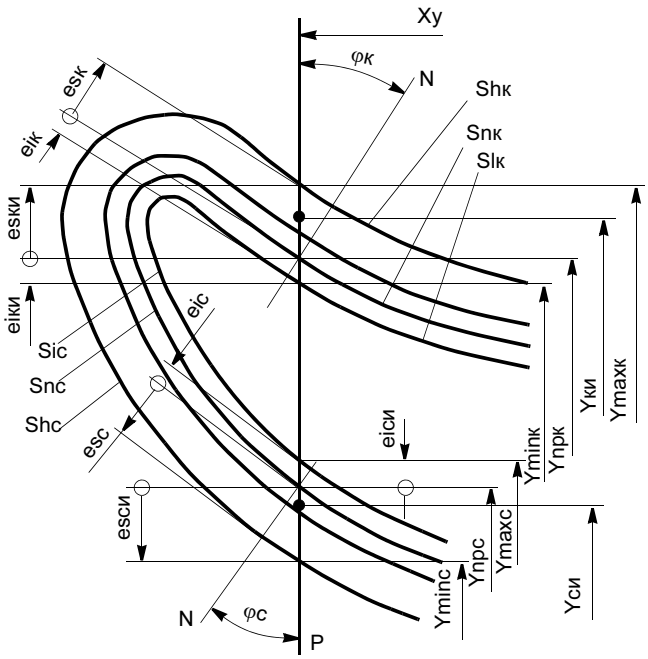


Рис. 1. К расчету предельных размеров

ISSN 1562-322X. Технология машиностроения. 2007. № 4

Теоретические профили пера (рис. 1) описываются интерполирующими сплайнами, совпадающими с заданными точками профиля: *Sn*к — для корыта и *Sn*с — для спинки. Кривые *Sh*к и *Sh*с — наибольший предельный размер профиля, *Sl*к и *Sl*с — наименьший предельный размер профиля, *Scp*к и *Sc*pc — линия середины поля допуска профиля. Верхние предельные отклонения по нормали к профилю для корыта и спинки — *es*к и *es*с, нижние предельные отклонения — соответственно *ei*к и *ei*с, *P* — линия измерения, *N* — нормаль к профилю, *T*к и *T*с — измеренные точки профиля со стороны корыта и спинки.

Измерения и предварительную обработку данных производят следующим образом (см. рис. 1).

Программное устройство измерительной машины устанавливает координату *Xy*, а измерительное устройство измеряет координаты *Y*ки и *Y*си.

По аналитическим выражениям сплайнов *Sn*к и *Sn*с рассчитывают номинальные координаты *Ynp*к и *Ynp*с, по формуле (4) — углы φк и φс между направлениями нормали и линии измерения, по формуле (2) — предельные отклонения в измеренных точках в направлении линии измерения *es*ки, *ei*ки, *es*си и *ei*си.

Рассчитывают наибольшие и наименьшие предельные размеры в измеренных точках в направлении линии измерения *Y*maxк, *Y*minк, *Y*maxс и *Y*minc.

Сравнивают действительные значения *Y* с предельными. Если координаты всех измеренных точек находятся в границах поля допуска, то перо признается годным. Если же какие-либо точки выходят за границы поля допуска, то требуется дополнительный анализ для определения годности лопатки.

Для анализа возможностей рассматриваемого метода провели моделирование в среде Mathcad для реальной турбинной лопатки. Выбрали достаточно сложные профили с большими углами наклона и изменяющейся кривизной. Требования к профилю соответствовали реальным.

Ниже приведен пример моделирования для одного профиля. Имена переменных соответствуют обозначениям в предыдущих формулах за исключением русских букв, которые заменены на похожие латинские. Внутренние функции Mathcad не расшифровываются, о них можно узнать в любом справочнике по Mathcad. При моделировании не проводили сравнение измеренных значений с предельными допустимыми.

Исходными данными являются четыре вектора *Xk*, *Yk*, *Xs* и *Ys* — координаты точек профиля корыта и спинки, заданные в чертеже лопатки.

Интерполяционные сплайны для корыта и спинки рассчитывают соответственно по следующим формулам:

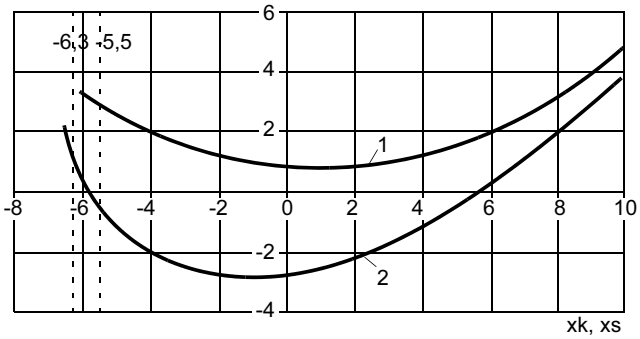


Рис. 2. Сплайновая аппроксимация профиля: *1 — Snk*; *2 — Sns*

$$Sk = cspline(Xk,\ Yk); \qquad (5)$$

$$Ss = cspline(Xs,\ Ys). \qquad (6)$$

Значения *Y* определяют по формулам:

$$Snk_{ii} = interp(Sk,\ Xk,\ Yk,\ xk_{ii}); \qquad (7)$$

$$Sns_{jj} = interp(Ss,\ Xs,\ Ys,\ xs_{jj}). \qquad (8)$$

На рис. 2 приведены аппроксимирующие кривые профиля, полученные по следующим формулам:

$$Snk(xk) = interp(Sk,\ Xk,\ Yk,\ xk); \qquad (9)$$

$$Sns(xs) = interp(Ss,\ Xs,\ Ys,\ xs). \qquad (10)$$

Результаты расчета угла наклона нормали по формулам

$$\phi k(xk) = atan\left(\frac{d}{dxk}\,Snk(xk)\right)\frac{180}{\pi}; \qquad (11)$$

$$\phi s(xs) = atan\left(\frac{d}{dxs}\,Sns(xs)\right)\frac{180}{\pi} \qquad (12)$$

приведены на рис. 3.

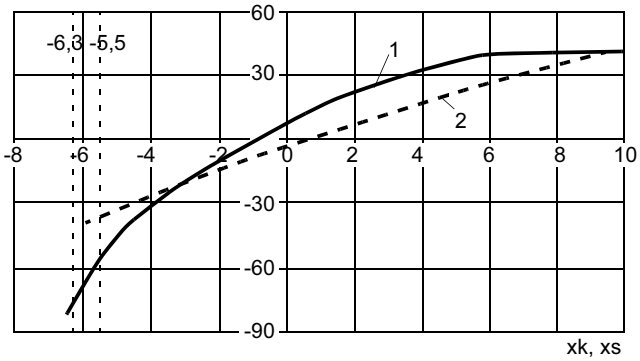


Рис. 3. Угол наклона профиля: *1 —* $\phi s(xs)$; *2 —* $\phi k(xk)$

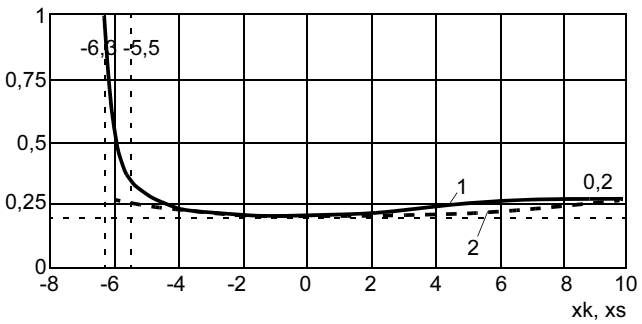


Рис. 4. Допуск в направлении линии измерения: *1 — Tki(xk); 2 — Tsi(xs)*

Для заданных предельных отклонений по нормали к профилю *es* и *ei* рассчитывают предельные отклонения и допуски в направлении линии измерения по формулам (13)—(18):

$$eski(xk) = \frac{es}{\cos\left(\phi k(xk)\frac{\pi}{180}\right)}; \quad (13)$$

$$eiki(xk) = \frac{ei}{\cos\left(\phi k(xk)\frac{\pi}{180}\right)}; \quad (14)$$

$$essi(xs) = \frac{-es}{\cos\left(\phi s(xs)\frac{\pi}{180}\right)}; \quad (15)$$

$$eisi(xs) = \frac{-ei}{\cos\left(\phi s(xs)\frac{\pi}{180}\right)}; \quad (16)$$

$$Tki(xk) = eski(xk) - eiki(xk); \quad (17)$$

$$Tsi(xs) = eisi(xs) - essi(xs). \quad (18)$$

Допуски для корыта и спинки приведены на рис. 4.

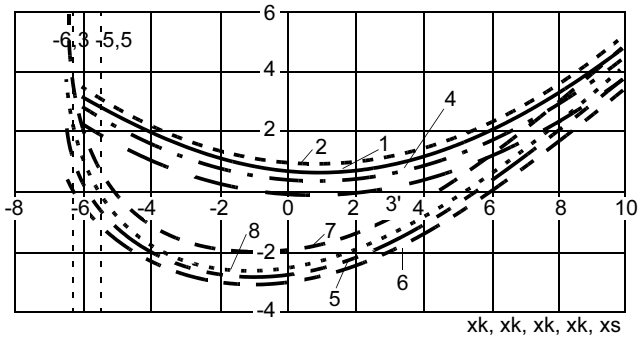


Рис. 5. Поля допусков профиля: *1—8* — соответственно *Snk*(*xk*), *shk*(*xk*), *slk*(*xk*), *ssrk*(*xk*), *Sns*(*xs*), *shs*(*xs*), *sls*(*xs*) и *ssrs*(*xs*)

Верхние и нижние границы полей допусков для корыта и спинки, а также средние линии допусков рассчитывают по формулам (19)—(30). Масштабный коэффициент *Kt* введен только для построения более наглядных графиков (рис. 5). Он показывает, во сколько раз на графике отклонения и допуски больше номинальных размеров:

$$Shk(xk) = Snk(xk) + eski(xk); \quad (19)$$

$$Slk(xk) = Snk(xk) + eiki(xk); \quad (20)$$

$$Ssrk(xk) = 0{,}5(Shk(xk) + Slk(xk)); \quad (21)$$

$$Shs(xs) = Sns(xs) + essi(xs); \quad (22)$$

$$Sls(xs) = Sns(xs) + eisi(xs); \quad (23)$$

$$Ssrs(xs) = 0{,}5(Shs(xs) + Sls(xs)); \quad (24)$$

$$shk(xk) = Snk(xk) + eski(xk)Kt; \quad (25)$$

$$slk(xk) = Snk(xk) + eiki(xk)Kt; \quad (26)$$

$$ssrk(xk) = 0{,}5(shk(xk) + slk(xk)); \quad (27)$$

$$shs(xs) = Sns(xs) + essi(xs)Kt; \quad (28)$$

$$sls(xs) = Sns(xs) + eisi(xs)Kt; \quad (29)$$

$$ssrs(xs) = 0{,}5(shs(xs) + sls(xs)). \quad (30)$$

С увеличением угла наклона профиля увеличивается допуск Ti_ϕ в направлении линии измерения, вместе с этим увеличивается и погрешность измерения бесконтактной оптико-электронной головки:

$$Ti_\phi = \frac{T}{\cos\left[(\phi - 1)\frac{\pi}{180}\right]}. \quad (31)$$

Как показали теоретические и экспериментальные исследования, зависимость погрешности от угла наклона имеет вид

$$\Delta i_\phi = \Delta\left[1 + \left[\tan\left[(\phi - 1)\frac{\pi}{180}\right]\right]^2\right]^p. \quad (32)$$

Эмпирический коэффициент *p* зависит от микрогеометрии поверхности и находится в пределах от 0,3 до 0,5. Для поверхностей с таким же качеством, как и у лопаток, он близок к 0,35. Расчеты показывают (рис. 6), что погрешность измерения возрастает в меньшей степени, чем увеличивается допуск на профиль.

Рассмотренные выше отклонения включают не только отклонения формы профиля, но и смещения сечений пера относительно базирующих элементов (рис. 7). Представленная форма выдачи информации не позволяет объективно и точно определить составляющие погрешности пера лопатки.

Определять составляющие погрешности пера предлагается следующим образом. Смещением

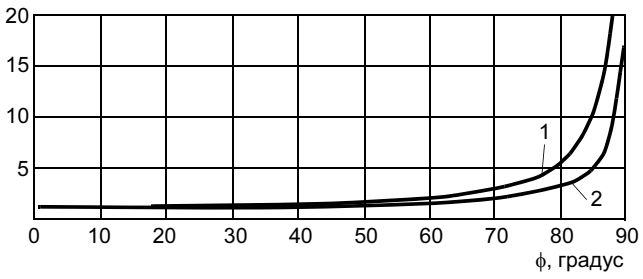


Рис. 6. Допуск профиля Ti_ϕ (*1*) и погрешность измерения Δi_ϕ (*2*)

измеренного профиля добиться такого положения, чтобы его отклонения от середины поля допуска были минимальны. Если при этом можно добиться такого положения, что все контролируемые точки находятся в границах поля допуска, то профиль по форме годен. За величину смещения профиля принимаются линейные перемещения Δy, Δx и поворот ψ вокруг оси Z измеренного профиля.

После ввода заданных и измеренных параметров профилей рассчитывают номинальные профили, границы поля допуска и отклонения. Выводят таблицу отклонений с заключениями о годности. Затем строят номинальный профиль, границы поля допуска и измеренный профиль. По графику оценивают величины Δy, Δx и ψ, которые вводят в ЭВМ. Для величин смещения рассчитывают новые координаты измеренного профиля:

$$x' = (x + \Delta x)\cos\psi - (y + \Delta y)\sin\psi; \qquad (33)$$

$$y' = (x + \Delta x)\sin\psi + (y + \Delta y)\cos\psi. \qquad (34)$$

Новое положение профиля изображается на графике. После оценки контролером положения точек профиля при необходимости производится корректировка (вводятся новые значения смещений) до тех пор, пока не будет найдено удовлетворительное положение профиля.

Автоматизация этого процесса сводится к задаче оптимизации. Целевой функцией является сумма квадратов отклонений размеров профиля.

Для оценки близости положения измеренного профиля к середине поля допуска подсчитывается сумма квадратов отклонений d (рис. 8), которая при относительной простоте и меньшей чувствительности к влиянию случайных погрешностей измерения, как показали предварительные исследования, дает вполне удовлетворительные результаты.

Отклонение действительной точки от средней линии допуска определяют по рис. 8:

$$d = \left(\frac{ecp}{\cos\varphi c} + Ycu - Ynpc\right)\cos\varphi c. \qquad (35)$$

Для определения других параметров профиля пера лопатки желательна аппроксимация действительного профиля аналитическими зависимостями. Такую аппроксимацию целесообразно производить аппроксимирующими сплайнами, устанавливая допуск сплайна близким к предельной случайной погрешности измерения. Этим самым снижается случайная составляющая погрешности измерения, которая является доминирующей для бесконтактной оптико-электронной головки. На рис. 9 приведены примеры аппроксимации измеренных точек аппроксимирующими сплайнами *Sd* с различными допусками *Ts*. Радиусы кружков, обозначающие измеренные точки, равны предельной погрешности измерения. Как правило, профиль лопаток получается плавным. В таких случаях количество изме-

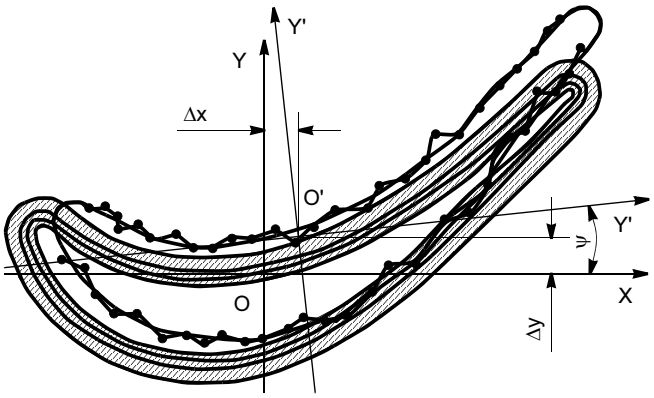


Рис. 7. Смещение действительного профиля

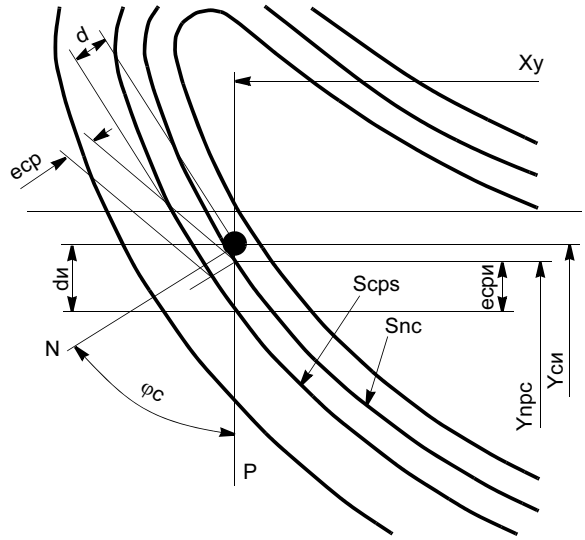


Рис. 8. Отклонение измеренной точки от средней линии профиля

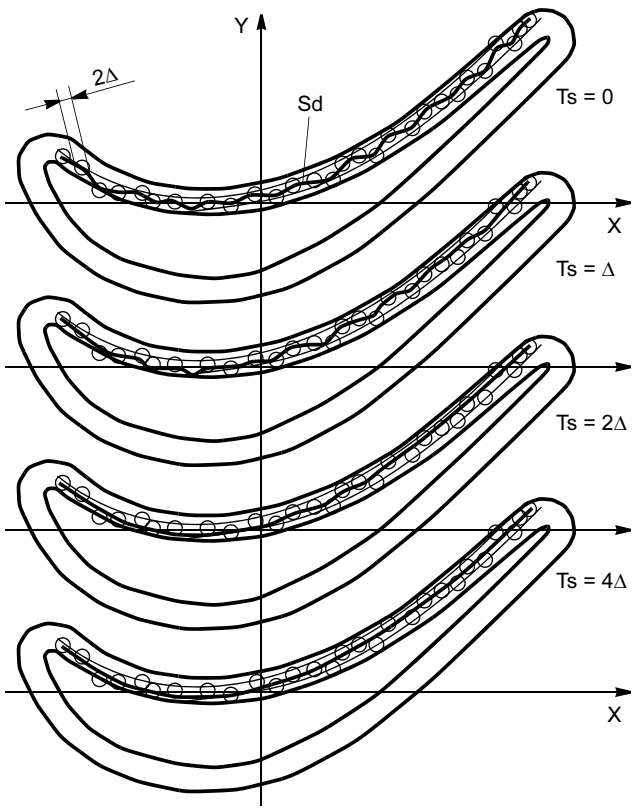


Рис. 9. Аппроксимация действительного профиля при реальных погрешностях обработки

ряемых точек может быть сокращено без потери информативности контроля. Это благоприятно скажется на времени контроля. Но это возможно только при стабильном технологическом процессе.

Расстояние между измеряемыми точками должно быть не больше интервала корреляции погрешности обработки. Для обоснованного решения о количестве и расположении точек измерения необходим тщательный анализ погрешностей обработки и их распределения по контуру профиля.

Выбор допуска на аппроксимацию сплайнами действительного профиля требует анализа погрешностей измерения, выделения случайной составляющей с малым интервалом корреляции. В противном случае при малом числе точек измерения увеличивается вероятность пропуска участков, выходящих за границы полей допусков.

Проведенные исследования показали, что использование бесконтактной оптико-электронной головки в трехкоординатной измерительной машине позволяет при использовании современной элементной базы создать измерительную информационную систему, позволяющую при простой кинематике измерять установленные техническими требованиями параметры пера лопаток газотурбинных двигателей с необходимой точностью. Возможно применение такой системы для контроля самых разнообразных криволинейных поверхностей любой жесткости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Савич А. И., Макаренко В. В.* Разработка, исследование и внедрение бесконтактного лазерного измерительного устройства для контроля криволинейных поверхностей деталей на координатно-измерительных машинах. Омск: ОмПИ, 1980. 105 с.
2. *Савич А. И., Макаренко В. В.* Координатная измерительная машина для контроля изделий сложного профиля // Станки и инструмент. 1990. № 3. С. 26—28.
3. *Макаренко В. В., Ломов С. М., Ломова О. С.* Контроль профилей криволинейных поверхностей // Динамика систем, механизмов и машин: Омск: Изд-во ОмГТУ, 2004. Кн. 1. С. 293—296.

Внимание! Информация

12–16 июня 2007 г.
Дюссельдорф (Германия)
ВЫСТАВОЧНЫЙ КОМПЛЕКС

«METEC—2007»	*7-я Международная специализированная выставка металлургической промышленности и конгрессы «InSteelCon» и «EMC—2007»*
«NEWCAST—2007»	*2-я Международная специализированная выставка готовой продукции литейного производства и форум «NEWCAST»*
«THERMPROCESS—2007»	*9-я Международная выставка и симпозиум плавильно-термического оборудования*
«GIFA—2007»	*11-я Международная выставка оборудования и технологий литейного производства и технофорум «WFO»*

Организатор: «Мессе Дюссельдорф ГмбХ»

Справки по тел.: +49 (0)211/4560 466 (руководитель проекта Ф.-Г. Керер);
+49 (0)211/4560 900; +49 (0)211/4560 86100

В. И. БОЧЕНИН, д-р техн. наук
Курганский государственный университет

Неразрушающий контроль содержания остаточного аустенита и углерода в штамповых поковках

В процессе нагрева и выдержки штамповых поковок, изготовленных из стали 5ХНМ, при закалке в ряде случаев происходит обезуглероживание поверхностного слоя в локальных участках. При таких условиях снижаются эксплуатационные свойства штампа. В связи с этим актуальной является проблема оценки степени обезуглероживания штамповых поковок. С учетом изложенного разработан неразрушающий способ контроля обезуглероживания крупногабаритных поковок из стали 5ХНМ с возможностью реализации его в промышленных условиях. Физическая сущность способа основана на облучении поверхностного слоя контролируемого участка гамма-квантами радионуклида с последующей регистрацией обратнорассеянного излучения, интенсивность потока которого зависит от плотности структурных составляющих закаленной стали [1]. Далее по плотности определяют содержание γ-фазы и количество углерода. Степень обезуглероживания оценивают по равенству

$$W = 1 - \frac{C_к}{C_э} 100\ \%, \qquad (1)$$

где $C_к$, $C_э$ — содержание углерода в поверхностном слое поковки после закалки и в необезуглероженном эталонном образце соответственно.

Так как в структуре закаленной стали 5ХНМ кроме α- и γ-фаз присутствуют карбиды, то их учитывают с помощью двухканальной системы детектирования. Ее структурная схема приведена на рис. 1, в которой реализуется сравнительный прием измерений с помощью контролируемого канала *КС* и эталонного *ЭО*, учитывающего влияние карбидных фаз. Радиоизотопные источники гамма-квантов *1* и сцинтилляционные детекторы *2* установлены в выносных датчиках *КС* и *ЭО* со свинцовой защитой *3*, что позволяет осуществлять контроль в дистанционном варианте. Гамма-кванты от радионуклидов *1* проходят через коллиматоры *4* (диаметр 8 мм, длина 50 мм), которые формируют параллельный поток фотонов, падающих на поверхность контролируемой среды *6* и эталонного образца *7*. Отраженное от контролируемой поверхности обратнорассеянное излучение проходит через вторые коллиматоры *5*, которые направляют его к детекторам *2*. Со счетчиков *2* сигнал поступает в предварительный и линейный усилители, установленные в двухканальном гамма-спектрометре *8*. В итоге сигналы от обратнорассеянного излучения подаются на два индикаторных прибора, установленные в гамма-спектрометре, фиксирующие величину потока в каждом канале. Питание электронных схем регистрирующей установки осуществляется автономным источником тока с выходным напряжением 12 В.

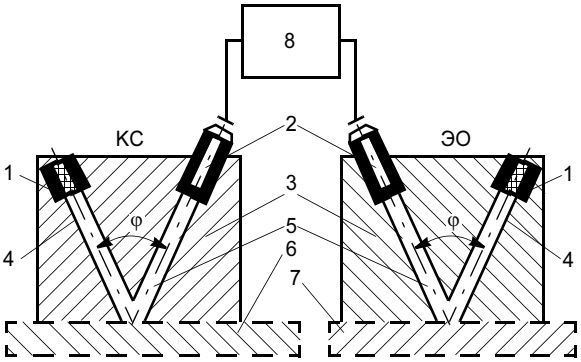


Рис. 1. Структурная схема радиоизотопного двухканального анализатора

В датчиках (см. рис. 1) предусмотрено изменение угла φ между осями коллиматоров. При пересечении их на некоторой глубине *d* контролируемой среды поток обратнорассеянного излучения, попадающий в детектор из небольшого объема [2],

$$N_{\gamma,\alpha} = K_s \rho_{\gamma,\alpha} V I^{-\mu_{\gamma,\alpha} d}, \qquad (2)$$

где K_s — постоянный коэффициент, зависящий от геометрических и атомных констант; $\rho_{\gamma,\alpha}$ — плотность двухфазной закаленной стали, г/см^3; V — объем в центре пересечения осей коллиматоров, см^3; $\mu_{\gamma,\alpha}$ — массовый коэффициент ослабления обратнорассеянного излучения, см^2/г; d — глубина от центра пересечения коллиматоров до поверхности контролируемой среды, см.

При малой глубине измерений (когда угол между осями коллиматоров 115—120°) точка пересечения осей смещается на малое расстояние от поверхности контролируемой среды. В этом случае величины $\mu_{\gamma,\alpha}$ и d в экспоненте равенства (2) будут малы. В результате экспоненту можно исключить и тогда поток обратнорассеянного излучения в канале *КС*

$$N^к_{\gamma,\alpha} = K_s \rho^к_{\gamma,\alpha} V. \qquad (3)$$

Аналогично, в канале *ЭО*

$$N^{э}_{\gamma,\alpha} = K_s \rho^{э}_{\gamma,\alpha} V. \quad (4)$$

Преобразуя выражения (3) и (4), получим

$$\frac{N^{к}_{\gamma,\alpha}}{N^{э}_{\gamma,\alpha}} = \frac{\rho^{к}_{\gamma,\alpha}}{\rho^{э}_{\gamma,\alpha}}, \quad (5)$$

где $$\rho^{к}_{\gamma,\alpha} = \frac{1}{100}(C^{к}_{\gamma}\rho^{к}_{\gamma} + C^{к}_{\alpha}\rho^{к}_{\alpha}); \quad (6)$$

$C^{к}_{\gamma}$, $C^{к}_{\alpha}$ — содержание γ- и α-фаз; $\rho^{к}_{\gamma}$, $\rho^{к}_{\alpha}$ — плотность.

