ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

ОБЗОРНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ, НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

1 (55) Январь 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
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. Г. Волкова

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

Мийченко И. П., Михайлин Ю. А. — Полимерные материалы для теплонагруженных конструкций. **5**

Фурман Е. Л., Жеребцов С. Н., Гурдин В. И. — Модифицирование жаропрочных никелевых сплавов ультрадисперсными порошками (УДП) тугоплавких частиц **7**

ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Жеребцов С. Н. — Повышение длительной прочности жаростойких хромоникелевых сплавов **10**

Боченин В. И. — Неразрушающий способ экспресс-анализа фазового состава заготовок рессорного производства после индукционной закалки. **12**

ТЕХНОЛОГИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

Рогов В. А., Соловьев В. В., Дубровский Р. В. — Тенденции повышения точностной надежности механической обработки **15**

Ящерицын П. И., Сергеев Л. Е., Ракомсин А. П., Сидоренко М. И., Бабич В. Е. — Магнитно-абразивная обработка прядильных колец **19**

СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Табаков В. П., Смирнов М. Ю., Циркин А. В., Чихранов А. В. — Износостойкие ионно-плазменные покрытия режущего инструмента и технологии их нанесения. **22**

Мироседи А. И., Шумячер В. М. — Повышение эффективности процесса абразивной обработки путем управления структурными параметрами абразивного инструмента **28**

Костров С. В., Рябцев С. А., Жуков Ю. И. — Отечественный высокопористый абразивный инструмент для профильного шлифования зубчатых колес. **32**

МЕХАНОСБОРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Медарь А. В. — Расчетно-точностной анализ собранного изделия **35**

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Рудзей Г. Ф. — Влияние дефектов сварки и числа проходов при сварке на сопротивление усталости образцов сварных соединений из алюминиевых сплавов **38**

ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Васин В. А., Сомов О. В., Невровский В. А. — Влияние материала изделия на процесс нанесения пиролитических карбидохромовых покрытий **41**

Веселовский А. А. — Формирование многофункционального покрытия на деталях из серого чугуна совместным термодиффузионным насыщением Al и V. **45**

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ

Коротков В. А. — Новые разработки, направленные на продление жизненного цикла изделий **47**

Рыбаков Г. М. — Формирование сжимающих остаточных напряжений в металлических деталях при дробеструйной обработке **51**

МЕТРОЛОГИЯ

Никоненко В. А. — Разработка эталонных и рабочих контактных и бесконтактных средств измерения температуры **55**

Макаренко В. В., Ломова О. С., Ломов С. М., Моргунов М. П. — Повышение надежности и долговечности гидроагрегатов путем увеличения точности измерения позиционных отклонений **58**

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ, ИСПЫТАНИЯ

Розинов А. Я. — Технологические особенности инструментальных методов акустического контроля локальной герметичности **61**

Гапанович В. А., Вопилкин А. Х., Кононов Д. А., Тихонов Д. С., Гурвич А. К., Казанцев А. Г., Славинский З. М. — Автоматизированные средства диагностирования объектов повышенной опасности методом многоракурсной акустической голографии **66**

АВТОМАТИЗАЦИЯ И КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Кудрявцев Ю. И. — Снижение энергоемкости производства арматурных сеток на автоматических линиях “АЛИКС”. **71**

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА

Информационное обеспечение техники и операторской деятельности. Общие положения (ГОСТ Р 43.0.1—2005). . **75**

ОХРАНА ТРУДА И ЭКОЛОГИЯ

Морозов В. С., Казаков Ю. И., Казаков А. В., Тараненко О. И. — Изыскание и отработка альтернатив озоноопасному хладону 113 в технологических процессах очистки, обезжиривания, промывки и испытаний сборочных узлов ракетно-космической техники **76**

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Волочиенко В. А. — Устранение действия контролируемых возмущений в машиностроительном производстве. . . . **80**

Агеева Н. Г. — Методология обеспечения конкурентных преимуществ предприятий авиастроения **85**

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Машков В. Н., Игнатов М. П. — Целевая подготовка специалистов в ИЦПС ФГУП "ММПП "Салют" **88**

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Потапова Г. С. — Содержание зарубежных журналов **90**

ИНФОРМАЦИЯ

Добринский Е. С. — Результаты и основные направления деятельности Министерства промышленности и энергетики Российской Федерации на 2007—2009 гг. **93**

Добринский Е. С., Пашков В. И., Сеин В. А. — Стратегия успеха российского автомобилестроения **94**

Иванов А. Н. — 6-я Международная специализированная выставка "Передовые технологии автоматизации—2006" **97**

TEKHNOLOGIYA MASHINOSTROENIYA

REVIEW-ANALYTICAL, SCIENTIFIC-TECHNICAL AND PRODUCTION JOURNAL

1 (55) January 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
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. G. Volkova

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

Miychenko I. P., Mikhaylin Yu. A. — Polymeric materials for the heat-loaded constructions . . . 5
Furman Ye. L., Zherebtsov S. N., Gurdin V. I. — High-temperature nickel alloys modification by soots of refractory particles 7

BLANK PRODUCTION

Zherebtsov S. N. — Durable hardening of high-temperature chromium-nickel alloys . . . 10
Bochenin V. I. — Non-destructive express-analysis of spring production work stock phase makeup after induction hardening 12

FORMING TECHNOLOGIES

Rogov V. A., Solobiov V. V., Dubrovsky R. V. — Trends of reliability growth in machining accuracy . . . 15
Yascheritsyn P. I., Sergeev L. Ye., Rakomsin A. P., Sidorenko M. I., Babich V. Ye. — Spinning bend magnetic-abrasive machining . . . 19

TOOLING PRODUCTION

Tabakov V. P., Smirnov M. Yu., Tsyrkin A. V., Chikhranov A. V. — Cutters wear-proof ionic-plasma coating and its technology . . . 22
Mirosedi A. I., Shumyacher V. M. — Abrasive machining effectiveness increase by abrasive tool structural parameters control 28
Kostrov S. V., Ryabtsev S. A., Zhukov Yu. I. — Domestic high-porous abrasive tool for gear contour grinding . . . 32

MACHINING-AND-ASSEMBLY PRODUCTION

Medar A. V. — Assembled product accurate analysis . . . 35

PERMANENT JOINTS PRODUCTION TECHNOLOGY

Rudzey G. F. — Influence of welding defects and of the number of passes on the aluminium alloys weld patterns fatigue resistance . . . 38

MODIFEING PROCESSES OF MACHINE PARTS SURFACES

Vasin V. A., Nevrovsky V. A., Somov O. V. — Product material effect on the pyrolytic carbide-chromium plating . . . 41
Veselovsky A. A. — Forming multifunctional grey iron proofing by Al and V joint thermodiffusion saturation . . . 45

SPECIAL TECHNOLOGIES

Korotkov V. A. — New developments in product vital cycle prolongation . . . 47
Rybakov G. M. — Compressing temper formation in metal components at grit blasting . . . 51

METROLOGY

Nikonenko V. A. — Temperature touch and touchless standard and shop measuring instrumentation development . . . 55
Makarenko V. V., Lomova O. S., Lomov S. M., Morgunov A. P. — Positional departure precision of measurements aimed at increasing reliability and working life of hydraulic units . . . 58

TECHNICAL DIAGNOSTICS, NON-DESTRUCTIVE CHECK-AND-TESTING METHODS

Rozinov A. Ya. — Technical features local tightness acoustical surveillance tool method . . . 61
Gapanovich V. A., Vopilkjin A. Kh., Kononov D. A., Tikhonov D. S., Gurvich A. K., Kazantsev A. G., Slavinsky Z. M. — Diagnosing automated means for installations of increased danger by multi-angle acoustic holography method . . . 66

PROCESSES AUTOMATION AND COMPUTERIZATION

Kudryavtsev Yu. I. — Reinforcing fabric production power-consuming reduction at the “ALIKS” automatic transfer line . . . 71

STANDARDIZATION, CERTIFICATION, QUALITY SYSTEMS

Dataware for engineering and operating work. General provisions (GOST R 43.0.1—2005) . . . 75

LABOUR PROTECTION AND ECOLOGY

Morozov V. S., Kazakov Yu. L, Kazakov A. V., Taranenko O. I. — Investigation and working of alternatives for the ozone-hazardous freon-113 in abrading, degreasing, rinsing and testing work processes of assembly units for the rocket and space machinery . . . 76

ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

Volochienko V. A. — Defective retooling decision recognition in error conditions arising in machinery industry . . . 80
Ageeva N. G. — Methodology of providing competitive advantages for the aircraft building enterprises . . . 85

EDUCATION AND PERSONNEL TRAINING

Mashkov V. N., Ignatov M. P. — Specialists’ special training at the "MMPP "Salyut", ITsPS FGUP . . . 88

FOREIGN EXPIRIENCE

Potapova G. S. — Foreign journals contents . . . 90

INFORMATION

Dobrinsky Ye. S. — Results and main line of the Ministry of Industry and Energy of the Russian Federation in 2007—2009 93
Dobrinsky Ye. S., Pashkov V. I., Sein V. A. — The Russian automotive industry progress policy . . . 94
Ivanov A. N. — The 6th International specialised exhibition "Progressive Technologies in Automation ’2006" . . . 97

И. П. МИЙЧЕНКО, канд. техн. наук, Ю. А. МИХАЙЛИН, канд. техн. наук
"МАТИ" – РГТУ им. К. Э. Циолковского

Полимерные материалы для теплонагруженных конструкций

Развитие новой техники требует применения новых прогрессивных материалов, особенно это важно для машиностроительных и авиакосмических теплонагруженных конструкций, поскольку такие материалы должны сочетать довольно сложный комплекс свойств, например, низкую плотность и высокие механические свойства с их сохранением при высоких рабочих температурах (вплоть до 400 °С на воздухе). Наиболее полно таким требованиям отвечают полимерные материалы на основе термоустойчивых полимерных матриц, таких как сетчатые имидные матрицы типа АПИ (зарубежные аналоги PMR и LARC). В России на основе имидных матриц АПИ создана и отработана технология получения и переработки полимерных материалов практически всех типов (имидопластов АПИ) — пресс-порошков, волокнистых пресс-материалов (на основе рубленых волокон), препрег (на основе ленточных и тканых наполнителей). Переработку данных материалов (полуфабрикатов) в изделия осуществляют методами прямого и литьевого прессования, автоклавного и термокомпрессионного формования. Разрабатывается технология получения изделий из имидопластов АПИ методом намотки.

Для получения имидных матриц АПИ в полимерном материале используют имидные связующие, представляющие концентрированные растворы смесей имидообразующих мономеров в пассивном (этанол, связующее АПИ-2) или активном (фуриловый спирт, связующее АПИ-3) растворителях. Мономерное состояние связующего и высокая концентрация растворов (50—80 %) обеспечивают оптимальную вязкость связующего (например, для получения препрегов вязкость связующих АПИ составляет 1—2,5 Па · с при 20 °С) при совмещении с наполнителями практически любой природы и типа, заданное соотношение компонентов в материале при однократной пропитке, качественную пропитку без использования температуры и давления (угол смачивания, например, углеродных и стеклянных волокон при 18—20 °С составляет 20—22 и 12—15° соответственно), смешение и совмещение компонентов материала осуществляется по обычным схемам и на обычном оборудовании.

В настоящее время разработаны армированные материалы (препреги) на основе связующих АПИ (АПИ-2 и АПИ-3, модифицированные и немодифицированные) и углеродных лент типа ЛУ-П и ЭЛУР (с прочностью волокон в лентах 2,8—3,2 ГПа); стеклянных тканей типа Т-10 (стекло Е) сатинового плетения, базальтовых тканей полотняного плетения, углеродных тканей сатинового и трикотажного плетения; наполненные материалы (волокнистые пресс-материалы или волокниты) с использованием рубленых углеродных (жгуты ВМН-4, ВМН-6, исходное сырье ПАН, прочность волокон 2—2,5 ГПа), стеклянных (стекло Е) и базальтовых волокон; пресс-порошки на основе комплексного углеродного наполнителя (термоантрацит + природный графит, стеклопорошок, металлический порошок). Содержание наполнителя в зависимости от типа материала составляет 50—70 %. Гранулы волокнитов имеют диаметр, определяемый текстильной формой волокна (жгут или нить), длина гранул 5—20 мм (в необходимых случаях длина гранул может доходить до 40—60 мм). Технологические схемы получения полимерных материалов на основе связующих АПИ не отличаются от традиционных, прессование изделий проводят при давлении, характерном для данного типа материала — для препрегов на основе лент 1,5—2 МПа, препрегов на основе тканей 5—7 МПа, пресс-материалов и пресс-порошков 20—30 МПа; температура (270—330 °С) и время прессования (время отверждения под давлением 5—30 мин) определяются кинетикой процесса отверждения связующих АПИ.

В процессе определения механических свойств однонаправленных углепластиков (табл. 1) и имидоуглепластика АПИ-3/ЛУ со схемой армирования $(0,90 \pm 30)_s$ (табл. 2) установлено, что их применение наиболее эффективно при рабочей температу-

Таблица 1

Свойство	$T_{исп}$, °С	АПИ-2/ЛУ	АПИ-3/ЭЛУР
Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	20	1000	1200
	300	680	1060
	350	340	640
Модуль упругости при изгибе, ГПа	20	123	135
	300	116	120
	350	100	110
Разрушающее напряжение при межслоевом сдвиге, МПа	20	56	53
	300	38	38
	350	33	34

Таблица 2

Условие подготовки	Плотность, г/см^3	Разрушающее напряжение при изгибе при T, °С			
		20	300	350	400
Прессование (330 °С; 2,5 МПа; 2 ч)	1,48	330	490	510	540
Прессование + термостарение:	1,44	320	430	—	860
300 °С, 100 ч	1,44	320	430	—	860
350 °С, 12 ч	1,45	230	180	210	510
400 °С, 1ч	1,46	250	280	310	380
Прессование + термоциклирование (350 °С, 30 циклов по 15 мин)	1,47	210	160	270	450

Таблица 3

$T_{исп}$, °С	$\alpha 10^6$, 1/К		
	Основа	Уток	Перпендикулярно плоскости листа
20—40	–0,83	15,1	16,5
40—60	–0,68	15,4	16,6
60—80	–0,50	16,3	16,6
80—100	–0,39	16,6	16,8
100—120	–0,25	17,0	17,0
120—140	0,06	17,8	17,2
140—160	0,10	18,8	19,2
160—180	0,14	20,5	22,9
180—200	0,37	21,8	25,6
200—220	0,43	24,5	28,4
220—240	0,45	25,7	30,5
240—260	0,32	26,2	32,6
260—280	–0,26	27,0	34,0
280—300	–0,31	27,8	36,5
300—320	–0,35	28,6	38,0
320—340	–0,42	29,0	39,2
340—360	–0,28	29,2	40,0
360—380	–0,22	30,0	41,4
380—400	–0,15	30,6	42,2

Таблица 4

$T_{исп}$, °С	Теплопроводность λ, Вт/(м · °С)	Температуропроводность, $a10^7$, м^2/с	Удельная теплоемкость, C_p, кДж/(кг · °С)
20	1,14	10,6	0,70
50	1,15	9,4	0,80
75	1,15	8,3	0,90
100	1,16	8,0	0,95
125	1,17	7,6	1,00
150	1,18	7,3	1,05
175	1,19	7,1	1,10
200	1,20	6,5	1,20
225	1,21	6,3	1,25
250	1,22	6,1	1,30
275	1,23	5,7	1,40
300	1,24	5,6	1,45
325	1,24	5,6	1,45
350	1,24	5,8	1,40
375	1,25	6,0	1,35
400	1,25	6,5	1,25

Примечание. Данные для имидоуглепластика на основе АПИ-3/ЛУ.

ре выше 300 °С, особенно пластиков со сложной схемой армирования.

Имидоуглепластики обладают низким температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) и в интервале температур –190—400 °С, что позволяет конструировать на их основе изделия с нулевым ТКЛР. В табл. 3 приведены значения ТКЛР имидоуглепластика на основе АПИ-3/ЛУ (прессованный однонаправленный пластик; $T_{отв}$ = 300 °С, плотность 1,534 г/см^3).

Имидоуглепластики теплопроводны, их теплофизические свойства стабильны в широком интерва-

Таблица 5

Ткань	Плетение	Схема армирования	Плотность, г/см^3	$\sigma_{изг}$, МПа	$E_{изг}$, ГПа
Стеклянная Т-10	Сатин	$(0,90)_s$	1,75	670	21,6
Стеклянная Т-10	"	0	1,78	900	28,7
Базальтовая	Полотно	0	1,89	330	32,0
Углеродные:					
"Урал-Т-15"	Сатин	0	1,45	305	20,25
"Урал-Тр-10"	Трикотаж	0	1,40	164	9,39

Примечание. Данные для текстолитов на основе АПИ-3.

Таблица 6

Свойство	$T_{исп}$, °С	Наполнитель	
		СВ	БазВ
Удельное объемное электросопротивление ρ_v, Ом · м	20	$1,5 \cdot 10^{13}$	$2,0 \cdot 10^{13}$
	300	$4,0 \cdot 10^{12}$	$4,1 \cdot 10^{12}$
Тангенс угла диэлектрических потерь tg δ	20	0,0095	0,0095
	300	0,01	0,0095
Диэлектрическая проницаемость ε	20	4,4	4,4
	300	4,3	4,25

Таблица 7

Свойство	$T_{исп}$, °С	АПИ-2/УВ	АПИ-3/СВ	АПИ-3/БазВ
Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	20	320	330	300
	300	270	275	270
	350	260	—	—
Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	20	160	—	140
	300	100	—	110
	350	96	—	—
Модуль упругости при изгибе, ГПа	20	50	21	17,5
	300	38	13,7	13,0
Ударная вязкость, кДж/м^2	20	55	—	80
	300	50	—	73

Таблица 8

Время воздействия, ч	ρ_v, Ом · м	tg δ	ε	tg δ	ε
		10^3 Гц		10^6 Гц	
1	$1{,}30 \cdot 10^{13}$	0,0064	4,4	0,050	4,3
2	$1{,}28 \cdot 10^{13}$	0,0073	4,5	0,051	4,3
4	$1{,}10 \cdot 10^{13}$	0,0075	4,5	0,056	4,3
7	$1{,}15 \cdot 10^{13}$	0,0070	4,5	0,054	4,35

Примечание. Испытания проводили при 98 %-ной относительной влажности при 20—25 °С.

Таблица 9

Свойство	После прессования	После дополнительной термической обработки (350 °С, 1 ч)
Твердость, МПа	250	280
Коэффициент трения	0,02—0,03	0,01—0,02
Интенсивность изнашивания	$2{,}15 \cdot 10^{-9}$	$1{,}5 \cdot 10^{-9}$

Примечание. Свойства определяли при нормальной нагрузке 5 МПа и скорости 0,05 м/с. Тип трения — реверсивное.

ле температур (табл. 4). Имидотекстолиты (табл. 5) работоспособны при температуре до 300—400 °С с сохранением 85—90 % исходной прочности.

Пресс-материалы на основе рубленых волокон имеют насыпную массу 0,8—0,9 г/см^3, время жизнеспособности неслеживающихся материалов при хранении не ограничено, перерабатываются методами прессования при стандартных скоростях сдвига (0,015—0,15 с$^{-1}$) и напряжении сдвига (5—6)10^4 Па. Отвержденные пресс-материалы имеют низкий ТКЛР (при 20—400 °С составляет от нуля до $5 \cdot 10^{-6}$ 1/К) и могут быть использованы для получения размеростабильных изделий конструкционного назначения.

Стабильные диэлектрические свойства отвержденных пресс-материалов на основе АПИ-3 (табл. 6) сочетаются с их высокими механическими показателями (табл. 7). Влажность среды лишь незначительно снижает показатели диэлектрических свойств отвержденного пресс-материала на основе АПИ-3/СВ (табл. 8).

Антифрикционный самосмазывающийся материал имидографитопласт (ИГП) предназначен для получения изделий сложной формы методами прессования для работы в узлах сухого трения (уплотнители, втулки и т. п.), свойства представлены в табл. 9. Твердость имидопластов АПИ триботехнического назначения возрастает на 20 % после 10 ч работы при 360 °С.

Таким образом, представленные характеристики имидопластов различных типов свидетельствуют о широких возможностях их применения в различных отраслях техники, особенно целесообразно их использование в авиакосмической отрасли, где низкая плотность и высокие удельные характеристики материалов часто имеют решающее значение.

Е. Л. ФУРМАН, д-р техн. наук
(Уральский государственный технический университет – УПИ),
С. Н. ЖЕРЕБЦОВ, инж.
(ЗАО "Омский завод специальных изделий"),
В. И. ГУРДИН, канд. техн. наук
(Омский государственный технический университет)

Модифицирование жаропрочных никелевых сплавов ультрадисперсными порошками (УДП) тугоплавких частиц

Формирование структуры металла, полученного электрошлаковым и традиционными способами литья, существенно различается, вследствие этого слитки, отлитые в обычные изложницы, характеризуются зональным строением с развитием зональной ликвации, рассеянной пористостью и концентрированной усадочной раковиной. Электрошлаковый металл, как правило, имеет однородную транскристаллитную структуру без развития процессов зональной ликвации при отсутствии рассредоточенной пористости. Постепенное снижение мощности шлаковой ванны способствует уменьшению объема и глубины залегания усадочной раковины или даже ее устранению.

За счет рафинирующего действия шлака и очищения от неметаллических включений, вредных примесей и газов улучшается микроструктура слитка, увеличивается плотность металла, снижа-

ется водородопроницаемость, уменьшается склонность сплавов к образованию трещин и в целом существенно изменяются его пластические свойства. В процессе исследования установлено, что литой электрошлаковый металл по механическим свойствам в большинстве случаев близок к кованому и отличается от него бóльшей стабильностью и изотропностью [1] по всему объему отливки. Литой электрошлаковый металл не уступает по механическим свойствам деформированному открытой выплавки, а по такому показателю, как критическая температура хрупкости, даже превосходит его. Кроме того, в таком металле отсутствует анизотропия механических свойств, типичная для деформированного металла.

Вместе с тем, любому литому металлу присуща химическая неоднородность. Гомогенность особенно важна для металла, склонного к образованию сегрегаций (инструментальных и высоколегированных сталей, жаропрочных сплавов на основе никеля и др.). Из-за различия концентраций примесей в жидком и твердом состояниях и благодаря разделительной диффузии растворимых примесей наблюдается преимущественная диффузия примесей в межосное пространство. Состав осей дендритов значительно отличается от состава междендритных участков, и возникает дендритная химическая неоднородность. Степень ее развития, морфология и топография фаз связаны с химическим составом сплавов, условиями их приготовления и кристаллизации [2]. В области границ зерен химическая неоднородность продолжает формироваться и после затвердевания сплава. Если концентрация элементов достигает предельных значений, то происходит выделение избыточных фаз. Состояние границ зерен особенно важно для сталей ЭШП вследствие их большой крупнозернистости. Поэтому, несмотря на высокую степень рафинирования электрошлакового металла, его крупнозернистая первичная структура и слабое развитие процессов микроскопической ликвации при кристаллизации могут привести к большому скоплению примесей на границах зерен.

Для изучения влияния модификатора на основе карбонитрида титана на структуру и свойства сплавов исследовали партию образцов, залитую в литейные формы, полученные путем гидростатического прессования железного порошка с последующим спеканием и пропиткой пористой металлической прессовки борсодержащими эвтектическими сплавами [3].

Макро- и микроструктуру модифицированного сплава ЖС6-У исследовали на образцах опытных партий, отлитых по технологии вакуумно-индукционной (ВИП) и электрошлаковой плавки (ЭШП).

Технологический процесс модифицирования [4], представляющий практический интерес, осуществляется введением тугоплавких частиц инокуляторов в жидкий металл с помощью брикетов [5, 6]. Наиболее целесообразно применять этот метод при значительных объемах металла, полученного по электрошлаковой технологии [7, 8].

Брикеты модификаторов в виде таблеток получали по следующей технологии. Предварительно приготовленная смесь модификаторов подвергается холодному прессованию в таблетки диаметром 30 мм и толщиной 10—15 мм в специальной пресс-форме [9]. Размеры таблеток выбраны из условия их быстрого растворения в жидком металле (30—60 с), а также из соображения, что одна таблетка рассчитана на 10 кг обрабатываемого расплава. Такие брикеты имеют значительную плотность, обусловливающую их быстрое прохождение через расплавленный шлак, что обеспечивает высокую степень усвоения модификаторов металлической ванной [10].

Таким образом, вышерассмотренные способы введения модификаторов являются наиболее предпочтительными в электрошлаковых процессах.

Принцип формирования центров кристаллизации [11] заключается в применении ультрадисперсных порошков, тугоплавких химических соединений и элементов, полученных плазменно-химическим синтезом (ПХС) и имеющих размер частиц не более 0,1—0,01 мкм [12].

Известно, что даже при незначительном нагреве порошка в обычной атмосфере его частицы интенсивно взаимодействуют с адсорбированными ими газами [11]. При нагреве на воздухе и даже в инертной атмосфере частицы начинают тлеть при 330—400 °С и сгорают в собственных адсорбированных газах. Поэтому одним из непременных условий получения эффекта модифицирования при вводе частиц в расплавы является плакирование их защитной оболочкой из вещества основы модификатора — протектора — в процессе его растворения в расплаве [11, 12]. В качестве плакирующего вещества следует применять элементы, входящие в состав стали или сплава, имеющие наибольшее химическое сродство к химическим элементам частицы и образующие с ними химические соединения, плакирующие частицы. Образованные химические соединения должны иметь температуру плавления выше, чем у обрабатываемого сплава. В качестве плакирующего вещества использовали порошок никеля с размером частиц 4—10 мкм.

Смачиваемость оксидных фаз жидкими металлами сравнительно низкая, поэтому одним из условий подготовки порошков для введения в металлические расплавы является их глубокая дегазация с

Таблица 1

Объект исследования	Предел прочности $\sigma_в$, МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное сужение ψ, %	Относительное удлинение δ, %	KCU, МДж/м^2
ЭШЛ	1070 1040 1010	930 915 910	7,2 6,2 5,7	10,0 8,0 7,6	0,31 0,30 0,32
ЭШЛ + модифицирование	1210 1180 1190	1105 1090 1040	7,1 6,9 6,3	8,8 8,4 6,8	0,47 0,45 0,40
ВИП	980 985 995	890 898 890	5,6 5,3 4,8	7,6 10,0 7,2	0,087 0,1 0,11
ВИП + модифицирование	1020 1090 1035	930 1020 1010	6,1 5,1 4,7	8,0 8,4 8,8	0,18 0,14 0,12

Примечание. Исследования проводили при 18—20 °С.

Таблица 2

Объект исследования	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ, %	Относительное сужение ψ, %	KCU, МДж/м^2
ЭШЛ	970 990 1030	890 910 920	1,8 2,1 2,4	5,0 4,8 6,2	0,18 0,19 0,22
ЭШЛ + модифицирование	1140 1100 1070	1060 1030 990	2,2 2,8 3,0	5,4 6,3 7,2	0,23 0,27 0,34
ВИП	910 930 890	805 860 810	1,2 1,0 1,7	4,2 5,5 4,9	0,06 0,1 0,08
ВИП + модифицирование	960 1010 980	890 920 910	2,0 1,3 2,7	4,1 5,5 6,4	0,12 0,14 0,18

Примечание. Исследования проводили при 800 °С.

возможностью восстановления оксидов за счет изменения термодинамической активности компонентов в вакууме. Таким образом, подготовка частиц УДП для введения в расплавленные металлы должна заключаться в дегазации порошка, консервировании частиц и создании оболочки металла на их поверхности, обеспечивающей смачивание металлическими расплавами [12]. Продукт взаимодействия металла оболочки с материалом частицы должен обладать термодинамической устойчивостью при высоких температурах, создавать барьер для диффузионных потоков, способствующих растворению частиц, иметь минимальное электрическое сопротивление, не препятствовать обмену электронами для более полной адсорбции.

За 3—5 мин до слива в зависимости от технологического процесса в расплав вводят модифицирующие таблетки, прессованные из ультрадисперсного порошка карбонитрида титана, при этом для равномерного распределения модификатора по всему объему жидкого металла в плавильной емкости проводится механическое перемешивание.

Физико-механические свойства модифицированного TiCN и немодифицированного сплава ЖС6-У, полученного различными способами, приведены в табл. 1, 2.

В процессе производственных испытаний изделий установлено, что объемное модифицирование повышает механические и эксплуатационные свойства жаропрочных сплавов: пластичности в 1,5—2 раза, сопротивления циклической выносливости на 20—30 %, термомеханической устойчивости в 2—3 раза, предела выносливости на 25—40 %, ударной вязкости в 1,8—2,3 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Медовар Б. И.* Электрошлаковый переплав. Киев: Наукова думка, 1979. 276 с.
2. *Жаропрочные* и жаростойкие стали и сплавы на никелевой основе / Под ред. О. А. Банных. М.: Наука, 1984. 220 с.
3. *Применение* композиционных материалов для постоянных форм при электрошлаковом литье / В. И. Гурдин, Ю. О. Филиппов, Д. А. Жеребцов, С. Н. Жеребцов // Технология машиностроения. 2005. № 11. С. 11—13.
4. *Фаткулин О. Х., Офицеров А. А.* Модифицирование жаропрочных никелевых сплавов дисперсными частицами тугоплавких соединений // Литейное производство. 1993. № 4. С. 13—14.
5. *Сабуров В. П.* Разработка и внедрение технологии суспензионного модифицирования стали и никелевых сплавов: Дис. ... д-ра техн. наук. Свердловск, 1991. 471 с.
6. *Сабуров В. П.* Новые методы суспензионного модифицирования литейных сплавов. Омск: Изд-во ОмПИ, 1992. 38 с.
7. *Исследование* возможности модифицирования стали в процессе ЭШП / В. А. Харченко, А. А. Богданова, Б. В. Троянский, Б. В. Дегтярев // Проблемы специальной электрометаллургии. 1976. Вып. 4. С. 40—45.
8. *Упрочнение* металлов и сплавов керамическими ультрадисперсными порошками / А. Н. Черепанов, В. А. Полубояров, М. Ф. Жуков. Новосибирск: ИТПМ СО РАН, 1998. № 6 (98). 20 с.
9. *Бабаскин Ю. З.* Структура и свойства литой стали. Киев: Наукова думка, 1980. 240 с.
10. *Сабуров В. П.* Выбор модификаторов и практика модифицирования литейных сплавов. Омск: ОмПИ, 1984. 93 с.
11. *Микитась А. М.* Объемное модифицирование жаропрочных сплавов с целью повышения пластичности и циклической выносливости лопаток ГТД и ГТУ: Дис. ... канд. техн. наук. Омск, 1988. 192 с.
12. *Плазмохимический* синтез ультрадисперсных порошков и их применение для модифицирования металлов и сплавов / В. П. Сабуров, А. Н. Черепанов, М. Ф. Жуков и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1995. 344 с.

С. Н. ЖЕРЕБЦОВ, инж.
ЗАО "Омский завод специальных изделий"

Повышение длительной прочности жаростойких хромоникелевых сплавов

Жаропрочные прецизионные хромоникелевые сплавы являются широко распространенным материалом для литья изделий "сердечник рогообразный", направляющих и рабочих лопаток турбин в авиационных двигателях и стационарных газовых турбинах. Условия, создаваемые высокой температурой входящих газов, которая превышает 1200 °С, могут быть выдержаны в современных авиационных двигателях только охлаждаемыми лопатками в сложном геометрическом исполнении, получаемыми методом вакуумного прецизионного литья по выплавляемым моделям. Пригодность тех или иных материалов для эксплуатации при таких термических нагрузках зависит не только от ряда технологических параметров литья, но и в значительной мере от длительной прочности материала. Существующие данные о длительной прочности при температурах эксплуатации выше 900 °С не отвечают важности проблемы, прежде всего отсутствуют исчерпывающие материалы по исследованию длительной прочности при долговременных нагрузках, превышающих 500 ч.

Исследовали длительную прочность в интервале температур от 900 до 1200 °С отливок из хромоникелевых сплавов изделия "сердечник рогообразный", работающих при высоких температурах, в агрессивной среде свыше 2000 ч. Химический состав отливок отличается от химического состава применяемых в настоящее время сплавов для максимальных эксплутационных температур и силовых нагрузок, с одной стороны, содержанием вольфрама и молибдена, с другой — содержанием титана, ниобия и тантала, которые добавляли в плавильные емкости при электрошлаковом переплаве с последующей заливкой жидкого металла вместе с флюсом в литейные формы [1].

К структуре используемых литейных сплавов предъявляют следующие требования: объемная доля γ'-фазы более 44 %, высокая степень упрочнения твердого раствора, достаточные уровень стабильности структуры и устойчивость против окисления. Требуемая большая доля γ'-фазы обеспечивается благодаря высокому содержанию легирующих элементов, которые способствуют образованию данной фазы. При этом содержание алюминия должно быть больше, чем титана, ниобия и тантала. Как известно, молибден и вольфрам являются хорошими упрочнителями твердого раствора. При высоких температурах эксплуатации никелевых сплавов более предпочтительны сплавы, содержащие тугоплавкие легирующие элементы типа вольфрам. Исключение образования нежелательных фаз (σ-фазы) создает условия соответствия содержания элементов, образующих γ'-фазу, содержанию хрома, вольфрама и молибдена, при этом следует учитывать, что содержание хрома не менее 8 %.

За основу взяли сплав ЖС6-У, содержащий (%): 0,15 C; 62 Ni; 9,8 Co; 9,2 Cr; 5,5 Al; 2,3 Ti; 2,1 Mo; 1,1 Nb; 0,025 Zr; 0,03 B. При возможно более постоянной объемной доле γ'-фазы содержание тантала, титана и ниобия изменялось таким образом, что можно было установить их воздействие на длительную прочность. Это относилось как к сплавам, содержащим один вольфрам в качестве упрочнителя, так и сплавам, в которых часть вольфрама заменялась молибденом. Содержание хрома устанавливали таким образом, чтобы сплав оставался структурно-стабильным по рассчитываемым известным методом значениям концентрации электронных вакансий.

Исследование влияния химического состава на длительную прочность не дает больших результатов, если не учитывать состояние структуры к началу испытаний на длительную прочность. Исходная структура прецизионных сплавов определяется не только химическим составом, но и технологическими параметрами литья. При литье жаропрочных никелевых сплавов часто не применяют термическую обработку, поэтому необходимо уточнять результаты исследования образцов, которые были испытаны в литом состоянии без последующей термической обработки [2]. При одинаковых параметрах литья и геометрических размерах образцов, вырезанных из испытуемых сплавов, структура приблизительно одна и та же с точки зрения характера зерен. В этом случае при исследовании влияния изменения химического состава косвенным образом установили воздействие возможных изменений в микроструктуре к началу действия нагрузки и в фазовой кинетике.

При исследовании жаропрочных отливок из никелевых сплавов, преимущественно состоящих из γ-твердого раствора и γ'-фазы, определяется степень влияния при изменении содержания каждого элемента с точки зрения, можно ли рассматривать

этот элемент как упрочнитель твердого раствора или как элемент, образующий γ'-фазу. Следовательно, при таком разделении нельзя полностью пренебречь карбидными выделениями, но прежде всего это относится к таким элементам, как титан, ниобий, гафний. Утверждение, что вольфрам и молибден только упрочняют γ-твердый раствор, не является безусловно верным: часть этих элементов, пусть даже незначительная, входит в γ'-фазу.

При одинаковом содержании углерода, что соответствует опытным сплавам, может быть уточнено изменение содержания отдельных элементов с точки зрения их влияния на γ'-фазу и γ-твердый раствор. Так, например, при частичной замене вольфрама молибденом изменение длительной прочности обусловлено наличием молибдена только в том случае, если изменяется не содержание γ'-фазы, а ее состав.

Для того чтобы облегчить сравнение различных сплавов, рассмотрим их положение в квазитройной диаграмме состояния: (Ni + Co)—(Cr + W + Mo)—(Al +Ta + Ti + Nb + Hf), точнее для ее основного состава, содержащего 62 % Ni и 9,8 % Co. Жаропрочные сплавы имеют одинаковое содержание элементов, образующих γ'-фазу. Причисление гафния к группе элементов, образующих γ'-фазу, спорно и вне всякого сомнения зависит от уровня общего содержания гафния. При исследовании сплавов с добавками гафния наблюдали на образцах в литом состоянии обогащение гафнием эвтектической γ'-фазы.

Воздействие изменения химического состава сплава в других условиях можно показать на примере изменения длительной прочности при испытаниях продолжительностью 500 ч при температуре 900, 1000 и 1050 °С.

Если в сплавах с содержанием 1,5—2,2 % тантала заменить часть вольфрама молибденом, то длительная прочность снижается. Если же заменить часть тантала титаном и ниобием в высоколегированных сплавах, то одновременное присутствие молибдена оказывается полезным. В сплаве, не содержащем молибден, длительная прочность повышается по сравнению с этим же показателем только при температуре 1050 °С.

Однако, насколько важно, чтобы хорошо было согласовано друг с другом содержание различных элементов, особенно показывает сравнение сплавов при испытаниях. Длительная прочность сплавов снижается очень резко, если при пониженном содержании хрома и алюминия в сплаве тантал будет заменен титаном. Даже значительная дополнительная присадка ниобия снижает эффект, как это показывают результаты исследований на длительную прочность испытуемых сплавов.

Увеличение содержания титана и алюминия в сплаве при одновременно несколько более низком содержании хрома и вольфрама повышает физико-механические свойства сплава при температуре 900 °С, но тем не менее приводит к более низким значениям длительной прочности при температуре 1000 и 1050 °С.

Замена вольфрама танталом в сплавах, содержащих гафний, хотя и приводит к более высокой объемной доле γ'-фазы, однако при более высоких температурах стимулирует процессы вторичного выделения и тем самым уменьшает длительную прочность [3]. Если оценить воздействие γ'-фазы на жаропрочность, то установлено, что высокая объемная доля γ'-фазы благоприятно воздействует при 1050 °С, но в то же время при температуре ниже 1000 °С не следует выходить за верхний предел объемной доли этой фазы.

Влияние добавок гафния можно определить, сравнивая сплавы, однако значения содержания элементов, образующих γ'-фазу, слишком отличаются. Поскольку гафний добавляли в необходимом количестве, его удовлетворительное воздействие на деформацию при разрушении можно оценивать по экспериментальным данным. Как показали результаты исследования и промышленных испытаний сплава содержание гафния не превышает 1,6 %.

При исследовании электрохимически изолированных фаз опытных сплавов с объемной долей γ'-фазы от 52 до 63 % определяли, играет ли состав γ-твердого раствора и γ'-фазы более значительную роль, чем объемная доля γ'-фазы. В опытных сплавах содержание γ'-фазы слишком высоко, что проявляется также в величине концентрации электронных вакансий. Зависимость между длительной прочностью и рассчитанными по результатам исследования остаточной фракции параметрами $N_{вак}$ нельзя установить для опытных сплавов при температуре испытаний от 900 до 1050 °С.

Статистическим параметром является количественное соотношение вводимых легирующих элементов в сплав для придания требуемых физико-механических свойств изделий:

$$N_{вак} = (W + Mo)/(Ta + Ti + Nb + Hf). \qquad (1)$$

Для получения высокой длительной прочности при температуре выше 900 °С необходимо, чтобы $N_{вак}$ = 1,4÷2,6. В результате сравнения опытных сплавов установили следующее. При рабочих температурах свыше 900 °С для сплавов с объемной долей γ'-фазы от 52 до 63 % необходимо для достижения максимальной длительной прочности и устойчивости против ползучести выбирать наиболее оптимальное соответствие между содержанием вольфрама и молибдена и содержанием тантала, титана, ниобия и гафния. При этом предполагает-

ся, что содержание хрома соответствует содержанию этих элементов в сплаве.