Умножая правую и левую части равенства (6) на $1/C^{к}_{\alpha}$, получим

$$\rho_{\gamma,\alpha}100 = C^{к}_{\gamma}\rho^{к}_{\gamma} + \rho^{к}_{\alpha}. \quad (7)$$

Откуда

$$C^{к}_{\gamma} = \frac{\rho^{к}_{\gamma,\alpha}}{a}100, \quad (8)$$

где $a = \rho^{к}_{\gamma} + \rho^{к}_{\alpha}$.

Аналогично для эталонной среды

$$C^{э}_{\gamma} = \frac{\rho^{э}_{\gamma,\alpha}}{b}100, \quad (9)$$

где $b = \rho^{э}_{\gamma} + \rho^{э}_{\alpha}$.

Отношение выражений (8) и (9) при $a = b$ примет вид

$$\frac{C^{к}_{\gamma}}{C^{э}_{\gamma}} = \frac{\rho^{к}_{\gamma,\alpha}}{\rho^{э}_{\gamma,\alpha}} \quad (10)$$

или с учетом формулы (5)

$$\frac{C^{к}_{\gamma}}{C^{э}_{\gamma}} = \frac{N^{к}_{\gamma,\alpha}}{N^{э}_{\gamma,\alpha}}. \quad (11)$$

Тогда содержание γ-фазы в контролируемой среде

$$C^{к}_{\gamma} = \frac{N^{к}_{\gamma,\alpha}}{N^{э}_{\gamma,\alpha}} C^{э}_{\gamma}. \quad (12)$$

Исследовали достоверность равенства (12). Для этого готовили плоские образцы из стали 5ХНМ размером 40 × 40 × 4 мм. Предварительно их отжигали и далее осуществляли закалку, нагревая первый образец при 840 °С, остальные с повышением температуры на 5 °С для каждого. Магнитным методом определяли содержание остаточного аустенита в каждом образце [3].

Используя образцы с известным фазовым составом, выполняли измерения неразрушающим способом, экспериментально подбирая энергию гамма-излучения радионуклидов, обеспечивающую выполнение равенства (12). В датчик *ЭО* радиоизотопной установки (см. рис. 1) помещали образец, прошедший закалку с 840 °С и содержащий 10 % аустенита, используя его в качестве эталона. Остальные последовательно устанавливали в датчик *КС*, облучая поверхностный слой гамма-квантами радионуклида Co^{57} (E = 0,12 МэВ, активность 0,4 Вк), регистрируя с помощью гамма-спектрометра (см. рис. 1) поток обратнорассеянного излучения в каналах *КС* ($N^{к}_{\gamma,\alpha}$) и *ЭО* ($N^{э}_{\gamma,\alpha}$). По результатам измерений рассчитывали отношения $N^{к}_{\gamma,\alpha}/N^{э}_{\gamma,\alpha}$ и содержание аустенита по равенству (12). В табл. 1 приведены экспериментальные результаты. Видно, с гамма-излучением Co^{57} получили значительные отклонения по содержанию аустенита данных неразрушающего способа от магнитного. Затем выполняли аналогичные измерения, облучая поверхностный слой образцов гамма-квантами радионуклида Se^{75} (E = 0,14 МэВ, активность 0,5 Вк). Как видно из табл. 1, в этом случае также не получили приемлемую сходимость результатов неразрушающего способа. Как показали дальнейшие измерения, наиболее приемлемую сходимость данных неразрушающего способа с результатами магнитного метода получили при облучении поверхностного слоя образцов гамма-квантами радионуклида Cs^{137} (табл. 1). Далее с помощью химического анализа определяли содержание углерода в каждом образце. По полученным данным строили аналитический график (рис. 2). Как видно, зависимость между содержанием углерода и γ-фазы оказалась линейной.

На основе изложенных исследований разработали методику промышленного контроля степени обезуглероживания по глубине поверхностного слоя штампованных поковок после их закалки. Портативный радиоизотопный анализатор устанавливали в цеховых условиях, выполняя предварительно калибровку регистрирующей аппаратуры по закаленному образцу-свидетелю из стали 5ХНТ. Цель ее заключалась в послойной регистрации параметра $N^{к}_{\gamma,\alpha}/N^{э}_{\gamma,\alpha}$. Предварительно в датчик *КС* (см. рис. 1) устанавливали образец-свидетель размером 40 × 40 × 5 мм, а в датчик *ЭО* — эталонный образец. Облучая поверхностный слой образцов гамма-квантами Cs^{137}, измеряли отношение $\left(\frac{N^{к}_{\gamma,\alpha}}{N^{э}_{\gamma,\alpha}}\right)_n$, где индекс "*n*" характеризует поверхностный слой. Затем электроэрозионным способом [4] срезали поверхностные слои образца-свидетеля на толщину *d*, регистрируя в каждом случае отношение $\left(\frac{N^{к}_{\gamma,\alpha}}{N^{э}_{\gamma,\alpha}}\right)_i$. По результатам измерений определяли коэффициенты для каждого слоя:

Таблица 1

Номер образца	Температура закалки, °С	Содержание аустенита, % (магнитный метод)	Содержание аустенита, % (неразрушающий способ)			Отклонение от магнитного метода, %		
			Co^{57}	Se^{75}	Cs^{137}	Co^{57}	Se^{75}	Cs^{137}
1	840	10,1	7,9	12,6	9,9	–2,2	+4,7	–0,2
2	845	11,0	8,3	9,2	11,4	–2,7	+1,8	+0,4
3	850	9,0	12,2	7,7	9,2	+3,2	–1,3	+0,2
4	855	7,3	10,5	6,4	7,1	+3,2	–0,9	–0,2
5	860	6,5	3,8	8,1	6,3	–2,7	+1,6	–0,2
6	865	4,9	6,4	2,2	4,8	+1,5	–2,7	–0,1
7	870	3,5	2,8	5,3	3,9	–0,7	+1,8	+0,4
8	875	3,0	2,0	4,8	3,3	–1,0	+1,8	0,3

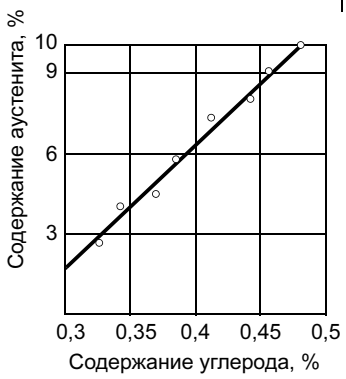


Рис. 2. Зависимость между содержанием аустенита и углерода

$$K_1 = \frac{\left(\frac{N^{к}_{\gamma,\alpha}}{N^{э}_{\gamma,\alpha}}\right)_1}{\left(\frac{N^{к}_{\gamma,\alpha}}{N^{э}_{\gamma,\alpha}}\right)_n};$$

$$K_2 = \frac{\left(\frac{N^{к}_{\gamma,\alpha}}{N^{э}_{\gamma,\alpha}}\right)_2}{\left(\frac{N^{к}_{\gamma,\alpha}}{N^{э}_{\gamma,\alpha}}\right)_n}; \ \ldots \ K_i = \frac{\left(\frac{N^{к}_{\gamma,\alpha}}{N^{э}_{\gamma,\alpha}}\right)_i}{\left(\frac{N^{к}_{\gamma,\alpha}}{N^{э}_{\gamma,\alpha}}\right)_n}. \quad (13)$$

Таблица 2

Номер образца-свидетеля	Расстояние от поверхностного слоя образцов, мм	Рентгеноструктурный метод		Неразрушающий способ		Отклонения	
		Содержание углерода $C_р$, %	$W_р$, %	Содержание углерода $C_н$, %	$W_н$, %	$C_р—C_н$, %	$W_р—W_н$, %
1	0,15	0,45	20	0,43	22	–0,02	+2
	0,28	0,48	13	0,47	14	–0,01	+1
	0,55	0,51	3	0,50	3	–0,01	0
	0,63	0,53	2	0,52	2	–0,01	0
2	0,21	0,43	22	0,44	22	+0,01	0
	0,48	0,49	14	0,51	13	+0,02	+1
	0,57	0,54	1,5	0,53	2	–0,01	+0,5
	0,75	0,55	0	0,54	1	–0,01	+1

Примечание. Индекс "р" соответствует рентгеноструктурному методу, индекс "н" — неразрушающему способу.

Используя результаты калибровки, выполняли контроль обезуглероживания локальных участков штамповых поковок. После их закалки проводили выборочный неразрушающий контроль. Поверхностный слой контролируемых участков очищали от загрязнений. Затем на их поверхность в выносном варианте устанавливали датчик *КС* (см. рис. 1). В канале *ЭО* помещали эталонный образец. Облучая гамма-квантами Cs^{137} поверхностный слой контролируемого участка поковки и эталонного образца, регистрировали с помощью гамма-спектрометра (см. рис. 1) поток обратнорассеянного излучения в каналах *КС* ($N^{к}_{\gamma,\alpha}$) и *ЭО* ($N^{э}_{\gamma,\alpha}$), рассчитывая отношение $\left(\frac{N^{к}_{\gamma,\alpha}}{N^{э}_{\gamma,\alpha}}\right)_n$. Используя коэффициенты K_1, K_2, ..., K_i, рассчитанные для различных расстояний от поверхностного слоя d_i, определяли отношения

$$\left(\frac{N^{к}_{\gamma,\alpha}}{N_{\gamma,\alpha}}\right)_1 = K_1\left(\frac{N_{\gamma,\alpha}}{N^{э}_{\gamma,\alpha}}\right)_n;$$

$$\left(\frac{N^{к}_{\gamma,\alpha}}{N^{э}_{\gamma,\alpha}}\right)_2 = K_2\left(\frac{N_{\gamma,\alpha}}{N_{\gamma,\alpha}}\right)_n \ldots \left(\frac{N^{к}_{\gamma,\alpha}}{N^{э}_{\gamma,\alpha}}\right)_i = K_2\left(\frac{N_{\gamma,\alpha}}{N_{\gamma,\alpha}}\right)_n. \quad (14)$$

По равенству (12) определяли содержание аустенита в каждом слое, а по рис. 2 — углерода. Глубина обезуглероженного слоя соответствовала расстоянию от поверхности контролируемой среды до места, в котором *W* близка к нулю.

Методическую погрешность оценивали путем сопоставления результатов рентгеноструктурного метода с данными неразрушающего способа. В табл. 2 приведены результаты послойного определения углерода неразрушающим способом и рентгеноструктурным методом. На дифрактометре ДРОН-1 определяли содержание углерода по ширине дифракционной линии 220 в железном излучении. Отклонения оказались на уровне допустимых. Следовательно, можно считать, что предлагаемый способ приемлем для оценки степени обезуглероживания штамповых поковок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Плотников Р. И., Пшеничный Г. А.* Флуоресцентный рентгенорадиометрический анализ. М.: Атомиздат, 1973. 263 с.
2. *Большаков А. Ю.* Рентгенорадиометрический метод исследования состава горных пород. М.: Атомиздат, 1970. 136 с.
3. *Апаев Б. А.* Фазовый магнитный анализ сплавов. М.: Металлургия, 1976. 280 с.
4. *Потелов Л. Я.* Справочник по электрическим и ультразвуковым методам обработки металлов. Л.: Машиностроение, 1971. 540 с.

Д. В. ВОЛКОВ
(начальник Управления информационных технологий ОАО МТЗ “Трансмаш”),
М. В. ЩУКИН, канд. техн. наук
(МГТУ "Станкин")

Проектирование автоматизированной системы электронного архива конструкторской документации

Деятельность крупного промышленного предприятия характеризуется постоянным использованием колоссального объема конструкторской и технической документации. При этом возрастающая конкуренция, необходимость соответствия стандартам систем менеджмента качества и непрерывное пополнение архива новыми проектными решениями требуют больших финансовых и трудовых затрат для поддержания и управления документооборотом организации. В таких условиях традиционные способы хранения документов и связанные с ними процедуры обработки информационных запросов обладают рядом существенных недостатков, значительно снижающих эффективность работы.

К числу основных проблем, возникающих в процессе эксплуатации бумажного архива, можно отнести следующие:

— быстрый и полный поиск необходимой информации;

— идентификацию документов, различие их копий и версий;

— своевременное предоставление требуемых конструкторских документов;

— подбор комплектов чертежей (включая заимствованные) для тиражирования и подготовки технической документации;

— сохранение оригиналов документов при их интенсивном использовании;

— поддержание в рабочем состоянии старых и ветхих документов, а также чертежей, выполненных на кальках или "синьках";

— регламентацию прав доступа к архиву в зависимости от уровня компетенции и полномочий сотрудников.

Переход организации к автоматизированным технологиям и электронным принципам хранения и обработки документов направлен на решение перечисленных задач. При этом процесс внедрения систем электронного документооборота на крупном предприятии осложняется комплексом причин, носящих обобщенный характер. К наиболее часто возникающим техническим проблемам относятся интеграция новой системы с ранее используемыми программными продуктами и необходимость переноса информационных данных из одной среды хранения в другую. Немаловажным фактором зачастую является организационная и техническая неподготовленность персонала к использованию новых принципов работы, а также возможное несоответствие готовых программных решений задачам документооборота в организации.

Тем не менее, главной проблемой на стадии принятия решения об автоматизации делопроизводства на предприятии является потребность в первоначальных крупных вложениях финансовых средств при том, что экономический эффект от внедрения системы не всегда очевиден. Важно помнить, что конечной целью реализации проекта должен стать не только "прозрачный электронный документооборот", но и повышение эффективности управления предприятием, увеличение прибыли и извлечение других конкурентных преимуществ. Хранение и обработка документов в электронном виде — это лишь средство для достижения указанных целей.

Таким образом, актуальность и значимость данной работы определяются необходимостью сохранения и развития интеллектуальных ресурсов организации (выраженных в накопленных объемах проектной и конструкторской документации) на основе применения современных программных средств и информационных технологий.

Большое число предлагаемых систем электронного документооборота требует их всестороннего анализа для оптимального выбора продуктов данного класса. При этом особое внимание стоит уделить следующим аспектам:

— соответствию уровня системы решаемым с ее помощью задачам и степени удовлетворения потребностей пользователей, рост которых прямо пропорционален времени работы с программным продуктом;

— оправданности инвестиций не только на покупку программы и набора лицензий, но и на совокупную стоимость обладания автоматизированным комплексом, включая затраты на обучение персонала, сопровождение системы и ее развитие;

— удобству и эффективности решения основных задач электронного документооборота;

— учету и занесению данных об электронных документах и их оригиналах, обработке запросов по поиску и предоставлению информации, обеспечению санкционированного доступа к хранимым данным.

В настоящее время на российском рынке насчитывается около полутора сотен компаний, имеющих программные решения и наработки в сфере электронного документооборота. Предлагаемый сравнительный об-

зор десяти автоматизированных комплексов не претендует на всю полноту охвата, но отражает наиболее характерные черты различных по уровню и стоимости систем подобного типа.

Рассматриваются следующие программные продукты:

1. БОСС-Референт (Аплана: группа компаний "АйТи") — система автоматизации документооборота и делопроизводства, ориентированная на потребности коммерческих компаний, государственных предприятий и органов власти;

2. Дело (Электронные офисные системы) — используется для автоматизации управленческой деятельности в отечественных министерствах и ведомствах, территориальных органах власти и предприятиях;

3. DIRECTUM (DIRECTUM) — система электронного документооборота и управления взаимодействием, направленная на повышение эффективности работы сотрудников организации в различных областях их совместной деятельности;

4. DocsVision (DocsVision) — универсальная система управления документами и бизнес-процессами, продажа осуществляется через партнерскую сеть, в которую на сегодня входят более 40 компаний;

5. ЕВФРАТ-Документооборот (Cognitive Technologies) — система управления бизнес-процессами и инструментарий для электронного документооборота компании, независимо от численности ее сотрудников и формы собственности;

6. LanDocs (холдинг "ЛАНИТ") — система автоматизации делопроизводства, ведения архива электронных документов и поддержки деловых процессов на предприятиях различного масштаба и специализации;

7. NauDoc (NAUMEN) — система электронного документооборота, обеспечивающая упорядочение бизнес-процессов и документооборота при автоматизации среднего и малого бизнеса, управляющих компаний и проектных организаций;

8. OPTiMA-WorkFlow (UpScale Soft) — система автоматизации управления потоками работ и организации конфиденциального документооборота компаний различного масштаба любой отрасли;

9. OfficeMedia (ИнтерТраст) — управление документами и координация работ по выполнению проектов для организаций крупного, среднего и малого бизнеса;

10. ЭСКАДО (Интерпроком Лан) — стандартизация документооборота на основе использования шаблонов документов и автоматизации трудоемких и ответственных работ государственных учреждений и предприятий малого и среднего бизнеса.

Сводные данные по программным комплексам приведены в таблице.

Критерий сравнения	Сравнительная характеристика средств электронного документооборота									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ведение номенклатуры дел и регистрация документов	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Управление документацией и слежение за перемещениями	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Информационные запросы и автоматические уведомления	о	+/–	+	+	+	+	+/–	о	о	о
Возможность аннулирования или списания документов	+	о	+	+	о	о	–	–	+	+
Поиск по наименованию, реквизитам и форме документа	+/–	+	+	+	+	+	+/–	+	+/–	+/–
Использование индексации, морфологии, логических связей	о	о	+	+/–	+/–	о	+	о	–	–
Средства генерации, просмотра и печати отчетных документов	о	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Средства сканирования и распознавания документов	о	о	о	+	+	+	о	о	о	о
Регламентация прав доступа пользователей	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Регистрация системных событий и сообщений	+	+	+	+/–	+/–	+	–	+	–	–
Средства защиты документов, шифрование, цифровая подпись	о	о	+	о	+	о	+/–	+	–	+
Возможность работы через web-интерфейс	о	+	о	+	о	о	+	о	–	–
Программная платформа или сервер СУБД	Lotus Domino	MS SQL Server, Oracle	MS SQL Runtime	MS SQL Server, MS IIS	Евфрат-сервер	MS SQL Server, Oracle	БД ZoDB	MS SQL Server, Oracle	Lotus Domino	Lotus Domino
Ориентировочная стоимость с учетом 50 лицензий, долл. США	17 000	21 00	14 000	12 500	8500	20 000	6500	14 000	9500	9000

Обозначения: "+" — функция реализована в стандартной версии продукта; "+/–" — функция реализована частично; "о" — функция доступна при установке дополнительных модулей; "–" — функция отсутствует.

В целом анализ автоматизированных систем электронного документооборота свидетельствует о том, что с базовыми функциями управления и регистрации документов все средства справляются успешно. С другой стороны, дополнительные возможности (например, полнотекстовый поиск, индексация документов для ускорения поиска, автоматические уведомления о наступлении контрольных событий, перевод отдельных документов в архив аннулированной документации и др.), как правило, или реализованы частично, или не входят в стандартную комплектацию.

Важным моментом также является ориентация сервера баз данных на ту или иную программную платформу. Наличие в организации предустановленного программного обеспечения может немного уменьшить расходы на приобретение, так как большинство продуктов использует MS SQL Server или Oracle. С другой стороны, внедрение систем, построенных на базе Lotus Domino, помимо высокой стоимости для создания полноценной конфигурации потребует еще и дополнительных затрат на обучение персонала, так как их интерфейс и механизмы обмена информацией отличаются от стандартов Microsoft.

Сравнительная оценка возможностей использования средств электронного документооборота определяет их следующие характерные особенности:

— отсутствие полного соответствия между задачами и способами их описания в системе с теми, которые применяются в организации, что, вероятно, потребует перестройки существующего документооборота;

— этап внедрения программных продуктов представляет собой длительный процесс, который может не принести немедленной отдачи — наоборот, возможно даже снижение эффективности работы сотрудников за счет усилий, затрачиваемых на переход к новым принципам взаимодействия;

— реальные затраты на внедрение и использование обычно намного превышают затраты на приобретение — считается, что первоначальные вложения составляют около 30 % совокупной стоимости обладания программным продуктом;

— если стандартная комплектация не имеет большой функциональности, то реализация недостающих функций потребует дополнительных финансовых средств, что также отразится на общей стоимости владения системой;

— средства электронного документооборота обеспечивают возможность получения существенной выгоды только после успешного завершения процесса их внедрения и адаптации к условиям работы предприятия.

Таким образом, ориентация на готовое программное решение наряду с очевидными плюсами несет ряд немаловажных недостатков, которые могут значительно снизить эффективность отдачи от вложенных средств. При худшем развитии событий это может привести организацию в состояние непрерывного реинжиниринга своих бизнес-процессов, а также к постоянной необходимости обновления версий программных продуктов.

Другой путь развития — автоматизация конструкторского документооборота силами собственных информационных подразделений. Безусловно, он тоже содержит множество подводных камней и не гарантирует стопроцентного успеха. Но в отличие от использования готовой системы такой подход позволит:

— сохранить существующую на предприятии систему документооборота, учитывая особенности взаимодействия подразделений при создании программы;

— обеспечить постепенный переход от работы с бумажной документацией к электронному документообороту, используя промежуточные результаты разработки;

— равномерно распределить финансовые затраты на разработку, внедрение и эксплуатацию системы, варьируя возможности системы и решаемые ею задачи;

— не зависеть от сторонних разработчиков и гарантировать отсутствие утечки конфиденциальной информации или потери интеллектуальной собственности.

Кроме того, перед системами подобного типа, как правило, не ставится задача полной и одновременной автоматизации всего документооборота предприятия. Это, во-первых, упрощает разработку программного комплекса, снижая затраты на проектирование и внедрение, а, во-вторых, способствует включению в систему дополнительных функций, связанных с обработкой информационных и клиентских запросов.

Выбор принципа построения системы электронного документооборота индивидуален для каждого предприятия и требует дополнительного анализа в каждом конкретном случае. В рамках данной статьи рассматривается процесс проектирования автоматизированной системы электронного архива конструкторской документации ОАО МТЗ "Трансмаш" сотрудниками Управления информационных технологий завода.

Основные цели создания автоматизированной системы электронного архива:

— повышение эффективности работы предприятия за счет регламентации процедур создания, хранения и сопровождения документов;

— сокращение времени поиска требуемой информации и времени предоставления конструкторской документации по сравнению с технологией традиционного (бумажного) архива;

— увеличение производительности труда подразделения "Архив" путем сокращения временных издержек и автоматизации ручного труда;

— обеспечение высокой степени сохранности оригиналов конструкторской документации за счет работы с их электронными копиями;

— формирование на базе системы типового программно-технического комплекса, который мог бы использоваться в качестве тиражируемого решения для других подразделений.

К базовым функциям, автоматизируемым в системе в первую очередь, относятся повседневные задачи, решаемые сотрудниками подразделения "Архив". "Архив", входящий в состав Управления информационных технологий, с точки зрения автоматизации и использования современных информационных технологий является наиболее подготовленным подразде-

лением завода. В этом смысле он должен стать стартовой площадкой для развертывания полноценной системы электронного документооборота предприятия. Анализ проблем, возникших при реализации прототипа, а также формирование рекомендаций по широкомасштабному внедрению системы должны уменьшить суммарные затраты при подключении к автоматизированному комплексу остальных подразделений. Пока же — на начальном этапе разработки — круг задач автоматизации ограничивается рамками отдела "Архив", предусматривая возможности расширения и взаимодействия с другими службами предприятия, но не включая их в технологический цикл системы.

Основные функции, автоматизируемые в электронном архиве:

— создание классификаторов и справочников оригинальных деталей;

— заполнение электронных карточек конструкторской документации;

— занесение и хранение электронных документов в архиве;

— поиск и обработка документов, находящихся в архиве;

— формирование учетных документов и статистической отчетности по архиву.

Решение этих задач предусматривает создание нескольких рабочих групп пользователей с различными функциями и правами доступа к архиву. Предлагается пять видов автоматизированных рабочих мест (АРМ) пользователей (рис. 1):

— АРМ администратора системы — контроль и поддержание функционирования системы, управление правами доступа, установка и настройка рабочих мест других пользователей;

— АРМ архивариуса — учет и занесение информации о документах, поступающих в архив и находящихся в нем;

— АРМ оператора добавления документов — занесение электронных и отсканированных документов в архив;

— АРМ поиска и обработки информации — обработка запросов по поиску и предоставлению информации о документах, хранящихся в архиве;

— АРМ клиента архива — просмотр документов, хранящихся в архиве, в соответствии с определенными правами доступа.

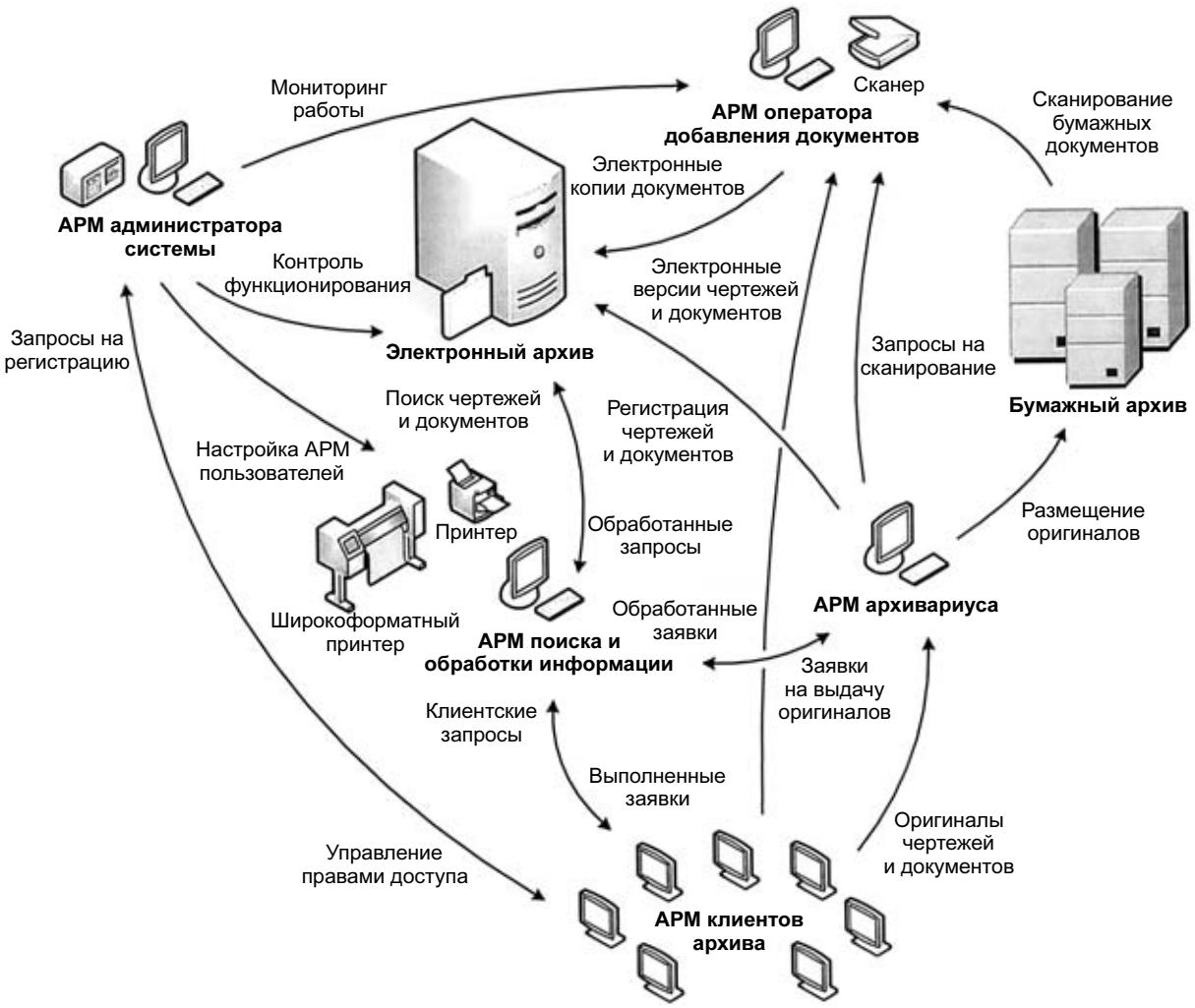


Рис. 1. Схема взаимодействия пользователей электронного архива

Для реализации такого подхода необходимо использовать модульную организацию архитектуры системы, позволяющую расширять функциональные возможности программы без коренных изменений уже работающих компонентов. Таким образом, структура электронного архива предусматривает централизованное хранение данных при параллельном регламентированном доступе к нему различных групп пользователей по локальной вычислительной сети. Это означает применение модели удаленного доступа к данным, когда в клиентской части реализуются функции ввода, отображения и обработки информации, а сервер, расположенный на удаленном компьютере, предназначен для хранения данных и обслуживания клиентских запросов. В процессе взаимодействия клиент направляет по сети запросы к информационным ресурсам базы данных, доступ к которым обеспечивается операторами языка SQL или вызовами функций прикладной библиотеки. Сервер обрабатывает запросы, выполняет предписанные в них действия и возвращает клиенту результат в виде блока данных.