Длительную прочность жаропрочных прецизионных отливок из хромоникелевых сплавов, содержащих (%): 0,15 C; 9,8 Co; 9,2 Cr; 11,2 W; 5,5 Al, определяли экспериментально при 900, 1000 и 1050 °C в течение 3000 ч. При этом химический состав исследованных материалов регулировали таким образом, чтобы объемная доля γ'-фазы была приблизительно одинаковой во всех сплавах и составляла 52—63 %. Это позволило выявить степень влияния содержания образующих γ'-фазу элементов, таких как тантал, титан и ниобий, а также упрочняющих γ-твердый раствор элементов, в частности молибдена и вольфрама.

Установили, что максимальные значения длительной прочности у сплавов с $N_{вак}$ = 1,4÷2,5, причем содержание хрома должно быть установлено таким образом, чтобы параметр концентрации электронных вакансий не превышал 2,08—2,10.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Еремин Е. Н., Жеребцов С. Н.* Новая технология изготовления сплошных роговых сердечников для производства трубных отводов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2004. № 7. С. 39—40.
2. *Жеребцов С. Н., Филлипов Ю. О., Еремин А. Е.* Влияние дисперсного упрочнения на жаропрочность сплавов // Сварка и контроль — 2005. Челябинск: ЮурГУ, 2005. С. 82—86.
3. *Фазовый* состав жаропрочных никельхромовых сплавов / Н. Ф. Лашко, Е. Ф. Трусов, О. А. Хромова и др. // Жаропрочные стали и сплавы. Под ред. Ф. Ф. Химушина. М.: ОНТИ, 1970. С. 35—53.

В. И. БОЧЕНИН, д-р техн. наук
Курганский государственный университет

Неразрушающий способ экспресс-анализа фазового состава заготовок рессорного производства после индукционной закалки

При индукционной закалке заготовок рессорного производства, изготовленных из стали 50ХГ [1], необходима информация о фазовом составе поверхностного слоя в различных участках изделия. Если в закаленной стали содержание мартенсита низкое, то это свидетельствует о незавершении фазового превращения γ-фазы в α-фазу. Поэтому актуальной является проблема контроля фазового анализа после закалки, способствующая выбору оптимальной продолжительности выдержки при критической температуре нагрева.

Разработан неразрушающий способ экспресс-анализа фазового состава поверхностного слоя заготовок, физическая сущность которого основана на определении содержания мартенсита и остаточного аустенита по плотности поверхностного слоя в различных участках заготовки. Его реализация выполняется путем облучения поверхностного слоя гамма-квантами радионуклида с последующей регистрацией обратнорассеянного излучения в геометрии прямой видимости [2]. С учетом этого разработана двухканальная система детектирования с коллимацией первичного и обратнорассеянного излучений, в которой реализуется сравнительный прием измерений с помощью блоков контролируемой среды (БКС) и эталонного образца (БЭО).

Структурная схема экспериментального двухканального датчика приведена на рис. 1. Источниками гамма-квантов являются два радионуклида ^{137}Cs (E = 660 кэВ, активность каждого 0,3 Бк). Радиоизотопные источники *1* и сцинтилляционные детекторы *2* установлены в выносных блоках *БКС* и *БЭО* со свинцовой защитой *3*, что позволяет осуществлять контроль в различных участках заготовок. Гамма-кванты через коллиматоры *4*, формирующие параллельный поток фотонов, попадают на поверхность контролируемой среды *6* и эталонного образца *7*. Обратнорассеянное излучение, отражаемое от контролируемой среды и эталона, проходит через вторые коллиматоры *5*, которые на-

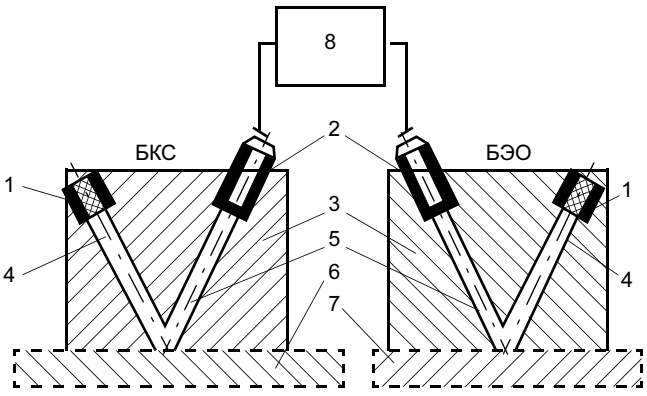


Рис. 1. Структурная схема двухканального датчика

правляют его к детекторам *2*. Со счетчиков *2* сигнал поступает в предварительный усилитель, который выполнен на двух транзисторах П416Б по схеме составного эмиттерного повторителя [3]. Входное сопротивление предварительного усилителя составляет около 300 кОм, выходное — 100 Ом. Диапазон выходных импульсов 100—400 мкВ, а коэффициент усилия равен примерно 6, максимальная амплитуда выходного импульса — 4 В. С предварительного усилителя импульсы поступают в линейный импульсный усилитель, который служит для усиления статически распределенных во времени импульсов. Усиленные импульсы поступают в серийный двухканальный дифференциальный дискриминатор *8* РРША-1 [3], на выходе которого постоянное напряжение, пропорциональное скорости счета, подается на два индикаторных прибора, расположенных в каждом канале.

Регистрируемый поток обратнорассеянного излучения в канале БКС от изделия со структурой α- и γ-фаз [2]

$$N^{к}_{\alpha,\gamma} = K_S \rho^{к}_{\alpha,\gamma} CVI^{-\mu^{к}_{\alpha,\gamma} d}. \quad (1)$$

Аналогично в канале БЭО

$$N^{э}_{\alpha,\gamma} = K_S \rho^{э}_{\alpha,\gamma} CVI^{-\mu^{э}_{\alpha,\gamma} d}, \quad (2)$$

где K_S — постоянная, зависящая от атомных констант и геометрии измерений; $\rho^{к}_{\alpha,\gamma}$, $\rho^{э}_{\alpha,\gamma}$ — плотность двухфазной структуры; C — суммарное содержание элементов в стали 50ХГ; V — объем, облучаемый гамма-квантами радионуклидов; $\mu^{к}_{\alpha,\gamma}$, $\mu^{э}_{\alpha,\gamma}$ — массовые коэффициенты ослабления обратнорассеянного излучения в материале контролируемой заготовки и эталона; d — средняя глубина, соответствующая центру пересечения коллиматоров.

Если точка пересечения осей коллиматоров расположена на малой глубине от поверхности контролируемой среды, то экспонентами в равенствах (1), (2) можно пренебречь ввиду малых значений $\mu^{к}_{\alpha,\gamma}$, $\mu^{э}_{\alpha,\gamma}$. В этом случае получим

$$N^{к}_{\alpha,\gamma} = K_S \rho^{к}_{\alpha,\gamma} CV; \quad (3)$$

$$N^{э}_{\alpha,\gamma} = K_S \rho^{э}_{\alpha,\gamma} CV. \quad (4)$$

Тогда плотность двухфазной среды

$$\rho^{к}_{\alpha,\gamma} = \frac{N^{к}_{\alpha,\gamma}}{K_S CV}; \quad (5)$$

$$\rho^{э}_{\alpha,\gamma} = \frac{N^{э}_{\alpha,\gamma}}{K_S CV}. \quad (6)$$

Отношение выражений (5) и (6) при сокращении постоянных ($K_S CV$) примет вид

$$\frac{\rho^{к}_{\alpha,\gamma}}{\rho^{э}_{\alpha,\gamma}} = \frac{N^{к}_{\alpha,\gamma}}{N^{э}_{\alpha,\gamma}}. \quad (7)$$

Окончательно получаем

$$\rho^{к}_{\alpha,\gamma} = \frac{N^{к}_{\alpha,\gamma}}{N^{э}_{\alpha,\gamma}} \rho^{э}_{\alpha,\gamma}. \quad (8)$$

С целью выполнения равенства (8) осуществляли настройку регистрирующей радиоизотопной аппаратуры (см. рис. 1). Семь плоских образцов размером 40 × 40 × 3 мм из стали 50ХГ помещали в муфельную печь, нагретую до 690 °С. Меняя продолжительность выдержки, извлекали каждый образец, охлаждая в воде. В результате получали различный фазовый состав. Плотность $\rho^{к}_{\alpha,\gamma}$ определяли гидростатическим взвешиванием, а содержание α- и γ-фаз — магнитным методом [4]. По результатам эксперимента строили аналитический график (рис. 2). Видно, что плотность двухфазной среды линейно убывает с ростом содержания мартенсита.

Используя образцы с известным фазовым составом, определяли содержание мартенсита и ос-

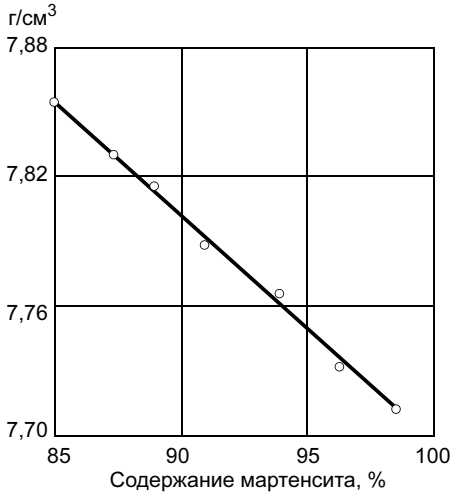


Рис. 2. Зависимость плотности двухфазной среды от содержания мартенсита

таточного аустенита радиоизотопным способом, подбирая оптимальные условия измерений, обеспечивающие минимальную погрешность контроля. В качестве эталона использовали образец с закалкой по нормальному режиму с содержанием мартенсита 97 % и плотностью $\rho^{э}_{\alpha,\gamma}$ = 7,72 г/см^3. В блок БЭО (см. рис. 1) помещали эталонный образец, а в блок БКС — контролируемые. При облучении поверхностного слоя образца гамма-квантами в канале БКС регистрировали поток обратнорассеянного излучения $N^{к}_{\alpha,\gamma}$, а в канале БЭО — $N^{э}_{\alpha,\gamma}$. По формуле (8) рассчитывали плотность контролируемых образцов. Добивались снижения аппаратурной погрешности, обеспечивающей наилучшую сходимость радиоизотопного контроля с данными гидростатического взвешивания. Приемлемые результаты удалось получить при регистрации обратнорассеянного излучения в спектрометрическом варианте с частичным снижением многократно рассеянного фона. Реализация таких условий достигалась путем экранизации детекторов тройным фильтром, состоящим из свинца (толщина 0,2 мм), меди (0,3 мм) и кадмия (0,1). Последние два использовали для поглощения характеристического излучения свинца, находящегося в защитных контейнерах. Кроме этого, результаты измерений зависели от геометрических параметров радиоизотопной аппаратуры. Выполнение малой глубинности контроля достигалось изменением угла между осями коллиматоров. С учетом этого выполняли контроль фазового состава при установке углов 111, 115 и 120°. Сопоставление результатов неразрушающего способа определения содержания мартенсита и магнитного метода (см. таблицу) показало, что минимальное отклонение от данных магнитного метода возможно при установке угла между осями коллиматоров 115°.

На основе изложенных исследований разработали методику промышленного экспресс-анализа фазового состава заготовок после индукционной закалки. Радиоизотопный анализатор (см. рис. 1) устанавливали в термическом цехе. Предварительно для образцов небольших размеров с известным фазовым составом и плотностью строили аналитический график (см. рис. 2). В блок БЭО помещали закаленной образец из стали 50ХГ с плотностью 7,72 г/см^3 и содержанием мартенсита 97 %. После закалки заготовки контролируемую поверхность очищали от загрязнений и устанавливали на нее блок БКС (см. рис. 1). При облучении контролируемого участка заготовки и эталонного образца гамма-квантами радионуклидов ^{137}Cs на выходе гамма-спектрометра фиксировали параметры $N^{к}_{\alpha,\gamma}$, $N^{э}_{\alpha,\gamma}$ с помощью стрелочных индикаторов.

Номер образца	Содержание мартенсита, %						
	Магнитный метод	Неразрушающий способ (угол между коллиматорами)			Отклонение (угол между коллиматорами)		
		110°	115°	120°	110°	115°	120°
1	90,7	90,0	90,9	90,1	–0,7	+0,2	–0,6
2	92,3	91,3	92,2	92,6	–1,0	–0,1	+0,3
3	93,5	92,7	93,4	93,9	–0,8	–0,1	+0,4
4	94,9	95,3	94,9	93,9	+0,4	0	–1,0
5	96,6	97,5	96,8	97,6	+0,9	+0,2	+1,0
6	98,3	97,9	98,4	98,8	–0,4	+0,1	+0,5
7	99,2	98,4	99,3	98,7	–0,8	+0,1	–0,5

Примечание. Содержание аустенита оценивается по разности 100 % – C_α (C_α — содержание мартенсита).

Далее по формуле рассчитывали плотность контролируемого участка, а по графику (см. рис. 2) определяли содержание мартенсита. Аналогичным способом выполняли контроль и на других участках заготовок.

Результаты промышленного контроля показали, что во многих случаях на отдельных участках заготовок наблюдалось заниженное содержание мартенсита (85—90 %), что свидетельствовало о недостаточной выдержке при критической температуре нагрева. Установили, что основной критерий продолжительности нагрева — величина отношения $N^{к}_{\alpha,\gamma}/N^{э}_{\alpha,\gamma}$. Если его значение составляло 0,95—0,98, то продолжительность выдержки считалась удовлетворительной.

Результаты исследования показали, что неразрушающий способ обладает высокой экспрессностью (фазовый состав на одном участке определяется за 1,0—1,5 мин, содержание α- и γ-фаз на пяти—шести участках заготовки — около 9 мин). Портативность регистрирующей аппаратуры (масса каждого блока 1,5—2 кг) позволяет осуществлять контроль в любом месте заготовки. С помощью предлагаемого экспресс-анализа можно подобрать продолжительность нагрева при закалке, обеспечивающую получение изделия с требуемыми механическими свойствами. Биологическая защита измерительных блоков позволяет снизить радиационное излучение до допустимого уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гуляев А. П.* Металловедение. М.: Металлургия, 1977. 646 с.
2. *Боченин В. И.* Радиоизотопный контроль качества в металлургии. М.: Металлургия, 1988. 214 с.
3. *Комяк Н. И., Мясников Ю. Г.* Рентгеновские методы и аппаратура для определения напряжений. Л.: Машиностроение, 1972. 86 с.
4. *Денель А. К.* Дефектоскопия металлов. М.: Металлургия, 1972. 304 с.

В. А. РОГОВ, д-р техн. наук, В. В. СОЛОВЬЕВ, канд. техн. наук, Р. В. ДУБРОВСКИЙ, аспирант
Российский университет дружбы народов

Тенденции повышения точностной надежности механической обработки

Анализ технической литературы и требований к точности металлорежущего оборудования показал, что за последние десятилетия сложилась устойчивая тенденция постоянного повышения требований к точности обработки. Очевидно, что точность обработанной детали в основном зависит от точности оборудования. Конечно, нельзя исключать влияние на точность обработанной детали и многих других факторов: вида и состояния инструмента, режимов обработки, внешних факторов и др.

В последнее время возникла необходимость создания оборудования, которое обеспечивало бы не только жесткие требования по точности размеров, отклонению формы и расположению поверхностей, но и стабильности полученных показателей точности — точностную надежность. Какой бы высокой точностью оборудование не обладало, при влиянии на него различных возмущающих воздействий стабильность точности нарушается, не говоря о том, что даже в очень точных станках в процессе их эксплуатации выходные параметры станка ухудшаются под действием различных процессов. С другой стороны, изготовление и сборка станка с очень высокой точностью не всегда экономически оправдана.

Конкуренция на международном рынке заставляет постоянно искать пути совершенствования выпускаемой продукции, улучшения не только технических характеристик, но и изменения внешнего вида, а следовательно и формы деталей, входящих в конструкцию, изменения технологии обработки, применения современных материалов. Все это привело к устойчивой тенденции увеличения объемов применения гибкого автоматизированного оборудования, в основном оснащенного ЧПУ. Это обстоятельство делает актуальным вопрос о способах обеспечения точности обрабатываемых на станках деталей.

При проектировании оборудования следует распределить, за счет каких методов следует обеспечить точностные характеристики. Наиболее перспективными являются два метода обеспечения точности: увеличение точности ответственных деталей и узлов оборудования; программная коррекция исполнительных движений.

Направляющие металлорежущих станков обеспечивают заданные траектории движения рабочих органов и воспринимают нагрузки от сил резания и привода перемещений. Часто точность формообразующих движений для станков на более чем 60 % зависит от направляющих, к ним предъявляются высокие требования по качеству рабочих поверхностей, контактной жесткости, величине и постоянству сил трения, демпфированию, долговечности и другим характеристикам.

Вопросы конструирования, эксплуатации и расчета направляющих рассмотрены рядом авторов, которые оценивали динамические характеристики процессов трения и повышения точности позиционирования. Это В. А. Кудинов, Ж. С. Равва, М. Л. Орликов, В. Э. Пуш, Г. Опитц, В. Л. Вейц и др. В этих работах даются также рекомендации по управлению режимом работы приводов и приведены конструкции приводов малых перемещений, обеспечивающих равномерность и точность данных перемещений.

Авторы исследовали устойчивость процесса трения в направляющих тяжелых токарных и глубокорасточных станков, которая в значительной степени влияет на производительность и точность обработки, особенно для станков с ЧПУ, приводы которых при линейной и круговой интерполяции работают в режиме разгон—торможение.

Существует критическая скорость, характерная для данной упругой системы привода, ниже которой имеют место фрикционные автоколебания подвижных узлов. Если рассмотреть простейший случай привода с постоянной жесткостью, то уравнение движения с учетом затухания, пропорционального скорости, имеет вид

$$m\ddot{x} + \beta(\dot{x} - \upsilon) - k(x_0 + \upsilon t - x) + F = 0,$$

где m — масса подвижного узла; $\ddot{x}$ — ускорение скольжения; $\dot{x}$, υ — скорость движения узла и задающего устройства соответственно; β — коэффициент затухания в приводе и направляющих; x_0 — начальная деформация в момент трогания при силе трения покоя, равная $F_п/k$ ($F_п$ — сила трения покоя; k — приведенная жесткость привода); t — глубина резания; F — сила трения движения.

В общем случае, если рассматривать станок как систему с тремя степенями свободы, его динамические свойства описываются совокупностью девя-

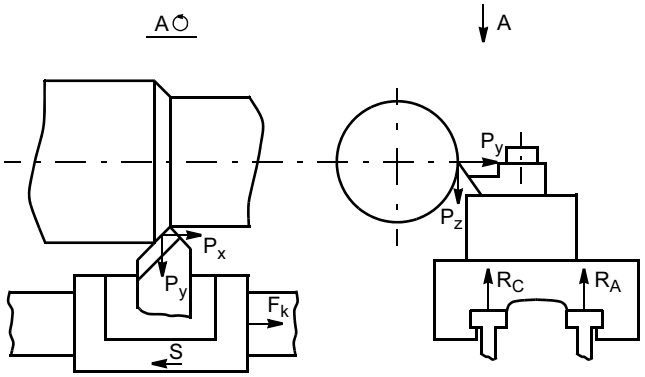


Рис. 1. Схема суппорта токарного станка

ти амплитудно-фазовых частотных характеристик. Применительно к суппорту токарного станка (рис. 1), интерес представляет передаточная функция упругой системы в виде $W_{yc} = R_{xx}W_{xx} + R_{xz}W_{xz} + R_{zx}W_{zx}$, которая является в данном случае доминирующей.

В. А. Кудинов рассматривает динамическую модель системы с трением как систему с двумя степенями свободы, имеющую две статические характеристики: жесткость контактной деформации $k_т = F_{k1}/z_н = fj_н$ (F_{k1} — сила трения, зависящая от контактных деформаций; $z_н$ — деформация направляющих по оси Z) и гидродинамической составляющей $k_\upsilon = F_{k2}/\dot{x}$ (F_{k2} — сила трения, зависящая от скорости скольжения). Здесь $j_н$ — жесткость направляющих в нормальном направлении, $\dot{x}$ — скорость скольжения.

Динамическая модель с двумя степенями свободы и в линейной постановке описана системой уравнений

$$\begin{cases} m\ddot{x} + \beta_x(\dot{x} - \upsilon) - k_x(x_0 + \upsilon t - x) = -k_т z_н; \\ m\ddot{z} + \beta_z \dot{z} + k_z z = -k_\upsilon \dot{x}. \end{cases}$$

Таким образом, силу трения F_k представляем как имеющую две составляющие: $F_k = F_{k1} + F_{k2}$, из которых F_{k1} пропорциональна контактным деформациям, а F_{k2} — скорости скольжения (гидродинамическая составляющая) и они соответствуют передаточным функциям упругой системы $W_{yc} = R_{xz}W_{xz} + R_{zx}W_{zx}$.

При разработке суппорта с активным демпфером передаточная функция упругой системы $W_{yc} = R_{xx}W_{xx}$ и этот случай можно рассматривать как плоскую задачу с одной степенью свободы. Экспериментально построенные амплитудно-фазовые частотные характеристики (АФЧХ) упругой системы станка в направлениях R_{xx} и R_{xz} (R_{zx}) показывают, что динамическая жесткость в направлении R_{zx} (R_{xz}) на два-три порядка выше, чем в направлении R_{xx}.

Учитывая, что динамическая жесткость упругой системы в направлении R_{xx}, т. е. в направлении привода подач, влияет на скорость тангенциального нагружения, а следовательно, и на автоколебательный режим, предложена конструкция суппорта с активным демпфером, создающим вибрации в противофазе в направлении оси Z. В этом случае АФЧХ упругой системы решается с помощью уравнения $W_{yc} = R_{xz}W_{xz}$. К тому же, кроме постоянства жесткости привода подач упрощается конструкция самого суппорта за счет исключения промежуточного звена (осциллирующего механизма) и имеется возможность создавать вибрации с более высокой частотой.

Применение суппортов станков с ЧПУ с более совершенными динамическими характеристиками направляющих позволяет обеспечить точное позиционирование (обход по контуру) за счет управления режимом работы привода при непрерывном автоматическом управлении процессом торможения, останова и разгона в соответствии с сигналами датчиков обратной связи.

При проектировании систем управления приводами станков с ЧПУ возникают задачи, связанные с необходимостью одновременного учета разнообразных механических, электрических факторов и особенностей функционирования компьютера с некоторым вычислительным алгоритмом в общей системе управления. При тщательном изучении процессов, протекающих в сложной системе управления, с помощью систем дифференциальных уравнений имеют место следующие особенности:

— существуют системы управления с негладкими, в частности, разрывными правыми частями, связанные с силами сухого трения, наличием зазоров в шестеренчатых передачах, введением для улучшения функционирования системы нелинейных элементов, пороговых и зон нечувствительности и др.;

— наличие автоматически вносимых цифровой системой управления задержек, которые приводят к более сложным системам эволюционных уравнений, поведение которых имеет значительно больше неопределенности;

— при решении задач оптимального управления необходима одновременная оптимизация совместно с управляющей траекторией скалярных параметров системы.

Пусть требуется обработать фрезой некоторую поверхность, например контур (рис. 2). Для простоты будем считать, что движется фреза, а заготовка является неподвижной (при движении стола с заготовкой относительно неподвижной фрезы движение инвертируется). Требуемую траекторию дви-

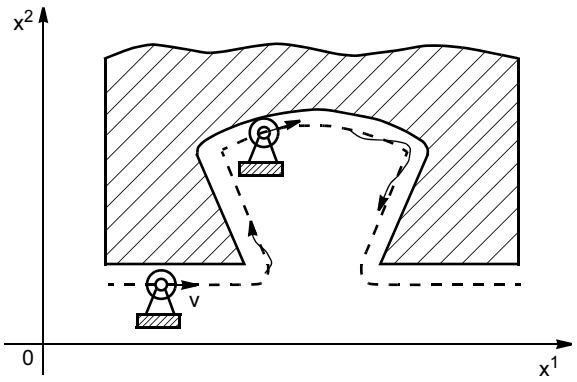


Рис. 2. Пример обработки фрезой определенного контура

жения центра фрезы обозначим через $y(t) \in R^s$, $t \in [0, \tau_1]$. В силу присутствия инерционных масс и электрических инерционных элементов, а также ограничений на реально подводимое к двигателю напряжение реальная траектория движения центра фрезы $\hat{x}(t) = (x^1(t), x^2(t), x^3(t))$ не совпадает с желаемой $y(t)$.

Для повышения точности обработки необходимо вводить некоторое упреждение по фазе подводимого к следящему приводу напряжения возбуждения обмотки якоря. Одной из методик расчета данного упреждения является методика, основанная на принципе максимума Понтрягина. Для обычных задач без фазовых ограничений рассматриваемые условия оптимальности являются в то же время "близкими" к достаточным условиям экстремума, что подтверждается их достаточностью для линейных систем. В то же время для задач с фазовыми ограничениями оказывается возможным построить несколько формулировок, отличающихся построением весовой функции $\psi(\bullet) \in C(R^m, R^n)$. В одних формулировках эта функция задается с помощью простых аналитических соотношений, в то время как другие являются "более достаточными" для локальной экстремальности. Это прежде всего касается случаев "залегания" оптимальной траектории на границе фазового ограничения, где существенным фактором является то, в каком направлении рассматриваются игольчатые вариации. Полностью данное свойство становится особенно существенным в задачах со смешанными ограничениями на фазовые координаты и управления.

Повышение точности формообразования поверхностей зависит от совершенства приводов подачи станков с ЧПУ, где к приводам предъявляют повышенные требования по быстродействию и диапазону регулирования. Приводы подач сообщают движение суппортам, столам, ползунам, агрегатным головкам и т. д. и должны обеспечивать требуемые режимы обработки, диапазон подач, необходимые силы, безлюфтовое движение рабочего органа, заданное быстродействие, высокую точность формообразующих движений.

Конструкция линейных электрогидравлических приводов с задающим электродвигателем отвечает требованиям, предъявляемым к станкам с ЧПУ по точности позиционирования, диапазонам рабочих скоростей, жесткости нагрузочной характеристики и весовым показателям. Кроме того, гидроцилиндр обеспечивает отсутствие промежуточных передач между двигателем и рабочим органом станка, малую инерционность подвижных частей и, как следствие, высокое быстродействие, хорошую плавность хода в широком диапазоне изменения скоростей.

К недостаткам гидропривода следует отнести малую дистанционность в связи с большими потерями в трубопроводе, поэтому в 80-х годах прошлого столетия станкостроители стали проектировать для станков с ЧПУ приводы подач с электрическими линейными двигателями переменного или постоянного тока.

В свое время В. Э. Пуш прогнозировал, что станки с ЧПУ в XXI веке будут иметь минимум приводных механизмов, а перемещения рабочих органов осуществлять линейные двигатели с широким диапазоном регулирования и высоким быстродействием (скорость позиционирования до 1 м/с). В современных станках используют принципиально новые системы привода подач с применением линейного двигателя постоянного тока в сочетании с обычным приводом с винтовой или реечной передачей.

Если проанализировать различные конструкции линейных двигателей, то можно обнаружить четкую зависимость максимального усилия от длины хода при постоянных габаритных размерах, наподобие золотого правила механики "выигрываешь в силе — проигрываешь в расстоянии".

Рациональнее использовать линейные двигатели для малых перемещений — до нескольких миллиметров. При этом для увеличения усилия можно увеличивать число полюсов двигателя, что тождественно параллельному соединению нескольких простейших линейных двигателей.

Выход из положения можно найти в применении коллекторных линейных двигателях постоянного тока, но ценой значительного усложнения конструкции, повышения цены и снижения надежности. Кроме того, таким двигателям присущ еще один существенный недостаток — периодическая скачкообразная зависимость тягового усилия от перемещения, обусловленная коммутацией полюсов ротора.

Как альтернативное решение разработан комбинированный привод, который хотя и не избавляет от необходимости применения передач, но зна-

чительно улучшает динамические характеристики привода. Привод является усовершенствованием классического привода с передачей винт—гайка и представляет собой последовательное механическое соединение штатного привода, обеспечивающего требуемую длину перемещения, и короткоходового многополюсного линейного двигателя постоянного тока, имеющего большое усилие с возможностью кратковременного форсажа, что обеспечивает высокое быстродействие.

По сумме показателей наиболее перспективными представляются синхронные линейные двигатели с возбуждением от постоянных магнитов. Разновидностью этого класса являются также шаговые двигатели. Их главным достоинством является периодическая конструкция ротора и статора, сходная с конструкцией коллекторных линейных двигателей постоянного тока, которая позволяет выполнить линейный двигатель с практически неограниченной длиной хода, и усилием, не зависящим от координаты. Наиболее примечательным свойством электрических машин этого типа является четкая связь между фазой тока в обмотках и положением ротора, которая собственно и определяет их название — синхронные машины. Благодаря такой особенности в ряде случаев можно строить приводы подач без обратной связи по положению.

Еще одно преимущество линейных синхронных двигателей состоит в том, что их можно конструктивно комбинировать с направляющими, и довольно перспективным в этом отношении видится комбинация с гидростатическими направляющими. Это дает три положительных эффекта: плавность и равномерность медленных перемещений, определяемых гидростатическими направляющими; направляющие незамкнутой конструкции замыкаются нормальной силой магнитного притяжения двигателя; тонкий слой смазки гидростатических направляющих обеспечивает минимальную и стабильную толщину немагнитного зазора, практически не достижимую в других конструкциях, что значительно улучшает тяговые свойства двигателя.

Такие линейные двигатели выпускают серийно для нужд робототехники, но их с успехом можно было бы применять и в металлорежущем оборудовании. В качестве примера можно привести двигатели фирмы Ruchservomotor (Республика Беларусь), имеющие тяговое усилие 280 Н, максимальную скорость перемещений 2,5 м/с, точность позиционирования в микрошаговом режиме 0,01 мм, точность позиционирования в следящем режиме 0,001 мм.

Для привода подач металлорежущего оборудования приемлемыми являются тяговые характеристики 140—200 Н на 1 дм^2 рабочей поверхности и динамические — ускорение ненагруженного двигателя (12—16)*g*.

Развитие автоматизированного машиностроения, массового производства, элементов высокоинтегрированной электроники и новых технологий явилось стимулом к разработке совершенных следящих и регулируемых электроприводов. К настоящему времени налажено серийное производство мехатронных модулей, в которых электродвигатели, электронные преобразователи, микропроцессорные системы автоматического управления и прецизионные механические передачи объединены в единые конструктивы.

Из таких модулей компонуют многокоординатные металлорежущие станки и роботы — основные узлы гибкого автоматизированного производства. Успешно также разрабатывались различные конструкции, в которых объединены исполнительные и приводные механизмы с линейным и вращательным движением рабочего органа. Они получили название приводы прямого действия. Замена механических связей электронными с цифровой передачей сигналов позволила исключить зазоры, мертвые ходы, упругие звенья и т. д., что кардинально повысило точность (5,00—0,05 мкм), быстродействие (10—400 м/с) и выходные скорости (1—10 м/с).

По результатам прогнозного анализа применения приводов в металлорежущих станках, к 2015 г. при проектировании станков со средним и высоким уровнем автоматизации практически не будут использовать системы классических приводов (электродвигатель—механическая передача—шпиндель).

Широкое внедрение станков с микропроцессорными УЧПУ делает актуальным вопрос о повышении точности выходных параметров станка за счет программной коррекции исполнительных движений, когда в результате расчетов и эксперимента определяют зависимость точности выходных параметров станка от его погрешностей и заносят в виде математической модели в память системы управления. Причем эффективность такого метода будет тем выше, чем бóльшее количество погрешностей станка удается им охватить. Поэтому одной из главных задач является построение формальной математической модели функционирования станка как объекта управления, отображающей существующую систему отношений его звеньев как между собой, так и с внешней средой.

В процессе теоретических и экспериментальных исследований, посвященных построению математической модели формообразующей системы металлорежущего станка, разрабатывают алгоритмы программной коррекции исполнительных движений металлорежущего оборудования. Основной задачей является создание системы управления точностью обработки, использующей микропроцессор для формирования сигнала управления в контуре регулирования по пути, который позволяет

проводить в реальном времени коррекцию исполнительных движений станка.

Процесс математического моделирования включает следующие операции: представление изучаемого объекта как сложной динамической системы; расчленение изучаемой сплошной системы на подсистемы; анализ подсистем путем моделирования; построение комплексной математической модели системы в целом путем сопоставления результатов моделирования с экспериментальными данными.

Реализация системного подхода к построению систем обеспечения точности обработки на станках приводит к необходимости создания комплекса математических моделей элементов, взаимосвязь между которыми определяется принятой иерархической структурой. Вопрос состоит в том, чтобы создать, используя формализованное описание системных элементов и средства вычислительной техники, программно-машинную систему обеспечения точности обработки как совокупность взаимодействующих подсистем, объединенных единством цели или общими целенаправленными правилами взаимоотношений.

ВЫВОДЫ

1. Системный подход к построению системы обеспечения точности обработки является крайне важным, однако методология данного подхода развита недостаточно.

2. В известных теоретических работах не ставится задача выработки такой методологии, которая позволила бы с единых позиций разработать математическую модель предметной области, системы обеспечения точности обработки.

3. Системные ограничения требуют построения математической модели с заранее предусмотренной возможностью адаптации к изменяющимся условиям.

4. Большой объем данных, длительный срок эксплуатации и необходимость малолюдной технологии требуют применения новой технологии сбора и обработки данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Босинзон М. А.* Автоматизированные мехатронные модули линейных и вращательных перемещений металлообрабатывающих станков // Приводная техника. 2002. № 1. С. 10—19.
2. *Ковалев В. Д., Бабин О. Ф., Мельник М. С.* Перспективные приводы подач станков с ЧПУ. Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем. Краматорск, 2003. Вып. 13. С. 101—107.
3. *Бабин О. Ф., Ковалев В. Д.* Динамическая устойчивость направляющих тяжелых станков. Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем. Краматорск, 2003. Вып. 14. С. 62—67.
4. *Гузенко В. С.* Вопросы методологии проектирования инструментальных систем // Прогрессивные технологии машиностроения и современность. Донецк: ДонГТУ, 1997. С. 75—77.

**П. И. ЯЩЕРИЦЫН, д-р техн. наук, Л. Е. СЕРГЕЕВ, канд. техн. наук,
А. П. РАКОМСИН, канд. техн. наук, М. И. СИДОРЕНКО, канд. техн. наук, В. Е. БАБИЧ, инж.
Белорусский государственный аграрный технический университет (Минск)**

Магнитно-абразивная обработка прядильных колец

В прядильном производстве для изготовления текстильных изделий — тканей, трикотажа, гардин, сетей, шнуров, канатов — из шерстяного, хлопкового и льняного волокна формируют пряжу путем переработки, разрыхления и очищения волокна, которое после сучения и вытягивания образует ровницу. Затем из ровницы дискретизацией, последующим кручением и сучением вырабатывается пряжа. Основными направлениями совершенствования и повышения производительности прядильных машин являются увеличение их скоростных параметров; использование микропроцессов с выводом основных параметров работы на дисплей; применение полуавтоматов и автоматов, а также их комплексов с единой системой управления технологическим процессом. К середине XX века кольцевые прядильные машины непрерывного действия вытеснили менее производительные и более сложные машины периодического действия. Вместе с тем современные кольцевые прядильные машины работают уже при такой частоте вращения веретен, при которой остается малый резерв для роста производительности машины. Этот рост возможен за счет автоматизации процесса съема початков с веретен, ликвидации обрыва пряжи и агрегатирования машин с мотальными автоматами в комплекс [1]. Существенным фактором обеспечения эффективности работы машин является снижение текущей обрывности, оценка которой производится при рас-

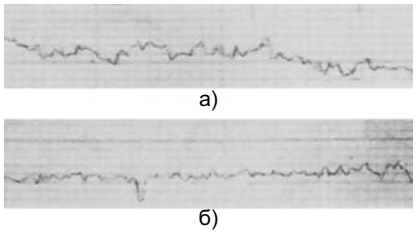
Рис. 1. Прядильное кольцо после магнитно-абразивной обработки

Рис. 2. Частицы ферроабразивного порошка Ж15КТ. ×100

смотрении механизма привода веретен. Одной из его ответственных деталей служит прядильное кольцо со специально обработанной поверхностью (рис. 1).

Технологический процесс изготовления данных колец включает комплекс токарных сверлильных и фрезерных операций, закалку в защитной среде (при использовании заготовки из стали) и шлифования. Однако, несмотря на правильное построение данного технологического процесса и применение высокоэффективных способов механической обработки, существует ряд определенных трудностей для их реализации. Это связано с тем, что форма кольца представляет собой достаточно сложную поверхность для получения требуемых выходных показателей. Крутильно-мотальный механизм, в состав которого входят эти кольца, осуществляет кручение и наматывание пряжи. Для предотвращения ухода волокна в мычкоулавливатель при обрыве нити пряжи требуется установка устройства прерывания питания ровницей. Данные устройства включают магнитные или оптико-электронные системы, что повышает себестоимость изготовления текстильных изделий. Следовательно, при достижении показателя шероховатости поверхности, характеризующегося отсутствием узких и глубоких впадин и большой высоты микронеровностей, существует реальная возможность снизить уровень обрывности данной нити.

В качестве оборудования применяется станок СФТ 2.150.00.00.000 производства ГНУ ФТИ НАН Белоруссии. Ферроабразивный порошок (ФАП) Ж15КТ (ТУ 6-09-03-483—81 (рис. 2), смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) СинМА-1 (ТУ 38.59-01176—91), 5 %-ный водный раствор. Размер зерна ФАП Δ = = 100/160 мкм. Параметры и режимы обработки: магнитная индукция B = 1,1 Тл; скорость вращения детали $\upsilon_д$ = 2 м/с; амплитуда осцилляции A = 3 мм; рабочий зазор δ = 1 мм; коэффициент заполнения рабочего зазора $K_з$ = 1; время обработки t = 120 с. Исходная шероховатость поверхности кольца Ra_1 = 0,8÷1 мкм; материал кольца — сталь 40Х13 (42—46 $HRC_э$). Выходными показателями служат удельный массовый съем материала Q, мг и достигаемая шероховатость поверхности Ra_2, мкм. Измерение массового съема производили на аналитических весах ВЛА-200г с точностью до 10^{-6} кг, шероховатости — на профилографе-профилометре 252-Калибр. При проведении исследования использовали металлографический метод Neophot 2 для определения формы и строения частиц ФАП. Структурную составляющую выявляли при помощи травителя Марбле (50 мл HCl, 2 г $CuSO_4$, 50 мл C_2H_5OH, 50 мл H_2O).