Предлагаемый вариант построения системы содержит пять базовых модулей (подсистем), которые должны быть реализованы на начальных этапах создания архива:

— управления и контроля функционирования системы;

— защиты информации от несанкционированного доступа;

— ввода и корректировки данных;

— обработки клиентских запросов;

— взаимодействия пользователей и системы.

Подсистема управления и контроля функционирования системы предназначена для выполнения функций администратора системы. К основным задачам этой подсистемы относятся конфигурирование и настройка АРМ пользователей всех рабочих групп, а также предоставление и регламентация прав доступа к серверу базы данных. В рамках подсистемы управления и контроля обеспечивается динамический мониторинг всех работающих с программой пользователей. При возникновении угрозы функционированию системы или сохранности данных электронного архива администратор имеет возможность принудительного отключения пользователя от работы с программой. В этом модуле реализуются функции резервного копирования и аварийного восстановления данных, регламент которых устанавливается на этапе ввода системы в эксплуатацию. При этом время восстановления работоспособности программы после отказа, вызванного сбоем электропитания технических средств, нефатальным сбоем операционной системы, иными внешними факторами, не нарушающими штатные условия эксплуатации технических и программных средств, не превышает времени на перезагрузку операционной системы и подключение необходимых для работы электронного архива сервисов.

Подсистема защиты информации от несанкционированного доступа предназначена для постоянного контроля доступа к информации, содержащейся в архиве. Поскольку большинство конструкторских документов содержит сведения ограниченного распространения, программа имеет встроенный механизм фиксации того, кто и при каких обстоятельствах получает доступ к документации. Все факты обращения к серверу, добавление или изменение данных, другие действия пользователей, включая неудачные попытки авторизации и нарушения установленного регламента доступа к конфиденциальной информации, отражаются в системном журнале событий. Данные этого журнала не могут быть модифицированы или удалены никаким пользователем, в том числе и администратором системы. Кроме того, для обеспечения более полного учета работы с электронным архивом помимо записи даты, времени, пользователя и типа обращения, фиксируются уникальные характеристики компьютера, с которого осуществляется вызов программы.

Подсистема ввода и корректировки данных предназначена для реализации функций АРМ архивариуса и оператора добавления документов. Это основной модуль для ввода и редактирования данных документов, заносимых в электронный архив, фиксации заявок на подборку чертежей и их комплектов, а также сохранения электронных копий в базу данных на сервере. Ключевыми функциями этой подсистемы помимо ведения номенклатуры дел и регистрации документов являются автоматическое слежение за перемещением документации, сопоставление и быстрый поиск бумажных оригиналов и электронных документов, а также возможность списания и замены чертежей с поддержкой их различных версий и поиском по архиву аннулированных документов. Разработка подсистемы ввода и корректировки данных требует наибольших усилий, так как от эффективности работы операторов ввода информации будет зависеть объем хранимых данных, их актуальность и достоверность.

Подсистема обработки клиентских запросов включает функции системы, связанные с просмотром и поиском информации, содержащейся в архиве. В этом модуле реализуются возможности подборки конструкторских документов для последующего тиражирования или подготовки технической документации. При этом в зависимости от формата чертежа автоматически выбирается устройство печати. В рамках подсистемы обработки клиентских запросов формируются также различные статистические отчеты и сообщения:

— данные о поступавших заявках от подразделений, в том числе повторных;

— количественные затраты бумаги;

— список наиболее частых запросов с функцией их быстрого выполнения;

— уведомления о документах с просроченной датой возврата;

— другие аналитические запросы неформализованного характера.

Подсистема взаимодействия пользователей и системы направлена на обеспечение длительной и эффективной работы с программой. Большинство сервисных функций реализовано именно в этом модуле — это просмотр, распечатка и пересылка электронных документов, хранящихся в базе данных, конвертеры отчетов в офисные приложения, справочная

Быстрый и полный поиск информации | Идентификация документов и их версий | Своевременное предоставление информации | Подбор комплектов чертежей | Сохранение оригиналов документов | Поддержание старых и ветхих чертежей | Регламентация прав доступа к архиву

Рис. 2. Основные задачи архива конструкторской документации (использованы элементы интерфейса программы)

подсистема, журнал предложений и замечаний по функционированию программы.

Для минимизации усилий пользователей в процессе работы при разработке интерфейса системы и ее основных программных модулей использовали следующие эргономические принципы:

— объем и способы представления данных соответствуют возможностям человека воспринимать и перерабатывать информацию;

— количество всплывающих форм, накладывающихся друг на друга окон и других компонентов дизайна, усложняющих восприятие информации и снижающих комфортность работы, сведено к разумному минимуму;

— элементы навигации, информационные панели и процедуры взаимодействия пользователей с системой по возможности унифицированы;

— внимание пользователя концентрируется на наиболее важных элементах форм, при этом рисунки и графические пиктограммы используются только совместно с текстовыми описаниями;

— в процессе работы с системой предусматривается возможность использования интерактивной справочной системы и контекстной подсказки.

С учетом этих принципов основные задачи архива конструкторской документации могли бы быть представлены так, как они выглядят на рис. 2.

Реализация данных подсистем обеспечивает устойчивое функционирование автоматизированной системы электронного архива без каких-либо ограничений общего объема хранимых данных (электронных копий документов и текстовой информации) при одновременной работе до 50 АРМ клиентов архива, трех операторов, осуществляющих добавление, поиск, просмотр и обработку информации, и одного администратора системы. Требования к надежности системы не носят специфического характера и определяются надежностью используемых технических средств и хранилищ данных, установленного базового, общесистемного и прикладного программного обеспечения.

Поскольку разработка программного комплекса электронного архива — весьма продолжительный по времени процесс, то выполнение каждого этапа работ необходимо подтверждать документально. Это поможет держать в курсе текущей реализации системы руководство проектными работами, всех участников разработки и сотрудников задействованных подразделений. Предполагается пять крупных стадий создания системы.

1. Разработка технического задания на проектирование электронного архива в соответствии с функциональными требованиями к системе и спецификой работы подразделения "Архив". Отчетность по этапу: утвержденный вариант технического задания.

2. Проектирование системы, включая формирование информационной структуры базы данных и алгоритмов программной реализации основных модулей. Отчетность: макет программного комплекса для всех АРМ пользователей, структура базы данных, документально оформленные алгоритмы.

3. Программная реализация — кодирование программного обеспечения, тестирование на работоспособность и соответствие требованиям технического задания. Отчетность: руководства по эксплуатации системы для всех рабочих групп пользователей, акт сдачи программного комплекса в опытную эксплуатацию.

4. Опытная эксплуатация системы — сборка и установка программных модулей на всех АРМ, тестирование программы совместно с пользователями системы, проверки корректности работы на информационном массиве тестовых данных, устранение выявленных недочетов и замечаний. Отчетность: акт выполнения работ по установке программного обеспечения, протокол опытной эксплуатации, документально оформленные дополнения к системе.

5. Ввод в действие, сопровождение системы — внесение изменений в программу в соответствии с разработанными дополнениями, обеспечение устойчивого функционирования электронного архива, увеличение функциональных возможностей системы. Отчетность: акт приемки электронного архива в постоянную эксплуатацию, предложения по модернизации.

С вводом электронного архива конструкторской документации в постоянную эксплуатацию работа над созданием автоматизированной системы электронного документооборота не заканчивается. Программный комплекс должен развиваться по нескольким направлениям. Во-первых, это наращивание объемов хранимой информации, подключение к архиву новых подразделений с заданными правами доступа и регламентацией работы, расширение инструментальных средств для работы в системе. Во-вторых, это формирование на базе архива электронного фонда проектно-конструкторской документации с развитой системой навигации и взаимосвязанных ссылок между документами и внутри них, организация работы с электронной цифровой подписью. И в перспективе — создание единого информационного пространства электронного документооборота завода как общей автоматизированной среды проектирования изделий.

Контроль состояния и диагностика машин **Требования к обучению и сертификации персонала** Ч. 2. Вибрационный контроль состояния и диагностика (ГОСТ Р ИСО 18436-2—2005).

Стандарт подготовлен ОАО "Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем" на основе собственного аутентичного перевода стандарта ИСО 18436-2:2003. Внесен Техническим комитетом по стандартизации ТК 183 "Вибрация и удар". Утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 мая 2005 г. № 140-ст. Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 18436-2:2003 "Контроль состояния и диагностика машин — Требования к обучению и сертификации персонала. Ч. 2. Вибрационный контроль состояния и диагностика". Введен впервые. **Дата введения 2006-01-01**.

1. Область применения

Настоящий стандарт устанавливает общие требования к персоналу, выполняющему контроль состояния и диагностирование машин по результатам измерений вибрации. Сертификация на соответствие требованиям настоящего стандарта обеспечивает признание квалификации и компетентности лиц, проводящих измерение и анализ вибрации.

Стандарт устанавливает четыре категории сертификации, при этом каждой категории соответствует свой уровень знаний.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ИСО 1925:2001 Вибрация. Балансировка. Термины и определения;

ИСО 1940-1:2003 Вибрация. Требования к качеству балансировки жестких роторов. Ч. 1. Установление значения допустимого остаточного дисбаланса и его подтверждение;

ИСО 1940-2:1997 Вибрация. Требования к качеству балансировки жестких роторов. Ч. 2. Погрешности балансировки;

ИСО 2017-1:2004 Вибрация и удар. Изоляторы. Ч. 1. Применение систем изоляции источника и приемника вибрации;

ИСО 2041:1990 Вибрация и удар. Термины и определения;

ИСО 2954:1975 Вибрация машин вращательного и возвратно-поступательного действия. Требования к средствам измерения для контроля вибрационного состояния машин;

ИСО 5348:1998 Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров;

ИСО 7919-1:1996 Вибрация машин без возвратно-поступательного движения. Измерения на вращающихся валах и критерии оценки состояния. Ч. 1. Общее руководство;

ИСО 7919-2:2001 Вибрация машин без возвратно-поступательного движения. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерения вибрации на вращающихся валах. Ч. 2. Стационарные паровые турбины и генераторы мощностью свыше 50 МВт и номинальной скоростью 1500, 1800, 3000 и 3600 об/мин;

ИСО 7919-3: 1996 Вибрация машин без возвратно-поступательного движения. Измерения на вращающихся валах и критерии оценки состояния. Ч. 3. Машинные комплексы;

ИСО 7919-4:1996 Вибрация машин без возвратно-поступательного движения. Измерения на вращающихся валах и критерии оценки состояния. Ч. 4. Газотурбинные установки;

ИСО 7919-5:2004 Вибрация машин без возвратно-поступательного движения. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерения вибрации на вращающихся валах. Ч. 5. Агрегаты гидроэлектростанций и насосных станций;

ИСО 8528-9:1995 Генераторы переменного тока с приводом от двигателей внутреннего сгорания. Ч. 9. Измерения и оценка вибрации;

ИСО 8569:1996 Вибрация и удар. Измерение и оценка воздействия вибрации здания на находящееся в нем оборудование;

ИСО 10816-1 :1995 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 1. Общее руководство;

ИСО 10816-2:2001 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 2. Стационарные паровые турбины и генераторы мощностью свыше 50 МВт и номинальной скоростью вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 об/мин;

ИСО 10816-3:1998 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 3. Промышленные машины номинальной мощностью свыше 15 кВт и номинальной скоростью вращения от 120 до 15 000 об/мин на месте их установки;

ИСО 10816-4:1998 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 4. Установки с приводом от газовых турбин (за исключением авиационных);

ИСО 10816-5:2000 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 5. Агрегаты гидроэлектростанций и насосных станций;

ИСО 10816-6:1995 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 6. Машины возвратно-поступательного действия номинальной мощностью свыше 100 кВт;

ИСО 11342:1998 Вибрация. Методы и критерии балансировки гибких роторов;

ИСО 13372:2004 Контроль состояния и диагностика машин. Термины и определения;

ИСО 13373-1:2002 Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния. Ч. 1. Общие методы контроля;

ИСО 13379:2003 Контроль состояния и диагностика машин. Общее руководство по интерпретации результатов измерений и методам диагностики;

ИСО 14694:2003 Вентиляторы промышленные. Требования к качеству балансировки и уровням вибрации;

ИСО 14695:2003 Вентиляторы промышленные. Методы измерений вибрации;

ИСО 17359:2003 Контроль состояния и диагностика машин. Общее руководство;

ИСО 18436-1:2004 Контроль состояния и диагностика машин. Требования к обучению и сертификации персонала. Ч. 1. Требования к органам по сертификации и процедурам сертификации.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ИСО 2041, ИСО 13372, ИСО 18436-1, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **Анализ** (analysis): процедура оценки состояния машины и ее повреждений на основе методов обработки сигнала и знаний принципов работы машин данного вида.

3.2 **Маршрут** (route): упорядоченные точки измерения вибрации машины.

3.3 **Обучаемый** (trainee): лицо, проходящее обучение в целях последующей сертификации.

3.4 **Вибрационная диагностика** (vibration diagnostics): интерпретация результатов измерений вибрации в целях определения повреждений машины.

3.5 **Вибрационный контроль состояния** (vibration monitoring): процедура измерений вибрации, отслеживание ее изменений и их интерпретация.

4. Классификация персонала в области вибрационного контроля состояния и диагностики машин

4.1. Общие положения

Кандидат может претендовать на сертификацию по одной из категорий, установленных в настоящем стандарте, в зависимости от его квалификации. Им должна быть продемонстрирована компетентность в вопросах вибрационного контроля состояния машин и диагностики в пределах соответствующей классификационной категории, как указано в приложении А, и в соответствии со стандартами, перечисленными в приложении В.

4.2. Категория I

Лицо, удовлетворяющее требованиям категории I, должно уметь выполнять простейший одноканальный контроль состояния машин и их диагностику в соответствии с ИСО 17359 и ИСО 13373-1. На него не может быть возложена ответственность, например, за выбор датчиков или метод анализа, а также за оценку результатов испытаний, за исключением определения состояния, когда измеренное значение превышает предварительно установленные пределы. Это лицо должно уметь:

— работать с переносной аппаратурой по установленному и запрограммированному маршруту;

— собирать данные со стационарно установленных средств измерений;

— вводить результаты в базу данных и загружать программу прохождения маршрута с компьютера;

— проводить испытания в установившемся режиме работы машины согласно описанной процедуре;

— распознавать отсутствие сигнала в цепи измерения;

— сравнивать общий уровень вибрации или один из ее параметров с предварительно установленными значениями для предупреждения предаварийной ситуации;

4.3. Категория II

Лицо, сертифицированное по категории II, является квалифицированным специалистом, который должен уметь выполнять измерения вибрации машин и базовые процедуры анализа результатов одноканальных измерений (с использованием или без использования датчика фазы). От него требуется владение знаниями и навыками, которыми обладает специалист категории I, и, кроме того, это лицо должно уметь:

— выбирать соответствующий метод измерений вибрации машины;

— устанавливать требуемые разрешения по амплитуде, времени и частоте измерительной аппаратуры;

— выполнять базовый анализ вибрации машины и ее частей (валов, подшипников, зубчатых передач, вентиляторов, насосов, двигателей) по измеренному спектру вибрации;

— вести базу данных результатов измерений с отслеживанием их изменений;

— выполнять простые испытания на удар для определения собственных частот (с использованием одноканальной измерительной системы);

— классифицировать, интерпретировать и давать оценку результатам испытаний (включая приемочные испытания) на соответствие требованиям технических условий и стандартов;

— давать рекомендации относительно небольших корректирующих действий;

— понимать принципы одноплоскостной балансировки на месте установки машины;

— понимать причины и последствия неправильных измерений.

4.4. Категория III

Лицо, сертифицированное по категории III, обладает достаточной квалификацией, чтобы составлять и реализовывать (в качестве руководителя или исполнителя) программы вибрационного контроля состояния и диагностики машин в соответствии с ИСО 17359 и ИСО 13373-1. От него требуется владение знаниями и навыками, которыми обладают специалисты категорий I и II, и, кроме того, это лицо должно уметь:

— выбирать соответствующий метод анализа вибрации машины;

— определять требуемое аппаратурное и программное обеспечение системы измерения вибрации — как стационарной, так и переносной;

— выполнять измерения и проводить диагностирование на основе спектрального анализа или представления данных во временнóй области (по форме сигнала или орбите движения заданной точки машины) как в установившемся, так и в переходном режимах работы машины с использованием и без использования сигнала с датчика фазы;

— составлять программы вибрационного контроля, включая определение режима контроля для данной машины (периодический и непрерывный), частоту проведения испытаний, планы маршрутов;

— устанавливать правила определения допустимых уровней вибрации и приемочные критерии для машин, вводимых в эксплуатацию;

— проводить измерения и анализ основных форм изгибных колебаний;

— применять альтернативные методы контроля состояния (например, метод акустической эмиссии, термографию, анализ параметров токов двигателя или анализ смазки);

— устанавливать рекомендации по проведению корректирующих действий на месте установки машины (балансировка, центровка, замена отдельных деталей машины);

— проводить анализ огибающей сигнала;

— выполнять одноплоскостную балансировку на месте установки машины;

— составлять отчеты для руководства с определением целей выполнения программы контроля и диагностирования, распределением средств, обоснованием цен и указаниями по использованию персонала;

— составлять отчеты для персонала, обслуживающего машину, с указанием необходимых корректирующих действий, а также отчеты о результатах проведенных ремонтных работ;

— составлять инструкции и технические указания для обучения персонала, чья работа связана с измерением и анализом вибрации.

4.5. Категория IV

Лицо, сертифицированное по категории IV, обладает достаточной квалификацией, чтобы составлять и реализовывать (в качестве руководителя или исполнителя) программы вибрационного контроля состояния и диагностики машин

в соответствии с ИСО 17359 и ИСО 13373-1, а также выполнять вибрационные измерения всех типов и анализ их результатов. От него требуется впадение знаниями и навыками, которыми обладают специалисты категорий I, II и III, и, кроме того, это лицо должно уметь:

— применять теорию и методы вибрационных измерений и анализа, включая многоканальные измерения, вычисления взаимных спектров, передаточных функций, функций когерентности, фазовых соотношений;

— применять методы анализа сигнала, связанные с пониманием процессов его изменений в частотной и временно́й областях (включая анализ орбит), с учетом ограничений на эти методы;

— определять собственные частоты, формы изгибных колебаний и коэффициенты демпфирования систем и подсистем;

— определять формы изгибных колебаний машин, проявляющихся в процессе ее работы, и присоединенных конструкций и давать рекомендации по их коррекции;

— использовать общепризнанные современные методы вибрационного анализа, идентификации параметров и обнаружения неисправностей;

— применять основы знаний о динамике системы "ротор—подшипники" в целях диагностики;

— проводить двухплоскостную балансировку на месте установки машины;

— устанавливать рекомендации по проведению двухплоскостной балансировки с использованием коэффициентов влияния или статической балансировки;

— давать рекомендации по проведению корректирующих действий или внесению изменений в конструкцию машины, включая замену отдельных частей или их ремонт, установку виброизоляции, увеличение демпфирования, изменение жесткости или распределения масс;

— составлять техническое руководство по обучению персонала, чья работа связана с измерением и анализом вибрации;

— применять стандарты и технические условия;

— различать вибрацию, обусловленную пульсацией газа (например, в машинах возвратно-поступательного действия или винтовых компрессорах), измерять параметры, связанные с пульсацией, и определять меры по ее уменьшению;

— устанавливать рекомендации по внесению изменений в опорную систему машины и решать другие проблемы, связанные с опорой и фундаментом.

5. Допуск к процедуре сертификации

5.1. Общие положения

Кандидат должен обладать соответствующим образованием, опытом работы и пройти курс обучения для подтверждения способности понимать и использовать основные принципы и методы измерения и анализа вибрации машин. Кроме того, кандидат должен подтвердить готовность строго соблюдать нормы этики, установленные ИСО 18436-1.

5.2. Образование

Рекомендуется, чтобы кандидат, претендующий на присвоение категории I или II, имел, по крайней мере, свидетельство о законченном среднем образовании. Для сертификации по категории III или IV кандидату необходимо уметь решать простые алгебраические уравнения, работать с калькулятором с математическими функциями (тригонометрическими, логарифмическими) и быть знакомым с принципами работы на персональном компьютере. При этом рекомендуется, чтобы кандидат, претендующий на сертификацию по категории III или IV, закончил, по крайней мере, первые два курса высшего учебного заведения технического профиля или университета.

5.3. Обучение

5.3.1. Основной курс

Для допуска к процедуре сертификации в соответствии с настоящим стандартом кандидат должен предъявить свидетельство об успешном прохождении учебного курса (см. приложение А), одобренного органом по сертификации. Рекомендуемые минимальные сроки обучения приведены в табл. 1. Учебные курсы проводят в форме лекций, демонстраций и практических занятий. Рекомендуется, чтобы после завершения обучения кандидаты сдавали экзамены, подтверждающие усвоение пройденного курса. Кандидату рекомендуется представить в орган по сертификации доказательства того, что:

— им успешно пройден курс обучения;

— время обучения по каждой теме соответствует установленному в приложении А и по категории, на присвоение которой претендует кандидат (или продемонстрировать дневник самообразования, в котором показано, что темы и часы на их изучение соответствуют требованиям табл. 1 и приложения А);

— им сданы экзамены в конце курса обучения, проводимого юридическим лицом, одобренным органом по сертификации.

Таблица 1

Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
32 ч	70 ч	110 ч	174 ч

5.3.2. Дополнительный курс по машинному оборудованию

Помимо основного курса (см. табл. 1 и приложение А) рекомендуется, чтобы кандидат прошел обучение по курсу "Машины и элементы машин", время обучения по которому составляло, по крайней мере, половину времени, указанного в табл. 1.

5.4. Опыт работы

Для получения допуска к процедуре сертификации в соответствии с настоящим стандартом кандидату следует продемонстрировать, что он имеет достаточный опыт работы в области контроля состояния машин и диагностики. Минимальные требования к опыту работы показаны в табл. 2. Для сертификации по категории II кандидату необязательно предварительно быть сертифицированным по категории I, однако при сертификации по категории III или IV кандидат должен иметь сертификат категории II или III соответственно. С повышением уровня классификационной категории широта и глубина практического опыта кандидата должны возрастать.

Таблица 2

Категория I	Категория II	Категория III	Категория IV
6 ч	18 ч	36 ч	60 ч

6. Квалификационные экзамены

6.1. Содержание экзамена

Сдавая экзамены по каждой категории, кандидат отвечает на ряд вопросов, утвержденных органом по сертификации, в течение заданного периода времени, как показано в табл. 3. Вопросы должны отвечать темам, указанным в приложении А, и быть выбраны из общей базы данных, дейст-

Таблица 3

Категория	Число вопросов	Время, ч	Проходной балл (доля правильных ответов), %
Категория I	50	2	75
Категория II	100	3	75
Категория III	100	4	75
Категория IV	60	5	75

вующей на время проведения экзамена. Вопросы должны быть практического характера даже в том случае, когда они направлены на проверку знания кандидатом общих представлений и основ проведения анализа вибрации машин. Некоторые вопросы могут требовать истолкования графиков и диаграмм. В ходе экзамена кандидат должен продемонстрировать умение вести простые математические расчеты с использованием калькулятора с математическими функциями. Вместе с экзаменационными вопросами кандидату предоставляют сводку основных формул. Составление (утверждение) экзаменационных вопросов является обязанностью технического комитета органа по сертификации.

6.2. Переэкзаменовка

Кандидат, чей результат оказался ниже проходного балла, может держать экзамены повторно неограниченное число раз при условии, что интервал между экзаменами составляет не менее 30 дней. Орган по сертификации может сократить период между экзаменами, если за это время кандидат пройдет дополнительное обучение, признанное органом по сертификации достаточным. Кандидат, отстраненный от участия в экзамене по причине неэтичного поведения, может подать заявку на повторное участие в экзаменах не ранее чем через 12 мес.