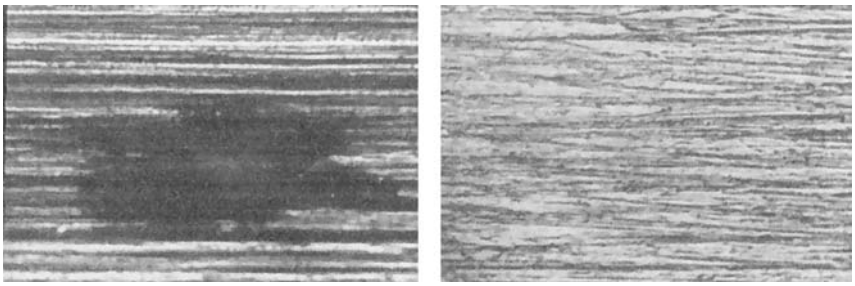


а)

б)

Рис. 3. Профилограмма поверхности прядильного кольца после шлифования (*а*) и МАО (*б*)

На рис. 3, *а* представлена профилограмма шероховатости поверхности кольца после шлифования. Видно, что микронеровности вершин и впадин будут для протекающей по ним нитям пряжи играть роль режущего лезвия при условии ее дополнительного натяжения во время движения. Кроме того, прохождение нити по этой поверхности характеризуется нагревом вследствие высокой частоты вращения веретен (до 25 000 $мин^{-1}$). Даже если в целом обрыва пряжи и не произойдет, то определенная часть волокон окажется порезанной, что резко снизит прочность нити и может сказаться на других технологических характеристиках. Как известно, детали можно изготовлять копированием их поверхности конфигурацией формообразующего инструмента. В данном случае требуется обеспечить проникновение в труднодоступные участки кольца типа узких канавок режущих граней инструмента. Это является сложной технологической задачей для шлифовального круга с твердой связкой абразивных зерен. При этом возникает проблема прочности самого инструмента в связи с уменьшением его размерности для доставки непосредственно в зону обработки. Таким образом, контакт режущих зерен с деталью в такой зоне следует производить путем применения иного вида связки, обладающей большей вязкостью. Использование паст и суспензий при полировании характеризуется вы-



а) б)

Рис. 4. Топография поверхности (×150) прядильного кольца после шлифования (*а*) и МАО (*б*)

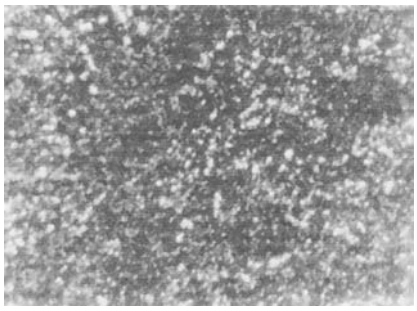


Рис. 5. Структура поверхностного слоя прядильного кольца. ×250

соким уровнем расхода и низким размерным съемом материала (до 5 мкм) даже при обработке изделий, отличающихся правильной геометрической формой. Возникает необходимость в такой связке, которая занимает промежуточное место между другими их видами. В таком случае основными факторами становятся не эвтектоидный раствор металлической матрицы шлифовального круга или кинематическая вязкость, обусловленная наличием стеарина в пасте ГОИ, а магнитное взаимодействие ферромагнитной рабочей среды (ФАП + СОТС).

Создание такой связки с наличием подвижно-координированного зерна осуществлено и реализовано магнитно-абразивной обработкой (МАО) [2, 3]. Ферроабразивная щетка, играющая роль инструмента, позволяет путем ее так называемого "выпучивания" и одновременного удержания на полюсном наконечнике, достигнуть шероховатости, отличающейся высокой степенью выглаженности радиусов вершин и впадин микронеровностей (рис. 3, *б*). При отсутствии острых граней сформированная методом МАО топография поверхности обеспечивает в отличие от шлифования уменьшение обрывности нити в среднем, как показали произведенные испытания, на 15—25 %. Увеличение эффективности крутильно-мотального механизма приводит к снижению числа отказов оборудования и, соответственно, к повышению производительности труда и рентабельности предприятия. Для шлифования характерна высокая температура (до 800 °С) в зоне обработки, что приводит к концентрации напряжений, а следовательно, возникновению прижогов и увеличению числа отказов оборудования, что сказывается на производственных показателях предприятия.

На рис. 4 приведена топография поверхности прядильного кольца после шлифования и МАО. На рис. 4, *а* показана поверхность прядильного кольца после шлифования, когда под действием высокой температуры процесса происходят фазовые и структурные превращения. Это проявляется в виде "шлифовочных прижогов" и сопровождается потемнением обработанного участка, в отдельных случаях обнаруживается визуально. Структурные превращения в этих местах приводят к локальным объемным изменениям, вызывающим рост внутренних напряжений разного знака. Если напряжения превышают временное сопротивление металла, происходит разрыв поверхностного слоя в центре или на границах участка "прижога" как в точке наибольшей концентрации. Возникновение микротрещин на поверхности резко снижает сопротивление усталости изделия [4].

Шероховатость поверхности при шлифовании составляет 0,1—0,4 мкм, при МАО — 0,01—0,02 мкм. На рис. 5 представлена структура поверхностного слоя после МАО прядильного кольца из стали 40Х13, на котором видно равномерное распределение мартенсита в аустенитной основе.

Таким образом, применение МАО как финишной операции обеспечивает на сложнопрофильной поверхности прядильных колец в местах их рабочего контакта с нитью пряжи шероховатость 0,01—0,02 мкм, что в свою очередь снижает обрывность нити пряжи до 25 % и повышает эффективность прядильного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кобяцкая Е. Е.* Экономическая теория и текстильная промышленность. М.: Московская государственная текстильная академия им. Косыгина, 1999. 128 с.
2. *Shinmura Takeo, Iamaguchi Hitomi.* Method of finishing abrasive machining of internal surfaces // Transactions of Japan Society Mechanic Engineering. 1993. Vol. 59. N 560. P. 1261—1267.
3. *Скворчевский Н. Я., Федорович Э. Н., Ящерицын П. И.* Эффективность магнитно-абразивной обработки. Минск: Навука і тэхніка, 1991. 216 с.
4. *Ящерицын П. И., Мартынов А. Н.* Чистовая обработка деталей в машиностроении. Минск: Вышейшая школа, 1983. 190 с.

В. П. ТАБАКОВ, д-р техн. наук
(Ульяновский политехнический институт),
М. Ю. СМИРНОВ, канд. техн. наук, А. В. ЦИРКИН, канд. техн. наук
(Ульяновский ГТУ),
А. В. ЧИХРАНОВ, инж.
(Димитровградский институт технологии, управления и дизайна Ульяновского ГТУ)

Износостойкие ионно-плазменные покрытия режущего инструмента и технологии их нанесения

Эффективным средством повышения работоспособности режущего инструмента (РИ) является нанесение износостойких покрытий, получаемых методом конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардировкой (КИБ). Важной задачей в технологии КИБ, от которой существенно зависит эффективность РИ с покрытиями, является поиск путей, позволяющих направленно изменять свойства покрытий. Одним из них является структурное упрочнение материала покрытия, которое может протекать по различным механизмам в зависимости от условий его конденсации.

Согласно структурной теории конструктивной прочности, при получении высокопрочных массивных материалов из всех механизмов упрочнения полностью удовлетворяют условиям повышения прочности только два [1]. Это субструктурное упрочнение, реализуемое созданием полигонально-ячеистых дислокационных построений, и упрочнение измельчением зерен. Учитывая, что для карбидов и нитридов металлов IV—VI групп периодической системы с гранецентрированной кубической структурой, используемых в качестве износостойких покрытий, справедливы основные закономерности протекания процессов деформации ГЦК металлов [2], можно предположить, что для них должны быть справедливы и принципы упрочнения массивных металлов. В случае упрочнения материала износостойкого покрытия максимальными прочностными свойствами будут обладать покрытия, кристаллическая решетка которых искажена различного рода дефектами — дислокациями, вакансиями, дефектами упаковки и т. п.

В технологии КИБ упрочнение материала за счет создания каких-либо специальных полигонально-ячеистых дислокационных построений практически невозможно. Единственная возможность субструктурного упрочнения заключается в создании конденсата с малыми размерами областей когерентного рассеивания, что наблюдается при низких температуре и скорости формирования покрытия [3]. Наиболее вероятными механизмами получения высокопрочного состояния пленочных материалов особенно с ковалентной связью, к которым относят карбиды и нитриды, является твердорастворное упрочнение (упрочнение примесными атомами), что приводит, в частности, к повышению степени дефектности покрытия [1]. Кроме того, примесные атомы снижают подвижность дислокаций и повышают стабильность дислокационной структуры, т. е. замедляют протекание процессов возврата и рекристаллизации. Следовательно, легирование примесными атомами может обеспечить стабильность структуры покрытия — предотвращать или замедлять процессы старения [3]. В случае конденсированных пленок примесные атомы могут попадать в покрытие вследствие наличия остаточных газов вакуума в камере установки, а также за счет специального легирования. Основным технологическим параметром технологии КИБ, от которого зависит степень упрочнения покрытия за счет остаточных газов вакуума, является температура конденсации. Снижение данного параметра приводит к увеличению дефектности материала покрытия и повышению его механических свойств. Следовательно, существенного повышения твердости и износостойкости материала покрытия следует ожидать при пониженных температурах конденсации.

При специальном легировании материала покрытия все легирующие элементы можно разделить на две группы: элементы, образующие нитриды с неограниченной растворимостью в нитриде титана, и элементы, образующие нитриды ограниченно растворимые в нитриде титана или не взаимодействующие с ним. К элементам первой группы можно отнести Zr, Mo, Cr, Ta, Nb, Hf. Они так же, как и титан, образуют нитриды с решеткой ГЦК, обладают высокой износостойкостью. В силу их взаимной растворимости друг в друге можно регулировать состав покрытия в широких

пределах, подбирая необходимые свойства композиции покрытие—инструментальная основа. Среди нитридообразующих элементов второй группы можно выделить Al, Si, Fe. Образуемые ими нитриды имеют высокие твердость и износостойкость. Ограниченная взаимная растворимость данных нитридов позволяет предположить, что в покрытиях нитрида титана, легированного элементами второй группы, кроме твердорастворного механизма может действовать механизм дисперсионного упрочнения частицами. Это может существенно повысить механические свойства покрытий. Известно, что нанесение покрытий КИБ осуществляется при подаче в вакуумную камеру установки реакционного газа: азота, метана, ацетилена. Состав газовой среды влияет на свойства покрытий, в частности на микротвердость [4]. Изменение микротвердости покрытий при этом может быть связано с электронной структурой материала покрытия. В то же время наблюдаемое уменьшение зерна промежуточных составов покрытия по сравнению с исходным твердым раствором позволяет сделать предположение, что изменение газовой среды, например добавление углеродсодержащего газа — ацетилена, при конденсации покрытий на основе карбонитридов аналогично действию легирующих элементов и вызывает твердорастворное упрочнение материала покрытия.

Вторым вероятным механизмом упрочнения материала покрытия в технологии КИБ может быть упрочнение микроструктурными барьерами за счет создания слоистости его структуры. Упрочнение микроструктурными барьерами для движения дислокаций (границы зерен, раздел двух фаз, прослойки второй фазы) является перспективным методом получения высокопрочного состояния материала износостойкого покрытия. Известно [5], что резервом значительного повышения прочности пленочных материалов является уменьшение их толщины. Это позволяет создавать пленочные композиции микроскопических размеров, состоящих из тонких пленок с прочностью, не достижимой для массивных материалов. Слоистость структуры покрытия при конденсации их методом КИБ может быть обеспечена за счет вращения РИ в камере установки и прохождения его мимо различных катодов.

Анализ механизмов получения высокопрочного состояния материала износостойкого покрытия позволил разработать и реализовать методологию направленного управления параметрами структуры, механическими свойствами покрытий и работоспособностью РИ за счет изменения температурного режима, легирования материала покрытия и изменения состава газовой среды при его конденсации [6]. На основе предложенной методологии разработаны технологические процессы нанесения однослойных и многослойных покрытий сложного состава на основе нитридов и карбонитридов титана. Рассмотрим некоторые из них.

Технология нанесения покрытий в комбинированном температурном режиме основана на закономерностях изменения параметров структуры и механических свойств покрытия от температуры конденсации. Снижение температуры повышает период кристаллической решетки *a*, полуширину рентгеновской линии β_{111}, что свидетельствует о микродеформации кристаллической решетки и ведет к увеличению микротвердости H_μ покрытия (табл. 1). С другой стороны, уменьшение температуры конденсации снижает прочность сцепления покрытия с инструментальной основой K_0 и его трещиностойкость, вызывает рост сжимающих остаточных напряжений σ_0.

Для получения высокой микротвердости и износостойкости покрытия при низкой температуре конденсации и высокой прочности сцепления с инструментальной основой при высокой температуре покрытие наносится в два этапа за один технологический цикл. Первый слой, непосредственно примыкающий к инструментальной основе, осаждается при высокой температуре конденсации, что обеспечивает высокую прочность сцепления с инструментальной основой; верхний слой — при возможно меньшей температуре, что позволяет получить высокие твердость и износостойкость покрытия [7]. Данная технология позволяет повысить работоспособность РИ с покрытием в 2—3 раза, может быть использована для покрытия любого состава и не требует дополнительных затрат, так как реализуется только за счет изменения температурного режима конденсации покрытия.

Технология нанесения износостойких покрытий многоэлементного типа. Изменение состава покрытия существенно влияет на его структурные параметры и механические свойства (табл. 2) [7]. В свою очередь химический состав многоэлементного покрытия определяется компоновочной

Таблица 1

$T_к$, °С	Структурные свойства			Механические свойства	
	a, нм	β_{111}, градус	σ_0, МПа	H_μ, ГПа	K_0
350	0,4250 ± 0,004	14,0 ± 0,5	–420 ± 50	27,0 ± 2,2	2,4 ± 0,1
450	0,4250 ± 0,004	11,0 ± 0,5	–150 ± 20	25,2 ± 2,0	1,5 ± 0,1
550	0,4249 ± 0,004	9,0 ± 0,3	–100 ± 20	23,2 ± 0,7	1,1 ± 0,1
650	0,4242 ± 0,005	9,0 ± 0,3	220 ± 20	21,2 ± 2,0	1,1 ± 0,1

Таблица 2

Содержание, %		*a*, нм		β_{111}, градус		H_μ, ГПа	K_0
Ti	Zr	TiN	ZrN	TiN	ZrN		
100	—	0,4250	—	0,6	—	26,0	0,75
80	20	0,4257	0,4480	0,7	0,60	40,0	0,55
60	40	0,4267	0,4525	1,2	0,62	42,5	0,34
50	50	0,4286	0,4587	1,6	0,62	43,0	0,20
40	60	0,4298	0,4596	1,8	0,52	41,5	0,43
20	80	0,4310	0,4600	1,5	0,40	35,0	0,95
—	100	—	0,4610	—	0,60	27,0	0,46

Таблица 3

Содержание, %		*a*, нм	β_{111}, градус	σ_0, МПа	H_μ, ГПа	K_0
Ti	Zr					
100,0	—	0,42350	0,40	200 ± 20	26,0	1,2
94,0	6,0	0,42560	0,35	–420 ± 140	32,2	1,2
91,6	8,4	0,42640	0,50	–500 ± 60	30,0	1,8
83,9	16,1	0,42850	0,67	–1550 ± 130	29,4	1,9
56,4	43,6	0,43640	1,20	–1440 ± 120	43,6	1,8

схемой установки: числом катодов-испарителей, их взаимным расположением относительно друг друга, расстоянием от катодов-испарителей до РИ. На рис. 1 приведены схемы осаждения и строения слоя покрытия (Ti, Zr)N за один оборот стола установки при нанесении покрытия из раздельных катодов. Видно, что при нанесении покрытия из раздельных катодов имеет место слоистая структура с чередованием микрослоев отдельных фаз покрытия TiN и ZrN, разделенных друг от друга переходными микрослоями переменного состава (Ti_x, Zr_{1-x})N. Изменяя компоновочную схему установки, можно получить различное сочетание микрослоев TiN, ZrN и (Ti_x, Zr_{1-x})N и их толщин и тем самым влиять на такие свойства покрытия, как микротвердость, прочность сцепления с инструментальной основой и др. Поэтому многоэлементные покрытия одной и той же системы (например Ti—Zr), полученные при различных компоновочных схемах установки, будут иметь разные механические свойства и, соответственно, работоспособность РИ будет различна. Механические свойства покрытий зависят также от технологии их нанесения. Сравнение данных табл. 2 и 3 показывает, что структурные параметры и механические свойства покрытий одной системы, например Ti—Zr, нанесенных из раздельных (см. табл. 2) и составных катодов (см. табл. 3), различны, что объясняется действием различных механизмов упрочнения материала покрытий при конденсации их по указанным технологиям [7]. Такое различие свойств покрытий отражается на работоспособности РИ, которая ниже для РИ с покрытиями, полученными из составных катодов.

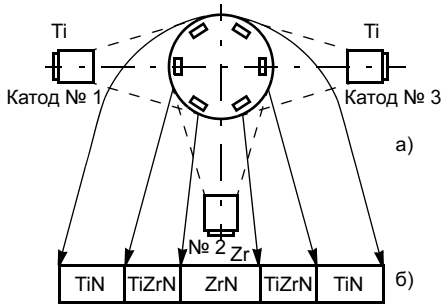


Рис. 1. Схемы осаждения покрытия сложного состава (*а*) и строения слоя покрытия, получаемого за один оборот стола установки (*б*) (стрелки указывают на соответствующие зоны пучков ионов и границы микрослоев в покрытии)

На основе выявленного механизма изменения свойств материала покрытия при его легировании разработаны составы многоэлементных покрытий, в том числе легированных железом, алюминием, кремнием (покрытия (Ti, Fe)N, (Ti, Al)N, (Ti, Si)N) [7]. Данные покрытия позволяют увеличить период стойкости РИ при обработке заготовок из конструкционных материалов в 2—3 раза по сравнению с покрытиями на основе нитрида титана.

Еще большие возможности открываются при изменении состава покрытий на основе нитридов бинарных систем путем их легирования. Механизм влияния легирующих элементов на нитриды одно- и двухэлементных систем одинаков, однако получаемые нитриды трехэлементных систем типа (Ti, Me_1, Me_2)N (где Me_1, Me_2 — Al, Zr, Si, Mo, Cr, Fe) имеют более высокие механические свойства (табл. 4) [6, 8]. С увеличением содержания второго легирующего элемента изменяются структурные параметры и механические свойства покрытий бинарных систем, при этом влияние различных элементов на них различно. В качестве примера на рис. 2 показано влияние легирующих элементов на механические свойства покрытия (Ti, Si)N. Видно, что все легирующие элементы увеличивают микротвердость покрытия (на 13—22 %), а прочность сцепления с инструментальной основой — только железо и алюминий.

Выявленные закономерности изменения свойств покрытий на основе нитридов бинарных систем (Ti, Al)N, (Ti, Zr)N, (Ti, Si)N при их легировании позволили разработать гамму покрытий на основе нитридов тройных систем — (Ti, Al, Zr)N, (Ti, Si, Cr)N, (Ti, Si, Al)N, (Ti, Zr, Si)N и др.

Применение разработанных покрытий позволяет повысить период стойкости РИ при обработке заготовок из сталей 30ХГСА и

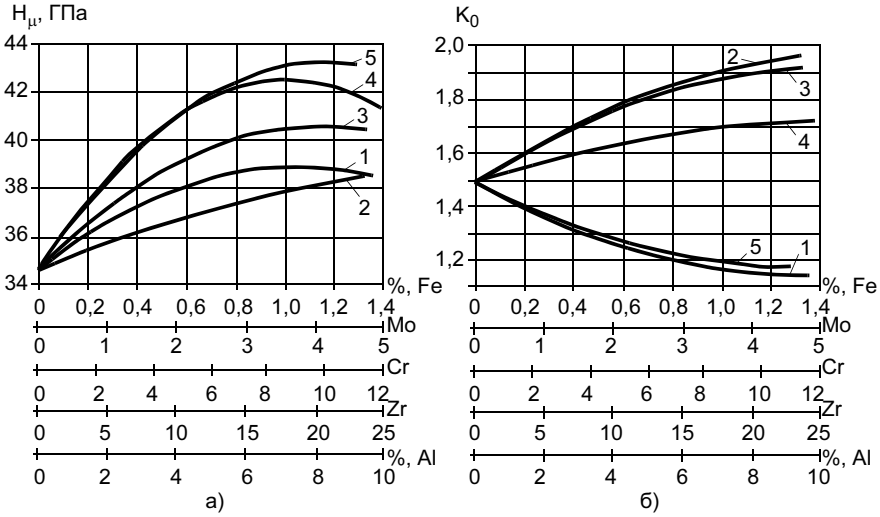


Рис. 2. Зависимость микротвердости H_μ (*а*) и коэффициента отслоения K_0 (*б*) покрытия (Ti, Si)N (инструментальная основа — твердый сплав МК8) от содержания легирующего элемента: *1* — Fe; *2* — Mo; *3* — Cr; *4* — Zr; *5* — Al

Таблица 4

Покрытие	Содержание легирующего элемента, %	*a*, нм	β_{111}, градус	σ_0, МПа	H_μ, ГПа	K_0
(Ti, Zr)N	—	0,4393	0,55	–1256	38,65	1,32
(Ti, Zr, Al)N	6,36 9,25	0,4302 0,4305	0,66 0,67	–1393 –1413	45,72 46,39	0,92 0,88
(Ti, Zr, Mo)N	2,40 4,73	0,4289 0,4287	0,59 0,61	–1491 –1599	41,26 42,76	1,46 1,53
(Ti, Zr, Cr)N	1,44 6,09 11,28	0,4287 0,4282 0,4279	0,59 0,63 0,66	–1324 –1413 –1422	40,36 44,66 45,25	1,41 1,55 1,58
(Ti, Zr, Fe)N	0,49 0,94 1,35	0,4290 0,4290 0,4289	0,61 0,67 0,65	–1207 –1148 –1138	40,76 42,14 42,32	1,11 1,01 0,98
(Ti, Zr, Si)N	0,25 0,49 0,84	0,4291 0,4291 0,4289	0,62 0,64 0,66	–1589 –1648 –1746	41,29 43,60 44,38	1,42 1,49 1,55
(Ti, Al)N	—	0,4230	0,57	–902	38,39	0,91
(Ti, Al, Fe)N	0,43 0,85 1,21	0,4223 0,4219 0,4214	0,64 0,68 0,66	–824 –804 –804	42,72 43,70 43,73	0,84 0,81 0,80
(Ti, Al, Mo)N	2,08 4,12	0,4227 0,4226	0,62 0,64	–1089 –1177	42,55 43,96	1,23 1,44
(Ti, Al, Cr)N	1,35 5,96 11,12	0,4226 0,4214 0,4221	0,60 0,68 0,65	–1265 –1628 –1472	41,25 46,48 45,62	1,09 1,22 1,30
(Ti, Al, Zr)N	4,61 12,17 23,39	0,4237 0,4245 0,4246	0,63 0,73 0,71	–1324 –1628 –1570	42,67 46,39 45,72	1,08 1,26 1,36
(Ti, Al, Si)N	0,25 0,49 0,83	0,4229 0,4228 0,4224	0,69 0,72 0,74	–1295 –1648 –1609	43,17 46,41 46,88	1,06 1,22 1,28

12Х18Н10Т в 1,5—2 раза в зависимости от режимов резания.

Изменения свойств износостойкого покрытия можно добиться путем варьирования состава газовой среды при их конденсации. Например, осаждение в азоте и ацетилене позволяет получать карбонитридные покрытия. Изменение содержания ацетилена в составе газовой смеси отражается на структурных параметрах и механических свойствах покрытия (табл. 5). Изменяя это соотношение, можно направленно влиять на свойства покрытия.

Таблица 5

Содержание ацетилена, %	*a*, нм	β_{111}, градус	σ_0, МПа	H_μ, ГПа
0	0,4276	0,50	–3000	32,5
25	0,4285	0,64	–3510	46,0
50	0,4303	1,55	–1500	41,0
75	0,4319	1,85	–1050	28,0
100	0,4354	1,40	–1800	38,0

На данной основе разработаны составы многоэлементных покрытий ((Ti, Zr)CN, (Ti, Al)CN, (Ti, Si)CN, (Ti, Mo)CN и др.) [7], позволяющих дополнительно повысить период стойкости РИ в 1,5—2 раза по сравнению с покрытиями на основе нитридов аналогичного состава.

Технология комбинированной упрочняющей обработки заключается в импульсной лазерной обработке износостойких покрытий, нанесенных на твердосплавную или быстрорежущую основу [9]. Применение импульсной лазерной обработки позволяет существенно изменить структурные параметры и механические свойства покрытия — уменьшить остаточные напряжения, повысить микротвердость и прочность сцепления покрытия с инструментальной основой (рис. 3).

Работоспособность РИ с износостойкими покрытиями после импульсной лазерной обработки повышается, например, при то-

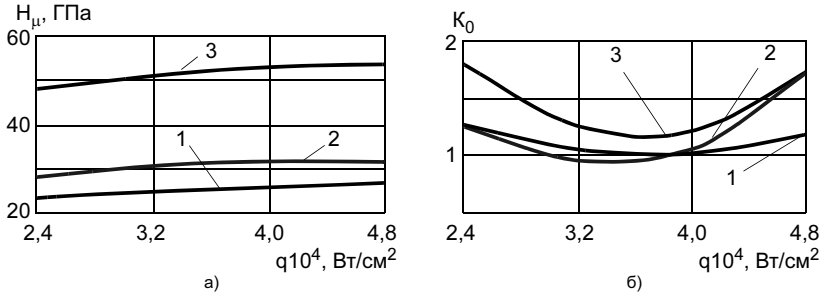


Рис. 3. Зависимость микротвердости (*а*) и коэффициента отслоения (*б*) покрытий (инструментальная основа — твердый сплав МК8, ЛО — лазерная обработка) от плотности мощности лазерного излучения: *1* — TiN + ЛО; *2* — (Ti, Zr)N + ЛО; *3* — (Ti, Zr)CN + ЛО

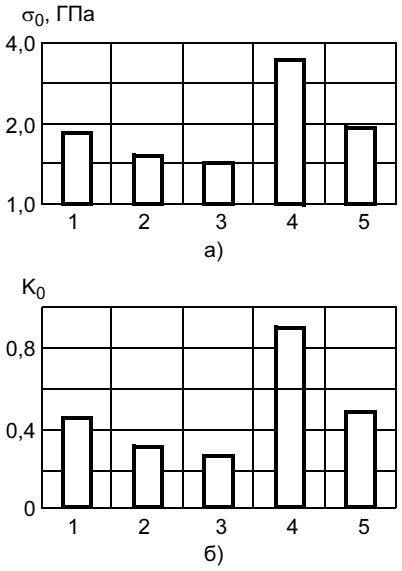


Рис. 4. Влияние ПАС на сжимающие остаточные напряжения σ_0 (*а*) и коэффициент отслоения K_0 (*б*) покрытий:
1 — TiN; *2* — (Ti, Fe)N—TiN; *3* — (Ti—Fe)—(Ti, Fe)N—TiN; *4* — (Ti, Zr)N; *5* — (Ti—Zr—Fe)—(Ti, Zr, Fe)N—(Ti, Zr)N

карной обработке заготовок из сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т в 1,5—2,5 раза в зависимости от состава покрытия и условий резания.

Технология нанесения покрытий с переходными адгезионными слоями заключается в нанесении между основным слоем покрытия и инструментальной основой переходного адгезионного слоя (ПАС), в состав которого входят элементы материалов покрытия и инструментальной основы. Применительно к быстрорежущему РИ используют ПАС, в состав которых входят титан (как элемент материала покрытия) и железо, никель и хром (как элементы материала инструментальной основы).

Переходные слои, содержащие элементы покрытия и инструментальной основы, обеспечивают снижение остаточных напряжений, повышение прочности сцепления покрытий с инструментальной основой и в конечном итоге уменьшение интенсивности изнашивания РИ (рис. 4). По данной технологии разработаны двух- и трехслойные покрытия на основе TiN, (Ti, Zr)N, (Ti, Mo)N и (Ti, Al)N (рис. 5), применение которых по сравнению с однослойными покрытиями, нанесенными по традиционной технологии, позволяет повысить период стойкости РИ в 1,6—4,2 раза в зависимости от состава переходного слоя, конструкции покрытия и условий обработки резанием [10]. В двухслойных покрытиях в качестве ПАС используются нитриды, в состав которых входят элементы покрытия и железо (например, (Ti, Fe)N или (Ti, Zr, Fe)N), в трехслойных — имеются два ПАС: на основе сложного нитрида (например (Ti, Zr, Fe)N), расположенный под верхним слоем покрытия, и на основе чистых металлов (например Ti—Zr—Fe), примыкающий к инструментальной основе.

Технология нанесения многослойных покрытий. Конструкция многослойного покрытия определяется условиями резания, в которых находятся контактные площадки РИ. Рассмотрим технологию нанесения многослойных покрытий для РИ, работающих в

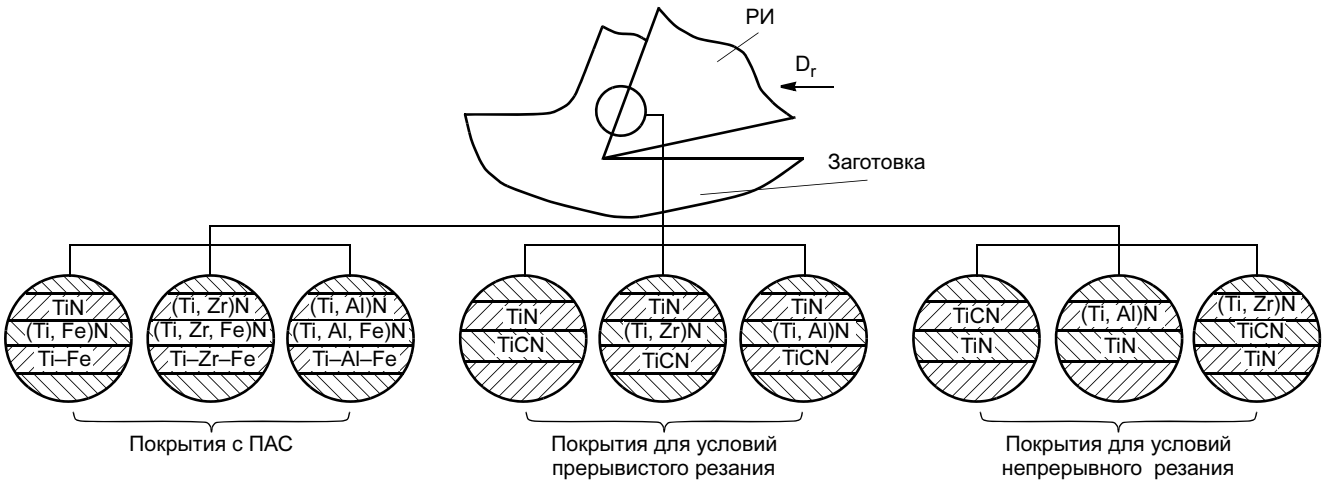


Рис. 5. Схемы конструкций многослойных покрытий

условиях прерывистого и непрерывного резания.

При прерывистом резании (например при торцевом фрезеровании) разрушение покрытия происходит путем образования и роста трещин в результате колебания тепловых и силовых нагрузок на контактных площадках РИ. Для сдерживания процессов образования и роста трещин необходимо использовать покрытия, обеспечивающие минимальную амплитуду колебания температуры за время рабочего и холостого ходов РИ. С другой стороны, для сдерживания процессов трещинообразования покрытия должны иметь высокий уровень сжимающих остаточных напряжений. Наибольшее снижение температур и наименьшую амплитуду их колебания обеспечивают одно- и многоэлементные покрытия на основе нитридов по сравнению с соответствующими типами покрытий на основе карбонитридов (например, TiN и TiCN или (Ti, Zr)N и (Ti, Zr)CN), а также одноэлементные покрытия на основе нитридов по сравнению с многоэлементными покрытиями на основе нитридов и карбонитридов (например, TiN и (Ti, Zr)N или TiN и (Ti, Zr)CN). Наибольшие сжимающие напряжения в материале покрытий в процессе резания и во время холостого хода характерны для одноэлементных и многоэлементных покрытий на основе карбонитридов по сравнению с покрытиями аналогичного типа на основе нитридов (например, TiCN и TiN или (Ti, Zr)CN и (Ti, Zr)N), а также для многоэлементных покрытий на основе нитридов и карбонитридов по сравнению с одноэлементными покрытиями аналогичного типа (например, (Ti, Zr)N и TiN или (Ti, Zr)CN и TiCN).

Следовательно, многослойное покрытие для условий прерывистого резания должно иметь минимум два слоя: верхний слой, непосредственно контактирующий со стружкой, должен отвечать за тепловое состояние режущего клина РИ и обеспечивать максимальное снижение контактных температур и минимальную амплитуду их колебаний за время рабочего и холостого ходов. Это позволит снизить напряжения в режущем клине инструмента и амплитуду их колебания и увеличить время работы РИ до начала образования трещин как в покрытии, так и режущем клине РИ. Нижний слой, прилегающий к инструментальной основе, должен сдерживать процессы распространения трещин как на границе покрытие—инструментальная основа, так и в самом покрытии и иметь высокий уровень сжимающих остаточных напряжений для формирования в покрытиях в процессе резания больших сжимающих напряжений.

Разработанные по данной технологии двухслойные покрытия из нитридов и карбонитридов титана (см. рис. 5) позволили повысить период стойкости твердосплавных пластин при фрезеровании заготовок из сталей 5ХНМ и 12Х18Н10Т в 1,5—3 раза [11].

Повышение трещиностойкости многослойного покрытия можно обеспечить путем нанесения промежуточного слоя, в качестве которого используют многоэлементные покрытия сложного состава, полученные из раздельных катодов и имеющие слоистую структуру, состоящую из отдельных фаз покрытия и слоев сложного состава [7]. Повышению трещиностойкости многослойного покрытия в целом будут способствовать появление дополнительных границ между отдельными его слоями и высокий уровень сжимающих остаточных напряжений, характерный для многоэлементных покрытий. Оценка механических свойств однослойных покрытий с позиций теории разрушения хрупких материалов позволила предложить конструкции трехслойных покрытий, у которых в качестве промежуточного слоя используют сложные нитриды (например, (Ti, Zr)N, (Ti, Al)N и др.) (см. рис. 5). Для разработанных трехслойных покрытий характерны более высокие трещиностойкость, микротвердость и прочность сцепления с инструментальной основой. Число циклов до образования трещин и разрушения таких покрытий увеличивается в 1,5 раза по сравнению с двухслойным покрытием (рис. 6), а период стойкости РИ — в 1,6 раза по сравнению с двухслойным и в 3 раза — по сравнению с покрытием TiN [12].

Разрушение покрытий при непрерывном резании, например при токарной обработке, также происходит в результате образования трещин, но причина их возникновения другая, чем при прерывистом резании, — это склонность режущего клина РИ к упругопластическим прогибам и потеря его формоустойчивости [7]. Повышение формоустойчивости режущего клина РИ могут обеспечить покрытия, нанесение которых способствует снижению в режущем клине эквивалентных напряжений и имеющие высокий уровень сжимающих остаточных напряжений. Максимальное снижение эквивалентных напряжений и высокий уровень сжимающих остаточных напряжений обеспечивают многоэлементные покрытия на основе нитридов и карбонитридов по сравнению с одноэлементными покрытиями аналогич-

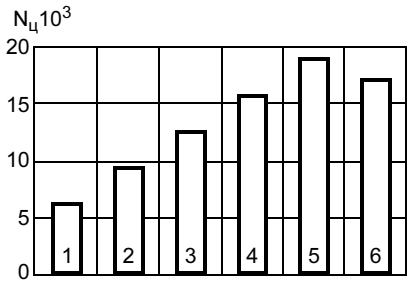


Рис. 6. Число циклов работы $N_ц$ пластин из сплава МК8 с покрытиями до разрушения покрытия (υ = 247 м/мин, S_Z = 0,4 мм/зуб, B = 20 мм, t = 1,5 мм): *1* — TiN; *2* — (Ti, Zr)N; *3* — TiCN—TiN; *4* — TiN—TiCN—TiN; *5* — TiCN—(Ti, Zr)N—TiN; *6* — TiN—(Ti, Zr)N—TiN

ного типа (например, (Ti, Zr)N и TiN или (Ti, Zr)CN и TiCN), а также многоэлементные карбонитридные по отношению к одноэлементным нитридным и карбонитридным и одноэлементные карбонитридные к нитридным (например, (Ti, Zr)CN и TiCN или (Ti, Zr)CN и TiN или TiCN и TiN). В то же время наибольшую прочность сцепления с инструментальной основой имеют нитридные покрытия по сравнению с карбонитридными аналогичного состава (например, TiN и TiCN или (Ti, Zr)N и (Ti, Zr)CN). Следовательно, преимущества различных покрытий могут быть реализованы только в многослойном покрытии, которое по аналогии с многослойным покрытием, работающим в условиях прерывистого резания, также должно иметь минимум два слоя. Верхний слой покрытия должен обеспечить максимальное снижение эквивалентных напряжений в режущем клине РИ для повышения его формоустойчивости за счет благоприятного распределения контактных нагрузок. Это позволит увеличить время работы РИ до начала образования трещин и иметь высокий уровень остаточных сжимающих напряжений для обеспечения в покрытии в процессе резания высоких нормальных сжимающих напряжений, снижающих интенсивность процессов трещинообразования. Нижний слой, непосредственно контактирующий с инструментальной основой, должен обеспечить необходимую прочность адгезионной связи покрытия с РИ. На основе данного подхода разработана технология нанесения двухслойных покрытий с внешним слоем из нитридов сложного состава (Ti, Zr)N, (Ti, Al)N и TiCN и нижним слоем из TiN, а также трехслойные — с промежуточным слоем TiCN и нижним слоем TiN (см. рис. 5). Применение разработанных многослойных покрытий повышает работоспособность твердосплавного РИ в 1,5 и 2,5 раза по сравнению с пластинами, имеющими покрытие TiCN и TiN соответственно [13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тушинский Л. И., Плохов А. В.* Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий. Новосибирск: Наука, 1986. 197 с.
2. *Зубарев П. В.* Жаростойкость фаз внедрения. М.: Металлургия, 1985. 210 с.
3. *Палатник Л. С., Фукс М. Я., Косевич В. М.* Механизм образования и субструктура конденсированных пленок. М.: Наука, 1972. 320 с.
4. *Гебель Н.* Физические и трибологические свойства твердых пленок, изготовленных по технологии ионной плакировки // Мат. симп. фирмы "Лейбольд гереус". М., 1986. 215 с.
5. *Ильинский А. И.* Структура и прочность слоистых и дисперсионно-упрочненных пленок. М.: Металлургия, 1986. 143 с.
6. *Износостойкие* покрытия сложного состава для режущих инструментов / В. П. Табаков, М. Ю. Смирнов, А. В. Циркин, А. В. Чихранов // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. Харьков: Курсор, 2005. С. 199—204.
7. *Табаков В. П.* Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями на основе сложных нитридов и карбонитридов. Ульяновск: УлГТУ, 1998. 123 с.
8. *Табаков В. П., Чихранов А. В., Докукин Д. В.* Разработка технологии нанесения покрытий сложного состава на основе нитрида титана и алюминия из составных катодов // Технология ремонта, восстановления и обновления машин, оборудования и металлоконструкций. С.-Петербург: СПбГТУ, 2004. С. 319—322.
9. *Табаков В. П., Власов С. Н.* Комбинированная упрочняющая технология режущего инструмента. Димитровград: ДИТУД, 2003. 124 с.
10. *Табаков В. П.* Совершенствование износостойкого покрытия инструмента из быстрорежущей стали // СТИН. 2004. № 10. С. 14—17.
11. *Табаков В. П.* Повышение работоспособности торцовых фрез путем совершенствования структуры износостойких покрытий / В. П. Табаков, Н. А. Ширманов, М. Ю. Смирнов // СТИН. 2002. № 2. С. 6—10.
12. *Табаков В. П., Циркин А. В.* Применение многослойных покрытий для повышения работоспособности торцовых фрез // СТИН. 2005. № 1. С. 27—30.
13. *Табаков В. П., Ермолаев А. А.* Принцип формирования многослойного покрытия для режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания // Вестник УлГТУ. 2004. № 2. С. 36—38.

А. И. МИРОСЕДИ, аспирант, В. М. ШУМЯЧЕР, д-р техн. наук
Волжский институт строительства и технологий — филиал Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

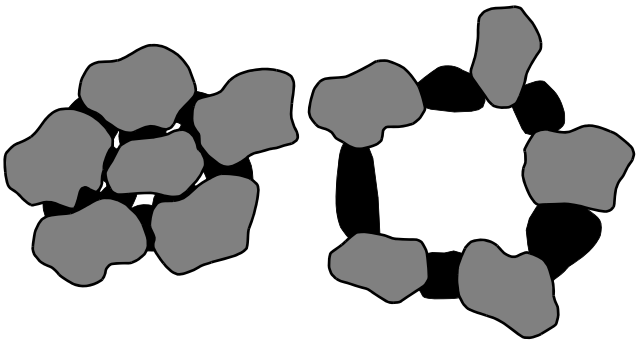
Повышение эффективности процесса абразивной обработки путем управления структурными параметрами абразивного инструмента

При производстве абразивного инструмента в настоящее время применяют технологию, которая, однако, имеет ряд недостатков:

— с увеличением номера структуры абразивного инструмента его твердость значительно снижается и уменьшается равномерность распределения зерен и пор по объему черепка инструмента;

— с ростом неравномерности распределения зерен значительно увеличивается дисбаланс абразивных кругов, что делает невозможным их эксплуатацию на высоких скоростях и снижает качество обрабатываемой поверхности.