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)

Стандарты ИСО	Категория			
	I	II	III	IV
ИСО 1925 Вибрация. Балансировка. Термины и определения		•	•	•
ИСО 1940-1 Вибрация. Требования к качеству балансировки жестких роторов. Часть 1. Установление значения допустимого остаточного дисбаланса и его подтверждение		•	•	•
ИСО 1940-2 Вибрация. Требования к качеству балансировки жестких роторов. Часть 2. Погрешности балансировки			•	•
ИСО 2017-1 Вибрация и удар. Изоляторы. Часть 1. Применение систем изоляции источника и приемника вибрации				•
ИСО 2041 Вибрация и удар. Термины и определения		•	•	•
ИСО 2954 Вибрация машин вращательного и возвратно-поступательного действия. Требования к средствам измерения для контроля вибрационного состояния машин				•
ИСО 5348 Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров		•	•	•
ИСО 7919-1 Вибрация машин без возвратно-поступательного движения. Измерения на вращающихся валах и критерии оценки состояния. Часть 1. Общее руководство	•	•	•	•
ИСО 7919-2 Вибрация машин без возвратно-поступательного движения. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерения вибрации на вращающихся валах. Ч. 2. Стационарные паровые турбины и генераторы мощностью свыше 50 МВт и номинальной скоростью вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 об/мин		•	•	•
ИСО 7919-3 Вибрация машин без возвратно-поступательного движения. Измерения на вращающихся валах и критерии оценки состояния. Ч. 3. Машинные комплексы		•	•	•
ИСО 7919-4 Вибрация машин без возвратно-поступательного движения. Измерения на вращающихся валах и критерии оценки состояния. Ч. 4. Газотурбинные установки		•	•	•
ИСО 7919-5 Вибрация машин без возвратно-поступательного движения. Оценка вибрационного состояния машин по результатам измерения вибрации на вращающихся валах. Ч. 5. Агрегаты гидроэлектростанций и насосных станций		•	•	•
ИСО 8528-9 Генераторы переменного тока с приводом от двигателей внутреннего сгорания. Ч. 9. Измерения и оценка вибрации		•	•	•
ИСО 8569 Вибрация и удар. Измерение и оценка воздействия вибрации здания на находящееся в нем оборудование			•	•
ИСО 10816-1 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 1. Общее руководство	•	•	•	•
ИСО 10816-2 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 2. Стационарные паровые турбины и генераторы мощностью свыше 50 МВт и номинальной скоростью вращения 1500, 1800, 3000 и 3600 об/мин		•	•	•
ИСО 10816-3 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 3. Промышленные машины номинальной мощностью свыше 15 кВт и номинальной скоростью вращения от 120 до 15 000 об/мин на месте их установки		•	•	•
ИСО 10816-4 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 4. Установки с приводом от газовых турбин (за исключением авиационных)		•	•	•
ИСО 10816-5 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 5. Агрегаты гидроэлектростанций и насосных станций		•	•	•
ИСО 10816-6 Вибрация. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 6. Машины возвратно-поступательного действия номинальной мощностью свыше 100 кВт		•	•	•
ИСО 11342 Вибрация. Методы и критерии балансировки гибких роторов				•
ИСО 13372 Контроль состояния и диагностика машин. Термины и определения	•	•	•	•
ИСО 13373-1 Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния. Ч. 1. Общие методы контроля	•	•	•	•
ИСО 13379 Контроль состояния и диагностика машин. Общее руководство по интерпретации результатов измерений и методам диагностики			•	•
ИСО 14694 Вентиляторы промышленные. Требования к качеству балансировки и уровням вибрации	•	•	•	•
ИСО 14695 Вентиляторы промышленные. Методы измерений вибрации			•	•
ИСО 17359 Контроль состояния и диагностика машин. Общее руководство	•	•	•	•
ИСО 18436-1 Контроль состояния и диагностика машин. Требования к обучению и сертификации персонала. Ч. 1. Требования к органам по сертификации и процедурам сертификации				•

Примечание. Значок "•" указывает, что данный международный стандарт следует использовать при подготовке специалиста данной категории.

Ссылка на данный материал как официальный документ не допускается.

А. П. ИГНАТОВ, канд. техн. наук
(ИЭС им. Е. О. Патона),
В. Д. МАКАРЕНКО, д-р техн. наук
(Нижневартовский филиал ТюмГНГУ),
Р. Б. БАКЕЕВ, канд. техн. наук
(ОАО "ТНК-ВР", Нижневартовск)

Исследование процесса утилизации отходов меди в виде проволоки или шинки методом ЭШП

В силу производственной и экономической необходимости, а также зачастую из-за отсутствия медной руды на заводах цветных металлов в качестве исходного сырья используют медные полуфабрикаты, а также отходы меди в виде проволоки или шинки. Традиционно переплав медного лома осуществляют в индукционных печах или печах сопротивления [1]. При этом для получения электрической меди, например М1, в шихту добавляют большое количество первичной меди. Если же исходная шихта состоит полностью из лома, то при ее переплаве по существующей технологии снижается качество вторичной меди по сравнению с исходным сырьем.

Цель настоящей работы — исследование и разработка принципиально новой технологии утилизации медных отходов для получения заготовок из меди М1 и М0, пригодных для дальнейшей переработки в шинку и эмалированные провода. Результаты анализа литературных данных [2, 3] и собственных наблюдений показали, что наиболее целесообразно для такой утилизации использовать электрошлаковый процесс (ЭШП), в ходе которого исходная шихта переплавляется под слоем рафинированного шлака и из расплава формируется заготовка заданных размеров. ЭШП позволяет рафинировать жидкий металл от кислорода и серы в процессе плавки. Кроме того, расплавленный шлак может являться эффективной аккумулирующей средой, в которой растворяются различные покрытия проводов и шинки, эмали, лаки и стеклоткани.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

— изучить особенности плавления в шлаковой ванне при ЭШП расходуемых электродов, изготовленных из прессованных медных отходов в виде шинки и проводов с покрытиями различных типов;

— исследовать влияние различных методов раскисления на качество переплавленной меди;

— определить возможности получения из 100 %-ной шихты медных заготовок, соответствующих маркам М1 и М0.

Технология, оборудование и материалы. Для утилизации медного лома в виде проводов и шинки выбрали технологию электрошлакового переплава расходуемого электрода, собранного из тех же отходов.

Расходуемые электроды, предназначенные для переплава, были изготовлены методом прессования из медных отходов. В экспериментах использовали электроды следующих типоразмеров:

— два квадратных электрода с поперечным сечением 200 × 200 мм и длиной 1950 мм, состоящие из прессованных проводов диаметром 1,0—1,5 мм;

— два квадратных электрода сечением 200 × 200 мм и длиной 1950 мм, состоящие из прессованной шинки сечением 1,5 × 6,0 и 1,5 × 8,0 мм;

— четыре квадратных электрода сечением 150 × 150 мм и длиной 900 мм из прессованной шинки.

Для проведения экспериментов была изготовлена специальная технологическая оснастка, включающая плавильный тигель и держатель расходуемых электродов, который служит для подсоединения их к плавильной установке. Плавильный тигель — неохлаждаемый с графитовой футеровкой (диаметр плавильного пространства 320 мм). Опыты проводили на электрошлаковой установке У-560.

В процессе исследований подбирали электрический режим плавки, проводили наблюдения за особенностью процесса плавления расходуемых электродов, изготовленных из отходов различных типов, оценивали влияние различных методов раскисления на качество переплавленной меди.

Полученные слитки, соответствующие по своему химическому составу маркам М1 и М0, механически обрабатывали и ковали в требуемые заготовки.

Результаты исследований и разработки процесса утилизации отходов меди и их обсуждение

1. Выбор и расплавление флюса

Для электрошлакового переплава отходов меди был выбран флюс АНФ-23М, имеющий наиболее приемлемую температуру плавления (начала кристаллизации), приближающуюся к температуре плавления (начала кристаллизации) меди. Применение указанного флюса не приводит к перегреву металла при ЭШП, а, следовательно, насыщению металла кислородом через шлаковую ванну.

Экспериментально был установлен оптимальный режим расплавления флюса в тигле: напряжение 50 В, ток 5—6 кА. Время расплавления 30 кг флюса 15 мин. После расплавления всего флюса неплавящийся электрод заменяли на расходуемый и начинали выплавку слитка.

2. Оптимизация режимов ЭШП отходов меди

Режимы переплава отходов меди выбирали исходя из условия недопущения перегрева металла в тигле и обеспечения благоприятного для качества металла заглубления расходуемого электрода в шлаковую ванну. В результате опытов был подобран оптимальный режим плавки прямоугольных электродов, изготовленных из отходов меди, в графитовом тигле с рабочей полостью диаметром 320 мм: напряжение холостого хода 45 В (в шлаковой ванне 30—33 В); ток 7,0—7,5 кА; высота шлаковой ванны (флюс АНФ-25М) 100—120 мм; производительность плавки около 200 кг/ч.

Кроме того, установлено, что для получения качественного слитка дополнительным условием к подобранному режиму плавки тонких (δ = 1÷2 мм) медных отходов является наличие на поверхности шлаковой ванны графитовой крупы диаметром 1—3 мм с толщиной слоя 10—15 мм (в переводе на массу это составляет 1,0—1,5 кг).

3. Раскисление переплавленного металла

Несмотря на принятые технологические меры — защиту расплавленного металла слоем шлака и погружение в шлак всего торца переплавляемого электрода — в металле слитка обнаруживали кислород, содержание которого превышало допустимые ГОСТом пределы.

Поглощение кислорода медными отходами происходит в процессе предварительного обжига в газовой печи. Нередко получается шихта, имеющая признаки "красноломкости", что свидетельствует о пересыщении ее водородом и кислородом. Наличие большого количества кислорода в исходном металле в сочетании даже с низкой концентрацией растворенного водорода способствует повышению пористости или образованию флокенов в получаемых слитках. Поэтому раскисление медных слитков имеет важное значение для электротехнической отрасли [4].

При ЭШП медных отходов по предложенной схеме созданы все необходимые технологические условия для эффективного удаления кислорода из переплавляемого металла: высокотемпературная предварительная прокалка флюса; "горячий старт"; ведение плавки под слоем шлака в тигле из графита; электрошлаковая подпитка слитка, обеспечивающая высокий градиент температуры при кристаллизации металла. Все это способствует высокой степени дегазации металла, в частности содержание кислорода составляет 0,00011—0,00015 % и, как правило, не вызывает пористости и образования флокенов в слитках из меди.

Результаты переплавки меди, не очищенной от изоляции и других покрытий из стеклоткани, эмали, лака и некоторых других органических покрытий, показали следующее. В результате сгорания покрытий органического происхождения происходит самораскисление металла углеродом сгорающих углеродсодержащих покрытий (содержание кислорода не превышает 0,023 %). Учитывая это, можно с помощью ЭШП существенно удешевить технологию утилизации медных отходов, отказавшись от энергоемкой и длительной операции обжига шихты в печи и отделения остатков покрытий от шихты.

Следует особо обратить внимание на то, что исключив обжиг медной шихты, можно решить проблему неконтролируемого пересыщения исходного металла кислородом и водородом, тем самым облегчив задачу получения качественного медного слитка.

В процессе экспериментов установлено, что в зоне переплава электрода создавалась восстановительная атмосфера от сгорания углеродсодержащих покрытий проводов и шинки, что подтверждается результатами химического анализа меди: [O] ~ 0,0023 %; [H] ~ 0,00016 %.

4. Особенности электрошлакового переплава расходуемого электрода, спрессованного из отходов в виде тонких шинок и проволоки

Исследования особенности переплава расходуемых электродов проводили на электродах, собранных из тонких (δ = 1÷2 мм) шинок и проволоки. Как установлено по огаркам расходуемых электродов (рис. 1), переплав отходов меди различного типа существенно отличается в каждом конкретном случае.

Главной особенностью плавки электрода, спрессованного из тонкой проволоки, является то, что он плавится как цельный монолит (рис. 2). Для электрода характерен конус с гладкой поверхностью, что свидетельствует о развитой пленочной стадии рафинирования на торце электрода. Это связано с тем, что тонкие проволоки плотно прилегают друг к другу, будучи податливыми при прессовании. Между ними настолько малы воздушные промежутки, что в них не попадает жидкий шлак, а образуемые на каждой проволоке капли сливаются в общую пленку металла на торце электрода и

Рис. 1. Внешний вид оплавленных торцев расходуемых электродов при переплаве отходов меди из спрессованной тонкой проволоки (слева), неочищенной от покрытия шинки (в центре) и очищенной шинки (справа)

весь металл поступает в виде капель с вершины конуса электрода в шлаковую ванну, а затем — в металлическую.

При переплаве электрода, собранного из прессованных шинок (рис. 3), между ними имеются довольно большие воздушные промежутки, в которые попадает шлак. Из-за высо-

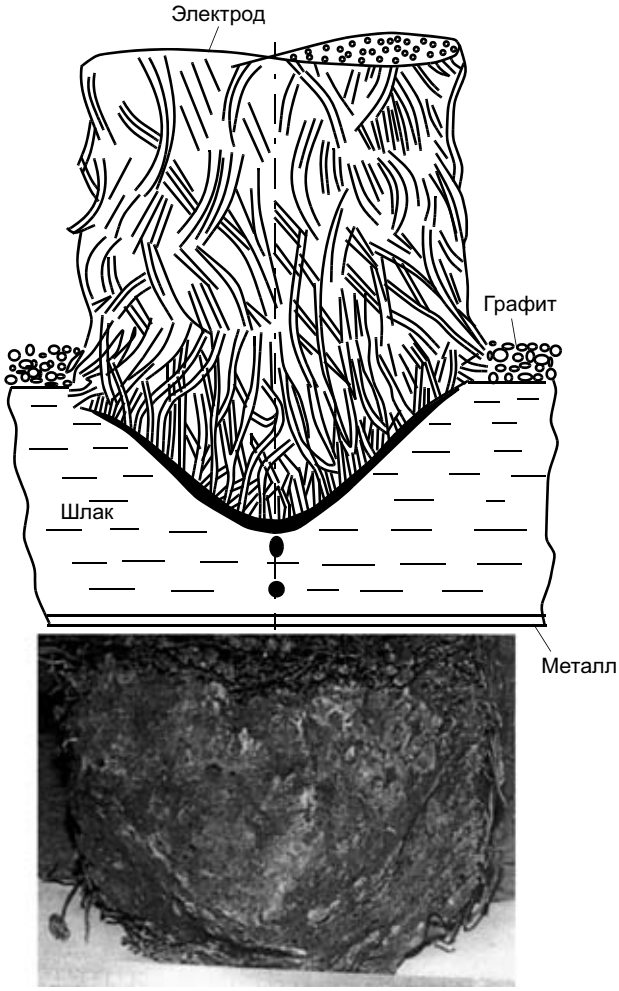


Рис. 2. Схема оплавления электрода из спрессованной тонкой проволоки

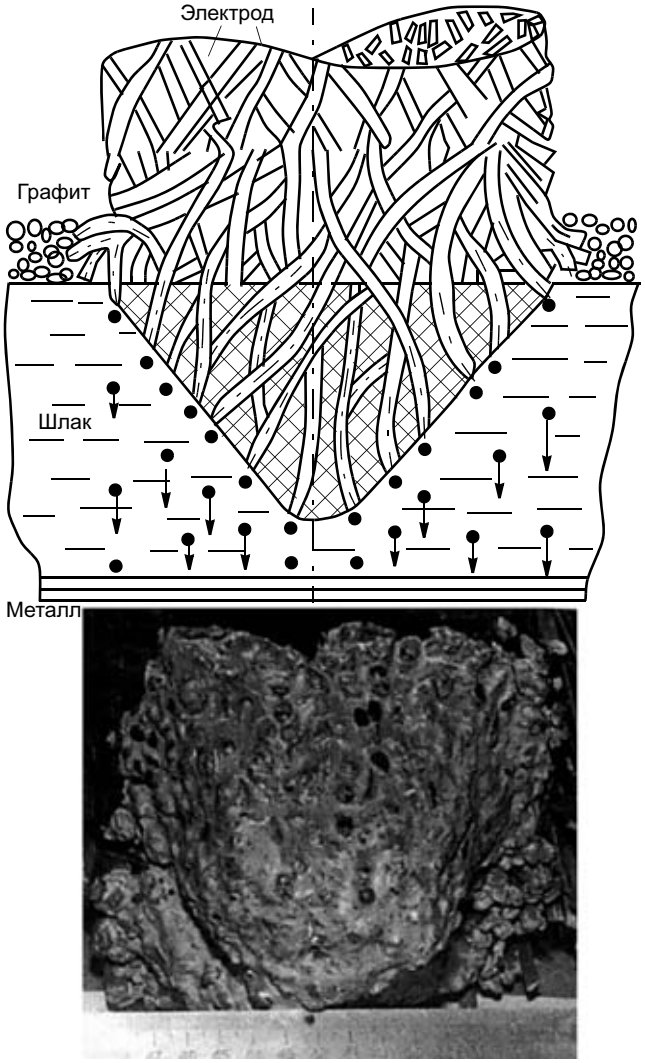


Рис. 3. Схема оплавления электрода из спрессованной очищенной шинки

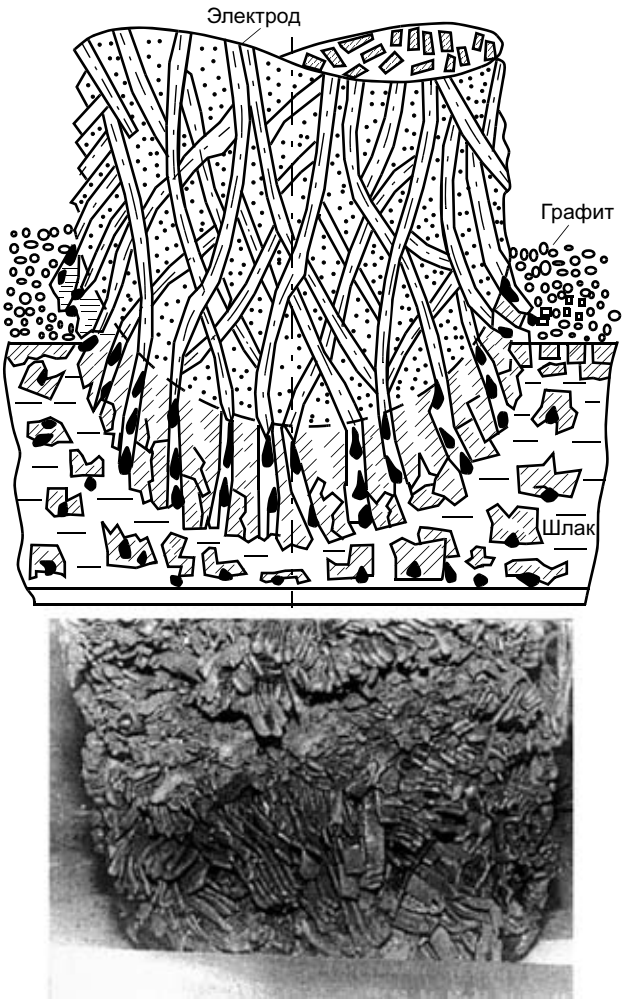


Рис. 4. Схема оплавления электрода из неочищенной от покрытия шинки

кой теплопроводности материала шинки она быстро отбирает теплоту у контактирующего с ней шлака, в результате чего последний затвердевает, образуя металлокерамический конус электрода — застывший шлак, армированный медными шинками. Этот конус сохраняется на протяжении всей плавки, при этом меняется лишь его объем. Как показали наблюдения, на конусе электрода каждая шинка плавится обособленно, а пленочная стадия рафинирования существенно ограничивается весьма малым сечением каждой отдельной шинки. Одновременно на торце электрода расплавляется затвердевающий между шинками шлак.

Установлено, что особенностью переплава шинки является сведение на нет характерной для ЭШП пленочной стадии рафинирования металла, а также надежная защита каждой шинки перед расплавлением от кислорода воздуха затвердевшим шлаком металлокерамического конуса на торце электрода.

Рассмотрим отличительные особенности плавления электрода, собранного из неочищенной шинки (рис. 4). Во время каждого переплава вблизи шлаковой ванны на каждой шинке обгорают покрытия органического происхождения — лаки и краски — с образованием восстановительной атмосферы. Однако по мере поступления электрода в шлаковую ванну на шинке остаются покрытия из стеклоткани эмали. Температура их плавления может быть несколько выше, чем применяемого флюса и меди. Как показали наблюдения, на торце электрода образуется зона, в которой каркас покрытия шинки не разрушается, а металл шинки расплавляется и начинает стекать в виде капель по каналам неразрушенного покрытия вниз в шлаковую ванну. Это подтверждают застывшие обособленные капли металла, запутавшиеся в обугленном покрытии шинок торца электрода (см. рис. 4). Все это свидетельствует о слабом развитии пленочной стадии рафинирования.

Учитывая изложенное, можно предположить, что главной особенностью переплава неочищенной шинки является сведение к минимуму пленочной стадии рафинирования, наличие восстановительной атмосферы от сгорания покрытий каждой шинки перед ее расплавлением и во время плавления, а также развитие капельной стадии рафинирования металла. Стадия рафинирования на границе раздела металла и шлака во всех случаях утилизации медных отходов разного типа примерно одинакова.

Установлено, что особенности плавления различных расходуемых электродов не отражаются существенно на внешнем виде слитков.

5. Качество металла, полученного из отходов меди

Известно, что качество цветных металлов существенно зависит от содержания в них примесей. Поэтому большое внимание было уделено исследованию химического состава металла, которое проводили на пробах, отобранных в конце плавки. Содержание серы и фосфора контролировали методом химического анализа, а содержание висмута, сурьмы, мышьяка, железа, никеля, свинца и олова — методом спектрального анализа. Методом газового анализа определяли содержание кислорода, азота и водорода.

Газовый анализ показал, что содержание водорода в литом металле не превышает 0,0002 %, что является хорошим результатом, хотя содержание его ГОСТом не регламентируется.

Содержание кислорода составляет 0,0013—0,0260 % и зависит от типа раскисления металла и тщательности подготовки шихты. При использовании непережженной и не имеющей признаков "красноломкости" шихты содержание кислорода в металле не превышает 0,0027 %, что соответствует меди М0, М1 и М1к. Снижения содержания кислорода до требуемого уровня можно достичь либо увеличением количества вводимых раскислителей, либо применением более сильных раскислителей типа церия, алюминия, бора и др.

Особое значение в полученных результатах имеет тот факт, что низкое содержание кислорода в металле наблюдается при незначительном содержании фосфора (0,002 %), чего невозможно достичь при традиционных методах переплава отходов меди. Это связано с тем, что раскисление меди фосфором не производилось. Содержание фосфора во всех вариантах плавки низкое и соответствует меди М0б и М1к.

Содержание серы также в основном низкое или близко к меди М0б, М0, М1 и М1к.

Содержание висмута, сурьмы и мышьяка в металле значительно ниже требований ГОСТов. Содержание никеля, железа, свинца и олова в различных плавках различается, что объясняется попаданием в шихту примесей этих элементов в виде инородных стальных предметов (болтов, гаек и других крепежных элементов), припоев и луженых концов проводов. Это подтверждается тем, что в огарках электродов были обнаружены инородные стальные предметы. Повышенное содержание железа объясняется тем, что в самой исходной шихте из меди М0б содержание железа составляет 0,02 % и превышает требования ГОСТа.

Как свидетельствуют результаты анализа химического состава металла, заготовка, полученная из медной шинки М1, не очищенной от покрытий в виде стеклоткани и лака, соответствует меди той же марки с содержанием кислорода на порядок ниже требований ГОСТа. Это свидетельствует о возможности исключения обжига шихты как очень энергоемкой операции при подготовке расходуемого электрода.

Таким образом, результаты исследований химического состава меди, полученной путем переплава отработанных обмоток электродвигателей и моторов из проводов и шинки, показали, что технологию электрошлакового переплава можно использовать для изготовления заготовок, соответствующих меди М1, из которых можно изготовлять шинку для новых обмоток. Для получения заготовок из меди М0, из которых можно изготовлять эмальпровода, необходимо организовать тщательную сортировку отходов перед прессованием из них расходуемых электродов. Это позволит не допустить попадания в шихту стального крепежа, луженых концов проводов и паяных соединений.

Важным фактом, установленным в процессе экспериментальных плавок, является возможность замены расходуемого электрода по ходу плавки. Такая замена позволяет из нескольких расходуемых электродов малого размера выплавлять заготовку любой заданной массы. Для формирования небольших по размерам расходуемых электродов требуется пресс относительно малой мощности, что позволяет более эффективно применять имеющееся оборудование.

6. Технологическая схема утилизации медных отходов методом ЭШП

Полученные результаты экспериментальных исследований позволили предложить для реализации на практике следующую схему электрошлакового процесса утилизации медных отходов (рис. 6). Для ЭШП используется простая установка А-550, на которой можно переплавлять электроды массой до 150 кг. Переплав осуществляют в графитовом кристаллизаторе со сменой расходуемого электрода в ходе плавки.

В состав основного оборудования для утилизации медных отходов методом ЭШП должны войти печь для электрошлакового переплава А-550 или У-350; источник питания печи А622 мощностью 624 кВ · А; технологическая оснастка, включающая графитовый тигель, графитовый электрод, медный охлаждаемый поддон (схема ЭШП без вытяжки слитка), подвижный (с приводом) охлаждаемый поддон (схема ЭШП с вытяжкой слитка), устройство для зажима сменных электродов.

К вспомогательному оборудованию относится газоочистка с вытяжной вентиляцией; стеллажи для складирования электродов; печь СНО-3 для прокалки флюса, рассчитанная на температуру до 900 °С; бункеры для хранения флюса; термос для хранения прокаленного флюса; кран-балка для подъема и транспортировки грузов весом до 1 т; весы грузоподъемностью 200 кг (можно 500 кг); коллектор для подачи воды; эстакада для обслуживания печи и др.

Производительность плавки лимитируется энергетическими характеристиками источника питания печи. При использовании трансформатора А622 можно получить производительность 200 кг/ч, на более мощном источнике — более 250—300 кг/ч.

ВЫВОДЫ

1. Технологию электрошлакового переплава расходуемых электродов, изготовленных из обмоток электродвигателей и моторов, отслуживших свой срок, можно эффективно использовать для получения заготовок электротехнической меди М1, которые пригодны для переделки в шинку и провода. Производительность процесса переплава до 200 кВт · ч/т.

2. Для получения способом ЭШП заготовок из меди М0, пригодных для переделки в эмалированные провода, необходимо отсортировать отработанные обмотки электродвигателей перед прессованием расходуемых электродов с целью предотвращения попадания в шихту стального крепежа, луженых концов проводов и паяных соединений.

3. Для электрошлакового переплава можно использовать обмотки, не очищенные от изоляции в виде стеклоленты, эмали и лака, т. е. в процессе переработки отходов можно отказаться от обжига шихты для изготовления расходуемых электродов, что снижает общий расход энергоносителей в процессе переработки отходов.

4. Разработаны возможные схемы электрошлакового процесса на промышленной установке и определен состав необходимого технологического оборудования и оснастки для участка ЭШП отходов меди производительностью 200 т в год при односменном режиме работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Молдавский О. Д.* Электрошлаковый переплав тяжелых цветных металлов. М.: Металлургия, 1980. 200 с.
2. *Патон Б. Е., Медовар Б. И., Орловский Ю. Б.* Электрошлаковое кокильное литье. Киев: Знание, 1982. 63 с.
3. *Дакуорт У., Хойл Д.* Электрошлаковый переплав. М.: Металлургия, 1973. 192 с.
4. *Латаш Ю. В., Медовар Б. И.* Технология электрошлакового переплава // Цветные металлы. 1966. № 12. С. 74—76.

В. М. КОРНЕЕВА, д-р техн. наук, В. Н. ХОЛОПОВ, канд. техн. наук (МГТУ им. Н. Э. Баумана),
А. Н. ФЕОФАНОВ, д-р техн. наук (МГТУ "Станкин"),
Р. М. ХВАСТУНОВ, д-р биол. наук (РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина)

Квалиметрический анализ как средство непрерывного повышения качества продукции машиностроения

Квалиметрический анализ (КА) — эффективное средство организации работ по созданию на предприятии системы непрерывного повышения качества продукции с одновременным улучшением условий труда работников. С 1998 г. [1] КА применяется на предприятиях различного профиля, в машиностроении [2, 4], на полиграфических предприятиях [5], а также в медицине [6].

К достоинствам КА относится простота осуществления, практически не требующая затрат, отсутствие каких-либо специально создаваемых административных структур, короткие сроки (одна—три недели) для его реализации.

Однако суть метода полно представлена лишь в учебно-методических материалах [2] и труднодоступных малотиражных изданиях [7, 8]. В связи с чем представляется целесообразным ознакомление специалистов с возможностями метода с целью расширения сферы его применения.

Всю работу по реализации КА выполняет специально выделенное лицо — организатор — специалист (не обязательно сотрудник предприятия), знакомый с основами квалиметрии и заинтересованный в улучшении труда работающих. Ему в помощь может быть придана небольшая техническая группа — два—четыре человека.

КА включает выполнение ряда операций, заключающихся в неоднократном опросе выбранных работников предприятия, именуемых "экспертами". Статистическая обработка данных этих опросов позволяет выявить перечень наиболее важных на данный момент недочетов технологии производства или организации труда, а также рекомендуемые меры по их устранению.

После внедрения этих рекомендаций КА следует повторить через три—шесть месяцев. Это приведет к выявлению новых наиболее значимых недочетов и новых рекомендаций по их устранению, что и обеспечивает непрерывное (циклическое) улучшение условий труда работников и, как следствие, повышение качества продукции.

Обязательные условия реализации КА

Для того чтобы работники предприятия, в первую очередь рядовые исполнители, были заинтересованы в повышении качества продукции и сотрудничали с организатором, нужно прежде всего наряду с материальным стимулированием развивать чувство гордости за выполняемую работу, свою квалификацию, организацию, в которой они работают. От них наряду с исполнением операций требуются предложения по усовершенствованию технологии и условий труда. В свою очередь от организаторов требуется внимательный учет всех предложений сотрудников, доработка при необходимости этих предложений вместе с ними, немедленное внедрение части этих предложений при моральном и материальном поощрении сотрудников администрацией предприятия.

КА дает положительный результат уже при однократном применении, но наибольший эффект достигается при систематическом его использовании в системе циклического повышения качества продукции. Последовательность действий организатора и экспертов при проведении КА приведена на рис. 1.

Основной процедурой КА является опрос экспертов, выполняемый в три этапа. Последующие действия, выполняемые организатором, заключаются в обработке полученной информации. Содержание отдельных операций следующее.

Отбор экспертов. В число привлекаемых экспертов должны входить только сотрудники предприятия. Подбор экспертов осуществляют либо путем обращения к руководителю организации, который назначает экспертов своим распоряжением, либо путем непосредственной беседы организатора с работниками различных специальностей. При этом

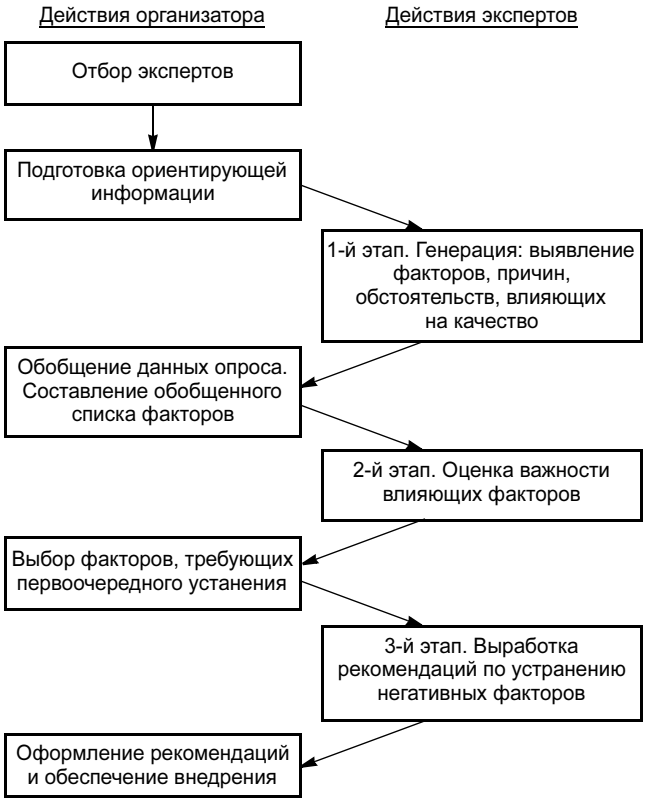


Рис. 1. Схема проведения КА

ISSN 1562-322X. Технология машиностроения. 2007. № 4

организатор индивидуально договаривается об участии в работе двух—трех представителей каждой специальности и далее утверждает составленный список у руководителя предприятия.

Подготовка ориентирующей информации. В состав ориентирующей информации для экспертов должна входить краткая пояснительная записка с указанием цели работы, способа и этапов ее выполнения. Кроме того, экспертам должна быть представлена схема технологического процесса производства с указанием мест нахождения специалистов, их числа, схемы транспортировки сырья, производственных материалов, мест их хранения. Вся эта информация подготавливается в удобной для восприятия форме и вручается каждому эксперту.

Это необходимо для того, чтобы эксперт при обдумывании своих предложений не замыкался на собственном узком участке работы, но мог бы взглянуть на производство с более общих позиций, имел стимул высказать предложения, касающиеся общей организации производства.

Первый этап опроса экспертов проводят для генерации предложений, т. е. выявления как можно большего числа факторов, негативно влияющих на условия труда и, следовательно, качество продукции. Опрос может быть проведен способом смешанного анкетирования — непосредственного разъяснения задания и выдачи "задания на дом". Но можно также проводить опрос в форме непринужденного обсуждения в спокойной, не отвлекающей обстановке. Следует выбрать такую форму опроса, при которой появилось бы как можно больше предложений, указаний на недочеты.

Обобщение данных опроса заключается в составлении сводного перечня указанных экспертами факторов с исключением повторяющихся и уточнением формулировок.

Второй этап опроса экспертов — оценочный. Сводный перечень факторов вручают тем же сотрудникам с просьбой проранжировать по важности, т. е. по предполагаемой величине негативного воздействия на качество условий труда или же непосредственно на качество продукции.

Например, если опрашиваемый считает, что наиболее затрудняет работу низкое качество исходного материала, то он должен этот фактор оценить рангом 1, следующий по важности — рангом 2 и т. д.

Для выбора факторов, требующих первоочередного устранения, проводят проверку согласованности ранжировок и в случае их согласованности строят обобщенную ранжировку. По наибольшей разнице сумм рангов выделяют небольшую группу — обычно три—пять факторов , оказывающих наибольшее отрицательное влияние на качество. Полезным вспомогательным инструментом в данном случае служит перевернутая диаграмма сумм рангов.

Третий этап опроса экспертов направлен на выработку рекомендаций по устранению негативного влияния выделенных основных факторов. Опрос может быть проведен по-разному, в зависимости от того, каковы основные факторы. Так, если факторы количественные, например "систематическая недостача расходуемых материалов", то следует поставить вопрос об оптимальном количестве хранимых на складе материалов. Если же факторы качественные, например "неудобная спецодежда", то следует провести опрос таким образом, чтобы выявить варианты удобной спецодежды и т. д.

Реализация КА на примере повышения качества (надежности) погружных электроцентробежных насосов (ЭЦН)

Надежность является одной из основных составляющих качества механизмов и ее обеспечение особенно важно в тех случаях, когда отказ механизма сопряжен с большими затратами на его ремонт или замену. Поэтому важной задачей инженера-машиностроителя является выявление причин случающихся отказов механизмов и разработка предложений по повышению надежности.

Традиционный способ решения данной задачи — сбор статистического материала о причинах и частоте отказов оборудования, т. е. требуется собрать данные о сроках и причинах отказов исследуемого оборудования, эксплуатируемого в определенных условиях в течение ряда лет. Однако эти данные могут существовать в различных, иногда несопоставимых формах, найти их трудно, и не всегда организация (производящая или эксплуатирующая продукцию) заинтересована в разглашении этих сведений.

Для более быстрого приближенного решения данной задачи может быть применен КА. Общий план выполнения работ при этом следующий:

— формируют экспертную группу из специалистов, длительное время работавших в области эксплуатации изучаемого оборудования, причем именно в тех условиях, в которых это (совершенствуемое) оборудование и предполагается использовать. Проводят обычный трехэтапный опрос этих специалистов:

— на первом этапе экспертов просят назвать как можно больше факторов (причин, обстоятельств), обусловливающих отказы оборудования;

— составив обобщенный список этих факторов, на втором этапе просят экспертов тем или иным способом оценить относительную важность факторов с точки зрения их влияния на частоту отказов. Оценки могут быть представлены в виде процентов отказов, обусловленных данным фактором, или в виде ранжировки факторов по важности, или в другом, удобном для экспертов виде;

— после проверки согласованности экспертных оценок выявляют наиболее значимые факторы и на третьем этапе опрашивают экспертов относительно рекомендуемых мер по снижению их вредного влияния.

Погружные ЭЦН в основном применяют при эксплуатации нефтяных, нефтегазовых скважин, а также для откачки воды в шахтах и в других целях. Отказы ЭЦН — одна из важнейших проблем их эксплуатации. При замене вышедшего из строя погружного электронасоса необходимо проводить подземный ремонт скважины и ряд дорогостоящих операций по глушению и освоению пласта. В целом стоимость одного подземного ремонта практически достигает стоимости новой установки. Этим обусловлена актуальность задачи.

В соответствии с представленным общим планом КА вначале была сформирована экспертная группа в количестве восьми человек. Экспертов отбирали путем "взаимных рекомендаций" [2], что позволило сформировать коллектив, состоящий из специалистов, способных оперативно решать локальные производственные задачи. В данном случае в число экспертов вошли восемь специалистов пяти организаций, занимающихся вопросами производства и эксплуатации установок ЭЦН.

На первом этапе опрос был направлен на выявление факторов (узлов, деталей), износ (разрушение) которых может привести к отказам ЭЦН.

Поскольку собрать всех экспертов было невозможно, опрос был проведен способом "смешанного анкетирования" [5] с выдачей экспертам "заданий на дом" по заполнению анкет (на всех этапах).

Экспертами было указано 24 возможных фактора (причины), вызывающих отказы ЭЦН. Обработка состояла в построении "дерева причин" (рис. 2).

На втором этапе оценивали относительный вклад различных причин в отказы элементов (деталей). "Дерево причин" было представлено экспертам в качестве ориентирующей информации, а оценки относительного вклада элементов — в процентах от общего числа отказов по данной группе. Полученные оценки (после проверки их согласованности) усредняли, рассчитанные обобщенные оценки представлены на рис. 2.

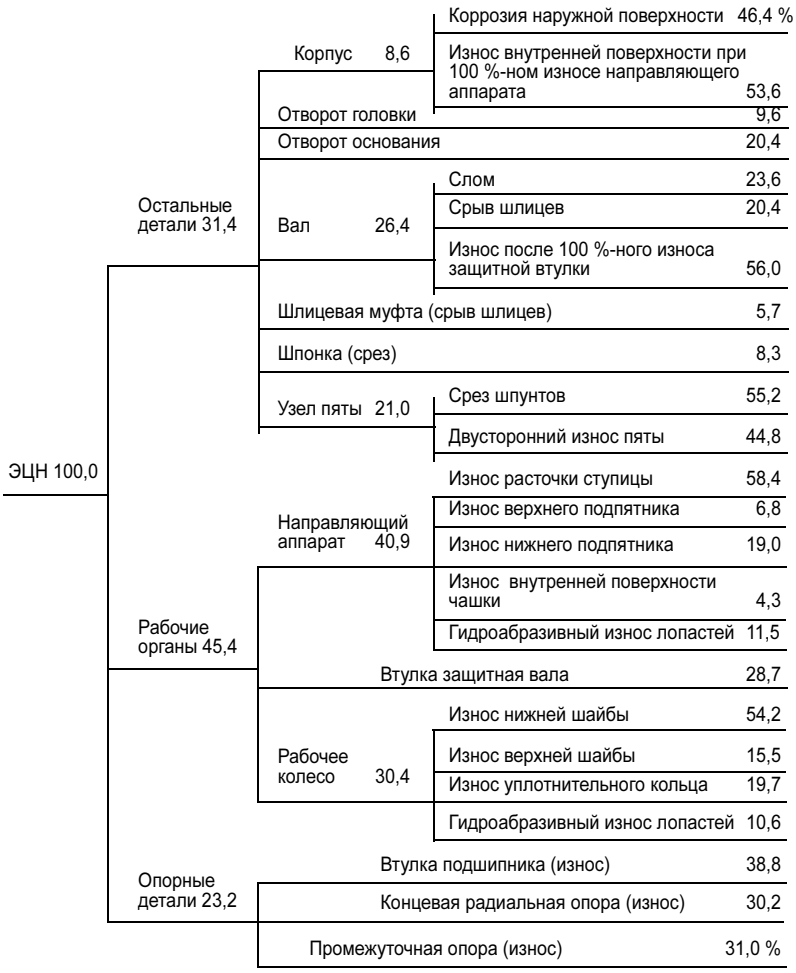


Рис. 2. Дерево причин отказов ЭЦН с обобщенными экспертными оценками их значимости (процент отказов по отношению к соответствующей группе)

Вклад различных элементов в общее число отказов ЭЦН можно наглядно продемонстрировать с помощью диаграммы (рис. 3).

Оценки, приведенные на рис. 2 и проиллюстрированные с помощью рис. 3, показывают, что главная часть отказов ЭЦН обусловлена износом рабочих органов (45,3 %). Подавляющее большинство отказов этих деталей сконцентрировано вокруг поверхностей трения. Из этого следует, что для повышения надежности ЭЦН в первую очередь следует повысить износостойкость трибосопряжений.

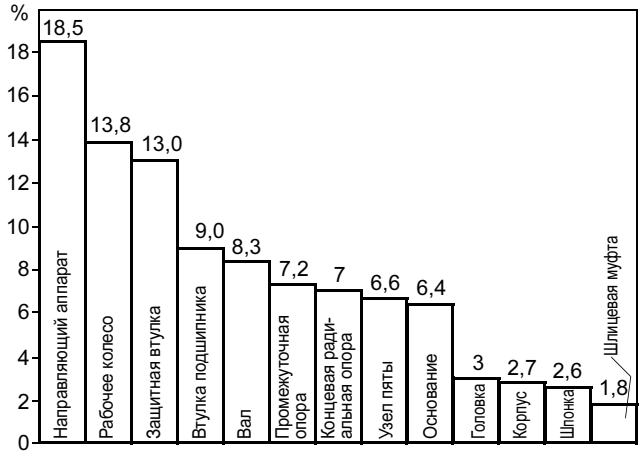


Рис. 3. Вклад деталей ЭЦН в общее число отказов

Для решения данной задачи проводили третий этап опроса экспертов.

В качестве ориентирующей информации экспертам был представлен перечень элементов рабочих органов и соответствующих им причин отказов в форме, приведенной на рис. 2. Эксперты должны были по всем или некоторым из выявленных причин отказов предложить те или иные методы повышения надежности. По результатам этого этапа было принято решение об экспериментальном исследовании эффективности применения для повышения надежности погружного оборудования всего лишь двух методов: электрометаллизации и плазменного напыления. Именно эти методы были внедрены в производство.

Таким образом, в рассмотренной задаче квалиметрический анализ позволил оптимизировать выбор способов и методов повышения надежности отдельных деталей электроцентробежных насосов.

Реализация квалиметрического анализа заняла один месяц, тогда как при обычных способах инженерно-технического анализа, включая сбор и обработку статистических данных, подобная работа могла быть выполнена не менее, чем за год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хвастунов Р.М., Холопов В. Н.* Квалиметрический анализ технологического процесса // 5-я Всеросс. научно-техн. конф. "Состояние и проблемы технических измерений". М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998.
2. *Методы* квалиметрии в машиностроении: Уч. пособие / Под ред. В. Я. Кершенбаума, Р. М. Хвастунова. М.: Технонефтегаз, 1999. 199 с.
3. *Скрипка В. Л., Холопов В. Н.* Принципы создания системы непрерывного повышения качества продукции // 7-я Всеросс. научно-техн. конф. "Состояние и проблемы измерений". М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. С. 249—250.
4. *Хвастунов Р. М.* Квалиметрический анализ как средство непрерывного повышения качества продукции машиностроения: Уч. пособие. М.: РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2006. 20 с.
5. *Холопов В. Н., Хвастунов Р. М., Иванова Н. В.* Квалиметрический анализ технологического процесса в системе циклического повышения качества продукции // Метрология, стандартизация, сертификация. 2002. № 5. С. 44—53.
6. *Руководство* по применению методов квалиметрии в профилактической медицине / В. А. Капцов, В. З. Кучеренко, В. С. Кутовой, Л. Ф. Ведмеденко. М.: Всероссийский НИИ железнодорожного транспорта, 2004. Ч. 1. 120 с.
7. *Ягелло О. И.* Квалиметрический анализ и разработка путей повышения надежности установок ЭЦН // Надежность и контроль качества. 1999. № 10. С. 42—49.
8. *Ягелло О. И.* Методы квалиметрии в задачах повышения качества машиностроительной продукции. М.: Технонефтегаз, 2004. 160 с.

А. Н. ГАЛИЕВ, аспирант
Казанский государственный финансово-экономический институт

Концепция контроллинга в машиностроительном холдинге

Цель данной статьи — рассмотрение вопроса выработки концепции модели информационного обеспечения менеджмента холдинга, объединяющего предприятия сельскохозяйственного машиностроения.

История российского сельскохозяйственного машиностроения последних лет показывает, что многие производители сельскохозяйственной техники объединили свои усилия в целях выживания и дальнейшего развития. Данный процесс проходил в виде интеграции в холдинговые образования, что является одним из вариантов повышения конкурентоспособности предприятий отрасли. Не ставя перед собой целью анализ эффективности концентрации, отметим лишь, что мировой практикой доказано, что холдинговая форма организации бизнеса весьма жизнестойка и эффективна, обладает рядом преимуществ, которые не свойственны предприятиям, функционирующим самостоятельно.

Одним из существенных моментов в процессе организации холдингового объединения является построение прозрачной и эффективной системы информационного обеспечения менеджмента. Это необходимо для того, чтобы образовалась по-настоящему работоспособная экономическая система, а не компания как простое собрание машиностроительных активов, пусть и контролируемых из одного центра. Ввиду наличия множества участников объединения управление холдингом осложняется тем, что информация, которая необходима для контроля за деятельностью всех предприятий, зачастую неоднородна, порой невозможно получить полную информацию о функционировании всех предприятий в конкретный момент времени либо информация искажена намеренно или случайно и т. д. Соответственно, появляется возможность для усиления асимметрии информации со всеми ее отрицательными проявлениями. Усиление влияния асимметрии информации прежде всего связано с неэффективной системой контроля и является основным фактором для усиления влияния антагонистических настроений в холдинге. Хотя термин "асимметрия информации" используется для характеристики функционирования рынков, представляется целесообразным показать, как асимметрия информации влияет на эффективность функционирования холдинга.

Информационная асимметрия имеет место тогда, когда нарушается одна из основных предпосылок экономической теории о совершенстве (полноте) рыночной информации. Выполнение этой предпосылки означает следующее: потребители полностью осведомлены о своих вкусах; продавцам и покупателям ресурсов, товаров и услуг хорошо известны все их качественные характеристики; домашние хозяйства и фирмы имеют полную информацию о равновесных ценах на все экономические блага. Именно благодаря обладанию этой информацией становится возможным рациональный выбор каждого экономического субъекта, т. е. достигается максимизация индивидуальной целевой функции (функции полезности или функции прибыли), которая в условиях совершенной конкуренции ведет к максимизации общественного благосостояния.

Таким образом, асимметрия информации — это такая ситуация, когда некоторые экономические субъекты обладают большей долей рыночной информации, чем остальные. Она создает для одних участников рыночных отношений возможность злоупотребления неинформированностью других. Затрудняя рациональное поведение экономических агентов и порождая дополнительные трансакционные издержки (издержки поиска информации и др.), асимметрия информации приводит к снижению общественного благосостояния и неэффективному функционированию рынков, а также зачастую становится причиной ограничения конкуренции и появления монопольной власти.

Случаи информационной асимметрии довольно часто встречаются в экономической жизни: продавец продукта знает о его качестве больше, чем покупатель; получающий медицинскую страховку лучше осведомлен о состоянии своего здоровья, чем сотрудник страховой компании; работник имеет более полное представление о своих навыках и способностях, чем принимающий его на службу предприниматель.

Причины возникновения этих и других подобных ситуаций вытекают из экономических свойств информации как важного ресурса и продукта производства:

— производство информации, как правило, связано с высокими издержками, а воспроизводство (копирование) — с низкими;

— информация практически не подвержена физическому износу, но велика вероятность ее морального устаревания;

— информация неотчуждаема от ее владельца в акте купли-продажи;

— информация физически не исчезает в акте потребления, но для получения полезного эффекта необходимо умение воспользоваться ею.

Исходя из перечисленных свойств информации, можно выделить основные причины, вызывающие ее асимметрию.

Первая причина связана с тем, что получение информации, как и любого другого редкого блага, сопряжено с альтернативными издержками.

Вторая причина обусловлена моральной недолговечностью информации: даже если сегодня экономический субъект обладал полной информацией о рыночной конъюнктуре, то завтра эта информация может оказаться совершенно устаревшей в силу изменения самой рыночной конъюнктуры.

Третья причина кроется в том, что любой экономический субъект для того, чтобы адекватно использовать необходимую информацию, должен уметь выбрать ее из всего доступного объема и, возможно, даже осмыслить и переработать. Эта причина асимметрии информации становится все более распространенной, поскольку информация способна обеспечить экономическому субъекту рост его благосостояния, только если он обладает способностями, необходимыми для того, чтобы ею воспользоваться.

Продавцы и покупатели могут располагать разным объемом информации о качестве продаваемых единиц товара, т. е. информация о качестве блага может быть распределена между ними асимметрично. Для ряда рынков такая ситуация является типичной и неустранимой.

Исследование рынков с асимметричной информацией о качестве товара началось в 1970 г. с выходом статьи американского экономиста Дж. Акерлофа "Рынок лимонов", в которой проблемы информационной асимметрии были показаны на примере рынка подержанных автомобилей. В рамках данной статьи адаптируем теорию применительно к информационной поддержке управленческих решений в холдинге. Но для этого сформулируем предпосылки анализа:

— на "внутреннем рынке информации" холдинга существуют "продавцы" и "покупатели". Под "продавцами" следует понимать аналитиков, которые готовят информацию для

"покупателей", в качестве которых выступают руководители (в первую очередь — руководство холдинговой компании);

— существует четкая градация качества "товара" — предоставляемой информации. Для простоты пусть их будет две — высокое качество и низкое качество;

— структура предложения "товара" является фиксированной. Пусть для простоты число "товара" в каждой градации качества будет равным, т. е. на "рынке" будет "продаваться" 50 % высококачественной и 50 % низкокачественной информации;

— полной информацией о качестве "товара" обладает "продавец", а "покупатели" оценивают его статистически, с некоторой долей вероятности.

В соответствии с адаптированной "теорией лимонов" качество управленческого решения, принимаемого руководителем, зависит от качества предоставляемой ему информации. Исходя из этого, качественная информация даст возможность принять более качественное управленческое решение. Следовательно, кривая качества управленческого решения на основе высококачественной информации D_r будет располагаться выше, чем кривая на основе низкокачественной D_{nr} информации.

Однако проблема состоит в том, что руководителям холдинговой компании не представляется возможным различить информацию высокого качества и низкого качества по ряду причин. На уровень центральной компании обычно приходит настолько агрегированная информация, что обосновать степень достоверности отчета или корректности плана не представляется возможным. Такие отчеты дают ответ на вопрос об общей причине изменения или отклонения, но они редко дают полный ответ, указывающий реальный показатель, в отношении которого возможно и необходимо управленческое воздействие со стороны менеджмента компании. Поэтому, исходя из предпосылки о равных долях, приходящихся на информацию каждой градации качества, руководитель будет с равной долей вероятности ожидать, что ему предоставят информацию либо высокого, либо низкого качества. Если исходить из того, что высокое качество информации равно Q_q, а низкое Q_{pq}, то среднее качество информации равно $0{,}5Q_q + 0{,}5Q_{pq}$. Соответственно, и линия среднего качества управленческих решений D_1 будет находиться между линиями D_r и D_{nr} (см. рисунок).

Однако сложившаяся ситуация не будет устойчивой. В силу ряда обстоятельств аналитики перестанут предоставлять качественную информацию, в результате чего ее доля может снизиться, например до 25 %, а доля информации низкого качества увеличиться до 75 %. Соответственно, качество управленческого решения изменится и будет равно $D_2 = 0{,}25Q_q + 0{,}75Q_{pq}$. В результате многократного повторения этого процесса ситуация приблизится к экстремальной и качество управленческих решений на базе низкокачественной информации будет соответствующим.

Формирование качества управленческого решения в зависимости от качества предоставляемой информации

Приведенный анализ является во многом теоретической абстракцией, в реальной жизни происходит иначе, но в то же время необходимо помнить о подобных рисках, следствием которых станет неадекватность принимаемых решений реальным условиям функционирования объекта управления. Поэтому задача использования качественной информации в управленческой деятельности компании является уже не столько тактической, сколько стратегической. При этом особую остроту приобретают проблемы использования современных методов и механизмов получения информации, необходимой для принятия эффективных управленческих решений. Одним из подобных механизмов считается контроллинг.

В последние годы в экономической литературе [2] все большее внимание уделяется проблеме контроллинга, являющейся интенсивно развивающимся направлением в области теории и практики управления деятельностью компании. В то же время, как в теории, так и на практике отсутствует единое понимание этого термина. По нашему мнению, под контроллингом следует понимать процесс информационного обеспечения руководителей всех уровней управления предприятием при принятии ими управленческих решений и методическое сопровождение этого процесса. Если исходить из такого понимания контроллинга, то, например, бюджетирование и система сбалансированных показателей являются лишь управленческими инструментами в рамках комплексного информационного обеспечения руководства, которые призваны решать конкретные задачи.

При построении системы контроллинга прежде всего необходимо решить вопрос построения информационной структуры компании и выбора подхода к систематизации экономической информации, который был бы одновременно гибким, простым и всеобъемлющим, что особенно важно в холдингах.

Под информационной структурой холдинга мы понимаем совокупность взаимосвязанных информационных элементов, т. е. разбиение функций сбора, агрегирования, анализа данных и потребление информации между определенными группами. К подобным информационным элементам можно отнести информационные центры.

Информационный центр — организация или структурное подразделение, выполняющие функции сбора, аналитико-синтетической переработки и передачи информации менеджменту холдинга.

Цель функционирования информационных центров в холдинге — предоставление информации в заданное место, в точный срок, в нужном количестве и качестве в максимально возможной степени подготовленных к производственному потреблению при оптимальном уровне издержек. Конкретные задачи информационных центров в холдинге зависят от их уровня (статуса) и вида представляемой информации.

В рамках холдинга информационным центрам можно присваивать определенные статусы, например, информационный центр 1-го уровня, 2-го уровня и т. д. При этом необходимо определить цели и задачи, распределить сферу ответственности и прав каждого информационного центра в системе контроллинга (информационного обеспечения) холдинга: какие процессы и функции выполняет информационный центр, определить структуру потоков информации, поставщиков и потребителей информации, входы и выходы (продукт).