Эти недостатки являются следствием неравномерности распределения абразивного зерна в че-



а) б)

Рис. 1. Примеры дефектных структур абразивного инструмента с образованием конгломератов (*а*) и пустот (*б*)

репке инструмента. На практике возможны ситуации, когда в процессе прессования зерна собираются в конгломераты (рис. 1, *а*), характеризующиеся высокой твердостью и минимальным объемом порового пространства внутри конгломерата. С другой стороны, появление конгломератов в инструменте влечет за собой появление обратного дефекта — образование пустот (рис. 1, *б*). При этом в области появления пустот будет наблюдаться значительное снижение твердости черепка.

Одним из путей устранения этих явлений является управление структурным строением материала абразивного инструмента, что достигается использованием наполнителей различных видов. На сегодняшний день известны следующие виды наполнителей: разрушающиеся при термической обработке инструмента, разрушающиеся в процессе работы инструмента и наполнители с высокой собственной пористостью (полые частицы). Однако технологии изготовления инструмента с использованием указанных наполнителей не лишены недостатков, одни из них чрезвычайно дороги, другие низкотехнологичны.

По мнению авторов, в качестве наполнителя наиболее целесообразно применение абразивного зерна того же материала, что и зерна основной фракции, но меньшего размера. Идея применения такого наполнителя заключается в том, что зерна более мелкой фракции, находясь внутри черепка инструмента, будут выполнять роль упорядочивающих и армирующих частиц, а при выходе их на поверхность абразивного инструмента — выкрошиваться с образованием поверхностной поры.

Доказать теоретическую состоятельность данной гипотезы можно, рассмотрев вопрос о прочности удержания абразивных зерен связкой инструмента. Чтобы в процессе работы абразивного инструмента выкрошивались в первую очередь мелкие зерна, должно выполняться следующее условие:

$$P_{\text{уд.м}} \ll P_{\text{уд.к}}, \qquad (1)$$

где $P_{\text{уд.м}}$ — прочность удержания связкой мелкого зерна; $P_{\text{уд.к}}$ — прочность удержания связкой крупного зерна.

Аналитические модели прочности удержания связкой были разработаны А. В. Королевым, Ю. К. Новоселовым, Б. П. Кудряшовым, В. И. Курдюковым и др. [1—6 и др.]. Анализ моделей показал, что прочность удержания зерен связкой прямо пропорциональна квадрату размера зерна $d_з$, т. е.

$$P_{\text{уд}} = f(d_з^2), \qquad (2)$$

что при значительной разнице в размерах зерен основной фракции и зерен наполнителя приведет к выполнению условия (1).

Таким образом, можно говорить о понятии "эквивалентная пористость". Абразивный инструмент, созданный по предложенному принципу, будет обладать более высокой твердостью и более упорядоченным структурным строением по сравнению с инструментом, изготовленным по классической технологии. При этом поверхностная пористость инструмента будет эквивалентна "классическому" абразивному инструменту. Следовательно, область применения инструмента, изготовленного по предлагаемому принципу, совпадает с "классическим" инструментом, но при этом возможна эксплуатация с более жесткими режимами обработки.

Основной проблемой при создании предлагаемого инструмента является выбор размера и количества зерен наполнителя.

Вопрос количества зерен наполнителя решали исходя из принципа рассмотрения структуры абразивного инструмента как массива неправильных тетраэдров с центрами масс в вершинах, поскольку при прессовании абразивной массы на стадии производства инструмента зерна будут стремиться образовывать наиболее устойчивые геометрические структуры. Количество зерен наполнителя принимали равным числу зерен основной фракции, поскольку присоединение одного зерна к трем соприкасающимся зернам всегда приводит к образованию новой поры, которую необходимо заполнить.

Размер частиц наполнителя выбирали с условием, что они должны размещаться в межзерновом пространстве, образуемом зернами основной фракции. Для расчета размера зерен наполнителя в системе MathCAD разработана физическая пространственная модель, описывающая межзерновое пространство.

При разработке модели принимали следующие допущения:

— форма зерен имеет вид эллипсоидов;

— пора рассматривается как пространство между любыми четырьмя соседними зернами, центры масс которых образуют неправильный тетраэдр;

— геометрические места зерен в пространстве определяются приближенно с заданной точностью приближения;

— каждое зерно описывается набором точек, лежащих на поверхности эллипсоида;

— геометрические параметры абразивного зерна (длина l, ширина b, высота h) принимаются нормально распределенными;

— минимальные расстояния между соседними зернами принимаются равными между собой.

Построение модели осуществляли в несколько этапов.

На первом этапе задавали начальные параметры модели: номер структуры базового инструмента, т. е. инструмента, относительно которого проводятся расчеты; количество точек, описывающих поверхность моделируемых зерен; характеристики распределений геометрических параметров зерна (на основании данных работы [7]).

Второй этап включал расчет длины мостиков связки и определение геометрических параметров абразивных зерен. Поскольку геометрические параметры являются случайными величинами с нормальным законом распределения и известными характеристиками распределения, то их рассчитывали по формуле

$$x = \left(\sum_{i=1}^{n} \xi_i - \frac{n}{2} \right) \sigma_x + a_x, \qquad (3)$$

где x — случайная величина с нормальным законом распределения; n — количество равномерно распределенных случайных величин (в данном случае n = 12); ξ_i — случайная величина, равномерно распределенная в интервале [0; 1]; σ_x — среднее квадратическое отклонение случайной величины x; a_x — математическое ожидание случайной величины x.

На третьем этапе получали непосредственно модели зерен, произвольно ориентированные в пространстве. Для этого формировали матрицы, содержащие координаты точек, лежащих вблизи поверхностей эллипсоидов с полуосями X, Y и Z. Каждая матрица состоит из трех столбцов и имеет следующую структуру:

$M_{i,0}$	$M_{i,1}$	$M_{i,2}$
x_0	y_0	z_0
x_1	y_1	z_1
x_2	y_2	z_2
...	...	...
x_n	y_n	z_n

В первом столбце содержатся координаты точек по оси X, во втором по оси Y и в третьем по оси Z. В первой строке содержатся координаты центра эллипсоида (x_0, y_0, z_0). Координаты точек определяли по следующему принципу: генерировали три случайных числа, принадлежащие интервалам $xx \in [-x; x]$, $yy \in [-y; y]$, $zz \in [-z; z]$; затем проверяли соответствие системе двух неравенств:

$$\begin{cases} \left(\frac{xx}{x}\right)^2 + \left(\frac{yy}{y}\right)^2 + \left(\frac{zz}{z}\right)^2 < 1; \\ \left(\frac{xx}{x}\right)^2 + \left(\frac{yy}{y}\right)^2 + \left(\frac{zz}{z}\right)^2 > 0{,}99. \end{cases} \qquad (4)$$

Если числа соответствуют условию, т. е. являются координатами точки, лежащей вблизи поверхности эллипсоида, то их записывали в матрицу координат, т. е. генерировали следующую тройку случайных чисел. Графическое представление модели единичного зерна представлено на рис. 2.

Количество точек n, описывающих поверхность эллипсоида, выбирается из принципа: усредненные значения минимальных расстояний между точками на поверхности не должны превышать длину мостиков связки $l_{св}$. Увеличение числа точек повышает точность расчета, но одновременно значительно увеличивает время полного расчета модели, поэтому, например, для моделирования зернистости № 40 использование более 300 точек на зерно нецелесообразно.

Случайная ориентация зерен в пространстве производится путем умножения матриц координат зерен на матрицы преобразования (вращения) систем координат. Углы вращения α, β и γ — случай-

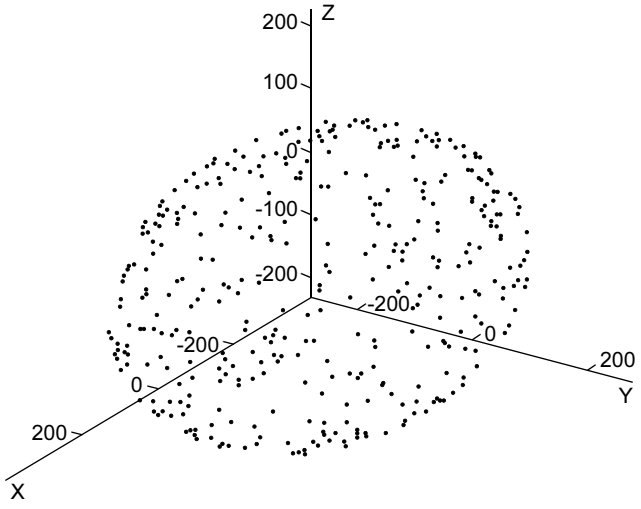


Рис. 2. Модель единичного зерна (n = 400)

ные числа, равномерно распределенные в интервале [0; 2π].

Четвертый этап моделирования состоит в определении геометрического положения моделей зерен в пространстве путем последовательного их приближения. За основу брали зерно № 1, центр которого располагается в начале координат. Остальные зерна сдвигаются вдоль осей (зерно № 2 вдоль оси *X*, № 3 — *Y* и № 4 — *Z*) на расстояния, заведомо превышающие длину мостиков связки.

Следующим шагом зерно № 2 приближается к зерну № 1. Приближение ведется вдоль оси *X* с шагом 1 мкм до тех пор, пока кратчайшее расстояние между зернами не достигнет $l_{св}$.

Приближение зерна № 3 к зернам № 1 и 2 ведется в плоскости *XY* по следующему принципу. Вычисляли расстояния от зерна № 3 до зерен № 1 и 2 и выбирали наибольшее. Затем производили сдвиг зерна № 3 на 1 мкм в направлении наиболее удаленного зерна. Сдвиг производится вдоль прямой, на которой лежат центры эллипсоидов выбранной пары зерен.

Однако возможны случаи, когда в процессе приближения зерно № 3, не достигнув наиболее удаленного, уже может оказаться в зоне ближнего зерна. Для исключения таких ситуаций предусмотрена проверка: если расстояние от зерна № 3 до дальнего зерна все еще превышает $l_{св}$, а расстояние до ближайшего меньше $l_{св}$, то в таком случае зерно № 3 удаляется от ближайшего на 1 мкм вдоль прямой, на которой лежат центры данных эллипсоидов.

Таким образом, циклический сдвиг продолжается до тех пор, пока округленные до целых значения расстояний между зернами не будут равны округленному значению $l_{св}$.

Принцип приближения зерна № 4 аналогичен таковому для зерна № 3, но ведется не в плоскости, а по всему объему.

На пятом этапе определяли координаты точки, равноудаленной от всех четырех зерен. Изначально выбирали произвольную точку *T* в пространстве (в данном случае использовали начало координат). Затем точку циклически перемещали с шагом 1 мкм в сторону центра наиболее удаленного зерна на каждом этапе цикла. Перемещение продолжается до тех пор, пока расстояния (округленные до целых) от точки до зерен не будут равны между собой. Диаметр вписанной между зернами сферы рассчитывали как удвоенное среднее арифметическое расстояний от точки *T* до всех четырех зерен.

Шестой этап заключается в визуализации модели. Пример визуализации модели приведен на рис. 3. Для наглядности представления при визуализации модели пространство внутри каждого из зерен заполнено линиями, соединяющими точки, лежащие на поверхности.

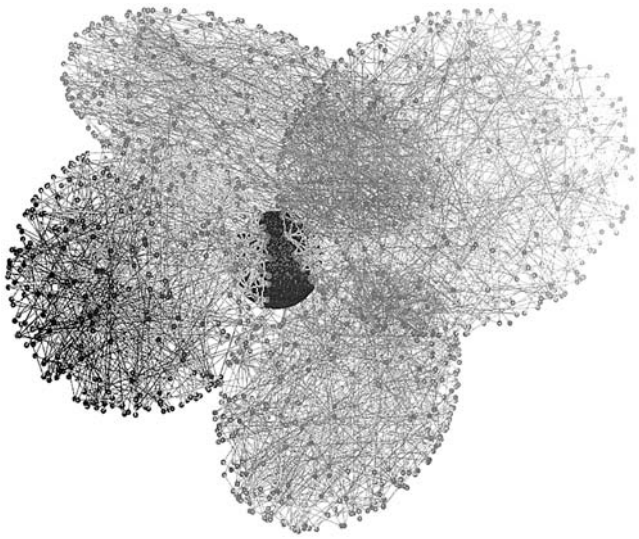


Рис. 3. Визуализация рассчитанной модели межзернового пространства

Проведя достаточное количество наблюдений, можно сделать вывод о параметрах распределения межзернового пространства инструмента с необходимыми характеристиками.

Следует также учитывать, что предложенная модель позволяет рассчитать распределение диаметров вписанных сфер, а форма реальных зерен значительно отличается от сферической. В данной ситуации предлагается сопоставлять кривые распределения диаметра вписанной сферы с кривыми распределения диаметров сфер объемами, эквивалентными объемам реальных зерен. В дальнейшем предлагается называть такой диаметр "эквивалентным" диаметром зерна.

В качестве примера для практической реализации предлагаемых принципов разработки абразивного инструмента был выбран широко распространенный инструмент структуры № 7 из электрокорунда белого 25А40 на керамическом связующем.

С учетом указанных начальных данных проведено 500 расчетов модели межзернового пространства. В результате получено распределение диаметра вписанной окружности со следующими параметрами: математическое ожидание *a* = 159,2; среднее квадратическое отклонение σ = 22,1.

В качестве наполнителя следует использовать зерна зернистостью, максимум распределения эквивалентного диаметра которого наиболее близок к максимуму распределения диаметра вписанной сферы, но не превышает ее (рис. 4).

По графикам распределения можно сделать вывод об эффективности использовании в качестве наполнителя электрокорунд белый зернистостью 16-Н, поскольку при использовании зернистости 20-Н с очень высокой вероятностью будут возни-

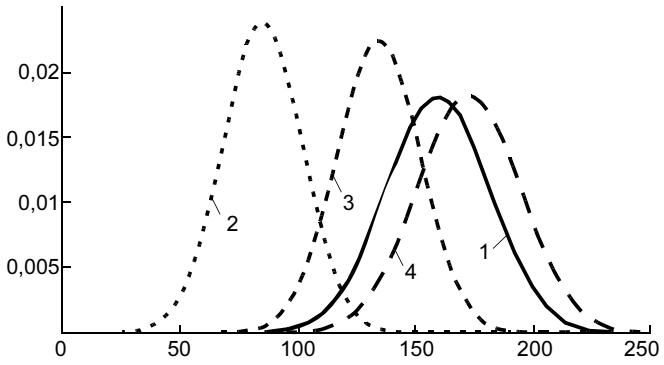


Рис. 4. Кривые распределения диаметров вписанных между зерен окружностей (*D*) (*1*) и эквивалентных диаметров зерен фракций 12-Н (*d*12) (*2*), 16-Н (*d*16) (*3*) и 20-Н (*d*20) (*4*)

кать события, когда зерна наполнителя будут разупорядочивать зерна основной фракции.

Для практического обоснования разработанной технологии были разработаны абразивные круги двух типов: по классической и предлагаемой технологиям. В качестве материала основной фракции использовали электрокорунд белый 25А зернистостью 40-Н, связка — керамическая К5С, структура инструмента № 7, твердость инструмента — СМ2.

Круги по предлагаемому принципу изготовляли из тех же материалов, но с добавлением наполнителя — электрокорунда белого 25А зернистостью 16-Н в количестве 5,6 % от массы зерен основной фракции.

Результаты испытаний показали следующее:

— инструмент, изготовленный по предлагаемой технологии, показал увеличение режущей способности на 33,9 % при шлифовании стали 40Х и на 24,8 % при шлифовании стали ШХ15 по сравнению с инструментом, изготовленным по классической технологии;

— уменьшение линейного износа круга на 44 %;

— увеличение твердости от СМ2 до СТ1;

— снижение неравномерности твердости на 61 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Королев А. В., Новоселов Ю. К.* Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки. Ч. I. Состояние рабочей поверхности инструмента. Саратов: Изд-во Саратовского государственного университета, 1987. 160 с.
2. *Кудряшов Б. П.* Разработка абразивных кругов со специальной структурой для шлифования быстрорежущих сталей. Дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 1983. 181 с.
3. *Курдюков В. И.* Научные основы проектирования, изготовления и эксплуатации абразивного инструмента. Дис. ... д-ра техн. наук. Саратов, 2000. 496 с.
4. *Лавров И. В.* Шлифовальное зерно (технические характеристики, рекомендации по использованию). Л.: Труды ВНИИАШ, 1975. 229 с.

**С. В. КОСТРОВ, инж.
(ОАО "Волжский абразивный завод"),
С. А. РЯБЦЕВ, канд. техн. наук
(МГТУ "Станкин"),
Ю. И. ЖУКОВ, инж.
(ФГУП "ММПП "Салют")**

Отечественный высокопористый абразивный инструмент для профильного шлифования зубчатых колес

Профильное шлифование зубчатых колес на станках фирм Kapp-Nilles (Германия), Gleason-Pfauter-Hurth (США—Германия), Klingelnberg-Oerlikon (Германия—Швейцария), а также на их отечественных аналогах в настоящее время является наиболее эффективным процессом зубошлифования. Простая кинематика рабочих движений станка, высокая производительность и возможность высокоточной обработки зубчатых колес, в том числе с неэвольвентным профилем, выгодно отличают этот метод от метода шлифования обкатом с единичным или непрерывным делением [1].

По кинематической схеме профильного шлифования обработка зубчатого колеса производится в результате копирования рабочей поверхности шлифовального круга на поверхность впадины между соседними зубьями (рис. 1). В отличие от метода обката, когда контакт круга с профилем обрабатываемого зуба происходит по линии или локализуется в точке, при профильном шлифовании в процесс вовлекается большое число абразивных зерен, что и обеспечивает его высокую производительность.

Данные преимущества ставят метод профиль-

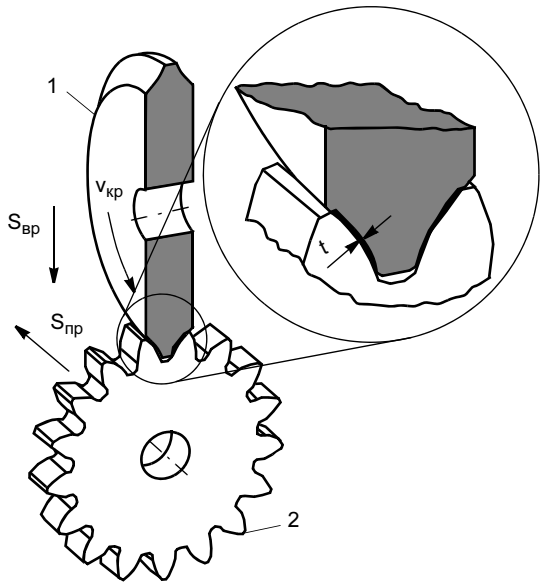


Рис. 1. Схема профильного шлифования зубчатого колеса: *1* — шлифовальный круг; *2* — зубчатое колесо

ного шлифования в разряд наиболее перспективных процессов высокоточного и высокопроизводительного зубошлифования.

Однако с увеличением производительности процесса пропорционально возрастает и работа трения, что приводит к интенсивному тепловыделению и появлению термических дефектов в виде прижогов и микротрещин на обработанных поверхностях зубьев. В зонах образования прижогов с изменением микроструктуры металла снижается его микротвердость, а в поверхностном слое формируются растягивающие остаточные напряжения. Выносливость зубчатых колес с прижогами при изгибе в 1,4—1,6 раза меньше, чем прошлифованных колес без прижогов. Соответственно долговечность по контактной выносливости у зубчатых колес с прижогами в 3,5 раз ниже.

Для бездефектной обработки профильным шлифованием зубчатых колес на отечественных заводах применяют высокопористые абразивные круги, как правило, зарубежного производства [2, 3].

В ОАО "Волжский абразивный завод" совместно с МГТУ "Станкин" реализуется программа по замене на российских промышленных предприятиях импортного абразивного инструмента на отечественные аналоги. По этой программе на заводе освоено производство шлифовальных кругов диаметром до 900 мм и высотой до 100 мм на основе электрокорунда белого и карбида кремния зеленого со структурами от № 8 до 12 с использованием различных композиций порообразователей, которые обеспечивают заданные свойства инструмента по твердости, пористости (номеру структуры), разрывной прочности и неуравновешенности масс. Подбор порообразователей ведется таким образом, чтобы удовлетворять требованиям экологической безопасности производства и придать абразивной массе хорошие технологические свойства, включая повышенную прочность сырца, минимальные значения деформации инструмента при сушке и высокотемпературном обжиге.

Разработанные составы инструмента с зернистостью от 10 до 40 и твердостью от ВМ2 до СТ2 обеспечивают широкий диапазон их применения при различных технологических операциях бесприжогового шлифования, включая профильное шлифование зубчатых колес.

В производственных условиях проведены испытания шлифовального круга прямого профиля размером 350 × 32 × 127 мм с характеристикой 25А 16 М3 12 К, изготовленного в ОАО "ВАЗ", при профильном шлифовании зубчатых колес в сравнении с зарубежным аналогом. Испытания проводили на профилешлифовальном станке P600G фирмы Gleason-Pfauter при обработке партии цилиндрических зубчатых колес (рис. 2). Характеристика зубчатых колес: модуль m = 6 мм, число зубьев z = 41, ширина венца b = 105 мм, угол профиля α = 20° с цементованной и закаленной до твердости 60—62 HRC поверхностью зубьев.

Обработку проводили в полном соответствии с технологией, принятой для профильного шлифования зубчатых колес данного типа кругом с характеристикой 99А 80 J 12 V производства фирмы Carborundum Electrite a. s. (Чехия).

Припуск с боковых сторон зубьев удаляли при постоянной скорости круга, равной 30 м/с, по схеме маятникового шлифования за семь предварительных проходов с радиальным врезанием $S_{вр}$ = 0,108 мм за

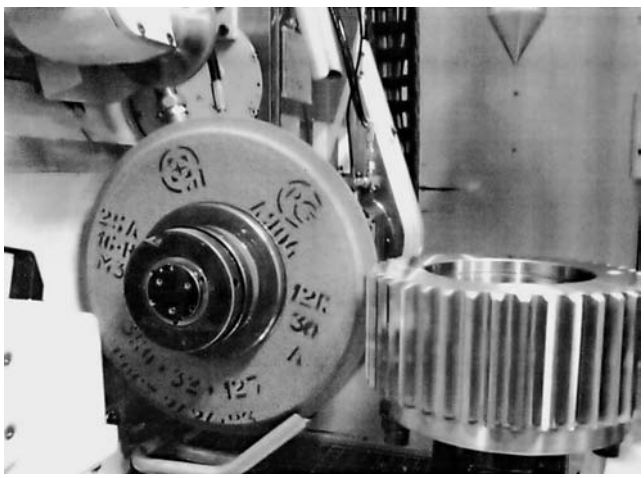


Рис. 2. Профильное шлифование зубчатого колеса на станке P600G фирмы Gleason-Pfauter

Параметр, мкм	Деталь			Допустимая величина, мкм
	1	2	3	
Погрешность профиля	3,1—4,2	2,4—3,5	1,9—3,6	11
Погрешность направления	0,8—4,3	0,6—5,5	0,7—3,9	11
Отклонение окружного шага	2,5—2,9	1,6—3,4	1,8—2,2	14
Накопленная погрешность шага	16,7—19,0	5,7—5,8	3,7—4,1	63
Шероховатость обработанной поверхности	0,35—0,41	0,29—0,32	0,32—0,35	0,4

проход, продольной подачей $S_{пр}$ = 2778 мм/мин и за два чистовых прохода с $S_{вр}$ = 0,028 мм, $S_{пр}$ = = 2700 мм/мин на первом и $S_{пр}$ = 1350 мм/мин на последнем проходе. Удельная производительность при предварительном шлифовании составила 5 мм^3/(мм · с), а при чистовом — 1,26 и 0,63 мм^3/(мм · с) на первом и последнем проходах соответственно.

Для правки круга использовали алмазный ролик фирмы Dr. Kaiser Diamantwerkzeuge (Германия) типа NC80 с наружным диаметром 130 мм и радиусом при вершине режущей части R = 0,5 мм. Периодическую правку круга выполняли при соотношении скоростей круга и ролика 0,8. Круг правили один раз перед началом обработки и после предварительного шлифования каждой шестой впадины зубчатого колеса. Чистовое шлифование 41 зуба колеса проводили с одной предварительной правкой круга.

При обработке на станке с помощью встроенного индикатора фиксировалась величина токовой нагрузки на приводе главного движения. Максимальная нагрузка при обработке на режиме предварительного шлифования достигала 28—32 % номинальной мощности привода (допустимая нагрузка 80 %). На режиме чистового шлифования токовая нагрузка составила 16—18 % на первом проходе и 10—12 % — на последнем. Данные о величине токовой нагрузки приведены с учетом нагрузки холостого хода 8 %.

Проведенные испытания показали, что новый круг по характеру протекания процесса шлифования и интенсивности изнашивания показал аналогичные результаты с применяемым на данной операции высокопористым кругом фирмы Carborundum Electrite a. s.

Возможную степень изнашивания шлифовального круга оценивали по изменению погрешности профиля зуба и накопленной погрешности шага зубчатого колеса.

В ходе испытаний были обработаны 17 зубчатых колес. В связи с применением нового инструмента для обработки ответственных деталей после их шлифования проводили обязательный контроль параметров точности, шероховатости поверхностей зубьев, наличия на них прижогов и трещин. В соответствии с требованиями технологии выборочному контролю точности и шероховатости обработанных поверхностей зубьев были подвергнуты три зубчатых колеса, травлению на прижоги — одна деталь из партии. Магнитно-порошковый контроль на наличие трещин проводили для всех 17 деталей.

Контроль обработанных зубчатых колес на зубоизмерительном центре P100 фирмы KLINGELNBERG (Германия) выявил, что высокопористый шлифовальный круг производства ОАО "Волжский абразивный завод" на заводском режиме шлифования обеспечил более высокие требования по точности обработанных зубчатых колес, чем это предусмотрено техническими условиями на изделие (см. таблицу). Шероховатость обработанных поверхностей не превышала допустимой. При контроле на прижоги и трещины указанные дефекты на всех обработанных зубьях не выявлены.

В заключение следует отметить, что изготовляемые в настоящее время в ОАО "Волжский абразивный завод" совместно с МГТУ "Станкин" высокоструктурные и высокопористые шлифовальные круги находят также широкое применение и на других операциях шлифования, обеспечивая бездефектную высокопроизводительную обработку деталей из закаленных легированных стелей различных марок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Профильное* глубинное шлифование зубчатых колес / Ю. С. Елисеев, В. С. Новиков, В. К. Старков, С. А. Рябцев // Вестник машиностроения. 2001. № 1. С. 41—44.
2. *Высокопористый* абразивный инструмент для профильного шлифования зубчатых колес / В. К. Старков, С. А. Рябцев, J. Frumar, P. Fryč // Research and Development in Mechanical Industry // Vrnjačka Banja. 2002. Т. 1. С. 21—26.
3. *Новая* репрезентативная технология изготовления зубчатых колес и соединений / В. А. Поклад, В. С. Новиков, В. К. Старков, С. А. Рябцев // Технология машиностроения. 2004. № 4. С. 14—20.

А. В. МЕДАРЬ, канд. техн. наук
НПО "Техномаш"

Расчетно-точностной анализ собранного изделия

Расчетно-точностной анализ окончательно собранного изделия — часть точностного анализа, включающая комплекс работ по проверке в соответствии с выбранными критериями оптимизации степени обоснованности назначенных допусков на входные и выходные параметры точности изделий (ВПТ) и принятых технологий их сборки и контроля ВПТ, а также по прогнозированию характеристик изделий и оценке технологических возможностей предприятий их производства.

Характерной особенностью расчетно-точностного анализа являются единство и взаимосвязь составляющих его содержание компонентов. Так, от степени обоснованности определения допусков на входные и выходные параметры точности зависит выбор заложенных в технологический процесс технических решений сборочных операций и реализующих их средств технологического оснащения (СТО), а также обоснование номенклатуры и состава операций измерений и контроля точностных параметров собираемых сборочных единиц изделий [1—4]. Также взаимосвязаны оценка технологических возможностей предприятия (оценка точностных возможностей оборудования, которым располагает изготовитель, по производству и сборке агрегатов и узлов изделия в части обеспечения заданных количественных норм их точности) и прогноз точностных характеристик изделий, которые предполагается изготовлять и собирать на имеющемся в его распоряжении парке СТО [1, 5]. В свою очередь назначение обоснованных допусков на точностные параметры изделий и синтез рациональных технологий их сборки и контроля ВПТ определяет технический уровень предприятия и точностные характеристики выпускаемых изделий, и, наоборот, от технического уровня собираемых конструкций изделий зависят требования к допускам на изготовление и сборку составляющих его элементов, к точности технологических процессов и оборудования [2, 4].

Основными критериями оптимизации при проведении операций расчетно-точностного анализа являются прежде всего количественные характеристики точностных параметров изделия (ВПТ), а также производственно-экономические показатели, к которым относятся время цикла сборки, себестоимость оснастки и оборудования, трудоемкость проведения сборочных и контрольно-измерительных работ и др. Учитывая специфику и особенности изделий специального машиностроения, доминирующую роль в перечисленной номенклатуре критериев оптимизации играют, как правило, ВПТ изделия.

В основе расчетно-точностного анализа лежит решение обратной точностной задачи (проверочного расчета) [6, 7], которая сводится к определению характеристик допуска на ВПТ изделия по известным характеристикам допусков на входные параметры точности, проводимому на базе функциональных зависимостей типа

$$A_{m_0} = \sum_{k=1}^{n} m_k^0 = \sum_{k=1}^{n} (m_k + \Delta m_k);$$

$$A_{\text{цм}} = \frac{\sum_{k=1}^{n} m_k^0 \left\{ \sum_{i=j=k}^{h,m} L_i \cos[f_{\text{цм}}(\alpha_j, \beta_j, \text{э}e_j)] \right\}}{\sum_{k=1}^{n} (m_k + \Delta m_k)};$$

$$A_{\text{э}e_0} = \sum_{k=1}^{n} \text{э}e_k^0 = \sum_{k=1}^{n} (\text{э}e_k + \Delta \text{э}e_k);$$

$$A_{h_0} = \sum_{i=j=1}^{n,m} L_i \cos[f_{h_0}(\alpha_j, \beta_j, \text{э}e_j)];$$

$$A_{I_0} = \sum_{k=1}^{n} m_k^0 \left\{ \sum_{i=j=k}^{n,m} L_i \cos[f_{h_0}(\alpha_j, \beta_j, \text{э}e_j)] \right\}.$$

Здесь A_i — численные значения выходных параметров точности, индексация которых соответствует геометрическим параметрам (непрямолинейность базовой продольной оси, закрутка базовых координатных осей и др.), величинам массы, положениям центра масс и инерционным характеристикам сборочных единиц изделия; α_j, β_j, $\text{э}e_j$ — унифицированные геометрические параметры; L_j, m_j — численные значения базовых продольных осей и массы сборочных единиц изделия.

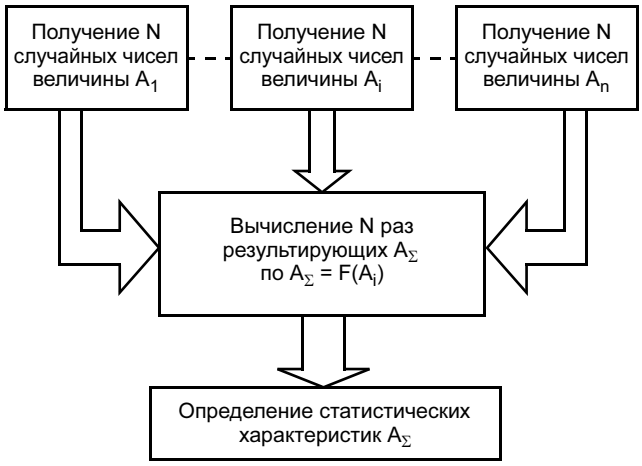
Раскрытие функциональных зависимостей, обозначенных знаком "*f*", связано с аналитическим представлением результатов суммирования пространственных поворотов, задаваемых унифицированными параметрами α_j, β_j, $\text{э}e_j$, подробно изложено в работах [6—8]. Эти зависимости применительно к задачам расчета ВПТ изделий специального машиностроения имеют ряд особенностей.

Они связаны с алгоритмическим видом исходных зависимостей, что уже само по себе представляет исключительное явление в задачах расчета размерных цепей, и их нелинейностью. Помимо этого имеет место равенство нулю большинства номинальных значений входных параметров точности, в частности, технологических погрешностей изготовления и сборки составляющих элементов изделия. Следствием этого является двойственность роли уравнений связи ВПТ с исходными погрешностями, которые, с одной стороны, связывают номинальные значения входных параметров с выходными, а с другой — их погрешности. В связи с этим отпадает необходимость приводить эти зависимости к виду, при котором становится возможным связывать входные и выходные погрешности. Следовательно, эти зависимости могут быть использованы при детерминистическом подходе к расчету ВПТ, т. е. по заданным или измеренным значениям составляющих погрешностей какого-либо изделия с их помощью можно получить численные значения ВПТ, не прибегая к их экспериментальному определению для собранного изделия.

Несостоятельность метода минимума-максимума и значительные сложности в реализации вероятностных методов решения проверочной задачи достаточно подробно изложены в работах [1—5]. Ограниченность их применения связана с низкой точностью расчетов, необходимостью наличия аналитической и линейной зависимости между входными и выходными параметрами точности для одних методов и необходимостью минимизации количества составляющих погрешностей либо наличия только нормального закона их распределения для других.

В связи с этим с учетом специфики зависимостей, описывающих процесс формирования ВПТ изделий специального машиностроения, наиболее приемлемым инструментом для проведения проверочного расчета является численный метод статистического моделирования, используемый как метод моделирования случайных величин с целью вычисления характеристик их распределения. Получение соответствующего программного обеспечения, как правило, затруднений не вызывает.

Суть метода заключается в многократных реализациях приведенных выше зависимостей, при этом в качестве исходных данных всякий раз берутся новые случайные числа, каждое из которых принадлежит своему массиву чисел, подчиняющихся заданному закону распределения для соответствующего параметра. В результате многократных реализаций получается массив чисел, закон распределения которых характеризует тот или иной ВПТ, являясь его законом распределения. Блок-схема метода приведена на рисунке. Теоретически для



Блок-схема метода статистического моделирования

нахождения величины A_Σ необходимо выбрать такую величину X, математическое ожидание которой равно A_Σ:

$$M(X) = A_\Sigma .$$

На практике же производят n испытаний, в результате которых получают n возможных значений X, далее находят

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$$

и принимают X в качестве оценки A^* искомого числа

$$A_\Sigma \cong A^* \bar{X} .$$

Получить точную оценку математического ожидания невозможно, и верхняя граница δ допускаемой при этом ошибки с заданной вероятностью γ может быть вычислена по формуле

$$\delta = t\sigma / \sqrt{n} ,$$

где σ — среднее квадратическое отклонение случайной величины X;

t — значение аргумента функции Лапласа, при которой $\Phi(t) = \frac{\gamma}{2}$, либо, если σ неизвестно — по формуле

$$\delta = t_\gamma S / \sqrt{n} ,$$

где t_γ — табличный параметр распределения Стьюдента; S — "исправленное" среднее квадратическое отклонение.

Следует отметить, что при $n \to \infty$ точность оценки математического ожидания возрастает и различие между результатами, которые дают эти формулы, уменьшается.

При таком применении метода статистических испытаний основным вопросом является моделирование законов распределения погрешностей, когда исходный массив чисел формируется из равномерно распределенной в интервале [0, 1] квазиравномерной случайной величины. Для получения равномерно распределенных чисел используют таблицы случайных чисел, генераторы случайных чисел и, что наиболее приемлемо с практической точки зрения, алгоритмы формирования псевдослучайных чисел, позволяющие с помощью рекуррентных зависимостей получать из начального числа целую последовательность псевдослучайных чисел. Получение других законов распределения основано на преобразовании равновероятного распределения, которое может осуществляться методом обратных функций, с использованием центральной предельной теоремы и другими методами.

К настоящему времени разработано и применяется на практике большое число алгоритмов моделирования случайных величин, имеющих различные законы распределения. К ним относятся биномиальное, гипергеометрическое и трапецеидальное распределения, распределения по законам Пуассона, Паскаля, Симпсона, Максвелла, по закону равной вероятности и др.

Для решения задачи стохастическим методом последовательно генерируются псевдослучайные числа, распределенные равновероятно в интервале [0, 1]. Затем для каждого унифицированного параметра α_j, β_j, $эе_j$ вырабатывается случайная величина, распределенная в заданном для каждой конкретной величины интервале допустимых значений по ее собственному закону распределения. Полученные значения являются фактическими параметрами одной конкретной реализации. Это решение повторяется заданное количество раз.

После проведения определенного количества реализаций (в соответствии с работами [6—8] порядка 5000) получается массив значений выходного параметра, по которому можно судить о его характере распределения, а также вычислить поле допуска, например, по величине размаха, т. е. разнице между наибольшим и наименьшим значениями ВПТ.

Изложенный подход к решению обратной задачи (проверочного расчета) составляет основу проведения всех операций расчетно-точностного анализа, а его промежуточные и окончательный результаты являются базой для выработки управляющих решений по назначению численных характеристик допусков, выбору схем и определению операций технологических процессов сборки и контроля, а также потребного оборудования и оснастки для их выполнения в условиях производства.

Реализация изложенного подхода в процессе технологического проектирования при технической подготовке производства изделий предоставила возможность: осуществить научно-обоснованный прогноз с учетом технологических особенностей изготовления и воздействия внешних возмущений, ВПТ изделий; оценить, в плане обеспечения количественных характеристик качества, обоснованность разработанных технологий сборки, достаточность и эффективность технологий контроля ВПТ для сборочных единиц; дать оценку и уточнить в ряде случаев численные характеристики допустимых значений входных и ВПТ; определить технологические возможности конкретных групп сборочного и контрольно-измерительного оборудования в части обеспечения ВПТ элементов изделий.

Комплексная оценка влияния технологических погрешностей производственного процесса на формирование ВПТ изделий специального машиностроения следующая. Процентная величина суммарного "вклада" технологических погрешностей изготовления и сборки составляющих блоков в формирование ВПТ составляет 30—35 %. Этот суммарный "вклад" в количественном отношении распределяется между составляющими погрешностями следующим образом: неперпендикулярности стыковочных торцев блоков α — 18—20 %; смещения центров стыковочных торцев блоков ε — 10—12 %; углы закрутки осей стабилизации стыковочных торцев блоков $эе$ — 2—3 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляков И. Т., Борисов Ю. Д.* Технологические проблемы проектирования летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1978. 240 с.
2. *Бородачев Н. А.* Анализ качества и точности производства. М.: Машгиз, 1946. 252 с.
3. *Иванов В. Б.* Автоматизация расчетов размерных цепей на ЭВМ // Механизация и автоматизация производства. 1985. № 11. С. 24—26.
4. *Карпов Л. И., Соломатин А. Г.* Теория и практика расчета размерных цепей. М.: МАДИ, 1984. 78 с.
5. *Комиссаров В. И., Леонтьев В. И.* Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов. М.: Машиностроение, 1985. 224 с.
6. *Медарь А. В.* Математическая модель формирования выходных массовых характеристик изделий машиностроения // Производственно-технический опыт. 1982. № 8. С. 33—38.
7. *Медарь А. В.* Обеспечение качества изделий в сборочном производстве. М.: ГОНТИ-2, 1988. 58 с.
8. *Медарь А. В.* Размерно-точностной анализ в проектировании технологических процессов. М.: ГОНТИ-2, 1987. 46 с.