Выделение и придание того или иного статуса информационному центру во многом зависит от внешних и внутренних условий, в которых функционирует корпоративное объ-

единение: экономической целесообразности выделения информационных центров, принципов и политики управления холдингом, числа участников объединения, вида информации и др. Например, при дивизиональной структуре холдинга холдинговая компания может иметь статус информационного центра 1-го уровня, управляющие компании дивизионов — 2-го уровня, а дочерние предприятия и филиалы — 3-го уровня.

Информационный центр представляет собой систему, т. е. состоит из определенных элементов, в качестве которых предлагается использовать центры анализа информации и места сбора и агрегирования данных. Центр анализа информации — организация или структурное подразделение, занимающееся накоплением, отбором, хранением, поиском, оценкой, анализом и синтезом информации в определенной предметной области управления холдингом. Места сбора и агрегирования данных — организация или структурное подразделение, занимающееся сбором и распространением информации, представляющей взаимный интерес для различных центров анализа информации холдинга.

При выделении в структуре холдинга центров анализа, мест сбора и агрегирования информации следует исходить из принципа Парето: если 80 % операций с данными в структурном подразделении относится, например к анализу, то необходимо придать статус центра анализа, если к сбору и агрегированию, то это место сбора и агрегирования данных. Определение вида информации, на которой будет специализироваться информационный центр, основывается на блочно-модульном подходе к систематизации управленческой информации.

Систематизация управленческой информации в холдинге призвана сделать прозрачным процесс сбора, обработки и подготовки информации, необходимой для принятия управленческих решений на всех уровнях управления. Соответственно, основная цель систематизации информации — информационная прозрачность объекта управления для возможности принятия эффективных решений. При этом в понятии информационной прозрачности объекта управления отражено представление о степени управляемости данного объекта, т. е. о том, в какой степени в результате управления обеспечивается (обеспечивалось или будет обеспечиваться) поддержание требуемого состояния объекта управления в соответствующий момент (период) времени.

Особенность создания единой информационной модели в холдинге, в первую очередь, связана с многоуровневой иерархией организационной структуры управления и территориальной распределенностью деятельности, многообразием применяемых информационных систем, наличием нескольких фокусов управления (многофокусное управление) и постоянными изменениями структуры управления в условиях быстро меняющейся внешней ситуации.

При решении вопроса построения информационной модели участников холдинга и всей бизнес-группы необходимо учитывать приведенные особенности и выработать адекватный подход. Выбранный подход должен позволить создать модель, которая, с одной стороны, применима ко всем структурным единицам, т. е. всеобъемлюща, с другой стороны, будет гибкой к изменению структуры холдинга в зависимости от изменения внешней среды. В связи с этим встает задача организационно-методического обеспечения процесса систематизации экономической информации участников холдинга для создания единой контроллинговой модели объединения.

Для решения этой задачи наиболее адекватным является использование блочно-модульного подхода. Смысл данного подхода заключается в том, что вначале происходит систематизация всей информации по определенным бизнес-отношениям внутри холдинга в пяти блоках — операционном, финансовом, инвестиционном, маркетинговом и организационном блоках.

Операционный блок. В данном блоке объединяется информация по оценке возможностей компании по производству продукции и оказанию услуг.

Подобная оценка основана на следующей информации:

— эффективность использования производственных мощностей;

— эффективность организации процесса производства;

— резервы выпуска продукции и повышения фондоотдачи, смены ассортимента и номенклатуры;

— эффективность использования прочих основных фондов;

— эффективность логистики материальных ресурсов и полноценность их использования;

— способность предприятий производить продукцию с меньшими издержками;

— состояние процесса обеспечения качества;

— производительность труда;

— состояние системы мотивации персонала;

— обеспеченность трудовыми ресурсами и эффективность их использования;

— прочая информация.

Финансовый блок. Информация данного блока призвана оценивать финансовые потоки в процессе деятельности компании. Подобная оценка основана на следующей информации:

— эффективность совокупности источников финансирования (какие средства могут быть привлечены дополнительно);

— основные источники формирования прибыли;

— состояние процесса расчетов с инвесторами;

— соблюдение платежной дисциплины с кредиторами, поставщиками, потребителями, государственными органами и др.;

— эффективность форм оплаты и получения средств (кредиторская и дебиторская задолженность);

— способность компании погасить свои краткосрочные обязательства;

— возможность погасить обязательства досрочно;

— состояние финансовой устойчивости;

— тенденции изменения финансовых результатов и финансового состояния компании;

— способность рассчитаться по налоговым обязательствам;

— прочая информация.

Инвестиционный блок. Информация, отнесенная в данный блок, призвана оценить решения по вложению капиталов. Подобная оценка основана на следующей информации:

— варианты стратегических вложений, доступных компании;

— какие дивизиональные подразделения подлежат приоритетному инвестированию;

— какие производства следует сократить или перевести на самофинансирование;

— эффективность размещения и использования финансовых средств;

— виды активов для долгосрочных вложений;

— оценка инвестиционных проектов;

— оценка инвестиционных рисков;

— эффективность инвестиционного портфеля компании;

— прочая информация.

Маркетинговый блок. Информация, отнесенная в данный блок, необходима для анализа отношений компании со средой, в которой она осуществляет реализацию продукции. Оценка основана на следующей информации:

— эффективность использования всех имеющихся маркетинговых возможностей для развития;

— эффективность используемых инструментов воздействия компании на контролируемые факторы и достаточна

ли адаптация к неуправляемым факторам внешней и внутренней среды;

— фактические и потенциальные потребители продукции;

— приоритетные рынки для компании и ее продукции;

— тенденции развития конъюнктуры рынка;

— фактические и потенциальные партнеры компании и стратегии сотрудничества;

— эффективность стратегии маркетинговой деятельности компании — степень достижения преследуемых целей;

— эффективность номенклатуры и ассортимента продукции;

— оценка коммерческих рисков;

— исследование ключевых компетенций компании и ее конкурентные преимущества;

— прочая информация.

Организационный блок. Информация, отнесенная в данный блок, призвана оценить соответствие системы управления своему рыночному позиционированию. Оценка основана на следующей информации:

— основное назначение компании и насколько она достигает своих стратегических целей;

— эффективность стратегии компании;

— степень качества процесса достижения поставленных целей и стратегический разрыв;

— эффективность использования различных ресурсов;

— эффективность организационной, функциональной структуры, организационно-правовой формы;

— качество корпоративной культуры и ее соответствие стратегии компании;

— потенциал управленческого персонала;

— качество используемых информационных систем и направления их развития в будущем;

— прочая информация.

Следующим уровнем систематизации является группировка информации внутри каждого блока в определенные модули в зависимости от принадлежности информации к определенной функциональной области. Каждый модуль представляет собой систему справочников, на основании которых получают пакеты необходимых документов и отчетов — определяет перечень и форматы документов, сопровождающих процессы в компании, а также задает форматы описания объектов определенной функциональной области, компонентов и регламентов самой компании. В каждый модуль включаются классификация, форматы, способы хранения, адресность, время и место использования процедурных регламентов, количественных и качественных планов и отчетов.

Авторами предлагается группировка на следующие модули.

Операционный блок — модули: управление основной производственной деятельностью; управление вспомогательной деятельностью; управление основными средствами; управление логистикой материальных ресурсов; управление системой договоров; управление трудовыми ресурсами; управление системой учета операционных затрат.

Финансовый блок — модули: управление финансовыми результатами и системой бухгалтерского учета; система налогового учета; управление финансовым положением.

Инвестиционный блок — модули: управление инвестиционной стратегией; управление текущей инвестиционной деятельностью.

Маркетинговый блок —модули: управление системой мониторинга внешней среды; управление маркетинговой политикой; управление продажами.

Организационный блок — модуль: управление системой оценки управления.

Систематизация информационных потоков на основе блочно-модульного подхода позволяет перейти к процессам непосредственной постановки задач анализа, сформировать конкретные форматы для сбора и обобщения необходимой информации в целях выработки управленческих решений по блокам. Особенностью модели является ее гибкость, т. е. возможность модификации во времени с точки зрения изъятия устаревших и добавления, в случае необходимости, новых модулей.

Подход отличается свойством избирательности, поскольку может быть использован как для системного представления информации о деятельности холдинга в целом, так и для анализа отдельных аспектов конкретных субъектов хозяйствования.

Свойство прогрессивности подхода объясняется целесообразностью разработки информационной модели не только с целью интеграции различных аспектов информационного обеспечения, но и в дальнейшем для комплексной автоматизации процессов сбора, агрегирования, обработки и передачи информации менеджменту.

Информационные модели различных структурных единиц и уровней холдинга хоть и состоят из пяти блоков, но все же имеют разные модули. Это связано с функциональной структурой участников холдинга. Например, при дивизиональном построении объединения дивизионы "Производство" и "Сбыт" выполняют различные функции и, соответственно, их руководителям нужна разная информация. В то же время применение приведенного подхода позволяет систематизировать информацию внутри холдинга в целом и его структурных единицах и дает возможность для унификации и интеграции различных информационных моделей. Использование блочно-модульного подхода к построению информационной модели холдинга позволит четко систематизировать увеличивающийся поток неструктурированной информации, который является неизбежным следствием при объединении предприятий в единую структуру.

В соответствии с предлагаемым подходом к систематизации экономической информации в холдинге при организации информационной модели компании необходимо разработать систему управленческой отчетности. Целью составления управленческих отчетов является удовлетворение информационных потребностей руководства, т. е. управленческая отчетность предназначена для самого холдинга в лице руководителей всех структурных элементов.

При разработке структуры отчетности холдинга необходимо определить наиболее приемлемый вариант, учитывая разнонаправленные тенденции в корпоративных отношениях: стандартизацию (регламентацию) процедур и предоставление большей самостоятельности.

Формирование системы управленческой отчетности позволит руководству холдинга иметь информацию о ключевых индикаторах деятельности компании с четким определением ответственных за формирование подобных показателей. Таким образом, с разработкой управленческой отчетности руководство компании получает эффективный механизм оперативного анализа и выявления проблемных областей деятельности холдинга, что в свою очередь способствует более быстрой выработке управленческих решений в той или иной сфере деятельности компании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горшкова Л. А.* Анализ организации управления. Аналитический инструментарий. М.: Финансы и статистика, 2003.
2. *Концепция* контроллинга: управленческий учет. Система отчетности. Бюджетирование / Horvath and Partners: Пер. с нем. М.: Альпина Бизнес Букс, 2005.
3. *Манн Р., Майер Э.* Контроллинг для начинающих: Пер. с нем. / Под ред. В. Б. Ивашкевича. М.: Финансы и статистика, 2004.

С. Е. ПАВЛЮЧКОВ, Е. А. РУБЦОВ, В. В. ШИЛОВ
"МАТИ"–РГТУ им. К. Э. Циолковского

Опыт взаимодействия вуза и коммерческой фирмы в подготовке специалистов в области информационных технологий

Информационные технологии (ИТ) являются сегодня неоспоримой доминантой развития цивилизации, их повсеместное внедрение меняет привычные формы жизни буквально на глазах. Понятно, что этот процесс не может не влиять даже на столь традиционно консервативную сферу общества, как образование.

В традиционном вузовском учебном процессе можно выделить три основных составляющих: первая — общая интеллектуальная подготовка, вторая — базовая профессиональная подготовка и, наконец, третья — специализированная профессиональная подготовка. Для каждой специальности и конкретного вуза набор дисциплин, относимых к тому или иному блоку, будет различным, и это естественно — то, что для одного является профессией, для другого не более чем набор любопытных фактов. Даже в пределах одной специальности невозможно провести четких границ между этими блоками: во-первых, многие дисциплины в принципе могут быть отнесены к разным блокам, а во-вторых — один и тот же предмет в зависимости от глубины изучения может включаться в разные блоки. Соотношение дисциплин разных блоков и является ноу-хау вуза, его визитной карточкой.

Общая интеллектуальная подготовка направлена в первую очередь на расширение кругозора студента, формирование у него определенного мировоззрения, знакомство с историей развития научной и технической мысли в областях знаний, связанных с выбранной специальностью, знакомство с общими методами решения задач постижения окружающего мира, разработки и создания машин и механизмов. Для дисциплин этого блока характерны практическая неизменность подаваемой информации, хорошая классификация, устоявшаяся методика преподавания. При внедрении информационных технологий в преподавание дисциплин этого блока в первую очередь необходимы персональные компьютеры с мультимедийными возможностями для построения относительно несложных локальных информационно-поисковых систем, обеспечивающих хранение, поиск и доступ к информации, представленной в виде текстов, графических объектов, видеороликов и звуковых фрагментов. Реализация таких систем вполне по силам самим вузам, в большинстве своем давно уже обладающим значительным парком персональных компьютеров и укомплектованным преподавателями и специалистами достаточной квалификации. Однако уже следующий естественный этап — организация региональных хранилищ информации (на Западе именно университеты стали пионерами в деле их создания) — требует как существенных материальных затрат, в первую очередь на закупку мощной аппаратуры и сложного математического обеспечения, так и высококвалифицированных кадров. К сожалению, в настоящее время потенциал подавляющего большинства отечественных вузов не позволяет им стать центрами внедрения таких технологий в процесс обучения.

Базовая профессиональная подготовка направлена на формирование у студента четкого представления о выбранной специальности. В рамках этой подготовки студент должен овладеть специфическим языком, на котором описываются основные понятия, усвоить важнейшие идеи и постулаты, составляющие базу предметной области, научиться приемам и методам работы, используемым специалистами в настоящий момент, получить углубленное представление о положении дел в смежных дисциплинах. Знания, относящиеся к предметам этого блока, остаются актуальными в среднем в течение 5—15 лет в зависимости от специальности (при этом следует отметить, что содержание дисциплин, связанных с ИТ, меняется еще быстрее). Обычно для данных предметов существует устоявшаяся классификация знаний, а также общепризнанная методика преподавания. Использование информационных технологий в учебном процессе в рамках этого блока аналогично их использованию в преподавании дисциплин общей интеллектуальной подготовки, хотя и имеет некоторые особенности. Эти особенности связаны с тем, что студент уже должен самостоятельно решать некоторые задачи, характерные для его будущей профессии. Следовательно, ему должно быть предоставлено или реальное рабочее место, или его имитация. В обоих случаях альтернативы применению компьютеров и информационных технологий нет. Компьютер — это рабочее место для широчайшего круга специалистов по информатике. В то же время с использованием компьютеров относительно легко строить имитаторы разнообразных рабочих мест, в реальном исполнении не предусматривающих использование информационных технологий (хотя таких становится все меньше и меньше).

Для полноценной реализации всех преимуществ информационных технологий в преподавании предметов блока базовой профессиональной подготовки вузам необходимо, с одной стороны, привлекать ведущих специалистов независимо от места их работы хотя бы для постановки задачи и отработки методики преподавания (не говоря уже о самом преподавании), а с другой — совершенствовать материальную базу. И то, и другое возможно сегодня только при сотрудничестве либо с крупными научными центрами, либо с коммерческими фирмами.

Специализированная профессиональная подготовка предполагает углубленное изучение узкого круга дисциплин, составляющих основу выбранной специализации, причем основное внимание здесь должно уделяться современному состоянию данной области знаний и перспективам ее развития. В связи с быстрым совершенствованием технологий вообще, и информационных технологий в частности, содержание изучаемых курсов данного блока должно обновляться каждые год-два. Из-за столь быстрой смены понятий и приоритетов дисциплины этого блока подчас не имеют отработанной классификации и методики преподавания, что выдвигает повышенные требования к преподавателям в части владения предметом.

Но особенно важно, чтобы в рамках блока специализированной профессиональной подготовки студент приобрел навыки работы по выбранной специальности, опыт работы в коллективе при выполнении реальных проектов. Реализовать это положение для студентов, выбравших специализацию в области информационных технологий, крайне трудно. Большая часть вузов не имеет возможности привлекать сту-

дентов к участию в серьезных реальных проектах. Поэтому они заменяются описанием или (в лучшем случае) моделированием упрощенных задач. Выход состоит во всемерном привлечении к обучению студентов коммерческих фирм. Реальность такова, что именно там сегодня сосредоточены наиболее квалифицированные специалисты, способные передать студенту свой опыт, именно там ведутся серьезные практические проекты, основанные на новейших технологиях, именно там можно приобрести опыт работы в рыночных условиях и понять, какие знания и умения действительно ценятся и востребованы на рынке.

В свою очередь, серьезные коммерческие фирмы заинтересованы в сотрудничестве с вузами. Конечно, первоначально эта деятельность является для фирмы затратной, и многие руководители до сих пор полагают, что проще нанять готового специалиста. Однако затраты на работу со студентами окупаются быстро: сегодняшний студент обычно очень быстро становится хорошим работником, причем чаще всего его психология выгодно отличается от психологии пришедшего со стороны сотрудника. При этом, конечно, принимающая у себя студентов фирма имеет возможность присмотреться к ним и выбрать лучших для дальнейшей работы.

Удачным примером такого сотрудничества может служить совместная работа кафедры "'Проектирование вычислительных комплексов" (ПВК) "МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского и известной фирмы-разработчика программного обеспечения ЗАО "ИНИСТЭК", участника партнерской программы компании Microsoft — EMPOWER for Independent Software Vendors (Программа для независимых разработчиков решений на платформе Microsoft).

ЗАО "ИНИСТЭК" с 1995 г. осуществляет разработку корпоративных информационных систем для производственных предприятий и автоматизированных систем управления технологическими процессами. За этот период в ней были созданы несколько оригинальных программных систем, в числе которых:

— ERP-платформа "Апрель", предназначенная для построения систем управления;

— система "Пульс", предназначенная для управления производственными предприятиями;

— система "Структура — персонал — задания", предназначенная для организации управления в учебных заведениях, государственных учреждениях и др.

В настоящее время корпоративные информационные системы, разработанные ЗАО "ИНИСТЭК", внедрены более чем на 60 предприятиях легкой промышленности Москвы и других регионов.

Кроме того, ЗАО "ИНИСТЭК" успешно работает в области создания и внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами. Ее клиентами являются, в частности, Ракетно-космическая корпорация "Энергия" им. С. П. Королева и Музей Великой Отечественной войны на Поклонной горе.

Практически с самого момента своего основания ЗАО "ИНИСТЭК" тесно сотрудничает с кафедрой ПВК. Это сотрудничество осуществлялось в различных формах, которые менялись и совершенствовались со временем. В итоге те из них, которые наилучшим образом зарекомендовали себя, были зафиксированы в договоре о сотрудничестве, подписанном ректором МАТИ и генеральным директором ЗАО "ИНИСТЭК". В договоре констатирована взаимная заинтересованность сторон в сотрудничестве при подготовке в университете специалистов по специальности "Информатика и вычислительная техника". Было определено, что базовым подразделением, ответственным за осуществление такой работы, станет кафедра ПВК экономического факультета МАТИ.

Договор, с одной стороны, предполагает активное участие сотрудников, студентов и аспирантов кафедры ПВК в производственной и научно-технической деятельности ЗАО "ИНИСТЭК". С другой стороны, договор предполагает оказание сотрудниками фирмы помощи кафедре в организации и проведении специальных и дополнительных учебных курсов на территории и на оборудовании ЗАО "ИНИСТЭК". Кроме того, ведущие сотрудники фирмы проводят для студентов и преподавателей кафедры семинары по актуальным вопросам использования информационных технологий. Это должно способствовать обеспечению при подготовке специалистов по направлению "Информатика и вычислительная техника" сочетания фундаментального характера учебного процесса и профессиональной ориентированности.

Студенты кафедры ПВК, начиная с 4-го курса, привлекаются к выполнению работ по тематике ЗАО "ИНИСТЭК", для них организуется прохождение производственной практики, обеспечивается помощь в выборе тем выпускных квалификационных и дипломных работ, подборе материалов в соответствии со спецификой производственной деятельности фирмы.

Следует отметить, что помимо базового договора, определяющего основные рамки и формы взаимодействия университета и ЗАО "ИНИСТЭК", отношения между субъектами сотрудничества регулируются дополнительно подписываемыми индивидуальными соглашениями. В частности, с каждым студентом, направляемым в ЗАО "ИНИСТЭК" для прохождения преддипломной практики, заключается договор о стажировке.

Прохождение преддипломной практики и подготовку выпускной квалификационной или дипломной работы стажер выполняет в одном из структурных подразделений фирмы. Ему назначается соруководитель работы из сотрудников ЗАО "ИНИСТЭК". За время стажировки студент при решении конкретных производственных задач приобретает практические профессиональные навыки, осваивает современные технологии и методы работы, получает опыт работы в составе коллектива.

После достижения стажером достаточных квалификации и степени самостоятельности в выполнении конкретных работ по представлению его руководителя со стажером заключается либо дополнительное соглашение, либо стандартный контракт, определяющие размер оплаты выполняемых им работ. При этом заработную плату стажер получает в соответствии с конкретными результатами работ и их качеством исходя из норм производительности и расценок, действующих для штатных сотрудников, выполняющих аналогичную работу.

На период преддипломной практики для студентов устанавливается индивидуальный гибкий распорядок рабочего времени, позволяющий совмещать учебу с работой. После окончания преддипломной стажировки рассматриваются возможности и варианты дальнейшего трудоустройства на фирме (при этом время обучения засчитывается в установленный законодательством испытательный срок).

Взаимная заинтересованность всех сторон в сотрудничестве позволила наладить систематическую работу по подготовке студентов. Если за период с 1995 по 2003 гг. в ЗАО "ИНИСТЭК" работали всего около 20 студентов кафедры ПВК, то в 2004—2005 учебном году преддипломную практику прошли 6, а в 2005—2006 5 студентов 4-го курса.

За время сотрудничества по результатам работ, выполненных студентами кафедры ПВК в ЗАО "ИНИСТЭК", написаны и защищены 14 выпускных квалификационных работ бакалавров и дипломных работ специалистов, 2 магистерские диссертации, подготовлена к защите кандидатская диссертация. По результатам работ студентами кафедры сделаны более 20 докладов на Гагаринских чтениях, а также опубликованы несколько статей в научных журналах.

Альтернативы взаимодействию коммерческих фирм с ведущими вузами страны при подготовке высококвалифицированных кадров в настоящее время нет. И чем скорее партнеры сделают шаг навстречу друг другу, тем быстрее Россия сможет сполна воспользоваться плодами современной технологической революции.

Содержание зарубежных журналов[1]

American Machinist
(N 8, Vol. 149, 2005, США)

Bates Ch. Охлаждающая жидкость, с. 32, 34, 36, ил. 2.

Замена минерального режущего масла синтетическим произошла намного быстрее, чем применение рафинированного режущего масла вместо водной эмульсии при обработке металлов резанием. Рассмотрены синтетические масла SintoGrind и IonoGrind, обеспечивающие увеличение стойкости шлифовального круга на 50 %. Кроме того, эти СОЖ интенсифицируют съем обрабатываемого материала при шлифовании за счет повышения эффективности работы абразивных зерен шлифовального круга.

Вертикальные обрабатывающие центры, с. 47, ил. 1.

Фирма Fadal Machining Centers (США) выпускает станки серии 6535 для обработки автомобильных деталей, которые оснащаются системами ЧПУ Fanuc 18i-MB5 или Siemens 840D. Мод. 6535s имеет С-образную станину с направляющими скольжения, что обеспечивает высокие демпфирующую способность конструкции и точность обработки при тяжелых режимах резания.

Фрезерно-токарные центры, с. 48, ил. 1.

Описывается фрезерно-токарный центр Quest LMC 42 фирмы Hardinge Inc. (США), оснащенный тремя шпинделями, двумя револьверными головками и магазином на 24 инструмента. Станок предназначен для полной обработки деталей с одного установа.

Режущие пластины для обработки сталей и чугуна, с. 51.

Описаны токарные многогранные режущие пластины Tiger tec фирмы Walter AG, состоящие из твердосплавной основы трех типов и многослойного покрытия и предназначенные для эффективной обработки стали. Пластины отличаются высокой стойкостью, повышенной производительностью и высокой надежностью. В отличие от золотистых пластин для обработки чугуна у новых пластин золотистой выполнена только задняя поверхность.

Станок с ЧПУ для шлифования коленчатых валов, с. 54.

Станок Fucrank 6000 фирмы Erwin Junker Maschinenfabrik (Германия) предназначен для одновременного шлифования двух коренных или шатунных шеек коленчатых валов с помощью двух независимых бабок, несущих нитридборовые круги. Зажимаются валы длиной до 1500 мм, наибольшая длина шлифования 1400 мм.

(N 10, Vol. 149, 2005, США)

Токарный обрабатывающий центр для авиастроения, с. 57, ил. 1.

Описывается центр MacTurn 550, выпускаемый фирмой Okuma America Coro (США) и предназначенный для обработки деталей самолетов, строительных конструкций и деталей сложной формы. При использовании управляемой координаты *B* обрабатываются наклонные плоскости и возможно фрезерование торцев, причем деталь может одновременно обрабатываться верхней и нижней револьверными головками, в том числе при перемещениях по оси *Y*.

Вертикальный обрабатывающий центр для обработки форм и штампов, с. 57, ил. 1.

Центр V33 фирмы Makino предназначен для обработки форм и штампов и характеризуется высокой жесткостью и виброустойчивостью шпиндельного узла, в том числе на высоких частотах вращения и при фрезеровании глубоких полостей. Верхний предел частоты вращения шпинделя составляет 30 000 мин$^{-1}$.

Эффективность новой СОЖ, с. 58, ил. 1.

Описывается СОЖ Cimcool Quantalube 270 XL для шлифовальных операций фирмы Milacron. Она обеспечивает эффективность применения, подобную эффективности чистого масла. По сравнению с растворимыми или синтетическими маслами новая СОЖ способствует повышению стойкости шлифовального круга до 4 раз, повышает производительность процесса шлифования по сравнению с использованием обычных СОЖ на водной основе.

Вырезной электроэрозионный станок с низкой головкой, с. 58, ил. 1.

Фирма Charmilles усовершенствовала разрезной электроэрозионный станок Pobofil 240, работающий проволочным электродом, создав станок Pobofil 240SL, характеризующийся более низкой головкой, соединенной с симметричными столами, функционирующими по осям *XY* и *UV*. Такой станок позволяет обрабатывать на деталях конические поверхности с углами до 30° на полной высоте детали.

(N 11, Vol. 149, 2005, США)

Режущие пластины, с. 49, 50, ил. 2.

Фирма Greenleaf предлагает керамические режущие пластины, армированные волокнами, обеспечивающие износостойкость и стойкость при тепловых нагрузках при высокой скорости резания. Они эффективны при обработке различных труднообрабатываемых материалов, в том числе при обработке сварных швов. Скорость резания и подача при этом увеличиваются до 5 раз по сравнению с твердосплавными пластинами.

Bänder-Bleche-Rohre
(N 10, Vol. 46, 2005, Германия)

Hoffmann M. Портальные установки для лазерной сварки, с. 55—57, ил. 5.

Основанная в 1988 г. фирма Erlas-Erlanger Lasertechnik (Германия) разработала специализированную портальную установку для получения кольцевых сварных швов диаметром до 7 м и длиной до 150 м при герметизации технологических каналов в оборудовании химической и пищевой промышленности. Установка работает по запатентованному технологическому режиму. Вторая портальная установка с перемещениями по главным осям 7900, 3000 и 700 мм имеет две лазерные головки мощностью по 4 кВт и отличается малым вспомогательным временем.

Cutting Tool Engineering
(N 10, Vol. 57, США)

Badger J. Правка шлифовального круга алмазным роликом, с. 26, ил. 1.

Приведен ряд рекомендаций, относящихся к правке шлифовального круга алмазным роликом для возможности последующего использования круга при черновом или чис-

[1]Раздел подготовлен инж. Г. С. Потаповой (по вопросам получения материалов обращаться по тел./факсу: (495) 611 21 37, e-mail: stankoinform@mail.ru).

товом шлифовании, при устранении прижогов поверхности конкретных шлифуемых деталей (в данном случае сопл).

Cutting Tools Engineering (N 11, Vol. 57, 2005, США)

Режущие инструменты для шпоночных канавок, с. 19.

Фирма Command Tooling Systems предлагает различные режущие инструменты и соответствующую оснастку для обработки с подачей СОЖ в зону резания по оси инструмента, что увеличивает производительность. Комбинированный инструмент обеспечивает обработку шпоночных канавок в отверстиях диаметром до 12,7 мм с одновременными токарной обработкой и/или растачиванием отверстий.

Концевые фрезы, с. 32.

Описываются концевые фрезы MaximazeR® фирмы Ion-Bond с многослойным защитным покрытием, отличающиеся высокой стойкостью. Фрезы эффективны при непрерывном и прерывистом резании, идеально подходят для обработки без охлаждения и плохо обрабатываемых материалов. Они отличаются исключительно высокой жаропрочностью и вязкостью и обеспечивают высокое качество обработанной поверхности.

Универсальный инструмент, с. 39.

Фирма Keo Cutters предлагает простой и универсальный инструмент для обработки фасок диаметром от 3 до 26 мм и снятия заусенцев в отверстии. Инструмент особенно эффективен при обработке алюминия, пластика и других неметаллических материалов.

Концевые фрезы для обработки алюминия, с. 59, 64, ил. 2.

Описываются различные концевые фрезы для обработки алюминия, жаропрочных сплавов и графита. Фирма New Tech Cutting Tools предлагает твердосплавные концевые фрезы SwiftCarbCNC™. Они имеют две или три стружечных канавки, длина которых может варьироваться. Фрезы работают с увеличенными скоростью резания и подачей и отличаются большой стойкостью, что обеспечивает зеркально чистую обработанную поверхность и прямые стенки. Фирма Melin Tool предлагает высокопроизводительные твердосплавные концевые фрезы, имеющие четыре или пять винтовых стружечных канавок с переменным углом подъема винтовой линии.

Высокопроизводительный шлифовальный станок, с. 76, ил. 1.

Фирма Rollomattc предлагает шлифовальный станок GrindSmart11 620 XS для шлифования резьбы и расточных оправок для обработки кольцевых канавок. Станок отличается высокой производительностью при комплексной обработке (цикл обработки от заготовки до готового инструмента 3 мин) и малым радиусом скругления угловых участков (всего 0,05 мм). Эффективность станка повышается за счет роботизированного устройства для загрузки и разгрузки обрабатываемых деталей.

Устройство для соединения мелких режущих инструментов, с. 132.

Фирма Command Tooling Systems предлагает устройство для соединения инструментов диаметром до 3 мм с соответствующим цилиндрическим хвостовиком. Описывается технология соединения, обеспечивающая максимальное усилие, точность закрепления и возможность качественной балансировки собранного инструмента. Собранные таким образом инструменты эффективны при высокоскоростной обработке резанием вязких материалов.

Cutting Technology (N 4, Vol. 6, 2005, США)

Технология обработки миниатюрных деталей, с. 16, 17.

В технологическом центре института в Атланте (США) станки для обработки миниатюрных деталей установлены на виброизолированных столах и заключены в камерах, защищенных от воздействия окружающей среды, что предотвращает колебание температуры. В лаборатории центра установлены шестикоординатные станки, на которых осуществляются сверление, фрезерование и шлифование. Используются цельные твердосплавные инструменты, которые изготовляются средствами ионно-лучевой обработки, что придает им повышенную износостойкость.

DIMA (Die Maschine) (N 2, Vol. 60, 2006, Германия)

Круглопильные станки фирмы Ksato для автомобильной промышленности, с 16, ил. 4.

Описываются круглопильные станки, предназначенные для предприятий автомобильной промышленности, производящих крупносерийные детали из прутков. Станки-автоматы KASTOspeed 9 и KASTOspeed 14 комплектуются дисковыми пилами диаметром 250 мм и толщиной 2 мм с числом зубьев 80 для разрезания на мерные заготовки прутков диаметром 15—90 и 40—140 мм. Время отрезания составляет 5,7 с, стоимость одного реза — 0,005 евро. Станки могут дополнительно комплектоваться устройствами для контроля качества и доработки концов заготовок.

Высокопроизводительный ленточнопильный станок, с. 17, ил. 1.

Фирма Hans Kaltenbach Maschinenfabrik (Германия) реализует программу разработки ленточнопильных станков. Высокопроизводительный станок KBC обладает высокой жесткостью, что благоприятно сказывается на стабильности его параметров и правильности реза ленточным полотном. Станок способен разрезать трубы и профили из различных материалов сечением 400 × 350 мм. Применение электропривода с регулируемой частотой вращения позволяет изменять скорость резания и подачу, а использование ЧПУ — число отрезаемых заготовок.

Маслоуловители, с. 27, ил 1.

Фирма Rentschler Reven выпускает многоступенчатые маслоуловители типа UC Compact, специально разработанные для обслуживания обрабатывающих центров и легко адаптирующиеся к меняющимся параметрам их работы. Они надежно улавливают частицы масла с размерами менее 1 мкм, а также пыль и даже запахи. На фирме ZF Getnebe ими укомплектованы обрабатывающие центры MPC H250 (фирма Heller), на которых они очищают еженедельно 10—150 л СОЖ и возвращают ее в оборот.

Зажимное приспособление, с. 35, ил. 1.

Приведено описание ручного зажимного приспособления фирмы Kipp (Германия), которое позволяет экономить время и средства при изготовлении и сборке мелкогабаритных деталей. Особенностью конструкции приспособления является наличие эксцентрика, увеличивающего зажимное усилие при его поворачивании, величина которого достигает 4—6 кН. Приспособление позволяет зажимать трубы и детали с внутренней и наружной резьбой.

Устройство подачи крепежных деталей, с. 56, ил. 1.

Фирма Böllhoff Schraubtechnik GmbH (Германия) представила семейство качающихся конвейеров для подачи на сборочные позиции крепежных деталей, в частности винтов и шурупов. Питатель Umquick имеет сортировочный блок из

пластмассы и спиральную подающую линию. Эти узлы питателя являются малошумными, благодаря большому числу пластмассовых деталей в их конструкции. Так как питатель Uniquick имеет модульную конструкцию, он может найти применение во многих отраслях промышленности.

Fertigung
(N 9, Vol. 32, 2005, Германия)

Обрабатывающий центр C 30 U/P фирмы B. Hermle AG, с. 12—14, ил. 6.

Описываются центры C 30 U/P, выпускаемые фирмой B. Hermle AG для изготовления из деформируемых алюминиевых сплавов рабочих колес диаметром 120—450 мм к большим судовым и автомобильным дизелям. Это позволило сократить время изготовления колес на 50 %. Центры имеют стол диаметром 630 мм с ЧПУ, систему сменных поддонов, позволяющую полностью автоматизировать обработку, магазин на 117 инструментов, главный шпиндель мощностью 23 кВт и частотой вращения до 28 000 мин$^{-1}$.

Обрабатывающий центр для изготовления украшений, с. 16—18, ил. 4.

Фирма Haager Gold—Fournituren GmbH & Co. KG занимается производством украшений и фурнитуры из драгоценных металлов, коррозионно-стойких сталей и других высококачественных материалов. Ею был приобретен обрабатывающий центр W-40B MT фирмы Willemin-Macodel SA, отличающийся высокой точностью, надежностью, компактностью. Частота вращений токарного шпинделя 6000 мин$^{-1}$, фрезерного — 30 000 мин$^{-1}$, перемещение по осям *X*, *Y* и *Z* — 250, 200 и 300 мм. Длина заготовок при этом 1—20 мм, серийность — 100—100 000 шт.

Новый зубофрезерный станок Gleason, с. 50.

Фирма Cleason (США) изготовила станок P 90 G, предназначенный для фрезерования обкатом и профильного шлифования. Шпиндели имеют непосредственный привод; занимаемая площадь 3,5 м^2.

Повышение мер безопасности при работе станков с вертикальными осями, с. 116—118, ил. 1.

В станках с вертикальными осями существует опасность несчастного случая при отказе моторного тормоза: ось продолжает опускаться под действием силы тяжести, угрожая травмой персоналу, если он находится в ее зоне. Несколько таких случаев послужили причиной требования профсоюзов разработать меры безопасности. В качестве такой меры фирма Chr. Mayr GmbH & Co. KG предлагает использовать разработанные ею тормоза серии Рова в различных исполнениях, которые без особых проблем встраиваются в станки.

(N 10, Vol. 32, 2005, Германия)

Вместо специальных отходов — ценное сырье, с. 60. ил. 2.

Фирма MKR Metzger Recyclingsysteme разработала установку MRK-VC-200, с помощью которой образующийся при шлифовании шлам очищается от остатков СОЖ и обезвоживается до остаточной влажности менее 10 %. В таком виде он превращается из депонируемых с большими затратами отходов в металлолом, пригодный для переработки. Установка легко монтируется на действующих станках.

(N 11, Vol. 32, 2005, Германия)

Новый прецизионный станок для микрообработки, с. 46, 47, ил. 1.

Специализирующаяся в области микрообработки фирма Kern Micro- und Feinwerktechnik GmbH & Co. KG выпустила станок Pyramid Nano с максимально возможной точностью позиционирования по осям 0,1 мкм и шероховатостью поверхности менее 0,05 мкм. Такие параметры в значительной степени обусловлены гидростатическими приводами, создающими между контактирующими поверхностями масляную пленку толщиной 15 мкм. Размеры рабочего пространства увеличены до 500 × 500 × 300 мм. Станок комплектуется фрезерными шпинделями HSK 25 и HSK 40 мощностью 6,4 и 11,0 кВт и частотой вращения 500—50 000 и 200—36 000 мин$^{-1}$. Холодильник поддерживает температуру масла и СОЖ с точностью до ±0,25 °С.

Многоцелевой фрезерный станок для высокоэффективной обработки, с. 55, ил. 1.

Сообщается о новом высокоскоростном пятикоординатном станке a61-5XR фирмы Makino. Станок имеет станину из чугуна Meebanit большой жесткости, что позволяет производить обработку с высокой точностью. На станке можно обрабатывать детали массой до 700 кг. Размеры рабочего пространства 730 × 650 × 75 мм. Размеры приспособлений-спутников 500 × 500 мм. Прецизионный шпиндель вращается с частотой до 20 000 мин$^{-1}$, мощность на шпинделе 18,5 кВт.

Industrial Diamond Review
(N 1, 2006, Великобритания)

Усовершенствованная технология шлифования кулачковых валов, с. 15, ил. 1.

Сообщается об опыте фирмы Ford Motor, применившей для шлифования кулачковых валков круги из КНБ, поставляемые фирмой Tyrolit. На этом заводе производство кулачковых валов возросло на 40 % и составило 1,4 млн шт. Значительно повысилось качество поверхности шлифованных валов и их точность. Длительность обработки требуемой поверхности сократилась с 124 до 112 с, а затраты на потребление электроэнергии — на 12 %. Новые круги из КНБ позволяют потреблять на 60 % меньше энергии шпинделя, чем обычные круги. Кроме того, такие круги более эффективно демпфируют вибрации, хорошо правятся, имеют повышенную стойкость, что снижает себестоимость деталей, общая экономия на фирме составила 300 000 евро.

Maschine und Werkzeug
(N 9, Vol. 106, 2005, Германия)

Фрезерование деталей сложного профиля, с. 88, ил. 4.

Приведены практические примеры применения фрез для фрезерования деталей сложного профиля, деталей из сталей и сплавов для ковочных, гибочных и других штампов массой до 20 т. Технология обработки заготовок согласуется с поставщиками режущего инструмента, основным среди которых является фирма Paul Horn.

Вертикальный обрабатывающий центр Vertex 550-5X, с. 268.

Описывается обрабатывающий центр Vertex 550-5X, выпускаемый фирмой Toyoda Mitsui, который отличается компактностью, имеет сверхжесткую станину, пригоден для одновременной обработки с пяти сторон титановых заготовок.

Международная выставка "Интертул. Экспосварка. Мера–2006"

ЭКСПОЦЕНТР

7—10 ноября 2006 г. в ЦВК "Экспоцентр" в Москве прошла международная выставка "Интертул. Экспосварка. Мера—2006", организованная австрийской фирмой M.S.I. Fairs & Exhibition и российским АО "Евроэкспо" при содействии ЗАО "Экспоцентр''. Свою продукцию на выставке демонстрировали около 800 отечественных и зарубежных производителей и дистрибьюторов. Экспозиционная площадь выставки составила 9000 м^2.

Ниже приведем краткое описание некоторых разработок, демонстрировавшихся на выставке предприятиями-разработчиками и вызвавших большой интерес у специалистов.

АО "АвтоВАЗ" (г. Тольятти) — различное технологическое оборудование:

— *автомат* для обработки галтелей коренных шеек коленчатого вала (обработка всех шеек производится одновременно). Загрузка и разгрузка автомата производится портальным манипулятором в автоматическом режиме. Для выбора оптимальных режимов резания предусмотрена плавная регулировка оборотов шпинделя и рабочих подач инструмента. Шпиндельный патрон с плавающими кулачками и подвижным центром оснащен устройством для гашения возникающего в процессе обработки дисбаланса. Шпиндельная бабка имеет встроенный двухступенчатый редуктор с усиленными шпиндельными подшипниками. Ориентирующее устройство применяется для установки шеек коленчатого вала относительно инструмента. Трехроликовый люнет с подвижными роликами служит дополнительной промежуточной опорой. Все рабочие узлы установлены на сварном основании, на котором смонтированы резервуар с охлаждающей жидкостью (~200 л) и конвейер для уборки стружки. Шкаф управления и гидростанция размещены отдельно от автомата. Производительность автомата при 85 %-ном использовании составляет 40 деталей в час, частота вращения шпинделя до 355 мин$^{-1}$, мощность привода главного движения 13,5 кВт. Автомат оснащен четырьмя суппортами с ходом 125 мм. Смазка суппортов и шпиндельных подшипников — импульсная централизованная;

— *универсальный промышленный робот ПР 350* шарнирного типа, имеющий шесть степеней подвижности. Такой универсальный ПР применяется при контактной сварке, складировании и транспортировке грузов. Кинематическая конструкция манипулятора ПР оптимизирует его положение относительно обрабатываемой детали или заготовки. Долговечная смазка подвижных узлов манипулятора требует замены через 20 000 ч эксплуатации. Для расширения рабочей зоны ПР может быть смонтирован удлинитель "руки" длиной 200 или 400 мм. Максимальная скорость перемещения манипулятора ПР не менее 154 °/с. Наибольшая погрешность позиционирования ± 0,35 мм. Общая установленная мощность привода ПР 52 кВт;

— *магнитно-импульсная установка* (рис. 1) для сварки, формовки, сборки, резки, опрессовки и редуцирования тонкостенных трубчатых деталей любых диаметров с толщиной стенки 0,5—5,0 мм. Установка качественно сваривает трубчатые детали из однородных и разнородных материалов, плохо свариваемых или не свариваемых традиционными способами сварки (Al + Al, Al + Cu, Al + Fe, Cu + Fe и т. п.). Опытные образцы карданного вала автомобиля с трубой из алюминиевого сплава, сваренные на установке, выдерживают максимальный крутящий момент 2500 Н · м, при этом разрушение происходит по основному материалу. Производительность установки 2—20 циклов/мин, удельные энергозатраты при сварке 20—30 Дж/мм^2, питающее напряжение 380 или 220 В;

Рис. 1. Магнитно-импульсная установка

— *технологический комплекс ультразвуковой сварки листовых пластмасс* (рис. 2) — малогабаритный компактный ультразвуковой генератор с комплектом необходимых устройств для мелкосерийного производства, клепки и точечной сварки деталей различной конструкции. Комплекс прошел производственные испытания, удобен и безопасен в работе. Питающее напряжение 220 В, потребляемая мощность 0,85 кВт, габаритные размеры 285 × 380 × 180 мм, масса 8 кг;

— *безвольфрамовая горелка для дуговой сварки и поверхностной термической обработки железоуглеродистых сплавов* для сварки и наплавки алюминиевых сплавов электрической дугой прямого действия постоянным током обратной полярности. Горелка особенно эффективна при наплавке загрязненной поверхности, например при ремонтной наплавке деталей двигателей из алюминиевых сплавов.

Рис. 2. Технологический комплекс ультразвуковой сварки листовых пластмасс

Специальная подготовка детали под наплавку не требуется. Горелка также применяется и для поверхностной термической обработки изделий из железоуглеродистых сплавов, чугунов, например поверхностного отбела рабочих поверхностей распределительных валов двигателей внутреннего сгорания, изготовленных из любого чугуна, закалки пуансонов. Горелка стабильно работает совместно с любыми источниками постоянного тока с подающей вольт-амперной характеристикой и предназначенными для сварки методами TIG и MMA. Максимальный ток при ПВ = 60 % до 350 А, возбуждение дуги — бесконтактное, длина дуги 3—7 мм, стойкость электрода не менее 4 ч, масса горелки 0,2 кг;

— *сварочные пистолеты* (рис. 3) для подачи и сжатия электродов вместе с рычагами во время сварки в оснастке сварочного и технологического оборудования (сварочные машины и автоматические линии). Сварочные пистолеты по сравнению с традиционными механизмами привода обладают высокой точностью, отличаются низким уровнем шума, большой долговечностью (не менее 300 000 двойных ходов) и позволяют получать более широкий диапазон усилий. Ступенчатые усилия в процессе сварки обеспечивают плавность и долговечность. Пневмопистолеты работают на сжатом воздухе (давление 0,15—1,00 МПа) при темпера-

Рис. 3. Сварочные пистолеты для подачи и сжатия электродов вместе с рычагами во время сварки

туре 10—40 °С. Сжатый воздух, подаваемый в рабочие полости пистолета, должен быть насыщен распыленным маслом из расчета две-три капли на 1 м^3 свободного воздуха, поступающего в пневмопистолет. При высоких температурах окружающей среды рекомендуются сорта масел с повышенной вязкостью, при низких — с пониженной.

ООО "Ручной инструмент" (Москва) — ручной инструмент, разработанный за рубежом:

— *буры SDS-Plus* по бетону, дереву и металлу (Дания), имеют специальную геометрию режущей кромки твердосплавной напайки (карбид вольфрама), обеспечивают легкое центрирование и быстрое сверление в бетоне, железобетоне и граните;

— *газовые и разводные ключи* (Швеция) из высоколегированной специальной стали;

— *кольцевые биметаллические пилы* (Швеция) с закаленными зубьями из высоколегированной быстрорежущей стали, позволяют достичь максимальной производительности при пилении любых материалов (от дерева до коррозионно-стойкой стали);

— *отвертки ВАНСО* — более легкие и удобные, чем любые другие. При использовании таких отверток значительно снижаются мускульное усилие и риск получения травм;

— *плоскогубцы и кусачки слесарные для электроники и точной механики* (Великобритания), изготовленные из легированных сталей в сочетании с тщательной термической обработкой для получения необходимой прочности, твердости и износостойкости режущих кромок и зажимающих поверхностей.

ЗАО "ЭЛМИД-ТЕХНО" (Москва) — новое сварочное и другое оборудование, разработанное за рубежом:

— *мультисистема ESSETI-INOXA-350* для аргонодуговой постоянным током TIG- и и MMA-сварки. Возможна комплектация мультисистемы функцией механизированной MIG/MAG-сварки с импульсным режимом для сварки тонких листов алюминия. Имеется возможность записи в память и использования до 480 программ, регулировки любых сварочных программ. Инверторные источники сварочного тока контролируются мощным микропроцессором. Габаритные размеры мультисистемы 470 × 1000 × 720 мм, масса 73 кг;

— *установка "Плазар"* (рис. 4) — многофункциональный термоплазменный инструмент, выгодно отличающийся от газо- и электросварочных аппаратов. Применяется для разделительной, поверхностной и копьевой (образования отверстий) резки, плавления и локального нагрева черных и цветных металлов, бетона, камня и других материалов. Можно использовать для пайки, пайкосварки и сварки различных металлов и неэлектропроводных материалов. Пределы регулирования тока дуги 4—8 А, рабочее напряжение 110—190 В. Время непрерывной работы горелки (ток дуги 6 А, диаметр сопла 1 мм, напряжение до

Рис. 4. Установка "Плазар"

Рис. 5. Мобильный агрегат МАВР-150 для воздушно-плазменной резки

160 В) не менее 25 мин. Рабочая жидкость для резки — дистиллированная вода (ТУ 6-97-48—91); для сварки и пайки — раствор ацетона, этилового спирта в дистиллированной воде. Номинальный объем рабочей жидкости, заправляемой в горелку, 80 мл. Режим работы — повторно-кратковременный. Время достижения установившегося теплового состояния горелки не более 3 мин.

Скорость разделительной резки для различных сплавов приведена в таблице.

Материал	Толщина, мм	Скорость резки, мм/с
Сталь:		
08кп	1,5	3,33—6,00
	3,0	0,85—1,03
10	3,0	1,36—2,20
	5,0	0,47—0,88
Ст3	7,0	0,25—0,34
Х18Н10Т	1,2	2,00—3,30
	3,0	1,21—2,10
Сплав:		
АМг	1,2	2,50—3,33
ВТ6	10,0	6,90—8,00

Габаритные размеры горелки 60 × 190 × 190 мм, масса 0,7 кг;

— *мобильный агрегат МАВР-150 для воздушно-плазменной резки* (рис. 5) для ручной и автоматизированной резки низкоуглеродистых, коррозионно-стойких сталей, алюминия и других металлов толщиной до 50 мм. Источник питания агрегата выполнен на основе оригинальной схемы высокочастотного транзисторного инвертора. Входное напряжение мобильного агрегата 380 В ± 15 %, выходной ток для 1—3-й ступеней 50, 100 и 150 А соответственно. Потребляемая мощность не более 25 кВт. Поджиг дуги агрегата производится осциллятором. Имеется защита от перегрузок. Благодаря блочной конструкции осуществляется легкий доступ к элементам агрегата при его ремонте и техническом обслуживании. Возможна работа от автономного источника электропитания мощностью 30 кВт. Габаритные размеры агрегата 400 × 280 × 600 мм, масса 45 кг;

— *полуавтомат А-547УМ-4* для дуговой сварки в монтажных условиях низкоуглеродистых, низко- и среднелегированных коррозионно-стойких сталей сплошной и порошковой проволокой постоянным током в углекислом газе и смесях. Полуавтомат укомплектован экономичным, малогабаритным инверторным выпрямителем ВДУЧ-350 МАГ. Механизм подачи вместе с кассетой для электродной проволоки и отсекателем газа смонтирован в корпусе типа "чемодан". В механизме подачи применен электропривод на базе двигателя Д-90 с редуктором и универсальным протяжным устройством с двумя парами роликов с зубчатым зацеплением, что обеспечивает надежную равномерную подачу сплошной или порошковой сварочной проволоки. На панели управления расположены плавный регулятор сварочного напряжения и двухступенчатый плавный регулятор скорости подачи проволоки. Питание механизма подачи осуществляется от сварочного напряжения (дуги), что обеспечивает повышение устойчивости процесса и стабильность режима сварки при незначительном разбрызгивании, а также упрощает процесс настройки. Питающее напряжение полуавтомата 5—36 В, потребляемая мощность не более 130 Вт, скорость подачи электродной проволоки 30—700 м/ч, диаметр сплошной электродной проволоки 0,8—1,6 мм, порошковой — 1,2—2,6 мм. Габаритные размеры полуавтомата 420 × 282 × 131 мм, масса 10 кг;

— *термоиндикаторный маркер THERMOMELT* (рис. 6) для контроля температуры поверхности при проведении предварительного и сопутствующего подогрева сварных соединений, термической обработки малогабаритных металлических изделий, валов, листового металла, труб, металлообрабатывающего инструмента. Маркер представляет собой стержень из лакополимерного композита, вмонтированный в металлический корпус, снабженный карманным держателем. Материал стержня плавится при определенной температуре, так называемом номинале маркера. Для определения момента достижения определенной температуры на контролируемую поверхность наносят метку термоиндикаторным маркером соответствующего номинала. Метка получится сухой и рассыпчатой. Когда температура поверхности достигнет значения, соответствующего номиналу маркера, метка быстро расплавится и превратится в глянцевый мазок. Глянцевый вид мазка со-

Рис. 6. Термоиндикаторный маркер THERMOMELT

хранится и после охлаждения поверхности. На изменение цвета метки обращать внимание не следует, поскольку критерием, определяющим температуру поверхности, является начало плавления метки.

Московский государственный индустриальный университет — оригинальные разработки:

— *автоматизированная система MSUI Rond Wave* (рис. 7) для измерения и анализа отклонения от окружности, а также волнистости торцовой поверхности деталей машин. Система построена по модульному принципу и состоит из кругломера Talyrond 200, аналого-цифрового преобразователя, интерфейсных кабелей и ПК с пакетом прикладных программ. Она позволяет проводить измерение и анализ отдельных круглограмм (боковых или торцовых) поверхности деталей вращения или трехмерного образа их торцовой поверхности. Время измерения одного профиля 25 с. Питающее напряжение кругломера 220 В;

— *малогабаритная система измерения и оценки шероховатости поверхности HW-MSIU T500P*, также построенная по модульному принципу и состоящая из профиломера, зарядного устройства, интерфейсного кабеля и карманного ПК. Встроенное программное обеспечение позволяет проводить оценку параметров и графический анализ шероховатости поверхности. Результаты измерений профиля сохраняются в энергонезависимой памяти карманного ПК и передаются на стационарный ПК через инфракрасный порт. Питание профиломера от батарейки напряжением 9 В.