Г. Ф. РУДЗЕЙ, канд. техн. наук
ФГУП "СибНИА им. С. А. Чаплыгина"

Влияние дефектов сварки и числа проходов при сварке на сопротивление усталости образцов сварных соединений из алюминиевых сплавов

К дефектам сварных соединений относятся поры, цепочки и скопления пор, вольфрамовые включения. Размеры допустимых дефектов зависят от толщины свариваемого материала и категории сварного соединения. Например, при сварке материала толщиной 6 мм (сварное соединение первой категории) максимальный диаметр допустимого дефекта — 0,6 мм, расстояние между дефектами — 2,8 мм и количество дефектов — 6 шт. [1]. Максимальный допустимый диаметр дефекта в цепочке составляет 0,4 мм, расстояние между дефектами — 2,8 мм при суммарной протяженности цепочки 16 мм. Величина вольфрамовых включений 0,7 мм и менее, причина их появления следующая. Сварку алюминия и его сплавов производят в основном плавящимися (вольфрамовыми) электродами. Высокие температура плазмы электрической дуги и плотность тока создают значительные тепловые нагрузки на электрод, что может приводить к отколу частиц вольфрама, их попаданию в сварочную ванну и ухудшению усталостной долговечности сварного шва.

Для особо ответственных конструктивных элементов важно понимание того, как такие дефекты влияют на усталостную долговечность соединений. Тем более что, как показывает опыт, разрушение сварных соединений при воздействии переменных нагрузок происходит по сварному шву только при наличии в нем дефектов; усталостная трещина развивается либо по линии сплавления, либо в околошовной зоне. Поэтому актуальным является исследование влияния различных дефектов сварного шва первой категории на сопротивление усталости сварных соединений, часто лимитирующих ресурс изделий. Кроме того, полученные результаты позволят нормировать дефекты с учетом прочностных характеристик.

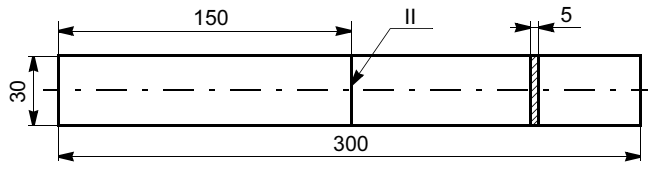


Рис. 1. Образец сварного соединения для испытаний

Эксперимент проводили на образцах стыковых сварных соединений из алюминиевого сплава 1201Т1 (рис. 1). Автоматическую гелиево-дуговую сварку выполняли согласно производственной инструкции НИАТ. На сварном соединении предварительно с помощью рентген-контроля были выявлены и помечены дефекты шва. Для повышения точности эксперимента из одной пластины вырезали образцы с дефектом и без дефекта, из них формировали пары образцов для испытаний. Направление проката (НП) у различных партий образцов было разным: вдоль или поперек проката. Испытания выполняли на машине ЦДМ-Пу10 при минимальном напряжении цикла 30 МПа и частоте 12,5 Гц. Статистическая обработка полученных результатов включала расчет числовых характеристик выборок (математического ожидания или среднего и стандартного отклонения), а также проверку статистических гипотез по критериям равенства двух дисперсий и двух средних значений совокупности. Такая проверка при сравнительных испытаниях образцов сварных соединений необходима, поскольку выборочные значения долговечности имеют значительный разброс. Возникает необходимость определения значимости или случайности в расхождении выборочных характеристик между собой.

Принята гипотеза о логарифмически нормальном законе распределения долговечности. Тогда среднее значение выборки

$$\lg N_{\text{ср}} = (\Sigma \lg N_i)/n,$$

стандартное отклонение

$$s = \frac{1}{n-1}\left[\Sigma \lg N_i^2 - \frac{1}{n}(\Sigma \lg N_i)^2\right],$$

дисперсия равна s^2 (где n — число образцов в выборке).

При проверке статистических гипотез соответственно использованы критерий Фишера F и t-критерии [2]. За так называемую нулевую гипотезу принято предположение о равенстве числовых харак-

теристик выборок образцов без дефектов и с дефектами.

При использовании критерия Фишера по результатам испытаний двух независимых выборок подсчитывали оценки дисперсий. Определяли статистику $F = s_1^2 / s_2^2$ (при $s_1 > s_2$), которую сравнивали с критическим табличным значением, определенным в зависимости от уровня значимости α (принято $\alpha = 0{,}5$) и функций, связанных с объемами выборок. При $F \leqslant F_{кр}$ гипотезу о равенстве дисперсий двух генеральных совокупностей не отвергали. Оценку дисперсии по двум выборочным дисперсиям проводили по формуле

$$s^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}.$$

Для оценки средних значений выборок использовали критерии равенства средних двух совокупностей. В случае если дисперсии равны, вычисляли статистику $t = (\lg N_{ср1} - \lg N_{ср2})/s(1/n_1 + 1/n_2)^{1/2}$.

Если дисперсии не равны, то определяли статистику

$$t = (\lg N_{ср1} - \lg N_{ср2})/(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)^{1/2}.$$

Нулевую гипотезу не отвергали, когда полученные критерии оказываются меньше критических табличных значений, найденных в зависимости уровня значимости α и функции, связанной с объемами выборок.

Результаты усталостного эксперимента приведены в табл. 1, где σ_{max}, σ_{min} — соответственно максимальное и минимальное напряжение цикла нагружения, $\beta_{90\,\%}$ — полудлина 90 %-го доверительного интервала на среднее значение логарифмов долговечности. Среднее значение усталостной долговечности в исследуемом диапазоне нагружения в образцах с дефектами уменьшилось примерно в 1,5 раза. Но при проверке статистических гипотез о равенстве дисперсий и средних значений выборок (табл. 2) этот вывод не был подтвержден. Установлено, что при достаточно больших разбросах усталостной долговечности, характерных для сварных соединений, исследуемые дефекты шва первой категории не оказали значимого влияния на сопротивление усталости сварных соединений.

При исправлении дефектов шва порой приходится осуществлять второй проход по сварному шву. Принято считать, что увеличение объема сварки по сечению образца снижает усталостную долговечность конструктивных элементов из-за того, что происходит ухудшение структуры сплава (наблюдается рост зерен в шве и зоне термического влияния). Поскольку увеличение количества проходов является мерой вынужденной, обусловленной возможностями метода сварки и сварочного оборудования, необходимостью устранения дефектов, оценивали влияние количества проходов при сварке на статическую прочность и усталостную долговечность сварных соединений.

Исследования проводили на аналогичных образцах сварных соединений, изготовленных из листа сплавов 1201Т1 и АМг6 толщиной 6 мм. Образцы из сплава 1201Т1 испытывали на машине ЦДМ-Пу10 с частотой 12,5 Гц, образцы из сплава АМг6 — на машине ГРМ-1 с частотой нагружения 6,7 Гц. Результаты испытаний приведены в табл. 1. Видно, что второй проход при сварке не оказывает большого влияния на статическую прочность сварного соединения. Для образцов из сплава АМг6 от-

Таблица 1

Материал, условия	σ_p, МПа	$\sigma_{max}/\sigma_{min}$, МПа	lg$W$	S	$\beta_{90\,\%}$	n
1201Т1,		100/30	5,1042	0,53	0,6	4
пора		100/30	4,8836	0,51	0,6	4
1201Т1, НП параллельно шву		50/30	5,7081	0,6647	0,630	4
		100/30	4,9996	0,2433	0,230	4
		150/30	4,9851	0,3600	0,340	4
скопление пор		50/30	5,5431	0,3235	0,220	4
"		100/30	5,1109	0,1966	0,210	4
"		150/30	4,7721	0,2250	0,260	3
1201Т1, НП параллельно шву		50/30	6,1382	0,7568	0,890	4
		100/30	5,1291	0,1331	0,181	4
		150/30	4,7393	0,1755	0,238	4
цепь пор		50/30	5,7868	0,3172	0,431	4
"		100/30	5,2117	0,1582	0,210	4
"		150/30	4,6766	0,2149	0,290	4
1201Т1, НП параллельно шву		50/30	5,5124	0,31	0,33	4
		100/30	5,4600	0,26	0,29	4
		150/30	4,9619	0,26	0,30	4
вольфрамовое включение		50/30	5,3164	0,30	0,32	4
		100/30	5,3700	0,31	0,33	4
"		150/30	4,7224	0,27	0,32	4
АМг6, 1 проход	274	172/30	4,6273	0,3757	0,2765	7
АМг6, 2 прохода	260	172/30	4,2842	0,4370	0,3208	7
1201Т1, 1 проход	276	103/30	6,0119	0,4965	0,4094	6
		135/30	5,6585	0,2375	0,1958	6
		172/30	5,0764	0,2341	0,1931	6
		247/30	4,3442	0,1268	0,1208	5
1201Т1, 2 прохода	277	103/30	5,9769	0,1555	0,1283	6
		135/30	5,5182	0,2835	0,2701	5
		172/30	4,7509	0,4125	0,3402	6
		247/30	4,1345	0,1819	0,1733	5

Таблица 2

Влияние фактора	Сплав	$\sigma_{max}/\sigma_{min}$, МПа	F	$F_{кр}$	t	$t_{кр}$	Заключение
Пора Цепь пор	1201Т1	100/30 50/30 100/30 150/30	1,08 5,69 1,4 1,5	9,3 9,3 9,3 9,3	0,6 0,9 0,8 0,4	2,4 2,4 2,4 2,4	Влияние поры и цепи пор не значимо
Скопление пор	1201Т1	50/30 100/30 150/30	1,4 1,2 2,5	9,3 9,3 9,3	0,4 0,7 0,5	2,4 2,4 2,6	Влияние скопления пор не значимо
Вольфрмовое включение	1201Т1	50/30 100/30 150/30	1,1 1,4 1,1	9,3 9,3 9,3	1,0 0,5 1,3	2,4 2,4 2,4	Влияние включения не значимо
Второй проход при сварке	1201Т1 АМг6	103/30 135/30 172/30 247/30 172/30	10,2 1,4 3,1 2,0 1,3	5,0 5,2 5,0 6,4 4,3	0,2 0,9 1,7 2,1 1,6	2,6 2,3 2,2 2,3 2,2	Влияние второго прохода на среднее не значимо

мечено снижение сопротивления усталости примерно на 5 %. Для образцов из сплава 1201Т1 изменения статической прочности практически не произошло.

Среднелогарифмическое значение сопротивления усталости для образцов из сплава АМг6 при режиме нагружения σ_{max} = 172 МПа, σ_{min} = 30 МПа уменьшилось более чем в 2 раза, разброс результатов увеличился. Для образцов из сплава 1201Т1 в диапазоне напряжений σ_{max} = 103÷241 МПа усталостная долговечность снизилась в среднем на 30 % по сравнению с соединениями, выполненными за один проход (рис. 2). Однако проверка статистических гипотез по критериям равенства дисперсий и средних значений выборок показала (см. табл. 2), что и в этом случае различия в долговечности не являются значимыми.

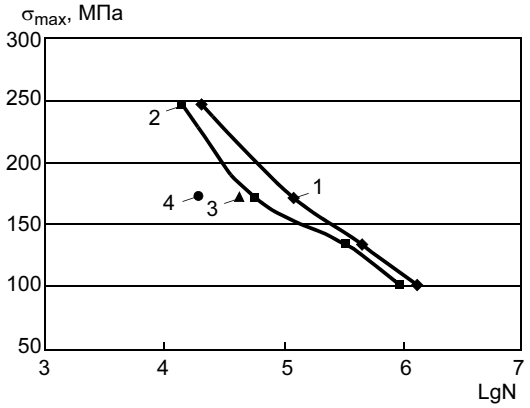


Рис. 2. Зависимость усталостной долговечности сварного соединения из алюминиевых сплавов от количества проходов при сварке (сплав 1201Т1): *1* — сварка за один проход, *2* — за два прохода, сплав АМг6, *3* — сварка за один проход, *4* — за два прохода

ВЫВОДЫ

1. При оценке влияния технологических факторов на усталостную долговечность сварных соединений для повышения надежности выводов необходимо осуществлять проверку статистических гипотез о равенстве дисперсий и средних значений выборок.

2. Дефекты сварки первой категории (поры, цепочки пор, скопления пор, вольфрамовые включения) в диапазоне σ_{max} = 50÷150 МПа не оказывают значимого влияния на сопротивление усталости соединений.

3. Сварные соединения из сплавов АМг6 и 1201Т1 толщиной 6 мм, выполненные за один и два прохода автоматической гелиево-дуговой сваркой, при испытаниях в рабочем диапазоне напряжений имеют близкие значения усталостной долговечности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Николаев Г. А., Фридляндер И. Н., Арбузов Ю. П.* Свариваемые алюминиевые сплавы. М.: Металлургия, 1990. 296 с.
2. *Степнов М. Н.* Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. М.: Машиностроение, 1985. 231 с.

В. А. ВАСИН, д-р техн. наук, О. В. СОМОВ, инж.
(ОАО "Полигон МТ", Московская обл.),
В. А. НЕВРОВСКИЙ, д-р физ.-мат. наук
("МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского)

Влияние материала изделия на процесс нанесения пиролитических карбидохромовых покрытий

Технология нанесения пиролитических карбидохромовых покрытий на различные материалы основана на термическом разложении металлоорганических соединений (МОС) хрома. В качестве исходного МОС хрома в нашей стране уже в течение нескольких десятилетий применяют бисареновые соединения хрома, известные под названием "Бархос". Метод пиролитического осаждения покрытий из газовой фазы металлоорганического соединения хрома обладает рядом преимуществ — технологичностью и безотходностью, высокими эксплуатационными свойствами получаемых покрытий, возможностью его автоматизации.

К настоящему времени разработаны различные способы и технологические схемы получения покрытий путем термического распада МОС, отличающиеся методом создания паровой фазы МОС, давлением и составом реакционной парогазовой смеси в зоне осаждения, способом подвода энергии к покрываемому изделию и т. д. Эти способы и технологические схемы воплощены в конструкциях установок для нанесения пиролитических покрытий, основные типы которых приведены в работе [1]. Большую часть таких установок применяют с бисареновыми соединениями хрома в качестве исходного МОС хрома, а продуктами технологии являются износо- и химически стойкие покрытия на ответственных деталях машин и оборудования, такие, например, как детали насосов и арматура, применяемые в нефтедобывающей промышленности, корпуса твэлов для атомных реакторов, ряд узлов аппаратов авиационной техники и т. д.

В данной работе использовали усовершенствованную установку для пиролиза металлоорганических соединений, разработанную в ОАО "Полигон МТ" совместно с фирмой Linn High Therm Ltd (Германия). В основу модернизированной установки положена одна из конструкций, описанных в работе [1]. Усовершенствования были направлены на повышение воспроизводимости и экологичности технологического процесса и заключались в автоматизации управления технологическим процессом, усовершенствовании системы дозирования и подачи МОС в реакционную зону, утилизации непрореагировавшего МОС и продуктов его распада на выходе установки и др. [2]. В результате создана установка, обеспечивающая температуру испарения МОС 220—230 °С, регулируемую температуру поверхности детали 400—550 °С с точностью до ±10 °С, скорость подачи МОС в испаритель 10—100 мл/ч, давление в камере нанесения 3—30 Па. Потребляемая мощность 6,3 кВт, площадь зоны обслуживания 9 м^2, расход воды для охлаждения камеры нанесения 150 л/ч.

При нанесении покрытий на различные материалы выявили особенности технологического процесса, обусловленные материалом изделия, без учета которых трудно получить высококачественное покрытие, в принципе достижимое при использовании метода термического разложения МОС. В данной работе приведены особенности формирования покрытий на стали, чугуне, алюминии и керамике, и те меры, которые применяли для улучшения качества покрытий.

Нанесение карбидохромовых покрытий на сталь. Пиролитические карбидохромовые покрытия наносили на втулки из стали 40Х, используемые в конструкции бесштанговых погружных насосов для добычи нефти. Для формирования покрытия путем распада МОС "Бархос" поверхность втулки поддерживали при температуре 550 °С, давление в камере нанесения покрытия — от 10 до 30 Па. В установке нанесения покрытия использовали капельный испаритель, конструкция которого приведена в работе [1], с объемным расходом 60 мл/ч. Средняя скорость образования покрытия составляла около 0,25 мкм/мин.

За время нанесения покрытия, равное 2 ч, на втулках образовывалось покрытие, средняя толщина которого в одних участках составляла около 26 мкм, а в других — от 28 до 35 мкм. Установка имеет специальное устройство перемещения изделий для обеспечения равномерности покрытия. Полученный разброс толщины покрытия на разных участках деталей свидетельствует о том, что неоднородность распределения паров МОС хрома в реакционной камере установки не вполне компенсируется вращением карусели с изделиями. Установили,

что те детали, которые находились преимущественно в средней части реакционной камеры, имели несколько более толстое покрытие.

Для определения структуры и толщины покрытия вырезали участки наружной поверхности втулок с нанесенным покрытием и делали металлографические шлифы. Шлифы фотографировали на микроскопе НЕОФОТ-2 при 500-кратном увеличении. Микротвердость покрытия определяли идентором Виккерса на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 0,5 Н. Микротвердость по Виккерсу, усредненная по результатам 42 измерений, составила около $18 \cdot 10^9$ Па. И вновь изделия, которые находились ближе к периферии карусельного устройства, имели микротвердость на 6 % меньше, чем среднее значение микротвердости, а микротвердость изделий, проходивших через среднюю часть реакционной камеры, на 6 % больше.

Косвенным признаком наличия больших механических напряжений в покрытии является образование микротрещин в покрытии при внедрении в него идентора. Длина трещин, как правило, превышала длину стороны отпечатка от идентора в 5—6 раз, т. е. около 20 мкм. Однако преимуществом полученных покрытий на стали является практическое отсутствие в нем пор.

Особенности нанесения пиролитических карбидохромовых покрытий на чугунные изделия связаны с обеспечением прочности сцепления покрытия с подложкой. Аналогичная проблема существует и при получении электрохимических покрытий на чугуне, так как углерод в чугуне мешает образованию прочного сцепления покрытия с подложкой. Опыт показывает, что прочность сцепления зависит от качества подготовки поверхности подложки и внутренних напряжений в ней [3]. Критерием необходимой прочности сцепления пиролитического карбидохромового покрытия с чугуном служит прочность сцепления с такой же подложкой хромового покрытия, полученного способом гальваномеханического хромирования. Например, при восстановлении цилиндров автотракторных двигателей прочность сцепления покрытия с чугуном, составляющая порядка 180 МПа, считается удовлетворительной. Однако желательно было бы иметь более прочное сцепление. Например, такие требования предъявляют к таким ответственным изделиям, как рабочие органы погружных бесштанговых насосов из чугуна С403Ц016.

С целью обеспечения прочного сцепления покрытия с чугунной подложкой изучали различные методы подготовки чугунных изделий к нанесению карбидохромовых покрытий из МОС хрома и выбрали оптимальные условия применения этих методов.

Таблица 1

Кислота	Концентрация, %	Прочность сцепления, МПа
HCl	36	300
HBr	10	140
H_2SO_4	40	50
Примечание. Во всех случаях время травления 1 ч.		

Вначале подобрали состав кислотного раствора травления чугуна, который обеспечивал бы наибольшую силу адгезии карбидохромового покрытия. В качестве травителей опробовали три кислоты — HCl, H_2SO_4 и HBr. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

В табл. 2 приведены результаты подбора продолжительности травления чугуна в HCl. Видно, что существует определенное время травления (50—60 мин), дольше которого не имеет смысла проводить подготовительное травление.

Исследования показали, что для получения прочного сцепления карбидохромового покрытия с чугуном необходимо проводить дополнительно вакуумный отжиг изделий в течение 8 ч при температуре 550 °С. При этом давление остаточного газа должно быть не выше 0,1 Па.

В результате исследований установлена последовательность подготовки поверхности чугуна:

— вакуумный отжиг при температуре 550 °С в течение 8 ч при давлении ниже 0,1 Па;

— травление в 36 %-ной соляной кислоте в течение 1 ч;

— удаление шлама моющим средством на основе оксида магния[1].

Далее покрытие наносили путем термического разложения хроморганической жидкости "Бархос" аналогично нанесению покрытия на сталь. Результаты испытаний методом нормального отрыва показа-

Таблица 2

Время травления, мин	Прочность сцепления, МПа	Примечание
10	10	Недостаточная
20	30	
30	50	
40	232	
50	248	Оптимальная
60	297	
120	300	Ухудшение класса чистоты
400	317	
600		
1200	310	

[1] Патент 2188877 (РФ).

ли, что прочность сцепления пиролитического покрытия с чугуном составила 300—320 МПа, а гальваномеханического покрытия хрома — 200—250 МПа.

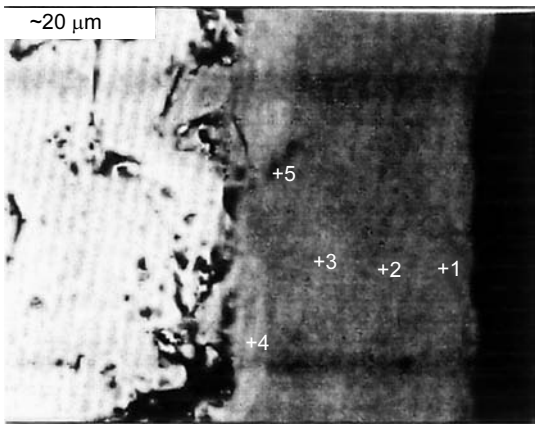
Пиролитические карбидохромовые покрытия на чугунных изделиях, таких как крыльчатки и втулки бесштанговых погружных насосов, имели среднюю толщину от 20 до 26 мкм, хотя изделиям присуща заметная разнотолщинность. Одной из причин, способствующих разнотолщинности, является волнообразный характер подложки, который наследует образующееся покрытие.

Микротвердость покрытий оказалась практически такой же, как и на стали 40Х.

Структуру покрытия исследовали с применением локального микрозондового анализа с помощью сканирующего электронного микроскопа JSV 5100 фирмы "Джеол", снабженного рентгеновской спектральной приставкой Link фирмы "Оксфорд инструментс". Определяли содержание углерода и хрома в разных участках покрытия. Анализ проводили в режиме отраженных электронов.

На рисунке приведено изображение участка покрытия, полученное в отраженных электронах. Большая часть покрытия имеет практически одинаковый химический состав (%): 92—94 хрома, 4—5 углерода, 2—3 кислорода. Этот состав установлен в точках 1—3 (см. рисунок). Более светлая полоска покрытия (в ней находится точка 4), прилегающая к чугуну, имеет повышенное содержание железа (до 40 %). Темное пятно (точка 5) также содержит 2,5 % железа и до 15 % кислорода, а углерода практически нет. Темные пятна встречаются очень редко.

Известно, что коррозионно-стойкие покрытия, получаемые пиролизом бисареновых соединений хрома, имеют разнообразную структуру и непостоянное соотношение чистого хрома и карбида хрома. Эти характеристики покрытия определяются температурой разложения соединения и обусловлены сложным химическим составом бисаренового соединения. Очень часто требуется высокая поверхностная микротвердость покрытия, малая шероховатость его наружной поверхности и одновременно высокие пластичность и прочность сцепления с подложкой. Высокая твердость достигается присутствием в покрытии значительного количества углерода, входящего в карбид хрома и присутствующего также в чистом виде, а пластичность — преобладанием чистого хрома на границе с подложкой. Так как состав покрытия (в том числе содержание углерода в нем) зависит от температуры поверхности изделия, на котором происходит пиролиз пара металлоорганического соединения, то, разделив процесс нанесения покрытия на две стадии, проводимые при различных температурах, можно получать требуемое сочетание свойств покрытия.



Участок покрытия в отраженных электронах

Эта схема была реализована [4] при нанесении покрытия на длинномерные изделия трубчатой формы при поступательном движении изделий через две зоны осаждения, обеспечивающие последовательное нанесение на изделие двух слоев покрывающих материалов, которые образуют композиционное покрытие типа хром—карбид хрома. Однако ожидаемый эффект достигается не всегда. При пиролизе МОС "Бархос" при температуре 450—500 °С образуется слоистая структура покрытия, состоящая из чередующихся параллельно подложке тонких прослоек хрома и карбида хрома с различным содержанием углерода, что приводит к внутренним напряжениям в слое покрытия. Если слой карбида хрома оказывается у подложки, то защитные свойства покрытия резко снижаются, так как высокая хрупкость этого слоя может привести к растрескиванию и отслаиванию покрытия при возможных деформациях изделия. Это приводит к необходимости дополнительного (как правило, вакуумного) отжига изделия при температуре 800 °С. Однако не все материалы подложки позволяют проводить такой отжиг. Очевидно, что он недопустим в случае применения в качестве подложки, например, алюминиевых сплавов.

Для того чтобы надежно получать двухслойное карбидохромовое покрытие, в котором слой хрома прилегает к подложке, и избежать последующей термической обработки, разработана технология двухстадийного нанесения покрытия на медленно движущееся длинномерное изделие[2]. Особенностью такого двухстадийного процесса является то, что термическое разложение МОС "Бархос" происходит в первой зоне при 340—360 °С, а во второй зоне пиролиз его проходит при 540—460 °С, причем в первую зону подаются в небольшом количестве пары дииоддифенила, а во вторую — пары бензилбензоата.

[2] Патент 2169793 (РФ).

В первой зоне осаждения смесь паров "Бархоса" с дииоддифенилом контактирует с нагретой поверхностью изделия и разлагается с образованием на ней слоя металлического хрома. Добавка дииоддифенила не только увеличивает скорость осаждения хрома, но и препятствует развитию побочных реакций пиролиза углеводородов, выделяющихся из МОС хрома, и тем самым уменьшает содержание углерода в осажденном слое.

Во второй зоне, где температура поверхности изделия достигает максимума (540—560 °С), к хроморганической жидкости примешиваются пары бензилбензоата и на изделии образуется поверхностный слой из карбида хрома. Бензилбензоат способствует сглаживанию рельефа покрытия и значительному повышению чистоты поверхности. В установке для нанесения покрытий пары металлизационного состава движутся вдоль нагретой поверхности изделия (по ходу его перемещения). В результате образуется покрытие, в котором содержание углерода увеличивается от подложки к его ростовой стороне от 0,05—0,1 до 9—12 %. Такое распределение углерода и соответствующей ему микротвердости (от 2—3 ГПа у подложки до 12—13 ГПа у ростовой поверхности) обеспечивает релаксацию остаточных напряжений в покрытии.

Проход изделия через зону нагрева длиной около 150 мм со скоростью 0,8—1,0 м/ч и при постоянном расходе хроморганической жидкости и добавок обеспечивает необходимую толщину слоя металлического хрома 3—5 мкм и поверхностного слоя карбидов хрома 1—2 мкм при общей толщине покрытия 15—20 мкм.

Результаты исследований состава и структуры покрытия, нанесенного по предлагаемой методике, показали, что непосредственно у подложки имеется слой хрома с малым содержанием углерода, что объясняет отсутствие растрескивания и отслаивания покрытия при деформационных испытаниях трубчатых профилей из алюминиевого сплава. Наличие значительного количества карбида хрома в наружном слое пиролитического покрытия делает его более гладким и препятствует осаждению на нем продуктов термического разложения органического теплоносителя в случае применения изделий в высоконапряженных теплообменных аппаратах.

Нанесение пиролитического карбидохромового покрытия на керамику. Проведены отдельные опыты по нанесению пиролитических карбидохромовых покрытий на белую керамику на основе оксида кремния, предоставленную фирмой Linn High Therm Ltd. Вначале образцы подвергали отжигу при остаточном давлении 1—3 Па и температуре 575 °С в течение 3 ч. Покрытие наносили в течение 2 ч при температуре 520 °С и расходе "Бархоса" 100 мл/ч. Результаты оказались неудовлетворительными: скорость образования покрытия на керамике в 4—5 раз больше, чем на металле. Толщина покрытия составляла 90—100 мкм и поверхностный слой подложки у половины образцов после остывания оказался разрушенным, хотя сразу после нанесения покрытия и образцы, и покрытие были целыми. Анализ характера разрушения образцов по сколам показал, что глубина разрушения около 1 мм, покрытие слоистое и беспористое, прочность сцепления покрытия с подложкой высокая, отслоения покрытия от подложки не наблюдали. По-видимому, разрушение поверхностного слоя подложки произошло из-за значительного различия температурных коэффициентов линейного расширения металлического покрытия и керамической подложки. За одно и то же время осаждения на керамической подложке образуется в несколько раз более толстый слой покрытия, чем на металле. Это обусловлено значительно меньшей теплопроводностью материала подложки. По-видимому, это обстоятельство несколько меняет баланс теплоты в зоне роста покрытия, увеличивая скорость пиролитического распада МОС “Бархос”.

Следует заметить, что нанесение карбидохромовых покрытий на керамику может представлять интерес как упрочняющая керамику операция, особенно в случае, когда керамика представляет высокопористый ячеистый материал (ВПЯМ). В работе [5] приведены результаты упрочнения методом пропитки ВПЯМ жидкими растворами на основе фосфорной кислоты и последующей термической обработки. В настоящее время исследуется метод пропускания паров соответствующего МОС сквозь ВПЯМ, помещенный в реакционную камеру установки для нанесения пиролитических покрытий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Костенков В. А.* Реакционное оборудование для получения покрытий на изделиях различной конфигурации и габаритов пиролизом металлоорганических соединений // Применение металлоорганических соединений для получения неорганических покрытий и материалов. М.: Наука, 1986. С. 180—201.
2. *Анциферов В. Н., Сомов О. В., Васин В. А.* Усовершенствованная установка для нанесения пиролитических карбидхромовых покрытий (ПКХП) // Проблемы современных материалов и технологий. Пермь: ПГТУ, 2005. Вып. 11. С. 256—264.
3. *Костенков В. А., Пашкин В. А., Щуров А. В.* Особенности технологии подготовки поверхности перед нанесением пиролитических карбидхромовых покрытий // Тез. докл. VI Всесоюз. совещания по применению металлоорганических соединений для получения покрытий и материалов. Н. Новгород, 1991. С. 78—79.
4. *Защитное* покрытие из пиролитического хрома. Технология, свойства, результаты испытаний и применение. Димитровград: НИИАР, 1994. С. 5.
5. *Хафизова Р. М.* Упрочнение керамических ВПЯМ из карбида кремния // Проблемы современных материалов и технологий. Пермь: ПГТУ, 2005. Вып. 11. С. 120—122.

А. А. ВЕСЕЛОВСКИЙ, инж.
Новотроицкий филиал МИСиС

Формирование многофункционального покрытия на деталях из серого чугуна совместным термодиффузионным насыщением Al и V

Серый чугун — технологический материал, его расплав обладает хорошей жидкотекучестью, малой склонностью к образованию усадочных раковин по сравнению с высоколегированными специальными чугунами, из него можно изготовлять отливки самой сложной формы с толщиной стенки от 2 мм. Физико-механические и служебные свойства чугуна определяются прежде всего особенностями микроструктуры: пластинчатый графит, содержащийся в структуре обеспечивает хорошие антифрикционные свойства, высокую износостойкость при сухом трении скольжения и трении со смазкой, малую чувствительность к концентраторам напряжений. В это связи детали из серых чугунов широко применяют в конструкциях автомобилей и тракторов, составляя 15—25 % их общей массы. Основная номенклатура — это ответственные детали: блоки, головки, гильзы цилиндров, крышки коренных подшипников двигателей, тормозные диски и диски сцепления, а также детали, для которых чугун является оптимально технологичным и экономичным конструкционным материалом.

Создание термодиффузионных износостойких покрытий на деталях из серого чугуна позволяет значительно продлить срок эксплуатации трущихся деталей, а следовательно, и агрегата в целом. Нанесение износостойкого покрытия путем комплексного насыщения деталей из серого чугуна алюминием и ванадием повышает микротвердость поверхностного слоя чугунных деталей от 32 000 до 44 000 МПа с плавным понижением в глубь слоя и отличается относительной дешевизной. Изготовление же трущихся деталей с маленькой толщиной стенки из износостойких хромистых и ванадиевых чугунов является слишком дорогостоящим в силу их плохих литейных свойств.

Создание слоя с высокой микротвердостью на глубину 50—80 мкм обеспечивается только совместной диффузией алюминия и ванадия, при отдельном насыщении ванадием на поверхности изделия создается слой карбидов диффузанта, который препятствует дальнейшему проникновению атомов ванадия в изделие.

Для термодиффузионного алюмованадирования разработана специальная установка (рис. 1), базирующаяся на электропечи СУОЛ — 0,25.1/12.5-И1 трубчатого типа с диаметром рабочего пространства 50 мм, номинальной мощностью 2,4 КВт и температурой нагрева 1250 °С. Температура в печи поддерживается задатчиком автоматически в течение всего периода работы. Внутрь керамической трубы вставляется металлическая реторта из среднеуглеродистой стали с двумя заглушками на резьбовом соединении. Одна из заглушек глухая, другая — съемная для разгрузки и выгрузки порошковой шихты. Реторта через открытую передачу соединена с синхронным двигателем.

Для экспериментов использовали образцы из серого чугуна СЧ20, размером 30 × 20 × 10 мм. Широкая поверхность образцов имела чистоту поверхности, соответствующую параметру шероховатости *Ra* = 0,16÷1,25 (ГОСТ 2789—73).

В качестве шихты для контактного упрочнения использовали смесь кварцевого песка, феррованадия, алюминиевого порошка, активатором процесса являлся хлористый аммоний. Реагенты вместе с образцами засыпали в реторту, включали печь, при этом включалось вращение. По достижении печью

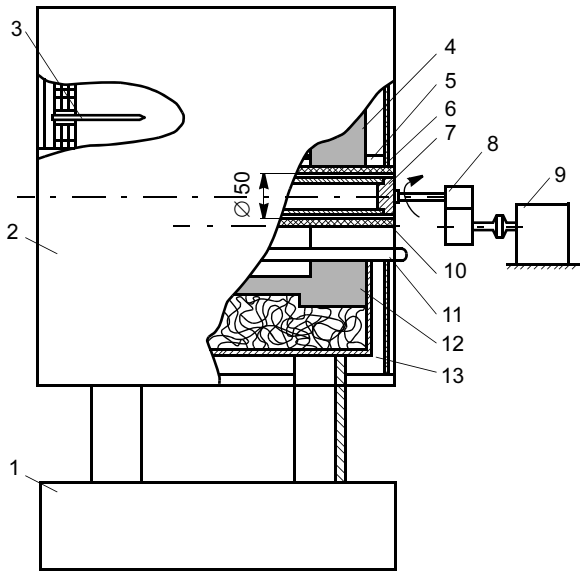


Рис. 1. Установка для термодиффузионного алюмованадирования образцов из серого чугуна: *1* — пульт управления; *2* — фальшкожух; *3* — термопара; *4* — корундовая труба; *5* — нагреватели; *6* — рабочая керамическая труба; *7* — заглушка реторты; *8* — открытая зубчатая передача; *9* — электродвигатель; *10* — реторта; *11* — пробка керамическая; *12* — корпус печи; *13* — теплоизоляция

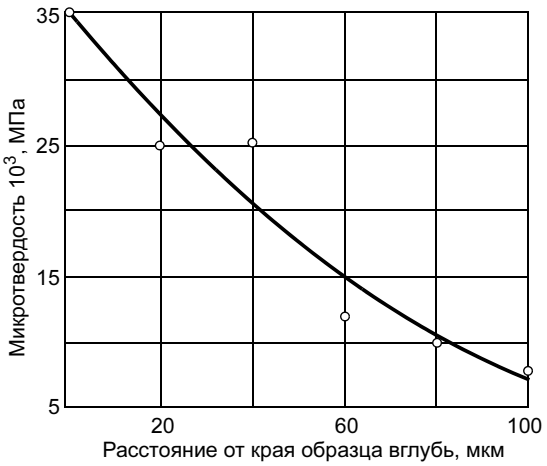


Рис. 2. Распределение микротвердости по сечению упрочненного слоя для образцов из серого чугуна, обработанных в шихтовом составе, содержащем 10 % алюминия

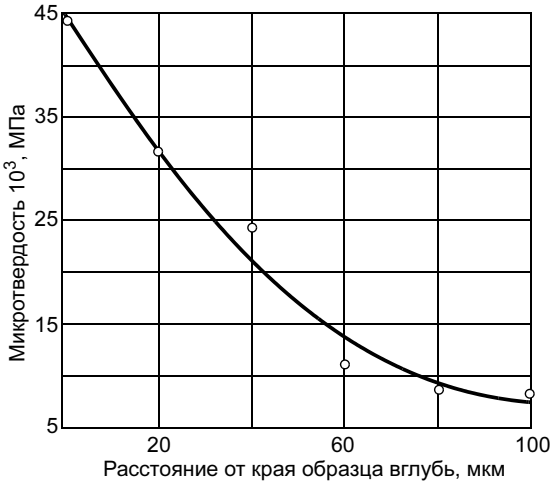


Рис. 3. Распределение микротвердости по сечению упрочненного слоя для образцов из серого чугуна, обработанных в шихтовом составе, содержащем 13 % алюминия

температуры 350—400 °С следовала выдержка при данной температуре до полного разложения NH_4Cl. Затем температуру увеличивали до 920—950 °С и осуществляли трехчасовую выдержку при этой температуре.

Нижний порог температурного интервала выбран в силу того, что при более низких температурах значительно ухудшаются диффузионные процессы и возрастает время выдержки, а верхний характеризуется максимальной температурой для серого чугуна, при которой он еще способен сохранять свои форму и размеры.

Исследованию подвергали образцы из серого чугуна, упрочненные в широком диапазоне составов основных компонентов шихты. Так, содержание алюминия в шихте менялось от 0 до 2 %.

В результате применения математической обработки экспериментальных данных методом многофакторного анализа и пакета " Статистика" выяснилось, что наиболее высокие значения микротвердости на значительную глубину достигаются при использовании шихты с содержанием алюминия 10—13 %.

Увеличение содержания алюминия приводит к резкому снижению микротвердости и оплавлению огранок образцов. Уменьшение содержания алюминия является недостаточным в стехиометрическом смысле для образования фаз в покрытии, создающих такой уровень микротвердости на значительную глубину.

Графическая интерпретация распределения микротвердости по сечению упрочненного слоя приведена на рис. 2 для содержания в шихте 10 % алюминия и на рис. 3 для содержания 13 % алюминия в шихте.

ВЫВОДЫ

1. Выбранный способ термодиффузионного насыщения деталей из серого чугуна ванадием и алюминием является промышленно пригодным, так как все компоненты реакционной смеси широко используются в промышленности.

2. Оптимизирован состав шихты с минимальным содержанием дорогостоящего ванадия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рыбакова Л. М., Куксенава Л. И.* Структура и износостойкость металла. М.: Машиностроение, 1982. 212 с.
2. *Войнов Б. А.* Износостойкие сплавы и покрытия. М.: Машиностроение, 1980. 126 с.

В. А. КОРОТКОВ, д-р техн. наук
Нижнетагильский филиал УГТУ-УПИ

Новые разработки, направленные на продление жизненного цикла изделий

Триботехническая подготовка инженеров

К 60-м годам 20 века в машиностроении не только научились предупреждать поломки, но и разработали эффективные меры по снижению износа, например, гальваническое хромирование, цементацию, закалку ТВЧ, синтетические присадки к маслам и др. Их применение позволило убрать из машин регулировочные элементы, служащие для ликвидации зазоров, образующихся при износе. В результате машины стали надежнее, срок их безремонтной эксплуатации существенно вырос. Однако техническая общественность не торопилась внедрять в производство новые достижения и идею "безремонтных машин" восприняла сдержано. В Англии для ее популяризации изготовили редуктор, в котором применили все новейшие достижения по снижению износа. В редукторе запаяли разъем и дали ускоренную нагрузку, эквивалентную 50-ти годам обычной эксплуатации. Последующее тестирование показало, что он сохранил абсолютную пригодность и его охарактеризовали "вечным". Но и этот впечатляющий пример не оказал ожидаемого воздействия. Тогда была создана правительственная комиссия, по рекомендации которой в Великобритании учредили новую дисциплину "трибологию" (науку о трении и износе), к преподаванию которой приступили на всех уровнях. Этому примеру последовали другие развитые страны и в 70—80-х годах "безремонтные" автомобили и другая техника на западе стали реальностью.

В нашей стране к всеобщему обучению трибологии (триботехники) так и не приступили. Вероятно, это стало одной из главных причин того, что отечественная промышленность выпускает машины и оборудование, существенно уступающее по надежности и долговечности западным. В вузах обучают проектированию машин ("Теория машин и механизмов", "Теоретическая техника"), расчетам на прочность ("Сопротивление материалов", "Детали машин"), но нет предмета, где изучают основы защиты машин от изнашивания.

Нельзя сказать, что в стране не осознавали этого упущения. В 70-х годах в УПИ профессора И. Н. Богачев и М. И. Разиков, добившиеся значительных успехов в решении проблем износа, говорили о целесообразности изучения контактной прочности металлов. В 1980 г. в журнале "Трение и износ" писали, что в настоящее время известно столько способов борьбы с износом, что их следует изучать специально. Однако реальные шаги были сделаны лишь в конце 80-х и 90-х годов, когда учредили ряд триботехнических специальностей (табл. 1), и на некоторых кафедрах начали читать спецкурсы по износостойкости машин (табл. 2).

Принятые меры несомненно полезны, но они охватывают триботехнической подготовкой лишь небольшие группы студентов. Основная же масса инженеров по-прежнему остается не осведомленной даже в элементарном об износостойкости машины. Это затрудняет и снижает эффективность производственной деятельности тех немногих специалистов-трибологов, которые выпущены по новым специальностям.

Осознавая необходимость более широкого преподавания науки о трении и изнашивании, в филиале УГТУ-УПИ (Нижний Тагил) разработали общеинженерную дисциплину "Износостойкость машин", которую начали преподавать в 2005 г. на третьем курсе различных специальностей. Разработана программа, включающая 30 аудиторных часов и

Таблица 1

Шифр специальности	Год учреждения	Наименование
150205	1989	Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов
150302	1994	Триботехника
150207	1995	Реновация средств и объектов материального производства в машиностроении
05.02.04	2000	Трение и износ в машинах (подготовка аспирантов и докторантов)

Таблица 2

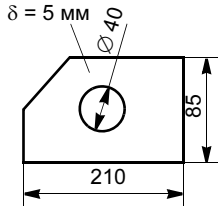
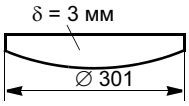
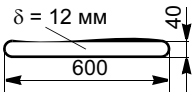
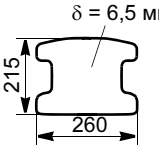
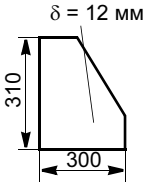
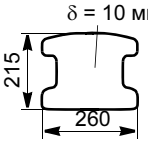
Вуз	Специальность	Дисциплина
УГТУ-УПИ (Екатеринбург)	Литейное производство (150104)	Технологии восстановления и упрочнения
УГТУ-УПИ (Екатеринбург)	Сварочное производство (150202)	Ремонтная сварка и наплавка
УГТУ-УПИ (Н. Тагильский филиал)	Сварочное производство (150202)	Методы упрочнения
ЮУрГУ (Челябинск)	Динамика и прочность машин (071100)	Трение и износ в машинах

учебное пособие, одобренное учебно-методическим межвузовским объединением.

Бюро триботехники на Уралвагонзаводе. Требования рынка к повышению надежности и долговечности машиностроительной продукции заставили Уралвагонзавод в 2003 г. создать специальное подразделение по износостойкости — "Бюро триботехники". Одновременно в его задачи вошло снижение расхода штампов, инструмента и запчастей для внутризаводского оборудования. За неполные три года работы были получены следующие важные результаты.

Упрочнение штампов[1]. В последние годы для производства вагонов начали применять более прочные категории стального листа, что вызвало повышенный расход и нехватку вырубных штампов. Исследования показали, что в результате отпуска штампов снижается их твердость. Это предупреждает выкрошивание, но ускоряет затупление рабочих кромок. Методы поверхностного упрочнения (борирование, азотирование и др.) несомненно эффективны, но из-за высокой трудоемкости их применяют нечасто. Было решено опробовать упрочнение рабочих кромок плазменной закалкой. Оборудование и технологию для ее выполнения предоставил ООО "Композит". Результаты испытаний штампов с плазменной закалкой, приведенные в табл. 3, свидетельствуют о том, что стойкость штампов увеличилась в некоторых случаях весьма значительно — до 5,3 раза. Для производства работ по упрочнению штампов приобретено две установки плазменной закалки: для инструментального цеха, где изготовляют штампы, и для цеха, где они эксплуатируются. В последнем установку применяют для закалки покупных штампов и штампов после их осадки (перешлифовки).

Таблица 3

Штамп	Материал штампа	Эскиз детали	$K_{из}$
Штамп черт. АДК 1740.7744 СБ (вырубка с пробивкой отверстий) Твердость 50 HRC → 65 HRC	У8А		1,14
Штамп черт. АДК 1745.4050 СБ (вырубка с формовкой) Твердость 54 HRC → 65 HRC	У8А		1,9
Штамп черт. АДК 1513.7516 СБ (холодная вырубка) Твердость 45 HRC → 65 HRC	У8А		1,5
Штамп черт. АДК 1513.8196 (холодная вырубка) Твердость 50 HRC → 60 HRC	8Х3		3,5
Штамп черт. АДК 1513.7975 (горячая вырубка) Твердость 50HRC → 65 HRC	Х12М		1,6
Штамп черт. АДК 1513.8201 СБ (горячая вырубка) Твердость 52 HRC → 60 HRC	5ХВ2С		5,3

Учитывая данные обстоятельства, была проведена дополнительная поверхностная закалка подкрановых рельсов, а для наплавки крановых колес применена новая проволока Нп-18Х2Г2. Плазменная закалка увеличила твердость поверхностного слоя глубиной около 2 мм с 35 до 55 HRC. Производственные испытания показали, что даже после двойного срока службы рельсы оставались без износа (рис. 1). Наплавка проволокой Нп-18Х2Г2 обеспечила твердость в наплавленном слое на уровне сорбитизированного колеса — 55 HRC. Но срок

Упрочнение пары рельс—колесо[2]. Большой парк грузоподъемных кранов, имеющийся на Уралвагонзаводе, заставил обратить внимание на необходимость снижения расхода крановых колес и подкрановых рельсов. До 70-х годов в СССР крановые колеса и рельсы применялись без термического упрочнения с твердостью около 20 HRC. Изношенные колеса восстанавливали наплавкой проволокой Нп-30ХГСА, обеспечивающей более высокую твердость наплавленного слоя (около 25 HRC), за счет чего наплавленные колеса отличались повышенным сроком службы. В 70-х годах стали выпускать термоупрочненные рельсы с твердостью около 35 HRC, в связи с чем на крупных промышленных предприятиях была освоена сорбитизация крановых колес, т. е. их термическое упрочнение на такой же уровень твердости, что и термоупрочненных рельсов (35 HRC). Наплавка проволокой Нп-30ХГСА перестала давать преимущества в твердости, поэтому износостойкость наплавленных колес стала меньше, чем у сорбитизированных.

[1] В исследованиях участвовал М. В. Злоказов

[2] В исследованиях участвовал С. П. Ананьев.

ISSN 1562-322X. Технология машиностроения. 2007. № 1

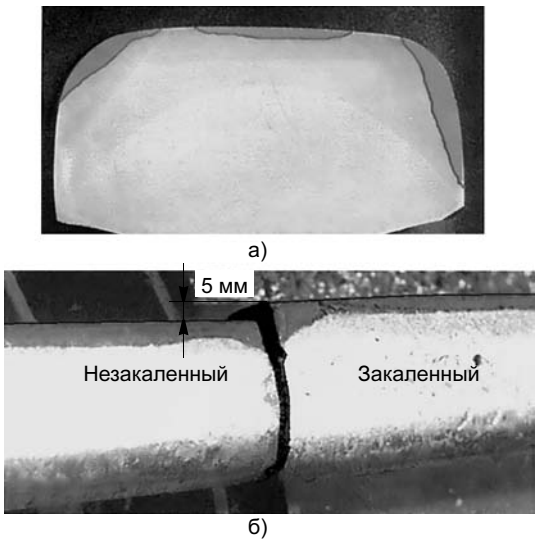


Рис. 1. Рельс, подвергнутый плазменной закалке (*а*); износ рельсов с плазменной закалкой и без нее (*б*) после одинакового срока эксплуатации

Рис. 2. Плазменная закалка бурта подпятникового места надрессорной балки железнодорожного вагона

службы наплавленных колес оказался больше, чем у сорбитизированных в 1,5—2,0 раза, что объясняется литой структурой наплавленного слоя и более высокой степенью легирования стали 18Х2Г2 по сравнению с колесной сталью. Для наплавочных работ, в том числе наплавки крановых колес, приобретена автоматическая установка с ЧПУ производства фирмы "РАДИС" (РФ), а для закалки рельсов — плазменная установка.

Упрочнение бурта подпятника[3]. Кузов железнодорожного вагона удерживается на вагонных тележках шипом-пятником, опирающимся в подпятниковое место — своеобразную чашу. При движении вагона края (бурты) чаши (подпятника) воспринимают большие нагрузки и быстро изнашиваются. Увеличение срока службы бурта подпятника — одна из важных задач. Бурт подпятника выполнен из низкоуглеродистой стали 20ФЛ и поэтому имеет невысокую твердость — около 180 HV. Для увеличения срока службы к нему приваривали полукольца из более прочной стали 30ХГС, однако при эксплуатации полукольца быстро отрывались. Наплавка бурта сталью с повышенной твердостью приводит к значительному удорожанию за счет большой трудоемкости и самой наплавки, и последующей проточки наплавленного слоя, поэтому к применению не пригодна.

В этой ситуации была предпринята попытка упрочнения бурта плазменной закалкой (рис. 2). Учитывая, что низкоуглеродистая сталь плохо воспринимает закалку, полной уверенности в достижении положительного результата не было. Однако в процессе исследования микроструктуры закаленного слоя установлено, что быстрый плазменный нагрев не позволил углероду, сконцентрированному в перлитных зернах, перераспределиться по всему объему и на месте перлитных зерен с твердостью 276 HV образовались мартенситные участки с высокой твердостью 905 HV. Твердость ферритных участков (207 HV) при этом не изменилась (рис. 3).

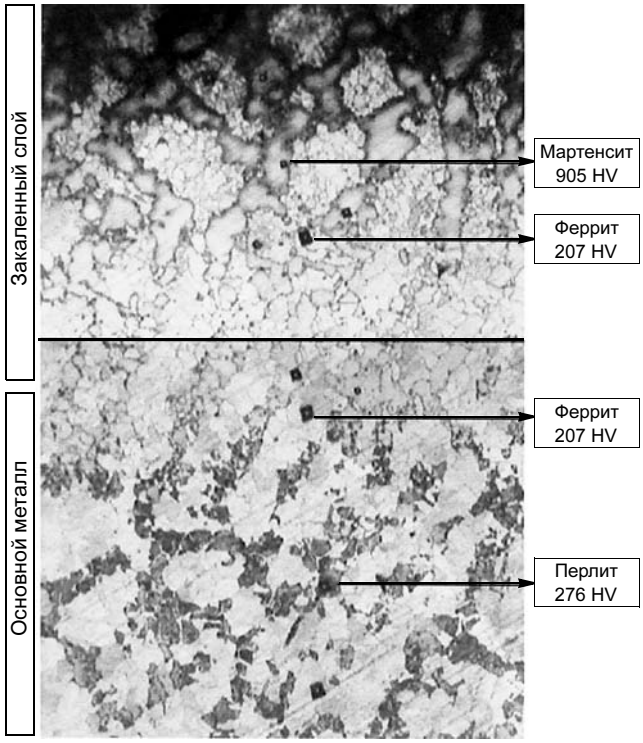


Рис. 3. Микроструктура низкоуглеродистой стали, подвергнутой плазменной закалке

[3] В исследованиях участвовал В. В. Козлов.

Благодаря закалке перлитных зерен на мартенсит средняя твердость поверхности после плазменной закалки составила около 40 HRC. Испытания вагонов с упрочненными буртами на опытном железнодорожном кольце станции "Щербинка" показали, что после тройного пробега износ их был в 3 раза меньше, чем у буртов без закалки. В настоящее время на Уралвагонзаводе идет подготовка к внедрению плазменной закалки буртов подпятника в производство.

ООО "Композит" — первое на Урале предприятие по восстановлению и упрочнению быстроизнашивающихся деталей. В 1990 г. при Нижнетагильском филиале УПИ создали лабораторию по ускорению внедрения научных разработок в производство, которую в дальнейшем реорганизовали в ООО "Композит". В настоящее время ООО "Композит", располагая производственной площадью около 2 тыс. м^2, производит работы для ведущих предприятий Урала: Нижнетагильского и Челябинского металлургических, Качканарского и Высокогорского горно-обогатительных комбинатов; корпорации ВСМПО-АВИСМА, ФГУП "Уралвагонзавод" и др. Среди его разработок высокую эффективность обеспечивают технологии наплавки коррозионно-стойкими сталями, ручной плазменной закалки, электроискрового легирования (ЭИЛ).

Наплавка коррозионно-стойкими сталями[4]. Данные стали, как правило, обладают комплексом ценных механических свойств (твердостью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью и др.), что обеспечивает их универсальное применение. Однако, чем выше механические свойства, тем труднее наплавка. Поэтому для решения проблем наплавки и увеличения срока службы наплавленных деталей были разработаны специальные наплавочные проволоки. Например, проволока Св-12Х15Г2 в отличие от известной Св-12Х13 позволяет вести процесс в защитных газах и вместо двухслойной наплавки проводить однослойную. Но не всегда ее твердость 40 HRC удовлетворяет требованиям эксплуатации деталей, поэтому была разработана проволока Нп-40Х16РТ, обеспечивающая твердость 55—60 HRC. Несмотря на высокую твердость наплавленный слой не склонен к образованию трещин; они не образуются даже при наплавке с сопутствующим водяным охлаждением, назначаемым во избежание деформаций.

Ручная плазменная закалка[5]. Плазменная закалка известна с 80-х годов, но до последнего времени ее выполняли лишь на автоматических установках. Малейшие изменения длины дуги или скорости перемещения, неизбежные при ручном ведении процесса, приводят к оплавлению поверхности или исчезновению закаленного слоя. Совершенствование оборудования и технологии плазменной закалки велось в течение нескольких лет. В результате задача была решена и в настоящее время в ручном варианте ее используют (помимо выше приведенных случаев упрочнения рельсов, вырубных штампов, буртов подпятника железнодорожного вагона) для закалки крупномодульных шестерен, чугунных штампов для вальцовки труб большого диаметра, различного рода плит, валков, роликов (рис. 4).

Подробнее рассмотрим пример плазменной закалки чугунных штампов для вальцовки труб. На Челябинском трубопрокатном заводе их упрочняли закалкой газокислородном пламенем на твердость 50 HRC, в результате плазменной закалки удалось увеличить до 60 HRC твердость и, как следствие, в 3—5 раз срок их службы.

[4] В исследованиях участвовал Д. В. Бабайлов.

[5] В исследованиях участвовал А. В. Шекуров.

а) б) в)

Рис. 4. Плазменная закалка крупномодульной шестерни (*а*), плиты (*б*) и чугунного штампа (*в*)

Электроискровое легирование (ЭИЛ). Тяжелонагруженные и массивные валы длиной до 4 м и диаметром шеек до 900 мм шахтных подъемников и щековых дробилок выходят из строя из-за ослабления посадок подшипников качения. Износ шеек при этом составляет лишь доли миллиметра, но затраты на замену валов и потери от простоев исчисляются миллионами рублей. Эти валы обычно изготовляют из трудносвариваемых сталей 38Х2НМ и 34ХН2М, что практически исключает их восстановление наплавкой. В связи с этим была разработана технология восстановления шеек валов методом ЭИЛ. Она предусматривает не только точное (0,01 мм) наращивание диаметра, но и компенсацию неравномерности износа по длине окружности, которая часто имеет место. После ЭИЛ восстановленные шейки не требуют механической обработки, что позволяет восстанавливать валы прямо в местах их эксплуатации (рис. 5).

Шейки валов подъемных машин были восстановлены на шахтах Богословского рудоуправления (2003 г.), Высокогорского ГОКа (2004 г.), Гайского ГОКа (2006 г.). Эксцентриковые валы щековых дробилок восстанавливали на Серовском ферросплавном заводе (1994 г.), комбинате "Магнезит" (2002 г.), Богословском рудоуправлении (2003 г.), комбинате "Ураласбест" (2005 г.). Кроме того, восстанавливали посадочные места на роторе винтового компрессора буртового станка СБШ-250 диаметром 180 мм, в редукторе подъема экскаватора ЭКГ-8и диаметром 150 и 280 мм, на траверсе дробилки крупного дробления ККД 1500/300 (1260 мм) и в чугунном корпусе редуктора обжиговой машины (620 мм).

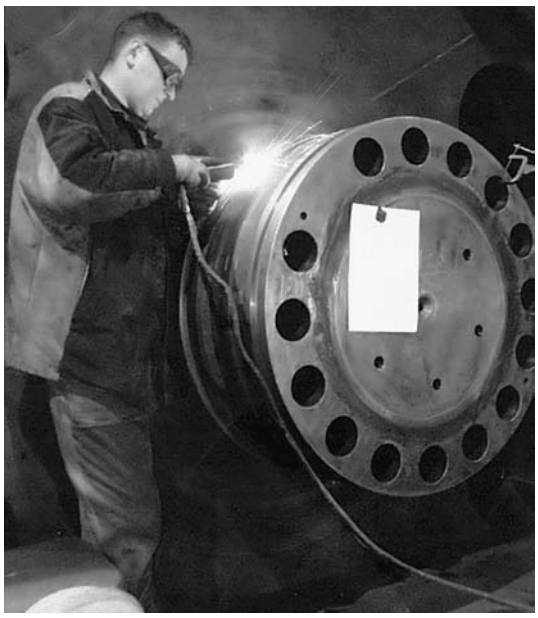


Рис. 5. Восстановление шейки вала шахтного подъемника методом ЭИЛ

Г. М. РЫБАКОВ, канд. техн. наук
Московский государственный индустриальный университет

Формирование сжимающих остаточных напряжений в металлических деталях при дробеструйной обработке

Механизм наведения остаточных напряжений в поверхностном слое металлических деталей при их механической обработке, включая поверхностное пластическое деформирование (ППД), известен и описан во многих работах [1]. Однако механизм возникновения "подслойного" максимума сжимающих напряжений остается до конца не выясненным. Уменьшение сжатия в тонком приповерхностном слое может резко снизить эффективность ППД и усталостные характеристики деталей.

В данной работе приведены результаты исследований механизма появления "спада" напряжений вблизи поверхности, обработанной ППД. В качестве ППД применили дробеструйную обработку (ДО).

Следует обратить внимание на то, что детали, подвергаемые различным видам ППД, в частности ДО, с целью упрочнения, в соответствии с техническими требованиями не должны иметь существенных изменений размеров или каких-либо недопустимых деформаций. При этом напряжения, обнаруживаемые в поверхностном слое после обработки, как правило, имеют "подслойный максимум". Строгое описание этого явления как однозначной функции от глубины распространения пластической деформации, в современной литературе отсутствует.

В 1943 г. английский исследователь Алмен обнаружил эффект выгиба пластин под действием ДО навстречу потоку дроби и использовал его для контроля интенсивности ДО (рис. 1). В данной работе это явление использовали для формирования остаточных напряжений в металлических деталях.

Учитывая свойства материалов, представим, что поверхностный слой стремится "выгнуться" навстречу потоку дроби, но под действием межатом-

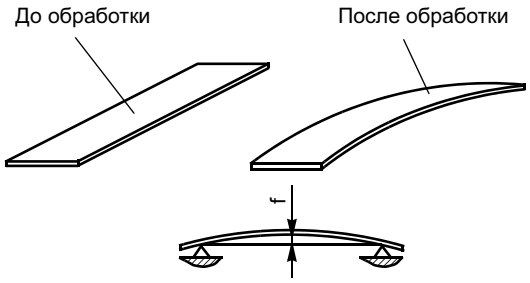


Рис. 1. Эффект Алмена, используемый для контроля интенсивности ДО (*f* — прогиб (выгиб) пластины после ДО)

ных связей этого не происходит, как показано на рис. 2. Сотни тысяч межатомных связей создают усилия, "выпрямляющие" поверхностный слой, а точнее возвращающие его в исходное состояние. Естественно предположить, что поверхностный слой под действием внутренних сил материала окажется более сжатым, чем если бы он остался свободно "выгнутым". Наиболее распространенным, точным и достоверным методом определения остаточных напряжений является метод Давиденкова. Однако чтобы этим методом определить остаточные напряжения в обработанной детали, необходимо из готовой детали вырезать образец в виде стержня прямоугольного сечения. При этом образец выгибается в сторону обработанной поверхности, поскольку объемные силы перестают действовать. Затем с обработанных ППД поверхностей механически или электрохимическим травлением последовательно снимают слои металла, отслеживают изменения прогиба образца и рассчитывают напряжения по специальной методике [1].

Таким образом, механизм определения остаточных напряжений состоит из следующих этапов: "выгибание" образца (предполагаемого к вырезке из детали) в сторону обработанной поверхности под действием ДО с одновременным "выпрямлением" под действием объемных упругих сил; затем опять "выгибание" при вырезке и выпрямление при снятии деформированных слоев.

В работе [2] подробно описано состояние равновесия пластины прямоугольного сечения, подвергнутой ДО. Распределение напряжений по сечению пластины прямоугольного сечения после ДО в условиях равновесия пластически деформированного и упругодеформированного слоев приведено на рис. 3. Оба слоя воздействуют друг на друга равными по модулю силами, приложенными в некоторой точке в области пластически деформированного слоя. На рис. 3 H — толщина пластины, x — толщина пластически деформированного слоя; e_1 (e_2) — эксцентриситет или координата точки приложения силы $P_1(P_2)$ относительно центра тяжести прямоугольного сечения стержня или относительно осевой линии пластически упругодеформированного слоя; a_{y2} — расстояние от оси симметрии упругодеформированного слоя до его нейтральной оси, на которой напряжения равны нулю; SS — сжимающие напряжения, возникающие на поверхности пластины в состоянии, когда упруго- и пластически деформированные слои находятся в равновесии (в соответствии со стандартами, принятыми в международной практике, буквы "SS" являются начальными буквами слов Surface Stress (поверхностные напряжения) — напряжения, определяемые на поверхности материала детали); S_x — растягивающие напряжения, возникающие на границе перехода от пластически к упругодеформированному слою; S_{x1} — сжимающие напряжения, возникающие в состоянии равновесия на вогнутой стороне пластины — противоположной стороне, обрабатываемой дробью.

Сила P_1 представляет собой реакцию упругосжатого пластически деформированного слоя, про-

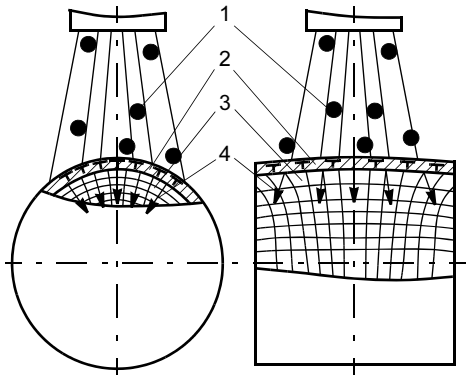


Рис. 2. Механизм сжатия поверхностного слоя при ДО: *1* — поток дроби; *2* — пластически деформированный слой; *3* — упругодеформированный объем материала; *4* — усилия, "выпрямляющие" поверхностный слой, создаваемые упругодеформированным объемом

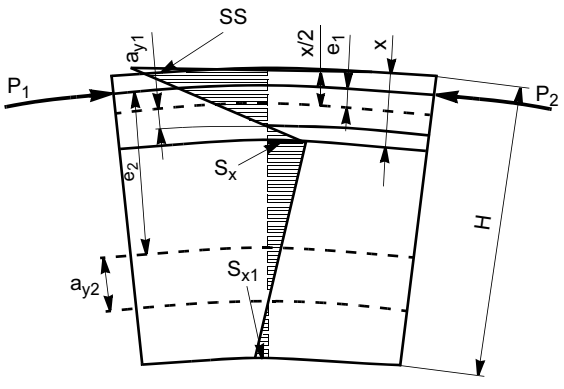


Рис. 3. Распределение напряжений по сечению пластины прямоугольного сечения после ДО в условиях равновесия пластически деформированного и упругодеформированного слоев

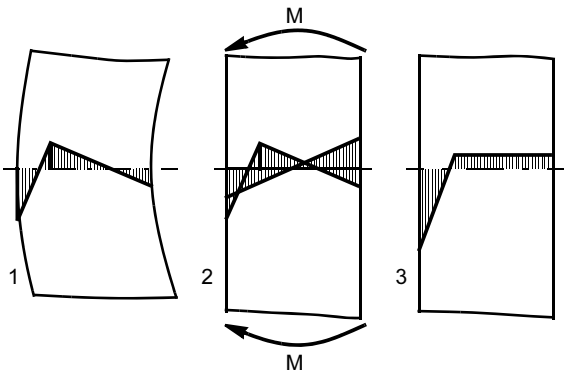


Рис. 4. Трансформация напряжений при выпрямлении изогнутой ДО пластины: *1* — распределение напряжений в пластине прямоугольного сечения в условиях изгиба после ДО; *2* — наложение на изогнутую после ДО пластину "выпрямляющего" момента *M*; *3* — суперпозиция напряжений в выпрямленной пластине

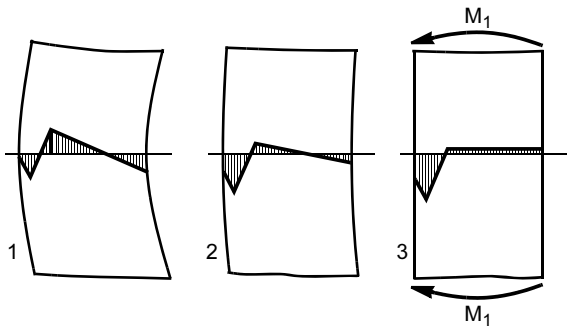


Рис. 5. Трансформация распределения напряжений при снятии "выпрямляющего" момента: *1* — разгрузка поверхностного слоя; *2* — переход в состояние равновесия при взаимодействии пластически и упругодеформированных слоев; *3* — суперпозиция напряжений при действии выпрямляющего момента M_1

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

На рис. 3 также наглядно показано остаточное приращение линейных размеров поверхностного слоя, возникающее в состояние равновесия. Этому состоянию пластины соответствует определенное распределение остаточных напряжений, зависящее от величины прогиба (выгиба) пластины. "Выпрямление" пластины под действием объемных сил материала можно моделировать, приложив к пластине "выпрямляющий" момент, а используя принцип суперпозиции при наложении на имеющееся распределение напряжений "выпрямляющего" момента, получим окончательное распределение напряжений в "выпрямленной" пластине (рис. 4).

В состоянии суперпозиции сжимающие напряжения на поверхности и вблизи ее превышают напряжение текучести материала. Однако такое распределение напряжений сохраняется только при действии выпрямляющего момента *M*. Но если действие момента снять, то в процессе упругой разгрузки напряжения на поверхности достигнут нуля, а вблизи поверхности переходят от нулевых до максимальных значений (рис. 5). Однако в этом состоянии равновесие между слоями нарушается. Поэтому для восстановления равновесия упругодеформированный слой начинает разгружаться, "догружая" в условиях сжатия или, точнее, сжимая поверхностный слой до состояния равновесия, как показано на рис. 5. При этом кривизна пластины

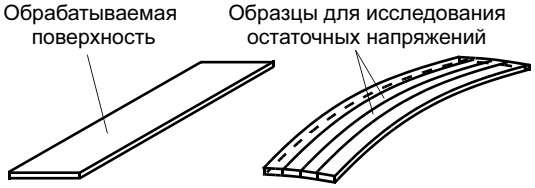


Рис. 6. Схема изготовления образцов в виде стержней прямоугольного сечения для определения остаточных напряжений методом Давиденкова после ДО

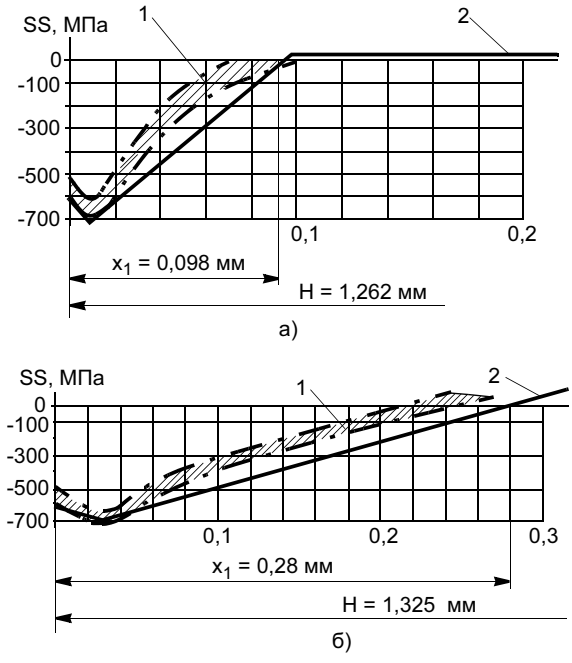


Рис. 7. Распределение напряжений по сечению образца (пластины) после ДО: *а*, *б* — *f* соответственно равен 0,28 и 0,95 мм; *1* — метод Давиденкова; *2* — расчетный метод

уменьшается и для ее выпрямления требуется меньший момент M_1, при действии которого возникает окончательное распределение напряжений в материале пластины. Это распределение напряжений имеет четко выраженный максимум сжимающих напряжений.

Разработана программа для ЭВМ[1], при помощи которой можно рассчитать распределение напряжений в образцах типа стержней прямоугольного сечения по всему сечению образца.

Экспериментальную проверку предложенного метода проводили следующим образом:

— пластины из жаропрочного сплава ЭП708 размером 70 × 20 × 1,3 мм обрабатывали дробью диаметром 0,2—0,3 мм до достижения ими прогибов 0,28 и 0,95 мм;

— из обработанных дробью пластин вырезали образцы для определения остаточных напряжений методом Давиденкова согласно рис. 6;

— определяли напряжения методом Давиденкова и предложенным расчетным методом и проводили сопоставление результатов путем построения эпюр в едином масштабе (рис. 7).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе установили, что подслойный максимум остаточных сжимающих напряжений является следствием возникновения пластического течения материала в условиях сжатия в окрестностях поверхности, обработанной ППД.

Разработан расчетный метод (алгоритм) и программа для ЭВМ для определения распределения остаточных напряжений по всему сечению образцов типа пластин или стержней прямоугольного сечения.

Преимущество разработанного метода по сравнению с методом Давиденкова заключается в том, что он более информативен, поскольку описывает распределения напряжений по всему сечению образца (пластины), причем сложная технология вырезки образцов и снятия слоев поверхностного слоя не требуется.

К недостаткам метода следует отнести необходимость определения напряжений не в самой детали, а в образце-свидетеле, который должен быть изготовлен по той же технологии, что и исследуемая деталь.

[1] Свидетельство об официальной регистрации 2005612514 (РФ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сулима А. М.* Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин // Поверхностный слой, точность и эксплуатационные свойства деталей машин и приборов. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1980. 82 с.
2. *Рыбаков Г. М.* Фундаментальные основы управления качеством дробеструйной обработки деталей машиностроения. Сообщение 3. Разработка "предсказывающей функции" // Изв. вузов. Сер. Машиностроение. 2006. № 3. С. 47—52.

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

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

Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:

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

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

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

В. А. НИКОНЕНКО, инж.
ОАО НПП "Эталон" (Омск)

Разработка эталонных и рабочих контактных и бесконтактных средств измерения температуры

В начале 90-х годов прошлого века Россия в результате распада СССР потеряла значительную часть своего приборного потенциала в науке и промышленности. В частности, вне страны оказалась значительная часть разработчиков и производителей почти половины температурных эталонов и всех рабочих средств для контактных и бесконтактных температурных измерений.

Почти в то же время была принята новая Международная шкала температур МТШ-90, потребовавшая пересмотра всей государственной поверочной схемы и модернизации или разработки новых технических средств метрологического обеспечения для ее реализации. Новые подходы, направленные на глобализацию и коммерциализацию метрологической деятельности, накладывали определенные ограничения на функционирование национальных метрологических систем. В России с 1993 г. начали принимать новые основополагающие законы — "Об обеспечении единства измерений", "Об энергосбережении" и др., которые внесли серьезные коррективы в организацию государственной системы измерений.

В рассматриваемый период для части предприятий, связанных с оборонным комплексом страны, к которым относится и омский завод "Эталон", возникла проблема поиска своей ниши для развития в условиях формирующегося рынка.

Необходимо было разработать комплекс методов для организации производства эталонных и рабочих средств для обеспечения единства температурных измерений в наиболее востребованном диапазоне температур от –190 до 2500 °С, отвечающем требованиям МТШ-90 и соответствующей ГОСТ 8.558—93 поверочной схемы.

На заводе в 1980—1991-х годах был разработан комплекс технологий и специализированного механического измерительного и испытательного оборудования и организовано серийное производство военных эталонов, эталонов-копий, образцовых установок и различных эталонных мер СВЧ, предназначенных для метрологического обеспечения производства интеллектуального оружия. Был организован действующий участок микроэлектроники (помещения класса 100) для выпуска наборов мер малой длины микронного диапазона, которыми комплектовались различные измерительные средства для микроэлектроники научного приборостроения, в том числе в интересах оборонной промышленности. Треть мощностей завода была ориентирована на ремонт сложной измерительной техники предприятий (в том числе оборонных) южно-сибирского региона страны. На предприятии также функционировал участок по изготовлению эталонных (образцовых) термопар платиновой группы и поверочных печей с рабочей температурой до 1200 °С.

В связи с особенностями разработки и внедрения МТШ-90 и новой национальной поверочной системы предстояло восстановить производство всей утерянной номенклатуры рабочих контактных и бесконтактных средств измерений общепромышленного применения (более 60 типов), разработать и усовершенствовать эталонные термопреобразователи, новые для страны компараторы, набор эталонных излучателей (мер) и соответствующие средства компарирования для воспроизведения и передачи размера единицы температуры в заявленном диапазоне бесконтактной термометрии.

Первый пятилетний план был рассмотрен на НТК Госстандарта РФ и утвержден в качестве перспективного, бюджетное финансирование на всех этапах работ отсутствовало и приходилось исходить только из своих финансовых возможностей.

Исходные оборотные средства в 1992 г. были получены за счет реализации импортозамещающих ТЭП платиновой группы, на выпуск которых целевым решением Минфина и Госстандарта было выделено до 30 кг термоэлектродных материалов. При этом, используя собственный технический опыт, имеющиеся возможности по проектированию, профильное оборудование (в том числе поверочное и испытательное), удалось сократить весь цикл от разработки КД до внесения средств измерения в Госреестр РФ и лицензирования на право производства за 9 мес.

Пришлось расширить имеющийся участок и усовершенствовать поверочное оборудование, увеличив его производительность в 2—3 раза без потери точности, что особенно важно для образцовых ТЭП.

Качественно иные задачи пришлось решать при освоении всей импортозамещающей номенклатуры (26 типов) преобразователей на базе никелевых сплавов. Во-первых, необходимо было учитывать, что эти рабочие средства в больших объемах потреблялись промышленностью, причем их номенклатурные запасы у основных потребителей не превышали 1—1,5 лет. Ликвидация возникшего дефицита началась за счет кустарных и полукустарных

производителей, не обеспечивающих необходимого уровня качества.

Именно поэтому некоторые отрасли (в частности Минатом) приняли решение о создании собственных специализированных производств с необходимым объемом контроля, гарантирующим надежность изделий.

В связи с этим завод наладил кооперацию с рядом предприятий среднего машиностроения — НПО "Луч", НИКИЭТ, ГБ "Красная звезда", ФЭИ, ПО "Тесей" и др. Это позволило находить взаимовыгодный информационный материал и избежать ненужного параллелизма. Для сокращения сроков разработок на заводе было организовано СКБ, внедрено автоматизированное проектирование и тщательно проанализированы возможности совершенствования технологии.

На стадии подготовки производства было предложено широко использовать преобразователи с переменным сочленением арматуры, сократить количество сварных швов, резко уменьшить объемы станочной обработки и потери дефицитного металла и в конечном счете увеличить производительность, надежность реализуемых конструкций. Специализированный участок оснащен ротоковочными машинами трех моделей, что позволяет обрабатывать заготовки диаметром от 30 мм до 1 м. Разработана оригинальная кислородно-водородная сварочная установка с температурой пламени до 300 °С. Модернизирована последовательность операций при сварке термопарного кабеля на лазерных установках типа "Квант".

Уже к 1995 г. удалось разработать и освоить на производстве всю импортозамещающую номенклатуру преобразователей общепромышленного исполнения, прибыль от их реализации позволила расширить фронт исследований. Прежде всего это касалось злободневной для практики проблемы повышения надежности эталонных термометров сопротивления. Имеющаяся конструкция с несущими элементами из кварцевого стекла хотя и удовлетворяла требованиям поверочной схемы по точности, но имела низкую эксплуатационную надежность, препятствующую их широкому применению, особенно при прецизионных измерениях, объем которых при научных исследованиях и в метрологической практике возрастал ориентировочно на порядок каждое десятилетие.

Задача создания равноточного, но значительно более надежного эталонного термометра сопротивления была решена за счет оригинальной конструкции, применения высокопрочной керамической основы в чехле с металлической защитной оболочкой из коррозионно-стойкой стали, специальной глазури с хорошо согласуемыми по температурным коэффициентам линейного расширения с платиной чувствительного элемента.

Наиболее сложную проблему прецизионной укладки мерной, со строго контролируемым усилением натяга 5—7 г, термостабилизированной проволоки ПлО удалось решить за счет модернизации станка СРН 05 и оснащения его более чем 30 приспособлениями, обеспечивающими разгрузку и контроль проволоки с погрешностью 0,1 Ом счетчика числа витков до 1/8 оборотов.

Все это позволило разработать эталонный термометр сопротивления типа ЭТС-100 (III разряда) и запустить его в серийное производство. Многолетние испытания стабильности в реперных точках вторичного температурного эталона СНИИМ показали, что вариации характеристик даже при максимальной температуре применения ограничены 0,01 °С. Полученные результаты позволили резко сократить сроки освоения 32 типов импортозамещающих рабочих термометров сопротивления.

Параллельно разработке и выпуску рабочих средств измерения температуры осуществляли разработку аппаратных средств метрологического обеспечения, обеспечивающую компорирование эталонных и поверочных средств измерения, реализацию поверочной схемы в контактной термометрии на соответствие требованиям МТШ-90. Был проведен точностной анализ всей линии от рабочего эталона до рабочих средств измерений, регламентирующих методику расчета погрешностей передачи размеров единиц физических величин, которые должны быть указаны в овалах поверочных схем.

Метрологические характеристики термостатирующих устройств во многом определяют погрешности методов передачи, указанные в овалах поверочной схемы. Градиент температурного поля и нестабильность поддержания температуры в рабочем объеме термостата являются основными составляющими суммарной погрешности метода передачи размера единицы температуры путем сравнения показаний поверяемого и образцового термометров.