Рис. 7. Автоматизированная система MSIU Rond Wave

Фирма Rothenberger (Германия) — различный профессиональный инструмент:

— *универсальный трубогиб Robend H + W* для точной холодной гибки до 180° мягких и твердых медных, медных в оболочке, тонкостенных стальных, алюминиевых, латунных и коррозионно-стойких труб. Точная гибка происходит без деформации и образования складок в тисках (трубы диаметром 8—22 мм), ручная гибка — при помощи дополнительной рукоятки (трубы диаметром до 18 мм);

— *переменный электрический трубогиб Robend 3000* для монтажных работ, при достижении заданного угла гиба (180°) происходит автоматическое отключение. Рекомендован к применению при гибке медных, латунных и коррозионно-стойких труб диаметром 12—28 мм, тонкостенных стальных труб диаметром 12—28 мм;

— *горелка Ropauer faier* для пайки твердым припоем с функцией пьезоподжига (мгновенный поджиг при нажатии на кнопку). Имеется вентиль регулировки пламени, встроенный постоянный редуктор давления обеспечивает равномерное давление при любой температуре;

— *набор Allgas 2000* — универсальная, переносная установка для пайки твердым припоем и сварки железа, стали, листовых материалов, труб и цветных металлов. Установка отличается высокой производительностью и низким расходом газа. Диапазон пайки — толщина стенок до 2,5 мм, диапазон сварки — 0,2—5 мм;

— *ручной опрессовщик PR 30* для быстрой и точной проверки давления, а также герметичности трубопроводных систем и резервуаров в водопроводных, отопительных и сантехнических системах сжатого воздуха, охладительных и масляных установках. Постоянство давления обеспечивается системой двойных клапанов с коррозионно-стойкой шаровой головкой. Особо прочный шарнир рычага с длинной рукояткой обеспечивает точную передачу усилий на поршень при наименьшем износе;

— *электрическая пила* для быстрой и точной поперечной резки стальных труб диаметром до 165 мм. Такая пила рекомендована для применения в узких местах и при работе над головой без верстака, а также на проложенной трубе. Имеется универсальное крепление пильного полотна для поперечной резки труб — цепной держатель. Мощность двигателя пилы 1050 Вт. Полотно пилы изготовлено из быстрорежущей стали, его ширина 140 или 200 мм;

— *ленточная пила* (рис. 8) для резки труб диаметром до 180 мм. Трубы — стальные, стальные в пластмассовой оболочке, пластмассовые, чугунные в цементной оболочке; электрокабель можно резать под любым углом;

— *алмазная сверлильная установка Rodiacot 131 DWS* для сверления отверстий диаметром до 131 мм. С помощью установки, обслуживаемой одним человеком, можно сверлить отверстия в железобетоне, мраморе, граните и кирпичной кладке. Узкое основание со встроенной вакуумной плитой обеспечивает перемещение установки и большую глубину сверления. Мощность двигателя установки 1,8 кВт, масса 17 кг. Установка имеет две рабочие частоты вращения: первая — 760 мин$^{-1}$ для сверления отверстий глубиной 60—131 мм; вторая — 1570 мин$^{-1}$ для сверления отверстий глубиной 10—60 мм. Сверление можно производить "в мокрую" и "в сухую";

Рис. 8. Ленточная пила

— *машина для сварки труб* (рис. 9) встык диаметром до 1200 мм, оснащенная электроторцевателем с высоким крутящим моментом и гидроагрегатом, защищенным от загрязнений. К машине можно подключить прибор, осуществляющий протоколирование технологического процесса. Дополнительно машина оснащена подъемным устройством для установки и удаления нагревательного элемента и торцевателя.

Рис. 9. Машина для сварки труб

На выставке был представлен широкий спектр инструментов и станков для обработки металла, проволоки, труб, пластмасс; слесарный и монтажный инструмент; сварочное оборудование различного назначения. Выставка предоставила широкие возможности для расширения контактов производителей и потребителей, специалистов различных отраслей промышленности, областей науки, образования и торговли.

А. Н. Иванов, инж.

Международная специализированная выставка и научно-практический семинар "Чернобыль: экология, человек, здоровье"

В соответствии с решением Совета глав государств СНГ "О плане совместных мероприятий государств-участников СНГ в связи с 20-й годовщиной аварии на Чернобыльской АЭС" от 3 июня 2005 г. в Москве на ВВЦ с 5 по 8 декабря 2006 г. прошла Международная выставка и научно-практический семинар "Чернобыль: экология, человек, здоровье". Выставка организована МЧС России, ОАО "ГАО ВВЦ" при поддержке и участии Правительства РФ, Правительства Москвы, МВД России, Минобороны России, Минсельхоза России, Росгидромета, Роспотребнадзора, Рослесхоза, МЧС Украины и Республики Беларусь.

Цель выставки и семинара — информирование специалистов и населения о реализации единой государственной системы ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, решении проблем защиты пострадавшего населения и обеспечения необходимой поддержки, использование передового опыта в области здравоохранения, окружающей среды, экологии и природопользования на загрязненных территориях, демонстрация научно-технических достижений по созданию технологии и технических средств предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, аварий и катастроф.

На церемонии открытия выставки присутствовали представители МЧС России, РАН, Правительства Москвы, дирекции ОАО "ГАО ВВЦ", Правительства Украины, Республики Беларусь, герои ликвидации аварии на ЧАЭС и другие официальные лица. В выставке приняли участие представители предприятий ряда областей РФ (Калужской, Орловской, Брянской, Тульской), Украины, Республики Беларусь, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС, и отечественные и зарубежные организации и предприятия, участвовавшие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС и обеспечивающие разработку технических средств спасения, специального оборудования и технологий безопасности (более 80 участников).

Основные тематические разделы выставки:

— авария на Чернобыльской АЭС (события, факты, участники ликвидации, последствия аварии);

— преодоление последствий катастрофы в России, Белоруссии и Украине (государственные и национальные программы, нормативная база, социальная защита);

— международное сотрудничество в области оказания медицинской помощи и реабилитации территорий, пострадавших при аварии ЧАЭС;

— обеспечение безопасности атомной энергетики (системы автоматического радиационного контроля, средства индивидуальной защиты, технические средства спасения, альтернативные источники электроэнергии и др.).

Сегодня, спустя 20 лет после Чернобыльской аварии на АЭС, задача информирования населения о ее последствиях весьма и весьма актуальна!

26 апреля 1986 г. в 01 ч. 24 мин на четвертом энергоблоке ЧАЭС произошла самая крупная авария в истории атомной энергетики. Аварии предшествовали определенные события: проведение профилактических работ на четвертом энергоблоке по снижению тепловой мощности реактора, продолжение эксперимента на недопустимо низкой мощности, бесконтрольное увеличение объема пара, мощности реактора. Система аварийного охлаждения реактора оказалась не подключенной, мощность реактора превысила номинальную в 100 раз, верхняя часть реактора — плита массой 1000 т — разрушилась (первый взрыв), произошел выброс раскаленных частей активной зоны (второй взрыв) (рис. 1, *а*). Сама авария — два взрыва, приведших к разрушению энергоблока, длилась всего секунды. Взрывы послужили причиной выброса реактивных продуктов распада в атмосферу. Выброс представлял собой растянутый по времени процесс (вплоть до 10 мая), состоящий из нескольких стадий (горения графитовой кладки реактора, распространения выбросов по воздушным протокам и др.).

а)

б)

Рис. 1. Реактор после аварии (*а*) и саркофаг над разрушенным реактором четвертого энергоблока ЧАЭС (*б*)

Так, к восьми часам утра 26 апреля передний край радиоактивных облаков достиг Бреста, Гомеля, Витебска, Харькова, Одессы и других населенных пунктов. Основной перенос радиоактивности шел на запад и северо-запад на территории ряда областей РФ, Белоруссии и дальше в сторону Западной Европы. Уже на следующий день выбросы достигли Польши и Швеции.

Из-за того, что направление ветра менялось, в отдельных местах шли дожди различной интенсивности, и происходило вымывание радиоактивных веществ из проходящих облаков, формировалась неравномерная картина загрязнения. Последствия этой аварии выразились в радиоактивном загрязнении территорий Украины, Белоруссии, России площадью более 130 тыс. км^2, где на момент аварии проживало более 5 млн человек. Следует отметить, что последствия этой аварии были бы намного тяжелее, если бы не возведение в рекордно короткие сроки саркофага над взорвавшимся реактором.

В течение 206 дней и ночей продолжалось грандиозное строительство этого объекта (размером 160 × 200 × 70 м), не имеющее аналогов в мировой практике. На строительстве работали более 200 тыс. человек, было уложено более 300 тыс. т бетона, израсходовано около 10 тыс. т металлоконструкций для защиты окружающей среды от мощного радиоактивного воздействия разрушенного реактора. 30 ноября 1986 г. сооружение саркофага было завершено (рис. 1, *б*). Это позволило остановить дальнейшее загрязнение территорий Украины, Белоруссии и России и распространение радиации на Москву.

В настоящее время территория вокруг саркофага вновь напоминает строительную площадку. Ведутся работы, которые должны гарантировать безопасность в течение длительного времени.

Следует напомнить, что в ликвидации последствий Чернобыльской аварии было задействовано свыше 600 тыс. человек, а также значительные материальные и финансовые средства. В результате катастрофы на ЧАЭС сформировался необычный социально-экономический и биохимический регион, характеризующийся повышенным содержанием вредных радиоактивных веществ в верхней зоне природной среды обитания. Произошло нарушение экосистемы, поэтому сложившаяся в то время ситуация требовала прежде всего строгого контроля за состоянием медицинского обслуживания самих ликвидаторов аварии и населения загрязненных территорий.

В настоящее время разработана единая система медицинской помощи, созданы национальные регистры пострадавших ликвидаторов (только в одной Москве их насчитывается 24 тыс. человек), реабилитационно-оздоровительные центры и комплексы, эффективные медицинские препараты (например, беззерновой хлеб

"Добряк", выводящий радиацию из организма), продукты питания, восстанавливается сельскохозяйственная и лесная продукция на очищенных территориях и т. д.

Преодоление последствий катастрофы в России, Белоруссии и Украине связано, прежде всего, с реализацией мероприятий совместных Чернобыльских программ (национальных и государственных) на период 2006—2010 гг., а также с разработкой нормативной базы, социальной защиты населения и др. В этой связи необходимо отметить Российско-Белорусский информационный центр (РБИЦ), по проблемам преодаления последствий Чернобыльской катастрофы, основной деятельностью которого является информационно-аналитическая поддержка реализации мероприятий программы, выработка и проведение единой информационной политики в рамках союзного государства.

Необходимо отметить некоторые документы о международном сотрудничестве в области оказания медицинской помощи и реабилитации территорий, пострадавших при аварии на ЧАЭС:

— Программа развития ООН (ПРООН) в РФ, которая действует с 1993 г. в таких направлениях, как экономический рост (поддержка инвестиций, экспорта и развития бизнеса), охрана окружающей среды (содействие рациональному использованию природных ресурсов), ВИЧ (СПИД)-координация действий, направленных на борьбу с растущей эпидемией;

— Программа "Сотрудничество для реализации" (COR E), созданная по инициативе Комитета по проблемам последствий катастрофы на ЧАЭС при Совете Министров Республики Беларусь. Программа является инновационной международной инициативой по улучшению условий жизни людей в районах, пострадавших в результате катастрофы на ЧАЭС;

— Чернобыльская программа возрождения и развития, деятельность которой заключается в поддержке Правительства Украины по преодолению долгосрочных социальных, экономических и экологических последствий Чернобыльской катастрофы. Данная программа является составной частью Программы развития ООН (ПРООН) на Украине.

Все эти меры по преодолению последствий аварии на ЧАЭС должны стать реальным шагом к дальнейшему преобразованию загрязненных территорий России, Белоруссии и Украины в безопасную природную среду, что нашло свое отражение в объединенных усилиях мирового сообщества в решении этой проблемы.

Свои научно-технические достижения по созданию технологии и технических средств предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, а также разработки в области обеспечения безопасности атомной энергетики представили следующие предприятия и организации.

Общевойсковая академия ВС МО РФ (Москва) — система формирования проходов в разрушенных сооружениях, которая может быть использована при эвакуации разбитых и брошенных машин, башенных кранов, дорожной техники, очистке территорий предприятий города от скопившегося металлолома, при разборке завалов, демонтаже металлоконструкций, формировании проходов в разрушенной автомобильной, железнодорожной и другой технике, при работе в особых условиях (сложные дорожно-грунтовые условия, зараженная местность, экстремальные климатические условия и др.).

Основой системы является высокоэффективное оборудование для утилизации металлолома в полевых условиях: гусеничные и колесные машины, оборудование для плазменно-дуговой резки "Витязь" (потребляемая мощность 30—45 кВт, сварочный ток 80—270 А, масса источника тока 270 кг, толщина разрезаемого металла (высоколегированные стали, цветные металлы и их сплавы, чугуны и др.) от 1 до 70 мм, прост в эксплуатации).

ФГУДП "Атомэнергоремонт" — филиал Концерна "Росэнергоатом" (г. Курчатов Курской обл.) — комплекс по переработке твердых радиоактивных отходов (ТРО) (переплав теплоизоляционных материалов в электродуговой установке). В процессе плавления с температурой в зоне горения дуги до 5000 °С все ТРО переходят в жидкое состояние и интенсивно перемешиваются, что обеспечивает надежную фиксацию радионуклидов (радиоактивных изотопов). В состав комплекса входят печь для переработки отходов из теплоизоляционных материалов, печь для переработки отходов из углеродистых и коррозионно-стойких сталей, печь для переработки отходов из алюминиевых сплавов с системой газоочистки (рис. 2).

Рис. 2. Комплекс по переработке ТРО

ГНЦ РФ ЦНИИ робототехники и технической кибернетики (Санкт-Петербург) — робот серии РТК-05 для радиационной разведки, поиска локальных источников гамма-излучения на труднодоступных участках местности, в промышленных и жилых помещениях. В состав РТК входят дистанционно-управляемое транспортное средство, оснащенное манипулятором, комплексом приборов радиационной разведки (блок детектирования гамма-поиска, блок детектирования гамма-наведения, бортовая система управления) и системой технического зрения.

Максимальная скорость движения 1,62 м/с, максимальная грузоподъемность манипулятора до 10 кг, время непрерывной работы 2 ч, габаритные размеры 148 × 650 × 600 мм, масса транспортного средства 300 кг.

Инженерно-технический и учебный центр робототехники (ИТУЦР НИКИМТ):

— комплекс навесного робототехнического оборудования разведки и дезактивации на базе МРК-27МА. В состав комплекса входят подвижной аппарат (манипулятор, телевизионные камеры, аккумуляторы, кабельная катушка), пост дистанционного управления по радиоканалу или по кабелю, дополнительное оборудование (агрегат безвоздушного распыления, пистолет-распылитель со шлангом длиной 100 м и др.) (рис. 3);

Рис. 3. Локализация загрязнений на корпусе автотранспорта с использованием робототехнического комплекса МРК-27МА

— дистанционно-управляемая система "Гамма-локатор-3" для автоматического поиска источников гамма-излучения и определения их изотопного состава. Исполнительное устройство устанавливается на робот MF-4.

РНЦ "Курчатовский институт" (Москва) — многофункциональный робототехнический комплекс "САПЕР". Разработан и изготовлен по заказу Правительства Москвы, предназначен для проведения разведки, контроля и идентификации взрывчатых веществ (ВВ), взрывных устройств (ВУ) и радиоактивного заражения, разминирования или уничтожения ВВ и ВУ во внутренних объемах различных транспортных средств, а также в ограниченных промышленных и жилых пространствах в условиях плотной городской застройки. Мобильный робот (МР) состоит из шасси, манипулятора, бортового устройства управления, источника автономного электропитания и средств видеонаблюдения.

ГНЦ РФ ФГУП ЦНИИЧЕРМЕТ им. И. П. Бардина (Москва) — высокочувствительная установка "СИММЕТ" для оперативного контроля различных объектов с целью обнаружения несанкционированного перемещения радиоактивных материалов по транспортным коммуникациям.

Установка "СИММЕТ" выпускается в нескольких модификациях и содержит от одного до четырех блоков детектирования, фотоэлектронные датчики присутствия транспорта в зоне контроля, блоки световой и звуковой сигнализации, системы управления. Установка позволяет идентифицировать радионуклидный (изотопный) состав обнаруженной радиоактивности.

Российский федеральный ядерный центр — ВНИИЭФ (г. Саров Нижегородской обл.):

— аэрогаммаспектрометрический комплекс (АГСК) на базе легкого летального аппарата. Является техническим средством радиационной разведки и предназначен для использования при различных радиационных авариях и террористических

актах, а также текущего радиационного контроля окружающей среды, за состоянием экологии. АГСК применяется в составе аварийно-технических формирований и в экологических организациях;

— установка очистки воздуха от аэрозольных, газовых и радиоактивных загрязнений. Позволяет в автоматизированном режиме непосредственно на месте аварии проводить комплексную очистку воздуха, в том числе от радиоактивных веществ, с постоянным контролем эффективности очистки. Эффективность очистки воздушной среды от аэрозолей 99,99 %, размер аэрозольных частиц более 0,1 мкм, расход очищаемой воздушной среды более 1000 м^3/ч, длина газоводов до 160 м

ЗАО НПП "Доза" (Москва—Зеленоград):

— системы газоаэрозольных выбросов СКГАВ-1 для непрерывного оперативного контроля выбросов радиоактивных аэрозолей, газов и йода. Система обеспечивает вычисление как текущих, так и заданных за отчетный период значений выбросов, передачу данных в канал связи, прием анализируемой газовоздушной среды из систем пробоотбора и др.;

— передвижная радиологическая лаборатория "Поиск" — полностью автономная лаборатория для решения комплекса задач радиационного контроля (отбор проб и экспресс-анализ почвы, йода и воздуха). Выпускается на базе автомобилей УАЗ, "Газель", "Нива" и других по желанию заказчика. Лаборатория сертифицирована (рис. 4).

ЗАО НПП "Доза" издает периодический журнал "АНРИ" — единственное издание по практическим вопросам радиационного контроля.

НПО "Прибор" (Москва) — переносной газоанализатор ГАНК-4 для контроля концентраций загрязняющих веществ в атмосфере воздуха, вредных веществ в воздухе рабочей зоны, промышленных выбросах и технологических процессах в целях охраны окружающей среды, обеспечения безопасности труда, в том числе

Рис. 4. Передвижная радиологическая лаборатория "ПОИСК"

в экстремальных условиях, например на станции ОКС "МИР", и оптимизации технологических процессов. Газоанализатор позволяет производить на месте контроль любых из 206 веществ по выбору, в любых диапазонах от 0,5 ПДКсс до 100 % (рис. 5).

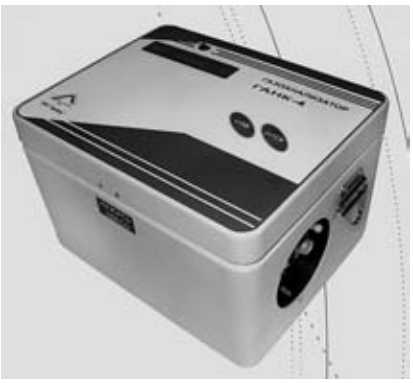


Рис. 5. Газоанализатор ГАНК-4 для контроля атмосферного воздуха и воздуха рабочей зоны

ООО "Элина-Т" (Москва):

— проектирование и изготовление безосколочных композитных баллонов высокого давления для дыхательных аппаратов и противопожарных систем и перевозки индустриальных газов, лабораторных анализов и др.;

— серийные баллоны БМК-300В емкостью от 1 до 9 л и БМК-150В емкостью от 5 до 12 л, предназначенные для индивидуальной защиты при чрезвычайных ситуациях.

Конструктивно баллон состоит из тонкостенного лейнера, выполненного аргонодуговой сваркой из коррозионно-стойкой стали толщиной 0,5 мм, на который намотана внешняя силовая оболочка (типа "кокон") из композиционного материала (стеклоровинг или жгут "Армос-600"). Конструкция баллонов и технология изготовления защищены патентами.

Баллоны БМК-300В приняты на вооружение МЧС России.

Компания "Эпицентр маркет" (Москва) — уникальная отечественная разработка — капюшон защитный "Феникс" — портативное средство индивидуальной защиты органов дыхания, глаз и кожи лица при эвакуации из опасных зон при техногенных авариях, природных катастрофах, террористических актах. В основе данной продукции лежит уникальная запатентованная технология фильтрации вредных веществ, обеспечивающая оптимальное сочетание высокого уровня защиты, наилучших эргономических свойств и минимальных массогабаритных размеров.

Комбинированный фильтр не имеет аналогов в мире. Капюшон "Феникс" рекомендован МЧС России.

ООО "Приоритет Вега" (Москва): — аварийная мобильная осветительная установка "Световая башня". Позволяет освещать значительные территории в местах отсутствия или отключения электрической сети. Установка изготовлена из специальной ткани, позволяющей при ее надувании поднимать источник света на высоту, обеспечивающую яркое освещение больших площадей (до 10 000 м^2). Источник света — натриевая лампа мощностью 600 Вт. Рабочая высота до 7 м. Цилиндр надувается вентилятором, который питается от встроенной электростанции или сети 220 В.

Мобильные осветительные установки компактны, их можно легко перевозить в багажнике автомобиля, вся система может быть запущена в течение 30—60 с (рис. 6). Установка "Световая башня" предназначена для экстренного развертывания на местности в случае природных и техногенных катастроф, при проведении ночных работ в строительстве и т. д.

Рис. 6. Мобильная осветительная установка "Световая башня" (экстренное развертывание на месте техногенной катастрофы)

Международный фонд им. Н. К. Байбакова, Универсальный институт инновационных технологий — УИИТ (Москва) — ветроводородная гибридная установка (ветер + вода) — электростанция, работающая практически в любых климатических условиях без использования органического топлива. В качестве первичной используется энергия преобразования ветра с электролизом воды, накоплением водорода в качестве резервного топлива для дизельной или при отсутствии ветра парогазовой электростанции (рис. 7). Строительство опытно-промышленных ветроводородных электростанций (гибридных ВВЭС) предлагается вести в регионах, где скорость ветра составляет примерно 4 м/с (7000 ч в год): на Камчатке,

Рис. 7. Ветроводородная гибридная установка

островах Курильской гряды, Калининградском анклаве, Азово-Черноморском побережье и др.

Определенный интерес у посетителей выставки вызвал стенд **ООО НПП "Крион"** (Санкт-Петербург), на котором демонстрировалось устройство для проведения криогенной терапии — криобассейн серии КАЭКТ — "Крион". Человек на короткое время (2—3 мин) по шею погружается в слой охлажденного до –130 °С газа. Организм в данном случае не испытывает заметного переохлаждения. В конце работы выставки каждый желающий мог пройти данную процедуру.

Криогенная физиотерапия — это синтез новейших достижений в области физики и физиологии и наряду с нанотехнологией может быть отнесена к технологии XXI века.

Национальный научный центр "Харьковский физико-технический институт" НАН Украины — разработки в области ядерной науки и техники (разработка тепловыделяющих элементов, переработка радиоактивных отходов, создание приборов для дозиметрии в условиях высокого уровня радиации, проведение работ по удалению радиоактивных материалов с саркофага ЧАЭС и др.).

ООО НПП "Атомкомплексприбор" — "АКП" (Киев) — приборы и системы для контроля радиационного загрязнения окружающей среды, в частности, сцинтилляционный спектрометр энергии бета-излучения СЕБ-01-150, который позволяет контролировать концентрацию излучающих радионуклидов (стронция-90, цезия-137 и калия-40) одновременно в измеряемом образце без использования концентрированных проб (рис. 8, *а*). В настоящее время это один из лучших приборов данного типа среди аналогичных приборов, выпускаемых производителями разных стран;

— передвижная установка СЕГ-001м "АКП-С"-ТРО может применяться в зависимости от комплектности для определения активности радионуклидов, несортированных твердых радиоактивных отходов (ТРО) в первичной упаковке на местах образования радиоактивных отходов, несортированных ТРО, помещенных в металлические емкости различных форм и размеров на местах сбора, ТРО, помещенных в контейнеры перед отправкой в хранилище (рис. 8, *б*).

Установка пригодна для измерения объектов практически любой формы без проведения пробоотбора, позволяет оптимизировать процесс обращения с ТРО, оснащена системой ультразвукового дальномера с лазерным "прицеливанием", дозиметром.

а)

б)

Рис. 8. Приборы для контроля радиационного загрязнения окружающей среды: *а* — сцинтилляционный спектрометр энергии бета-излучения СЕБ-01-150; *б* — передвижная установка СЕГ-001м "АКП"-С-ТРО для определения активности радионуклидов несортированных ТРО

НПП "АКП" также разработало программное обеспечение управления анализатором и автоматической обработки спектра, системы управления базами данных, методики пробоподготовки и выполнения измерений.

Многолетняя эксплуатация спектрометров АКП подтвердила надежность продукции. Приборы одобрены Международным агентством по атомной энергетике (МАГАТЕ) и внесены в государственные реестры средств измерительной техники Украины, России и Республики Беларусь. За цикл разработок, проведенных НПП "АКП" совместно с институтами НАН Украины, и по результатам внедрения данных приборов разработчикам присуждена Государственная премия Украины в области науки и техники за 2006 г.

В выставке принимали участие **ВНИИ технической физики и автоматизации, ВНИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства, Институт глобального климата и экологии РАН, Институт ядерных исследований РАН, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Московский государственный университет прикладной биотехнологии и др.,** а также благотворительные организации **— Международная общественная организация "Благовест", Международный экологический фонд, "Радимичи" — детям Чернобыля, региональная организация** (Новозыбков, Брянская обл.), **Общественное объединение "Союз Чернобыль—Москва"** и др.

В рамках выставки состоялся научно-практический семинар "Чернобыль: экология, человек, здоровье", на котором с докладами выступили Т. А. Марченко (МЧС России) — "Реализация мероприятий целевых программ преодоления последствий Чернобыльской катастрофы в России: итоги и перспективы", О. М. Луговская (МЧС Республики Беларусь) — "Реализация мероприятий целевых программ преодоления последствий Чернобыльской катастрофы в Беларуси: итоги и перспективы"; В. В. Дуда (Украина) — "Снятие с эксплуатации Чернобыльской АЭС", акад. РАН, директор ИГКЭ Ю. А. Израэль — «Итоги международной конференции "Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий"». Работа семинаров проходила в секциях по различным направлениям: современная радиационная обстановка, медицинские и социально-психологические последствия аварии на ЧАЭС, оказание специализированной медицинской помощи, проблемы реабилитации сельскохозяйственных и лесных угодий, современное состояние ядерной и радиационной безопасности атомной энергетики, международные проекты.

Всего с сообщениями на семинаре выступили около 40 человек.

По окончании работы выставки и научно-практического семинара прошла официальная церемония награждения участников выставки дипломами Оргкомитета и медалями ВВЦ. По предложению участников выставки в дирекции ОАО "СКВ ГАО ВВЦ", а также МЧС России было принято решение проводить выставку ежегодно под девизом "Уроки Чернобыля".

Международная выставка "Чернобыль: экология, человек, здоровье", по словам министра МЧС России С. К. Шойгу, "это уникальная возможность для обсуждения Чернобыльских проблем и путей их решения, демонстрации последних новинок и достижений в области предупреждения и ликвидации радиационных аварий и катастроф".

Ан. А. Суслов, канд. техн. наук

Издательский центр "Технология машиностроения"

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 05.02.2007. Подписано в печать 16.03.2007. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 15,01. Заказ 04/07.

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"