Для оценки оптимальных требований к основным метрологическим характеристикам термостатов, используемых для передачи размера единицы температуры, рассмотрен бюджет составляющих, определяющих погрешность поверки термометра методом сличения с образцовым средством измерений в термостате. Для каждого из разработанных средств уточнены требования по основным характеристикам.

Основными метрологическими характеристиками термостатирующих устройств являются диапазон воспроизводимых температур, нестабильность поддержания температуры и неоднородность температурного поля в рабочем объеме. Очевидно, что выбранные поддиапазоны со значительным перекрытием от –190 до –10 °С вообще отсутствовали, а имеющиеся необходимо было доработать.

Ряд разработок были аналогами изделий фир-

мы ISOTECH. При разработке учитывали возможности отечественных материалов, их тепловые свойства, измерительную и испытательную базы.

Инженерные тепловые расчеты термостатов не обеспечили необходимые параметры по вертикальному и горизонтальному градиентам в пределах 0,1—0,05 °С. В связи с этим потребовался значительный объем экспериментальных исследований в каждом конкретном случае. Значительное внимание уделялось разработке систем автоматического регулирования на базе ПИД-закона.

При этом общим принципом являлось удовлетворение следующим требованиям:

— снижение влияния тепловых потерь на увеличение градиента в измерительном объеме термованны;

— уменьшение измерительного объема в процентном отношении к общему объему ванны до 40 %;

— максимальное удаление измерительного объема от паразитного потока утечки теплоты в окружающую среду;

— выбор объемов ванны с учетом понижения температуры не более 1—1,5 °С и последующая ее стабилизация не более чем через 30 мин при перезагрузке поверяемых средств;

— подбор рабочей жидкости с оптимальной вязкостью, минимальной летучестью, не токсичностью, высокой теплоемкостью во всем диапазоне температур;

— использование участков с высокой турбулентностью для выравнивания температуры в поперечном сечении потока.

Как правило, комплекс этих решений обеспечивал температурный градиент не более 0,002 °С/см при 200 °С.

Для более высоких температур разработан сухоблочный термостат, основой которого является нагревательный блок с достаточной теплопроводностью из бронзы БрБ2. Во внутреннее пространство нагревательного блока помещен сменный выравнивающий блок с высверленными колодцами для размещения поверяемых средств измерения температуры и образцового термометра. На внешнюю поверхность нагревательного блока в один слой уложен нагреватель, изготовленный из теплостойкого кабеля с минеральной изоляцией в стальной оболочке КНМСНХ-Н, который размещается в специальной проточке, обеспечивающей большую площадь соприкосновения.

При разработке сухоблочных термостатирующих устройств типа ТС 250, ТС 600 разработана математическая модель и программный комплекс для расчета распределения теплового поля по вертикальной и горизонтальной плоскостям сечения термостата при работе его в стационарном температурном режиме и распределения теплового поля в колодцах выравнивающего блока термостата.

Математическая модель позволяла также варьировать граничные условия, что обеспечивало возможность оптимизации конструкций.

Учитывая опыт разработки сухоблочных термостатов, приступили к разработке компаратора КС 100 на диапазон температур 10—90 °С и КС 600 на диапазон температур 50—600 °С. Их достоинства — компактность, быстрый выход на заданный режим термостатирования и относительно высокая стабильность.

Для массовых метрологических работ усовершенствовали конструкции ранее выпускавшихся печей для диапазона температур 100—1600 °С.

Печи МТП-2М и ВТП горизонтального исполнения диаметром 50 (70) мм длиной 500 (1000) мм. В качестве нагревательного элемента используется нихром для МТП-2М и хромит-лантан для ВТП. Печи снабжены специализированной системой контроля и управления тепловым режимом. Для высокоточной калибровки разработана шаровая печь со сферическим металлическим корпусом.

Что касается бесконтактных средств измерения, то с принятием МТШ-90 система передачи размера единицы температуры в соответствии с разработанной поверочной схемой стала базироваться на эталонных излучателях черного тела и пирометрах с погрешностью не более 0,2 %. Подобные средства отсутствовали. Необходимо было обеспечить схему передачи температуры.

При проектировании моделей АЧТ учитывали уровень температуры, геометрию полости, материал, способ нагрева (термостатирования). В последовательности установочных требований — температура—материал—геометрия полости—способ термостатирования — последнее, как показывает практика, имеет решающее значение.

В связи с этим для температуры –30—200 °С реализована идея эталонного излучателя на базе жидкостного термостата; излучатель АЧТ 165/40/100 встроен в жидкостной термостат. Размеры излучающей полости — диаметр 165 мм, глубина 240 мм. Стенки и гофрированное дно полости обеспечивают заданный коэффициент черноты 0,99. Погрешность поддержания температуры ±0,1 °С. Эта же идея реализована при разработке протяженного излучателя ПЧТ 540/40/100.

Излучатель предназначен для градуировки и поверки тепловизоров и пирометров в диапазоне температур 30—95 °С. Конструктивно он состоит из излучателя и блока управления, его метрологические характеристики определяли в соответствии с ГОСТ 8.566—96 путем сличения ПЧТ-540/40/100 с вторичным эталоном энергетической яркости и температуры по инфракрасному излучению. Равномерность распределения температуры по поверхности излучателя оценивали двумя методами:

— контактным, с использованием поверхностного датчика на базе термистора, разработанного во ВНИИМ с погрешностью измерения ±0,03 °С;

— эталонных пирометров I разряда.

Эталонную установку абсолютно черного тела для поверки пирометров, функционирующую в температурном диапазоне 100—1200 °С, разработали на базе печи МТП-2МР для поверочных работ 50—1200 °С. Проведя небольшую модернизацию печи, укомплектовали ее эталонной термопарой типа ППО первого разряда, прецизионным милливольтметром В2-99, блоком управления со встроенным в него регулятором температуры, термостатом для холодных концов. Все комплектующие разработаны и выпускаются на заводе.

Конструкция высокотемпературного АЧТ 35/900/2500 представляет заключенную в водоохлаждаемый корпус и окруженную теплоизолирующим слоем излучающую полость, сформированную внутренними стенками полого цилиндрического излучателя, нагреваемого непосредственным пропусканием электрического тока, проходящим по его стенкам.

Особое место при обеспечении передачи температуры прецизионных АЧТ заняли разработки ряда специализированных автоматизированных пирометров, используемых в системе обратной связи, обеспечивающей поддержание с необходимой точностью рабочей температуры. Разработаны универсальная система автоматического регулирования, система стабилизации, обеспечивающая возможность передачи единицы температуры с точностью, соответствующей требованиям МТШ-90.

Таким образом, в результате проведенных мероприятий, направленных на конверсию и модернизацию производства, в ОАО НПП "Эталон" освоен выпуск более 150 типов средств измерений, внедренных в промышленность России и стран ближнего зарубежья.

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

Повышение надежности и долговечности гидроагрегатов путем увеличения точности измерения позиционных отклонений

Современные нефтехимические предприятия оснащены разнообразным оборудованием, с помощью которого осуществляются сложные технологические процессы. Для создания бесперебойного режима работы аппаратов необходимо обеспечить их оптимальные характеристики, такие как прочность, надежность и эффективность. Это достигается повышением точности измерения позиционных размеров.

Детали золотниковых устройств гидроагрегатов (рис. 1) имеют на цилиндрических поверхностях большое число отверстий небольшого диаметра. Точность размеров и расположения этих отверстий определяют качество работы гидроагрегатов. Отклонения положения осей отверстий ограничиваются довольно жесткими позиционными допусками или допусками на межосевые расстояния.

Контроль расположения отверстий малого диаметра сложен и трудоемок. Применение универсальных и простейших специализированных средств контроля не обеспечивает необходимой надежности контроля и занимает много времени. Применение более сложных измерительных средств, таких как координатные измерительные машины, экономически не выгодно в массовом производстве из-за высокой стоимости оборудования, а без специального программного обеспечения малопроизводительно. В обоих случаях требуется высокая квалификация контролеров. Измерения связаны с запоминанием данных измерения и расчетом отклонений, что без применения вычислительных устройств увеличивает вероятность ошибок контроля.

Таким образом, встает задача разработки сравнительно простого и дешевого приспособления,

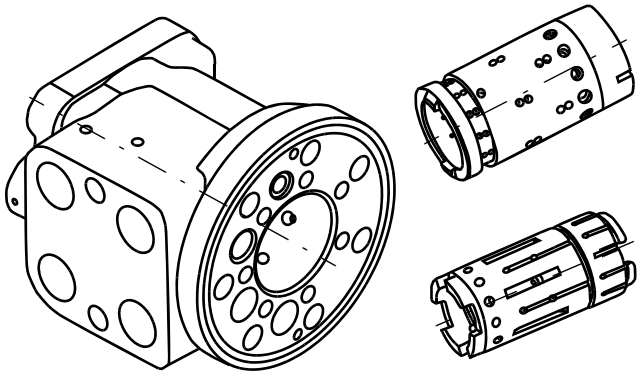


Рис. 1. Детали гидроагрегатов: корпус, гильза, золотник

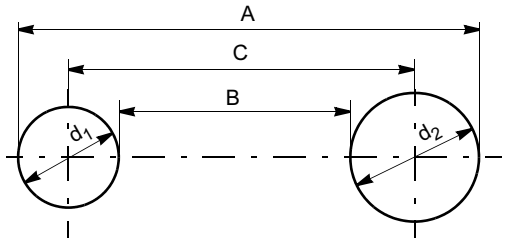


Рис. 2. Схема измерения межосевого расстояния

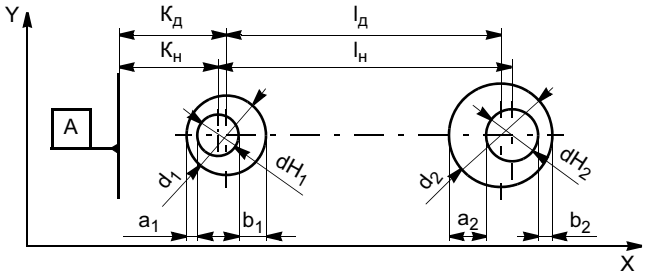


Рис. 3. Схема измерения положения осей отверстий

обеспечивающего контроль с необходимой точностью и производительностью позиционных отклонений осей отверстий и межосевых расстояний различных деталей с малыми отверстиями на цилиндрических поверхностях. Алгоритм обработки данных измерения должен реализовываться с помощью простейших вычислительных устройств.

Известный косвенный метод измерения межосевого расстояния (рис. 2) заключается в измерении расстояний A и B и расчете межосевого расстояния по формуле

$$C = \frac{A + B}{2}. \qquad (1)$$

Этот метод широко используют в механических, пневматических, индуктивных приборах для контроля межосевого расстояния отверстий диаметрами более 6 мм. При меньших отверстиях расположить по два датчика в каждом отверстии невозможно, а введение двух измерительных наконечников в отверстия не обеспечит необходимой жесткости измерительных стержней.

Для измерения межосевого расстояния и позиционных отклонений осей отверстий вдоль оси цилиндрической поверхности (прибор для измерения позиционных отклонений в угловом направлении описан в работе С. М. Ломова и В. В. Макаренко[1]) в оба отверстия вводят сферические наконечники (рис. 3) возможно бóльшего для обеспечения максимальной жесткости диаметра. Но диаметр наконечника должен быть меньше минимального предельного диаметра отверстия минус позиционный допуск на величину неточности позиционирования наконечника при вводе его в отверстие. В осевом направлении деталь базируется по базовому элементу A (ось отверстия, торец и др.); $K_д$ — расстояние от оси отверстия до базы, $l_д$ — межосевое расстояние. Значения $K_н$ и $l_н$ определяют начальное положение наконечников, от которого отсчитывается смещения наконечников влево a_1, a_2 и вправо b_1, b_2 до поверхностей отверстий. Из рис. 3 следует

$$l_н = l_i + \frac{a_2 - a_1 + b_2 - b_1}{2} \qquad (2)$$

(l_i — любое из возможных межцентровых расстояний),

$$K_н = K_i + \frac{b_1 - a_1}{2}. \qquad (3)$$

Отклонение от межосевого расстояния

$$El_д = l_н + \frac{a_2 - a_1 + b_2 - b_1}{2} - l_{ном}, \qquad (4)$$

где $l_{ном}$ — номинальное межосевое расстояние.

Позиционное отклонение оси отверстия dH_1 вдоль оси детали

$$K_н = K_i + \frac{b_1 - a_1}{2} - K_{ном}, \qquad (5)$$

где $K_{ном}$ — номинальный размер от оси отверстия до базы.

Диаметры отверстий

$$d_1 = dH_1 + b_1 - a_1; \quad d_2 = dH_2 + b_2 - a_2. \qquad (6)$$

Если при измерении позиционных отклонений и межосевых расстояний диаметры наконечников не влияют на результаты, то при измерении диаметров отверстий диаметры наконечников должны быть аттестованы с необходимой точностью. Однако измерить отклонения наконечников a_1, a_2, b_1 и b_2 сложно. Для измерения каждого отклонения необходимо провести два отсчета, по разности которых определить отклонение, а затем произвести расчеты по формулам (2)—(6). Измерение отклонений наконечников можно упростить, если настроить прибор так, что начальные значения отсчетов положений наконечников будут равны нулю при определенных значениях $l_н$ и $K_н$, но при этом значительно усложнится процедура настройки, что приведет к увеличению погрешности настройки.

Проще измерять положение наконечников, причем в своих системах координат (рис. 4): XY — для первого наконечника и X_1Y_1 — для второго (dx — смещение начала оси X координат второго отверстия относительно начала оси координат первого, dx_b — координата базы по оси X. На рис. 4 координаты точек касания наконечников с отверстиями и координаты центров наконечников указаны в системе координат XY.

[1] *Ломов С. М., Макаренко В. В.* Разработка и исследование измерительного устройства для контроля расположения пазов и отверстий деталей управления гидроаппаратурой // Динамика систем, механизмов и машин. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002.

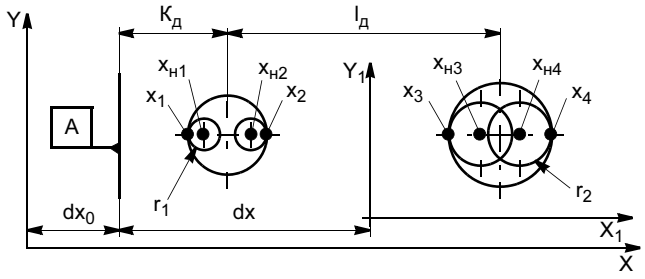


Рис. 4. Схема измерения позиционных отклонений и межосевого расстояния осей отверстий

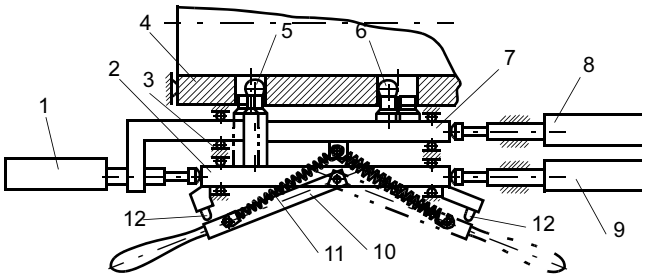


Рис. 5. Схема прибора для измерения позиционных отклонений и межосевого расстояния осей отверстий

Тогда по формуле (1) (см. рис. 4)

$$l_{ном} = \frac{x_4 - x_1 + x_3 - x_2}{2}; \quad (7)$$

$$x_1 = x_{н1} - r_1;\ x_2 = x_{н2} + r_1;\ x_3 = x_{н3} - r_2;$$
$$x_4 = x_{н4} + r_2. \quad (8)$$

Подставляя значения выражения (8) в формулу (7), получим

$$l_{ном} = \frac{x_4 - x_1 + x_3 - x_2}{2}. \quad (9)$$

Учитывая, что $x_{н3} = x_{н3—1} + dx$, $x_{н4} = x_{н4—1} + dx$, получим

$$l_{ном} = \frac{x_{4—1} - x_1 + x_{3—1} - x_2}{2} + dx, \quad (10)$$

где $x_{н3—1}$, $x_{н4—1}$ — координаты второго наконечника в системе координат X_1Y_1.

Отклонение межосевого расстояния

$$El_д = \frac{x_{н4—1} - x_{н1} + x_{н3—1} - x_{н2}}{2} + dx - l_{ном}, \quad (11)$$

аналогично

$$K_{ном} = \frac{x_{н1} + x_{н2}}{2} - dx_b, \quad (12)$$

позиционное отклонение

$$EK_д = \frac{x_{н1} + x_{н2}}{2} - dx_b - K_{ном}. \quad (13)$$

Настройку прибора можно производить по любой аттестованной с необходимой точностью детали или специальной мере, аналогичной контролируемой детали. Величины dx и dx_b при установленной в приспособлении мере рассчитывают по формулам

$$dx = l_{ном} - \frac{x_{4—1} - x_1 + x_{3—1} - x_2}{2}, \quad (14)$$

$$dx_b = \frac{x_1 + x_2}{2} - K_{ном}. \quad (15)$$

Так как начало координат можно выбирать произвольно, то целесообразно производить настройку измерителей перемещения наконечников так, чтобы показания во всем диапазоне измерений были положительны и небольшой величины. Это позволит существенно упростить вычислительное устройство — работать только с целочисленной арифметикой без знака. Для запоминания данных измерения удобнее и точнее применять цифровое вычислительное устройство. Благодаря простоте алгоритма обработки данных можно построить на дешевых цифровых микросхемах среднего уровня интеграции (например К555 или подобных). Для измерения позиционного отклонения по формуле (13) необходимо всего три запоминающих регистра (один с предустановкой значения $dx_b + K_{ном}$), два сумматора и сдвиговый регистр (не обязательно). Разумеется, если применяется датчик с аналоговым выходом, необходим дополнительно аналого-цифровой преобразователь. При измерении межосевого расстояния по формуле (10) или (11) количество элементов почти удвоится, но в принципе останется такой же простой. В вычислительном устройстве возможно применение микроконтроллера, но для него необходимо разработать соответствующую программу.

Схема механической части прибора приведена на рис. 5. Измерительные наконечники *5* и *6* закреплены на каретках *2* и *7*, которые перемещаются по прямолинейным направляющим *3*. Наконечники вводятся в отверстия детали, измерительное усилие создается пружиной *11*. Датчики *8* и *9* измеряют положение соответствующих наконечников и предназначены для измерения позиционных отклонений, а также межосевого расстояния отверстий. Датчик *1* предназначен для измерения только межосевого расстояния, он позволяет получить более высокую точность за счет сокращения количества отсчетов вдвое. Реверсирование измерительного усилия производится рычагом *10*, регулируемые упоры *12* позволяют почти уравнять измерительное усилие при реверсе.

Разработанное устройство при своей простоте и невысокой стоимости позволяет повысить точность и надежность контроля, существенно сократить время контроля, облегчить труд контролера за счет устранения ручных расчетов и запоминаний данных. Применение прибора при наладке станков сократит время наладки, снизит вероятность появления брака, повысит качество продукции.

ISSN 1562-322X. Технология машиностроения. 2007. № 1

А. Я. РОЗИНОВ, канд. техн. наук
ЦНИИ технологии судостроения

Технологические особенности инструментальных методов акустического контроля локальной герметичности

Согласно конструктивно-технологическим особенностям существующих металлических конструкций, их корпуса включают неразъемные (сварные) и разъемные (с резиновым уплотнением) соединения. Результаты исследований сварных соединений [1] позволили установить, что в их составе сквозные микронеплотности в виде пор составляют до 88 %, остальное — трещины и непровары.

Изучение внутреннего строения сквозных пор с помощью микроскопа при увеличении 30 показало, что в общем случае поверхности каналов пор относительно гладкие, а сами каналы по длине расширяются и сужаются, сохраняя кольцевую форму. При этом места сужения каналов пор представляют узкие кольца, а полости между кольцами имеют форму бочек, диаметр и высота которых, как диаметр и ширина колец, растут по мере приближения каналов к поверхности корпусной конструкции. Если в начальной части ширина колец и расстояние между ними практически одинаково малы, то в верхней области каналов расстояние между кольцами увеличивается почти в 30 раз.

В отличие от сквозных микронеплотностей в виде пор сквозные микронеплотности в виде трещин характеризуются большим разнообразием форм, поэтому в общем виде могут быть представлены как каналы прямоугольного поперечного сечения с короткой стороной (раскрытие трещины), много меньшей ее длинной стороны (протяженность трещины). Результаты исследований влияния формы сквозных микронеплотностей на их выявляемость позволили определить, что под действием одинакового давления могут быть обнаружены сквозные микронеплотности в виде пор в 10—15 раз меньшие по величине, чем микронеплотности в виде трещин. Это объясняется не только различием формы каналов сквозных микронеплотностей и связанных с этим различием коэффициентов трения при истечении по этим каналам пробных сред (воды, сжатого воздуха), а главным образом большей подверженностью микронеплотностей в виде щелей к самозакупориванию, а следовательно, увеличению сложностей выявления таких дефектов.

Сквозные микронеплотности разъемных соединений в местах контакта резиновых прокладок (уплотнений) с поверхностью металлических конструкций представляют каналы, загроможденные выступами. В результате этого даже при увеличении нагрузок с целью поджатия друг к другу элементов разъемных соединений каналы сквозных микронеплотностей полностью не закрываются [2]. Поэтому через сквозные микронеплотности описанного типа всегда возможен проход испытательной среды.

Естественно, что указанные особенности сквозных микронеплотностей неразъемных и разъемных соединений ведут к различным размерам их каналов. Размеры каналов сквозных микронеплотностей неразъемных монтажных соединений составляют от $0{,}07 \cdot 10^{-3}$ до $0{,}004 \cdot 10^{-2}$ м. В сравнении с ними микронеплотности разъемных соединений, представляющие пористую структуру, геометрически изменяющуюся соответственно разности высот микровыступов в местах контакта их вершин и разрывов этого контакта в местах впадин, могут иметь размеры каналов на порядок больше, чем каналы микронеплотностей неразъемных соединений.

С целью определения степени практической применимости инструментальных методов контроля локальной герметичности для выявления сквозных микронеплотностей разъемных и неразъемных соединений проведена экспериментальная оценка чувствительности различных схем контроля локальной герметичности.

Технология проведения контроля локальной герметичности металлических конструкций предусматривает возможность поиска сквозных микронеплотностей по двум схемам, включающим выявление акустического поля, генерируемого звукоизлучением через каналы микронеплотностей, и определение акустического поля, возникающего при истечении струи сжатого воздуха.

В существующей практике изготовления металлических конструкций чувствительность применяемых методов контроля локальной герметичности классифицируется согласно значениям порога чувствительности, определяемым как наименьший

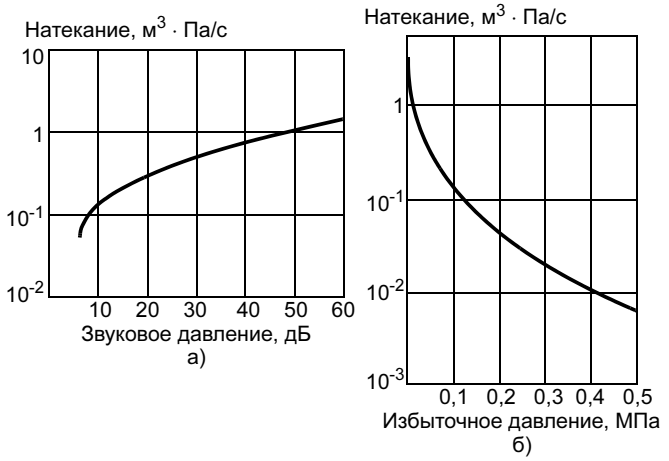


Рис. 1. Изменение пороговой чувствительности акустического контроля локальной герметичности способом звукоизлучения (*а*) и истечения сжатого воздуха (*б*)

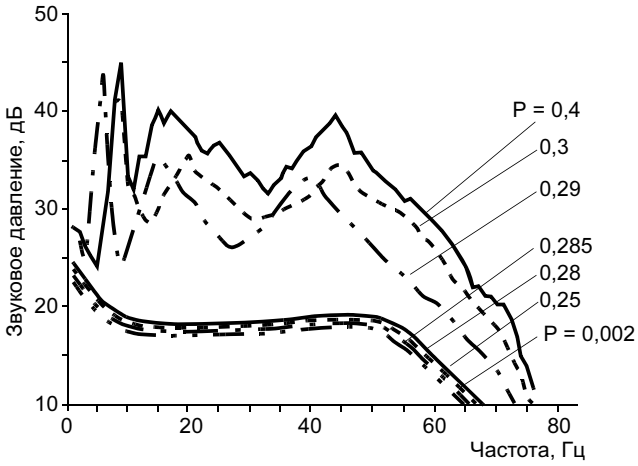


Рис. 2. Гистограмма значений и количественного распределения пиков частот акустического поля, генерируемого истечением сжатого воздуха при выявлении сквозных микронеплотностей с различными показателями натекания

расход используемой контрольной среды или наименьшее изменение давления этой среды, регистрируемое при ее истечении [3]. Таким образом, пороговая чувствительность любого из применяемых методов контроля локальной герметичности может характеризоваться величиной минимально выявляемой микронеплотности и оцениваться потоком воздуха, проходящего через микронеплотность из атмосферы в условиях максимально возможной чистоты каналов сквозных микронеплотностей. С учетом указанного положения экспериментально определяли порог чувствительности акустического контроля локальной герметичности с применением звукоизлучения или сжатого воздуха. По результатам проведенных экспериментов построены графики, отражающие изменение порога чувствительности контроля локальной герметичности, осуществляемого звукоизлучением или истечением струи сжатого воздуха (рис. 1). Сравнение графиков свидетельствует о существенной неоднозначности порогов чувствительности акустических методов выявления сквозных микронеплотностей. Объясняется это в первую очередь различием физических процессов генерации акустических полей. Сжатый воздух обладает значительной проникающей способностью и при его прохождении через каналы сквозных микронеплотностей энергия воздушной струи расходуется в основном на преодоление сил трения о стенки каналов микронеплотностей. В результате создается возможность выявления сквозных микронеплотностей в широком диапазоне частот (от 1 до 100 кГц). Экспериментальные исследования позволили установить, что широкочастотное поле, генерированное струей истекающего воздуха, характеризуется количественным распределением пиков частот, вызванных изменением избыточного давления сжатого воздуха, и различием показателей натекания выявляемых сквозных микронеплотностей. Данные количественного распределения пиков частот акустического поля, генерированного истечением сжатого воздуха, наглядно демонстрирует гистограмма на рис. 2.

Возможность регистрации сквозных микронеплотностей на уровне различных частот, изменяющихся в широком диапазоне, существенно увеличивает чувствительность метода выявления сквозных микронеплотностей путем генерации акустического поля, возникающего при истечении сжатого воздуха. Это обстоятельство создает условия снижения влияния помех внешнего фона, также изменяющегося в широком диапазоне и тем самым позволяющего в рамках реального времени выбирать моменты, когда пики акустического давления поля, генерируемого истечением сжатого воздуха, будут превышать уровень акустического давления помех внешнего фона.

В отличие от акустических методов выявления сквозных микронеплотностей при помощи сжатого воздуха метод поиска сквозных микронеплотностей с применением звукоизлучения характеризуется более сложным процессом практической реализации. Свидетельством этому является физика прохождения звуковых волн через каналы сквозных микронеплотностей, которая связана с неизбежным разложением энергии звуковых волн на три составляющие, две из которых являются источниками реактивного воздействия на контролируемые корпусные конструкции, что способно генерировать звуковые колебания, привести к процессам рефракции и созданию "ложных" дефектов. Из-за

этого, согласно графикам на рис. 1, чувствительность метода выявления сквозных микронеплотностей звукоизлучением оказывается меньше на порядок.

Как указывалось, размер каналов сквозных микронеплотностей неразъемных соединений меньше, чем каналов сквозных микронеплотностей разъемных соединений в среднем на порядок. С целью определения возможности выявления таких микронеплотностей предлагаемыми методами рассчитали показатели натекания микронеплотностей выполняемых соединений металлических конструкций:

$$q = \frac{0{,}96 r^4 (p_{\text{исп}}^2 - p_{\text{А}}^2)}{\eta_{\text{возд}} l}, \qquad (1)$$

где r — размер канала рассматриваемой сквозной микронеплотности, 10^{-3} м; $p_{\text{исп}}$ — избыточное давление сжатого воздуха, Па; $p_{\text{А}}$ — атмосферное давление, Па; η — коэффициент динамической вязкости воздуха, Па · с; l — длина канала рассматриваемой сквозной микронеплотности, 10^{-3} м.

Результаты расчетов позволили установить, что значения показателей натекания сквозных микронеплотностей неразъемных соединений составляют порядка $4 \cdot 10^{-6}$—$3 \cdot 10^{-1}$ м^3 · Па/с, сквозных микронеплотностей разъемных соединений — от $2 \cdot 10^3$ м^3 · Па/с и выше.

Сопоставление полученных значений показателей натекания сквозных микронеплотностей и графиков изменения пороговой чувствительности на рис. 1 позволяет предположить следующее:

— сквозные микронеплотности разъемных соединений могут быть выявлены инструментальным методом контроля локальной герметичности, основанном на генерации акустического поля звукоизлучением;

— сквозные микронеплотности неразъемных соединений могут быть выявлены инструментальным методом контроля локальной герметичности, основанном на генерации акустического поля истечением сжатого воздуха.

В последнем случае обеспечивается выявление сквозных микронеплотностей, характеристика натекания которых не более $8 \cdot 10^{-3}$ м^3 · Па/с. Согласно работе [4], порог чувствительности акустического контроля локальной герметичности может быть существенно повышен путем смачивания поверхности соединений металлических конструкций в местах поиска сквозных микронеплотностей жидкостью типа мыльных растворов. Это объясняется тем, что в местах выявляемых сквозных микронеплотностей под давлением истекающего сжатого воздуха могут формироваться невидимые из-за малых размеров воздушные пузырьки. Искажение формы пузырьков в процессе их формирования и разрушения генерирует акустическое поле, улавливаемое неконтактными акустическими течеискателями.

С целью экспериментальной проверки данной теоретической гипотезы и подтверждения результатов расчета значений акустического давления, т. е. увеличения порога чувствительности, достигаемого за счет выявления акустического поля, генерируемого пульсацией формирующихся воздушных пузырьков, исследовали возможность применения используемых в судостроении пенообразующих индикаторов. Исследовали физические особенности мыльного раствора, содержащего 30 % мыла хозяйственного; мыльного раствора, содержащего 10 % мыла хозяйственного и 50 % спирта этилового; полимерного пенообразующего состава, включающего 1 % желатина, 23 % декстрина, 23 % спирта поливинилового, 35 % глицерина и 12 % этиленгликоля.

Пенообразующие составы содержат поверхностно-активное вещество (ПАВ), образующее пену и способствующее формирование воздушных пузырьков. При этом каждое из этих составов характеризуется своим коэффициентом поверхностного натяжения σ. Так, мыльные растворы характеризуются значением σ = 0,4 Н/м. Наличие поливинилового спирта и глицерина в составе полимерного пенообразующего состава позволяет полагать, что этот полимерный индикатор характеризует σ = 0,3 Н/м. Установлено, что в наибольшей мере склонны к пенообразованию, т. е. формированию воздушных пузырьков, жидкости, содержащие ПАВ и характеризующиеся наименьшим значением коэффициента поверхностного натяжения. Однако для генерации акустических импульсов, необходимых для повышения эффективности выявления сквозных микронеплотностей, требуются пенообразующие индикаторы, обеспечивающие формирование воздушных пузырьков с гибкой пленкой. Этому не соответствуют полимерные пенообразующие составы ибо они образуют быстро застывающую пену, не являющуюся генератором акустических колебаний. С учетом последнего в качестве исследуемых пенообразующих индикаторов выбрали мыльные растворы.

Экспериментальные исследования изменения порога чувствительности акустического контроля локальной герметичности использованием пенообразующих индикаторов позволили построить график, приведенный на рис. 3. Данные этого графика показывают, что метод контроля локальной герметичности, основанный на генерации акустического поля воздушными пузырьками, формируемыми из мыльных растворов, обеспечивает возможность

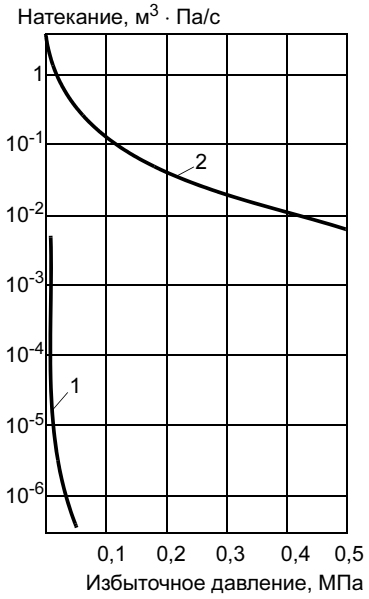


Рис. 3. Изменение выявляемости сквозных микронеплотностей при контроле локальной герметичности, основанном на генерации акустического поля воздушными пузырьками с применением (*1*) и без применения (*2*) пенообразующих индикаторов

выявления всех сквозных микронеплотностей неразъемных соединений.

Существующая практика выявления сквозных микронеплотностей сжатым воздухом с применением пенообразующих индикаторов свидетельствует о том, что качество выявления сквозных микронеплотностей во многом определяется устойчивостью воздушных пузырьков. Установлено, что устойчивость формообразования воздушных пузырьков во многом определяется величиной потока истекающего сжатого воздуха и состоянием воздушной атмосферы, в условиях которой образуются воздушные пузырьки.

Результаты эксперимента, приведенные на рис. 3, подтвердили надежность формирования устойчивых воздушных пузырьков в условиях атмосферного давления, когда силы, обеспечивающие формирование воздушных пузырьков, должны преодолеть сопротивление сил, противодействующих процессу возникновения этих пузырьков. Поэтому давление воздуха в пузырьке должно быть по крайней мере равно суммарному давлению извне. Последнее складывается из атмосферного и капиллярного давления, обусловленного поверхностным натяжением слоя используемой пенообразующей жидкости. В этих условиях пузырек образуется потоком газа, протекающим под действием испытательного давления через канал сквозной микронеплотности. Такой поток создает внутреннее давление в воздушном пузырьке и обеспечивает сохранение пузырька, когда величина потока [5]

$$Q_{\text{возд}} = \frac{\pi D^3}{6t}\left(\frac{4\sigma_{\text{п}}}{D} + p_{\text{а}}\right), \qquad (2)$$

где D — диаметр образующегося воздушного пузырька, м; t — продолжительность натекания сжатого воздуха, с; $\sigma_{\text{п}}$ — коэффициент поверхностного натяжения пенообразующей жидкости, Н/м; $p_{\text{а}}$ — атмосферное давление, Па.

Согласно формуле (2), в условиях разрежения, т. е. при значениях $p_{\text{а}}$, близких к нулю, для образования воздушных пузырьков, равных по диаметру D, необходим поток воздуха меньшей интенсивности, чем при формировании пузырьков в условиях атмосферного давления. Это позволяет считать, что разрежение обеспечивает сохранение сформированных воздушных пузырьков в течение более длительного временного промежутка и тем самым повышение достоверности контроля локальной герметичности, а также повышение степени чувствительности контроля локальной герметичности за счет возможности выявления более мелких сквозных микронеплотностей, чем те, которые могут быть обнаружены в условиях наличия атмосферного давления.

Последнее предположение из перечисленного выше объясняется тем, что в условиях разрежения сопротивление (противодействие) потоку сжатого воздуха меньше, что может способствовать проникновению воздуха через каналы меньших по размеру сквозных микронеплотностей без увеличения испытательного давления.

Для изучения процесса формообразования воздушных пузырьков в условиях разрежения экспериментально определили взаимосвязь количества истекающего воздуха и диаметров образующихся при этом воздушных пузырьков. Изучали физику формирования воздушных пузырьков из раствора, содержащего 30 % мыла, или из полимерного пенообразующего состава. Учитывали, что в условиях разрежения (вакуумирования) происходит смещение точки кипения по сравнению с условиями атмосферного давления [6]. Поэтому завершающим этапом экспериментального исследования являлась фиксация значения разрежения, при котором вскипал пенообразующий индикатор и выявлялась сквозная микронеплотность минимального размера, т. е. определялся порог чувствительности контроля локальной герметичности в условиях разрежения или существенного понижения атмосферного давления. Результаты проведенного эксперимента приведены на рис. 4.

Установили, что при одинаковом значении потока истекающего воздуха процесс формообразования воздушных пузырьков начинается ранее в условиях разрежения, чем в условиях атмосферного давления. Однако количество таких пузырьков изменяется по мере увеличения разрежения. В результате наступает момент вскипания и тем самым создания "ложного" пенообразования. Это свиде-

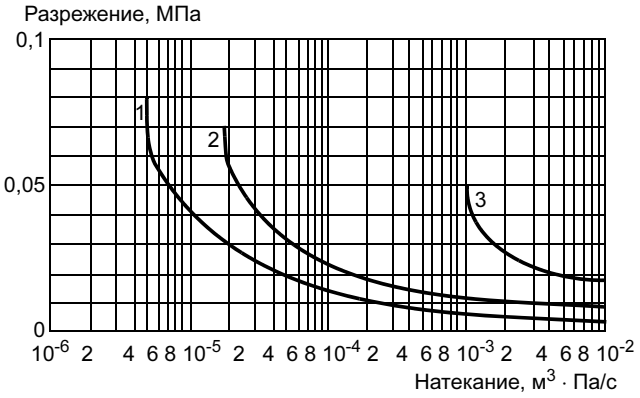


Рис. 4. График выявляемости сквозных микронеплотностей в условиях разрежения (вакуумирования): *1* — полимерный состав; *2* — мыльный раствор; *3* — мыльная эмульсия

тельствует о том, что в условиях разрежения за счет вскипания используемых пенообразующих растворов возможно искажение результатов безводного контроля локальной герметичности, связанное с формированием "ложных" воздушных пузырьков.

"Ложное" пенообразование жидкостных индикаторов с 30 %-ным содержанием мыла хозяйственного создается при разрежении 0,07 МПа. "Ложное" пенообразование полимерного состава возможно при разрежении 0,08 МПа. При этих условиях могут быть выявлены минимальные сквозные микронеплотности, характеризующиеся натеканием от $6 \cdot 10^{-6}$ $м^3 \cdot Па/с$ и более.

Проведенное изучение пороговой чувствительности рассмотренных методов контроля локальной герметичности соединений металлических конструкций показало, что каждому из них должна соответствовать своя технология выявления сквозных микронеплотностей.

При контроле локальной герметичности инструментальным методом, основанном на генерации акустического поля истечением сжатого воздуха, необходимо применять широкополосные течеискатели [7], для повышения чувствительности которых можно использовать дополнительно пенообразующие индикаторы, образующие воздушные пузырьки с гибкой пленкой. При этом для возможности выявления сквозных микронеплотностей неразъемных соединений последние должны испытываться избыточным давлением сжатого воздуха со стороны герметично закрытых металлических конструкций. Поиск сквозных микронеплотностей следует осуществлять с противоположной стороны.

При контроле локальной герметичности инструментальным методом, основанном на генерации акустического поля звукоизлучением, можно использовать узкополосные течеискатели с генераторами акустических колебаний [8], устанавливаемыми так, чтобы элементы уплотнения разъемных монтажных соединений располагались в зоне диаграммы направленности источника звукоизлучения. Поиск сквозных микронеплотностей следует осуществлять со стороны, противоположной нахождению источника звукоизлучения.

Инструментальный контроль локальной герметичности неразъемных соединений односторонним способом может быть выполнен при помощи вакуумных камер [9] с применением пенообразующих индикаторов типа мыльных растворов и полимерных пенообразующих составов. Пенообразующие индикаторы должны быть нанесены на поверхность контролируемых соединений, после чего в зоне контроля должно быть создано разрежение (вакуум). Места расположения сквозных микронеплотностей могут быть обнаружены по наличию воздушных пузырьков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Трущенко А. А.* Сквозные дефекты сварных соединений // Дефектоскопия. 1978. № 6.
2. *Новиков Ю. Н., Белов С. В.* Утечки газа через стык шероховатых поверхностей // Изв. вузов. М.: Машиностроение. 1981. Вып. 11.
3. *Розина М. В., Яблонник Л. М., Васильев В. Д.* Неразрушающий контроль в судостроении. Справочник дефектоскопии. Л.: Судостроение, 1983.
4. *Запунный А. И., Фельдман Л. С., Рогаль В. Ф.* Контроль герметичности конструкций. Киев: Техника, 1976.
5. *Ланис В. А., Левина Л. Е.* Техника вакуумных испытаний. М.: Госэнергоиздат, 1963.
6. *Кириллин В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е.* Техническая термодинамика. М.: Наука, 1979.
7. *Розинов А. Я.* Повышение чувствительности при выявлении дефектов акустическим неконтактным методом // Технология машиностроения. 2003. № 2. С. 48—52.
8. *Розинов А. Я., Стрельченко Ю. Б., Синицкий В. А.* Контроль локальной герметичности акустическим инструментальным методом // В мире неразрушающего контроля. 2004. № 4 (26).
9. *Контроль* герметичности сварных соединений корпусных конструкций с применением вакуумных камер / В. М. Кузавков, А. Я. Розинов, В. П. Рыдловский, В. Е. Уткин // Судостроение. 1999. № 1.

В. А. ГАПАНОВИЧ, вице-президент ОАО "РЖД",
А. Х. ВОПИЛКИН, д-р техн. наук, Д. А. КОНОНОВ, инж., Д. С. ТИХОНОВ, инж.,
А. К. ГУРВИЧ, д-р техн. наук, А. Г. КАЗАНЦЕВ, д-р техн. наук, З. М. СЛАВИНСКИЙ, д-р техн. наук
(НПЦ "ЭХО+")

Автоматизированные средства диагностирования объектов повышенной опасности методом многоракурсной акустической голографии

Вводные замечания

К объектам повышенной опасности предъявляются жесткие (в ряде случаев неоправданно жесткие) требования в части отсутствия в них дефектов в виде внутренних и поверхностных несплошностей. Объясняется это невозможностью определения типа и фактических размеров выявленных дефектов с использованием современных методов НК. Подсознательно идя на перебраковку объектов с целью обеспечения безопасности их эксплуатации, к числу недопустимых относят дефекты различного типа (трещины, непровары, скопления и цепочки одиноких включений в сварных соединениях металлоконструкций, в осях и колесах подвижного состава, рельсах, сварных стыках рельсов и др.) независимо от их размеров [1].

Поэтому очевидна необходимость создания систем НК объектов, прежде всего повышенной опасности, с определением типа, координат расположения и размеров выявленных дефектов, а также методологии контроля, позволяющей оценить потенциальную опасность выявленных дефектов и рассчитать ресурс объекта до последующего диагностирования.

Именно этот подход положен в основу функционирования системы НК оборудования и трубопроводов реакторных установок АЭС на стадии эксплуатации [2]. Естественно, после создания таких систем потребуется определенный период времени для подтверждения и осмысления значимости такого подхода.

В 2005 г. НПЦ "ЭХО+" разработал и изготовил опытный образец системы диагностики колесных пар грузовых вагонов методом многоракурсной акустической голографии. Дальнейшее рассмотрение автоматизированных средств диагностики с оценкой ресурса будет дано на примере этой системы. Оси и колеса колесных пар (КП), с точки зрения безопасности являющиеся одними из самых ответственных конструктивных компонентов железнодорожного подвижного состава, при эксплуатации подвергаются интенсивным знакопеременным вращательно-изгибным циклическим нагрузкам, определяющим возможность возникновения усталостных повреждений. Ранее проводились расчеты запаса прочности новых (неизношенных) осей, но исследования кинетики развития дефектов в элементах колесных пар не проводились. Для своевременного выявления усталостных трещин и изъятия дефектных КП из эксплуатации уже более 50 лет используются ультразвуковые и магнитные методы НК.

Методология НК за прошедшие 50 лет практически не изменилась: оси с выявленными усталостными поперечными трещинами любых размеров бракуют и отправляют в металлолом. В то же время, как показывает длительный опыт эксплуатации подвижного состава, оси с неглубокими трещинами эксплуатируются десятилетиями, а излом осей с усталостными трещинами происходит при поражении трещиной 40—60 % сечения оси. Таким образом, действующая методология НК осей и колес предопределяет перебраковку осей, неоправданно снижая их ресурс. Перебраковка особенно часто происходит при проведении магнитопорошкового контроля согласно [1], когда бракуются оси КП с трещинами глубиной от 0,1 мм.

Специалистами в области прочности накоплен большой опыт по расчетам запаса прочности (остаточного ресурса) тяжелонагруженных металлоконструкций с дефектами. Исходными данными для такого расчета являются местоположение дефектов в конструкции, их тип и размеры. К сожалению, современные средства УЗК позволяют определить только условные размеры дефекта, значительно отличающиеся от реальных.

Акустическая голография

Применение акустической голографии позволяет определить тип и измерить фактические размеры дефектов [3]. Акустическая голография — двухступенчатый способ получения изображения объекта. Он состоит из регистрации акустической голограммы на поверхности объекта, т. е. распределения акустического поля после его взаимодействия с несплошностями в объекте, и последующей обработки данных для восстановления волнового фронта на несплошностях. В процессе регистрации происходит сканирование объекта контроля с шагом порядка четверти длины волны. Далее путем

математической обработки совокупности А-сканов с учетом фазы принятого эхо-сигнала проводится восстановление акустического изображения несплошностей. В результате изображение имеет высокое качество вне зависимости от глубины залегания дефекта, что позволяет с большей точностью оценить истинные местоположение и размеры дефектов.

Акустическая голография в сочетании с последующим прочностным расчетом получила широкое применение при контроле сварных швов потенциально опасных объектов АЭС, газопроводов, нефтепроводов и других ответственных объектов. Возможности голографии позволяют с большей достоверностью интерпретировать результаты поискового контроля: порядка 95 % сварных швов, забракованных при проведении "традиционного" УЗК, были разбракованы по результатам проведения автоматизированного УЗК с применением голографических систем [2].

При разработке первой в мировой практике системы автоматизированного УЗК (АУЗК) колесных пар вагонов методом многоракурсной акустической голографии, в частности, были проведены:

— структурирование (с учетом новых функциональных возможностей акустической голографии) новой схемы прозвучивания, позволяющей выявлять трещины в осях при расположении искателей (преобразователей) на средней части оси;

— разработка и изготовление специализированных ПЭП;

— разработка (с привлечением ведущих специалистов в области прочности металлоконструкций) на базе теоретических расчетов и экспериментов с применением пресс-пульсатора программы компьютерного моделирования развития усталостной трещины в оси.

Система состоит из установочного стенда и передвижной стойки (рис. 1) и предназначена для выявления следующих типов дефектов.

В осях: поперечные трещины на цилиндрических поверхностях и в галтелях шеек, предподступичных и подступичных частях; поперечные и продольных трещины в средней части оси.

В колесах:

— в ободе: выщербины; поверхностный откол у наружной грани обода; откол кругового наплыва; продольные трещины; поперечные единичные трещины; сетка термических трещин; подповерхностные дефекты, связанные с несплошностью металла; внутренние несплошности в металле;

— в диске: продольные трещины (включая приободную и приступичную зоны);

— в гребне: внутренние несплошности в металле; термические трещины; поперечные усталостные трещины.

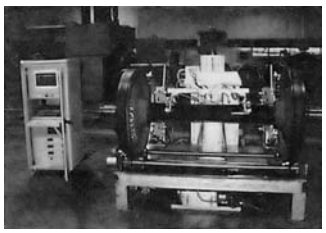


Рис. 1. Общий вид системы АУЗК колесных пар

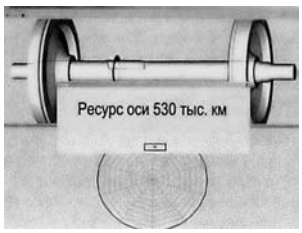


Рис. 2. Колесная пара с дефектом в оси; указан ресурс оси, рассчитанный с учетом данных УЗК

Примечательно, что при НК колесных пар ввод ультразвука осуществляется со средней части оси, а также с поверхности катания, внутренней грани обода и внутренней поверхности диска колеса. Поэтому диагностика может осуществляться при трех состояниях колесных пар:

— с демонтированными внутренними кольцами подшипников;

— без демонтажа внутренних колец подшипников;

— без демонтажа буксового узла.

При подготовке КП к контролю проводится очистка и проверка состояния участков поверхностей КП, через которые вводится ультразвук. При этом очищаются от загрязнений средняя часть оси, внутренние поверхности ободьев и дисков колес; удаляются отслоения и наплывы краски; обточкой поверхности катания ободьев колес удаляются нарушения поверхности катания, недопустимые согласно [6].

Диагностика колесных пар вагонов является трехуровневой: первый уровень — поиск дефектов; второй — измерение размеров дефектов с применением вычислительной акустической голографии; третий — расчет остаточного ресурса по разработанной методике.

Результатом диагностики дефектной КП является ее остаточный ресурс (рис. 2) при некоторых исходных данных и заданных условиях эксплуатации подвижного состава.

Контроль осей

Для контроля оси применяются двенадцать ПЭП, работающих на частотах 1,25—5,0 МГц по совмещенной схеме. Из них восемь — для обнаружения поперечно ориентированных дефектов во всех частях оси и четыре — для обнаружения продольно ориентированных дефектов в средней части (рис. 3). ПЭП, предназначенные для обнаружения поперечно ориентированных дефектов, излучают волны под углами ввода 40—72° к середине оси и в сторону шеек, чем обеспечивают ее сплошной контроль от торца правой шейки до торца левой шейки.

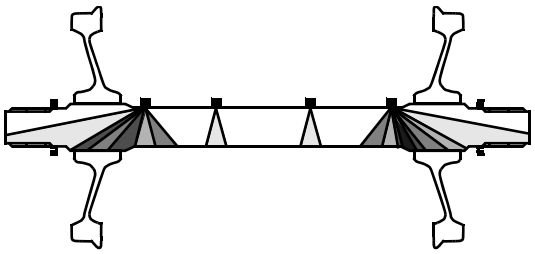


Рис. 3. Схема прозвучивания оси

Разработаны новые алгоритмы математической обработки данных. Так, для контроля шеек, предподступиц и их галтелей применяются ПЭП с углом ввода 72°. Поэтому, чтобы обеспечить высокую чувствительность контроля этих частей оси, применяется алгоритм математической обработки, удаляющий эхо-сигналы от конструктивных отражателей, а именно: от колеса, галтели предподступицы и подступицы, торца предподступицы и шейки (или зарезьбовой канавки), а также от лабиринтного и внутренних колец подшипников буксового узла. Это позволяет существенно повысить достоверность контроля самой нагруженной зоны оси с наибольшей скоростью роста дефекта — разгрузочной канавки шейки.

Возможность применения различных алгоритмов математической обработки данных позволяет повысить чувствительность контроля и других частей оси. Например, если при ручном контроле необходимо обеспечить отношение сигнал/шум не менее 6 дБ для того, чтобы сигнал мог быть зарегистрирован дефектоскопистом, то программа, реализуя алгоритм математической обработки данных, позволит зарегистрировать полезный сигнал при меньшем отношении сигнал/шум и, следовательно, выявить дефект на более ранней стадии развития. Алгоритмы обработки данных позволяют обнаруживать дефекты, находящиеся вблизи конструктивных отражателей, например, трещины в галтелях шеек и предподступиц.

ПЭП, предназначенные для обнаружения продольно ориентированных дефектов, излучают по классической хордовой схеме с углом ввода 40°С.

Контроль колес

Для контроля каждого колеса применяются шестнадцать ПЭП, работающих на частотах 2,5—5,0 МГц по совмещенной и раздельно-совмещенной схемам и излучающих продольные и поперечные волны. Из них шесть ПЭП вводят ультразвук с внутренней поверхности обода, семь — с поверхности катания и два — с внутренней стороны диска (рис. 4). В отличие от контроля по действующим документам волны Рэлея не применяются.

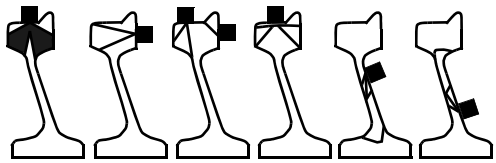


Рис. 4. Схема прозвучивания колеса

ПЭП для ввода ультразвука с поверхности катания изготовлены с применением протектора повышенной устойчивости к истиранию. При контроле обода и гребня выявляются как поверхностные дефекты, так и дефекты внутренние, в том числе трещины, растущие от клеймений вглубь металла.

Особое внимание уделяется контролю диска, включая приободную и приступичную зоны. Для этого разработаны специализированные ПЭП с протектором из специального материала, который обеспечивает нормальный акустический контакт на поверхности с большой шероховатостью при подаче небольшого количества контактной жидкости. Специальный материал протектора обволакивает неровности внутренней поверхности диска колеса, чем обеспечивает ввод в объект контроля достаточного количества ультразвуковой энергии.

Система контроля колесной пары

Методика поискового контроля, реализованная в настоящей системе, обладает более высокой чувствительностью контроля по сравнению с другими, применяемыми на предприятиях Департамента вагонного хозяйства.

Разработанная система позволяет, с одной стороны, повысить чувствительность контроля, т. е. выявлять дефекты на ранней стадии развития; а с другой — обеспечить безопасность движения при пропуске в дальнейшую эксплуатацию колесных пар, сформированных из элементов с дефектами, "непроходными" по действующей нормативной документации. Характеристики системы:

- время диагностики бездефектной КП — 6 мин;
- время диагностики КП с дефектом — дополнительно не более 10 мин;
- подача КП осуществляется краном.

В качестве контактной жидкости возможно использование минерального масла или технической воды. Подача масла и воды минимальна, что исключает их попадание на внутренние кольца подшипников.

Оценка ресурса осей и колес

Разработке методики оценки ресурса осей и колес предшествовали работы по определению характеристик металла осей и колес. Работы проводились с использованием испытательного оборудова-

ния, в том числе машины MTS-810 для испытаний образцов на статическую и циклическую трещиностойкость. Испытание образцов на растяжение проводилось на машине ИМ-4Р. Для проведения испытаний на ударный изгиб использовался инструментированный маятниковый копер PSW 300 фирмы MFL с максимальной энергией удара 300 Дж. Охлаждение ударных образцов осуществлялось в холодильной камере Lauda Ultra-Kryomat K 120 W, нагрев — в муфельной печи фирмы MFL.

Рассчитано напряженно-деформированное состояние (НДС) осей и колес с учетом взаимодействия колесо-рельс. Выполнен уточненный анализ НДС осей и колес с использованием метода конечных элементов. Расчет НДС осуществлялся в трехмерной упругой постановке. С этой целью была разработана конечно-элементная модель (рис. 5). Для моделирования контактного взаимодействия оси и колеса в зоне посадки использовались контактные элементы со специальными свойствами, позволяющими задавать натяг по цилиндрической поверхности. Кроме того, была предусмотрена возможность управления натягом за счет температурного расширения колеса и оси путем соответствующего подбора температурных коэффициентов линейного расширения и температуры колеса и оси. Используя широкие возможности конечно-элементного подхода, было проанализировано изменение НДС в зоне посадки в зависимости от величины натяга (рис. 6).

Разработана методика расчета остаточного ресурса, позволяющая рассчитать ресурс оси или колеса при подкатке КП, сформированной из этих элементов, под вагон любого типа. Исходными данными для этой методики являются:

— местоположение, максимальная глубина и протяженность дефекта;

— масса брутто и количество осей вагона;

— напряжения от массы вагона;

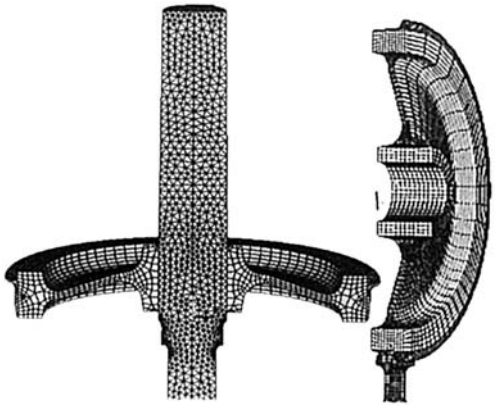


Рис. 5. Конечно-элементная модель расчета напряженно-деформированного состояния

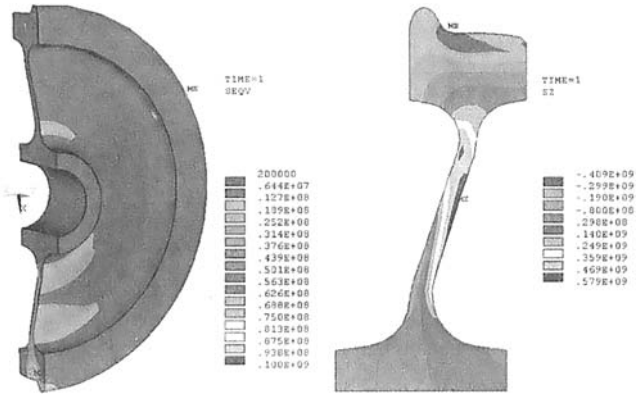


Рис. 6. Изменение НДС в зоне посадки в зависимости от величины натяга

— напряжения от нестационарных нагрузок, возникающих, например, при загрузке грузовых вагонов, при прохождении стрелок и криволинейных участков пути, спуске с горок и т. д., учитываются путем ввода коэффициента динамики;

— остаточные напряжения упрочнения поверхностного слоя оси накаткой;

— остаточные напряжения от прессовой посадки.

С целью подтверждения правильности методики расчета остаточного ресурса и определения погрешности измерения глубины реальной усталостной трещины проведены испытания по нагружению осей с концентратором напряжений методом трехточечного плоского изгиба для выращивания усталостной трещины с доведением их до долома (рис. 7).

Методика расчета остаточного ресурса позволяет осуществлять математическое моделирование развития трещины в элементе КП, а это, в свою очередь, дает возможность:

— оптимизировать количество и объем операций НК (в том числе магнитопорошкового и вихретокового) различных участков осей и колес в процессе освидетельствования КП для различных вариантов осевой нагрузки;

— акцентировать усилия на повышение надежности контроля тех частей осей и колес, в которых скорость роста дефекта наибольшая.

В настоящее время принят подход к упрочнению накаткой путем оптимизации соотношения остаточных сжимающих напряжений на поверхности и качества поверхности, подвергнутой воздействию инструмента, т. е. стремятся снизить вероятность трещинообразования за счет увеличения сжимающих напряжений на поверхности оси. Однако для повышения долговечности оси с уже зародившимся дефектом, особенно в условиях повышенной осевой нагрузки, нужен подход на основе циклической трещиностойкости — оптимизация

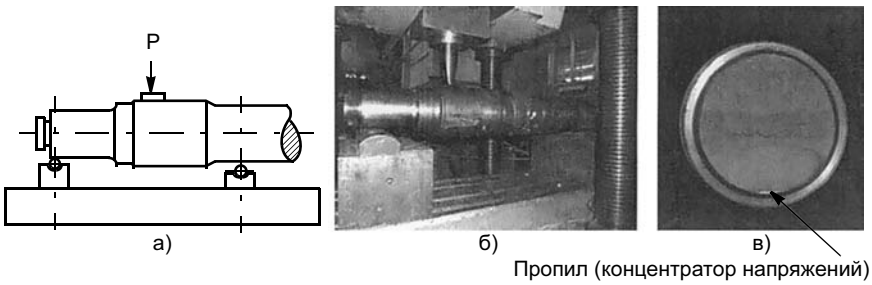


Рис. 7. Схема (*а*), фото установки (*б*) и результат (*в*) испытания по нагружению оси с концентратором напряжений методом трехточечного плоского изгиба

распределения напряжений по глубине от поверхности оси при возможном повышении качества состояния поверхности. Поэтому расчеты по остаточному ресурсу могут иметь применение при проектировании новых вагонов, а именно, конструкции и размеров осей и колес, а также путем внесения изменений в режимы упрочнения осей накаткой для повышения их долговечности, а следовательно, и срока службы. Особенно это актуально для осей, которые будут эксплуатироваться с повышенной нагрузкой порядка 25—30 тс.

Варианты применения системы

Вариант 1. Система применяется только для поиска дефектов. Для этого необходимо задать минимальный размер выявляемого реального дефекта — усталостной трещины, а не контрольного отражателя в виде пропила. При таком варианте периодичность диагностирования остается фиксированной.

Вариант 2. Система применяется не только для поиска дефектов, но и для расчета ресурса осей с дефектами. Рассчитанный остаточный ресурс оси даст фактическое значение пробега, через который необходимо провести следующую диагностику или просто подвергнуть КП расформированию с последующей отправкой дефектного элемента в переплавку. В случае, если обнаружен неопасный дефект, это позволит избежать операций ремонта, которые необходимо провести по действующим нормам. Например, для дефекта находящегося:

— в шейке оси, ее галтелях и предподступице не надо будет проводить демонтаж внутренних колец;

— в подступице оси — избежать отправки КП в вагоно-колесные мастерские для расформирования и последующей обточки подступицы;

— в средней части оси, если он поперечный, — избежать отправки на завод-изготовитель для обточки средней части;

— в средней части оси, если он продольный и его длина более 25 мм, — избежать отправки на завод-изготовитель для обточки средней части.

Применение системы позволит осуществить пересмотр существующего порядка проведения НК элементов КП в вагонных депо. Оба варианта в целом приведут к увеличению межремонтных пробегов и, как следствие, снижению затрат на ремонт. Автоматизация процесса контроля позволит, возможно, отказаться от применения для контроля осей и колес других методов НК, что, в свою очередь, улучшит условия труда и позволит сократить штат персонала, проводящего диагностику.

Заключительные замечания

Разработанная система голографии вместе с методикой расчета остаточного ресурса позволят:

- осуществлять выявление дефектов на ранней стадии развития;
- по восстановленным акустическим изображениям определять местоположение и размеры дефектов;
- по измеренным размерам рассчитать ресурс КП до следующего НК;
- продлить эксплуатацию значительного числа элементов КП, забракованных другими методами НК;
- оптимизировать количество и объем операций НК (в том числе магнитопорошкового и вихретокового) различных участков осей и колес в процессе освидетельствования КП для различных вариантов осевой нагрузки;
- акцентировать усилия на повышение надежности контроля тех частей осей и колес, в которых скорость роста дефекта наибольшая.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Магнитопорошковый* метод неразрушающего контроля деталей вагонов (РД 32.159—2000). М.: МПС России, 2000.
2. *Бадалян В. Г., Вопилкин А. Х.* Опыт применения ультразвуковой системы с когерентной обработкой данных "Авгур" на Российских АЭС // Контроль. Диагностика. 2000. № 9. С. 35—39.
3. *Бадалян В. Г., Базулин Е. Г.* Цифровое восстановление изображения рассеивателей методом проекции в спектральном пространстве // Акустический журнал. 1988. Т. XXXIV. № 2. С. 222—231.
4. *Руководство* по комплексному ультразвуковому контролю колесных пар вагонов (РД 07.09—97). М.: Департамент пассажирских сообщений МПС России, 1998.
5. *Комиссаров А. Ф.* Вагоны нового поколения // Вагоны и вагонное хозяйство. 2006. № 1 (5). С. 4—8.
6. *Инструкция* по осмотру, освидетельствованию, ремонту и формированию вагонных колесных пар (ЦВ/3429). М.: Транспорт, 1977.

В мире неразрушающего контроля, 2006, № 3

Ю. И. КУДРЯВЦЕВ, д-р техн. наук
ЗАО "НПВФ "Сварка" (Чебоксары)

Снижение энергоемкости производства арматурных сеток на автоматических линиях "АЛИКС"

Строительная индустрия Москвы насчитывает десятки предприятий по производству изделий из бетона и железобетона. На их долю приходится производство продукции, составляющей около 60 % общей стоимости строительства типовых домов.

Весьма энергоемким в производстве сборного железобетона, к сожалению, остается изготовление арматурных сеток и каркасов. Большинство предприятий для этих целей применяют технологии 30—40-летней давности. Основными причинами этого до недавнего времени являлись отсутствие новых разработок в области сварочного машиностроения в стройиндустрии, а в настоящее время — отсутствие стимулов для персонала предприятий в анализе существующей технологии и ознакомлении с разработанным в последние годы и внедренным в производство новейшим оборудованием для производства арматурных сеток.

На примере одного завода проведем анализ производства арматурных сеток. В арматурных цехах завода на машинах для многоточечной контактной сварки ежемесячно производятся сетки и каркасы в объеме 187 т. В состав оборудования для изготовления указанных сеток входят:

— две машины многоточечной контактной сварки АТМС-14 × 75 для изготовления широких сеток;

— две машины многоточечной контактной сварки МТМК для изготовления узких сеток;

— восемь правильно-отрезных станков;

— три перематывающих установки для разделения бухт;

— два тельфера;

— устройство загрузки поперечных стержней из мерных выпрямленных заготовок.

Для производства указанного объема арматурных сеток все приведенное оборудование работает в течение двух рабочих смен.

Основные операции по изготовлению сеток на оборудовании завода и число работающего персонала приведены на рис. 1.

Использование такого множества оборудования обусловливают изготовлением 75 видов сеток ежедневно. Действительно, такое количество типоразмеров сеток необходимо для железобетонных изделий согласно программе комплектации строящихся объектов. Технологические возможности каждой из машин многоточечной контактной сварки ограничены, и это исходит из конструктивных решений, примененных в них. Если в некоторых случаях и возможна переналадка на разные типы сеток, то это требует нескольких часов работы, что невозможно в условиях интенсивного производства.

Следовательно, необходимо разработать оборудование специально для производства сеток множества видов. При этом основную работу по переналадке должны обеспечивать системы управления с заранее записанной программой или легко вводимой по заданному виду сетки.

Технологи завода ознакомились с автоматическими линиями изготовления арматурных сеток ЗАО "НПВФ "Сварка". Фирма, будучи научно-техническом центром по сварочному оборудованию департамента строительства и ЖКХ Министерства промышленности и энергетики РФ, является разработчиком и изготовителем автоматических линий контактной сварки "АЛИКС". По просьбе заводов она изучает существующие технологии, предлагает варианты унификации сеток и на этой основе

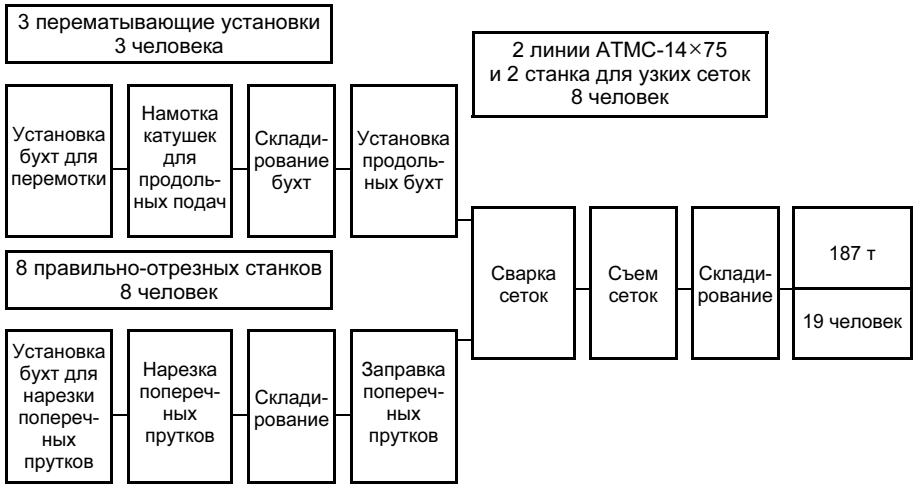


Рис. 1. Основные операции технологии изготовления сеток на имеющемся оборудовании

разрабатывает предложения по созданию необходимой линии.

На основании работы, проведенной на данном заводе, разработана автоматическая линия "АЛИКС", заменяющая все вышеприведенное оборудование и обеспечивающая изготовление необходимых видов сеток. Следует отметить, что линия способна изготовлять сетки и в значительно большем объеме. В ней также заложена возможность расширения номенклатуры изделий и изготовления новых изделий.

На рис. 2 приведена одна из линий "АЛИКС", основные принципы построения которой будут использованы при создании линии для полной замены устаревшей энергоемкой технологии.

При производстве сеток на линии "АЛИКС" нет необходимости использовать дополнительное оборудование, в частности для перемотки бухт с разделением на меньшие диаметры и объемы, станки для подготовки мерных заготовок и устройства их транспортировки до сварочной машины.

Бухты проволоки, поступающие с металлопрокатных предприятий, устанавливают непосредственно на линию. Процессы размотки, выпрямления проволоки и подачи ее на расчетную длину полностью автоматизированы, изменение шага подачи система управления осуществляет по заданной программе. Подача проволоки и перемещение сетки выполняются управляемыми приводами на основе электродвигателей. Работающий персонал, начиная с установки бухт на линию до получения готовой сетки, только наблюдает за процессом изготовления изделия. Управление и контроль за прохождением технологических операций осуществляет система автоматического управления.

Переход от изготовления одного вида сетки к другому осуществляется запуском программы, хранящейся в памяти системы управления. При появлении нового типоразмера сетки составление и

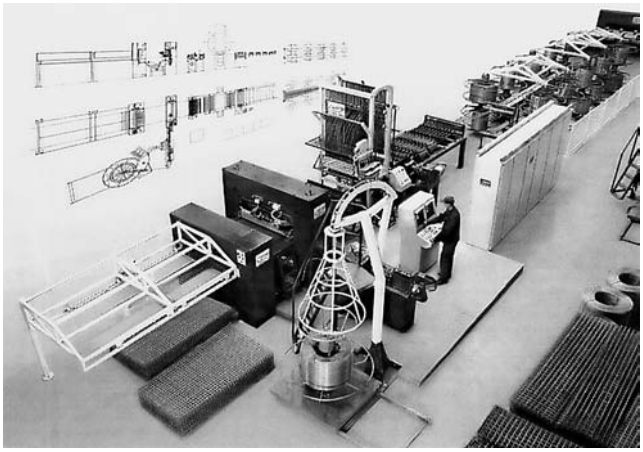


Рис. 2. Автоматическая линия "АЛИКС" для изготовления сеток

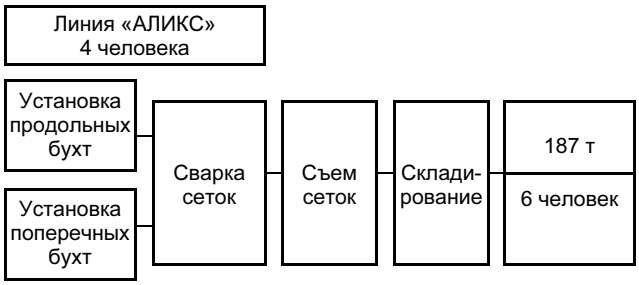


Рис. 3. Основные операции технологии изготовления сеток на линии "АЛИКС"

ввод программы занимают не более 5 мин. Введенная программа сохраняется в памяти и может быть использована многократно.

Основные операции по изготовлению сеток на линии "АЛИКС" и число работающего персонала приведены на рис. 3.

Внедрение новой автоматической линии "АЛИКС" дает ряд преимуществ, в частности:

— снижение объема оборудования для изготовления сеток, каркасов при условии сохранения объемов производства и даже его увеличении;

— значительное снижение производственной площади для производства сетки и каркасов, что уменьшит затраты на содержание площадей под арматурное производство;

— изготовление арматурных изделий с требуемым качеством, что не достигается на устаревшем оборудовании;

— возможность изготовления различных модификаций арматурных изделий различных типоразмеров;

— повышение культуры производства, как арматурного, так и формовочного;

— сокращение трудозатрат в несколько раз;

— многократное снижение энергозатрат, что важно в условиях энергосистем Москвы.

На последнем из приведенных преимуществ остановимся подробнее, учитывая его актуальность в настоящее время.

В терминологии энергоснабжения есть понятие установленной мощности оборудования, потребляемой при его включении в работу, когда при работе всего оборудования предприятия счетчики учета передающейся по сети энергии фиксируют максимальные значения. Если эти значения превышают установленные мощности, выделенные предприятию, то предприятие либо вынуждено ограничить потребление, либо энергосистема будет вынуждена выключиться из общей энергосети для предотвращения аварийных ситуаций.

Все заводы по производству железобетона вынуждены ограничивать величину потребляемой энергии в часы установленного максимума по требованию энергоснабжающих организаций. Ограни-

чение достигается отключением энергоемкого технологического оборудования, каковым и является устаревшее сварочное оборудование.

Внедрение линии "АЛИКС" позволит избежать остановов в работе сварочного производства.

Расчеты потребления электроэнергии для изготовления 187 т сеток в месяц при устаревшей и предлагаемой новой технологиям приведены в табл. 1.

Производство сеток на ДСК организовано в две 8-часовые смены, тельферы работают по 6 ч в день, при этом за 22 рабочих дня в месяц имеющееся оборудование позволяет изготовлять только 187 т сеток.

Возможности линии "АЛИКС" гораздо шире. При производительности 60 прутков в 1 мин объем производства сетки из проволоки 4 BpI с максимально возможной шириной 2600 мм при непрерывной работе линии в течение 16 ч составляет 646 т в месяц. Однако при работе линии неизбежны перерывы, вызванные необходимостью смены бухт проволоки и складирования пачек сетки. Они занимают 20 % общего времени работы линии. Номенклатура сварных сеток ДСК многообразна, поэтому имеют место постоянные переходы с одного вида сетки на другой, это занимает еще 20 % рабочего времени. При соответствующей подготовке персонала для работы на линии "АЛИКС", которую проводят специалисты фирмы "Сварка", время на переналадку линии сокращается, что позволяет увеличивать объем производства.

В течение одной рабочей смены необходимо изготовить от 30 до 50 типоразмеров сеток. На начальном этапе обучения операторов переходы на изготовление от одного вида сетки на другой занимают до 20 % рабочего времени, а после 2 мес. работы эти затраты времени сокращаются до 10 %, также снижается время на замену бухт до 12 %.

С учетом времяных потерь при работе линии “АЛИКС” в течение 16 ч производится 388 т сеток в месяц. Таким образом, для производства 187 т достаточно односменной работы.

Расчеты показывают огромную разницу в потреблении электроэнергии. Установленная мощность оборудования при имеющейся технологии на ДСК составляет 2967 кВт, что в 13 раз больше по сравнению с установленной мощностью линии "АЛИКС", которая составляет всего 228 кВт. Если для изготовления 187 т сетки в месяц линия "АЛИКС" потребляет 15 521 кВт · ч, то на имеющемся оборудовании ДСК расход энергии составляет 617 734 кВт · ч, что почти в 40 раз больше.

Таким образом, годовая экономия электроэнергии при использовании для производства арматурных сеток и каркасов линии "АЛИКС" составляет более 9,5 млн руб. в год, помимо этого у завода имеется возможность увеличения товарооборота сеток и каркасов за счет использования дополнительных ресурсов линии.

Данная разница в объемах энергопотребления обусловлена применением новейших схем токо-

Таблица 1

Показатель	Количество рабочих часов в месяц	Оборудование Домостроительного комбината (ДСК)		Линия "АЛИКС"	
		Установленная мощность	Потребленная энергия	Установленная мощность	Потребленная энергия
Затраты электроэнергии при работе оборудования, кВт:					
2 машины для производства широких сеток (по 12 трансформаторов мощностью по 75 кВт)	352	1 800	316 800		
2 машины для производства узких сеток (по 3 трансформатора мощностью по 100 кВт)	352	600	105 600		
8 правильно-отрезных станков (мощность 16,6 кВт)	352	133	46 746		
3 перематывающие установки (мощность 5 кВт)	352	15	5 280		
2 тельфера (мощность 9,5 кВт)	132	19	2 508		
1 устройство загрузки линия "АЛИКС" (5 трансформаторов мощностью 40 кВт, электродвигатели общей мощностью 28 кВт)	170			228	
Затраты электроэнергии на выработку сжатого воздуха, кВт (2 компрессора мощностью по 200 кВт)	352	400	140 800		
ИТОГО, установленная мощность, кВт		2 967	—	228	
ИТОГО, потребленная электроэнергия в месяц, кВт · ч		—	617 734	—	15 521
Плата за мощность при двухставочном тарифе в месяц, руб. (ставка 193,163 руб./кВт)		573 115	44 041		
Плата за энергию при двухставочном тарифе в месяц, руб. (ставка 45,54 коп/кВт · ч)		281 316	7 068		
ИТОГО, затраты электроэнергии в месяц, руб.		854 431	51 109		
ИТОГО, затраты электроэнергии в год, руб.		10 253 166	613 313		

Таблица 2

Наименование	Количество рабочих часов в месяц	Оборудование ДСК		Линия "АЛИКС"	
		Установленная мощность	Потребленная энергия	Установленная мощность	Потребленная энергия
Затраты электроэнергии при работе оборудования, кВт:					
2 машины для производства широких сеток (по 9 трансформаторов мощностью по 75 кВт)	352	1 350	237 600		
4 правильно-отрезных станка (мощность 16,6 кВт)	352	66	23 373		
грузоподъемные механизмы (мощность 10 кВт)	132	10	1 320		
линия "АЛИКС" (9 трансформаторов мощностью 40 кВт, электродвигатели общей мощностью 31 кВт)	150			391	
Затраты электроэнергии на выработку сжатого воздуха, кВт (2 компрессора мощностью по 200 кВт)	352	400	140 800		
ИТОГО, установленная мощность, кВт		1 826	—	391	
ИТОГО, потребленная электроэнергия в месяц, кВт · ч		—	403 093	—	19 530
Плата за мощность при двухставочном тарифе в месяц, руб. (ставка 193,163 руб/кВт)		352 716	75 527		
Плата за энергию при двухставочном тарифе в месяц, руб. (ставка 45,54 коп/кВт · ч)		183 568	8 894		
ИТОГО, затраты электроэнергии в месяц, руб.		536 284	84 421		
ИТОГО, затраты электроэнергии в год, руб.		6 435 408	1 013 052		

подвода к свариваемой конструкции, оптимальных источников сварочного тока и систем управления сварочным режимом, разработанных фирмой "Сварка". В линии "АЛИКС" использованы современные экономичные управляемые электроприводы для размотки бухт, выпрямления проволоки и перемещения сетки на заданный шаг в отличие от пневмоприводов устаревших многоточечных машин. Особенностью данных пневмоприводов являются многократные потери энергии через его преобразование в сжатый воздух и транспортировкой от компрессоров до потребителя.

Если на приведенном для примера заводе только планируется создание линии, то на другом заводе ДСК в 2004 г. установлена линия "АЛИКС" для производства арматурных сеток плит перекрытий. При разработке основных решений по конструкции линии активное участие принимали специалисты завода, благодаря чему на одной линии "АЛИКС" стало возможным изготовление сеток всех типоразмеров. Хотя до этого сетки изготовляли на нескольких машинах для многоточечной контактной сварки, на которых продольные прутки подавались с бухт, а поперечные стержни готовились на правильно-отрезных станках. Проектанты сеток также принимали участие в создании линии, совместная работа с ними позволила предусмотреть в оборудовании изготовление сеток будущих строительных объектов. На начальном этапе производительность линии планировалась на изготовление 300 т сеток в месяц, в ходе проектирования линии объем возможного производства был значительно увеличен. Но на этом не остановились, возможные совершенствования в схемах систем управления и применение новейших разработок фирмы "Сварка" обеспечат увеличение производительности и в дальнейшем. Так же, как и в предыдущем примере, внедрение линии обеспечило снижение установленной мощности и потребляемой энергии. Сравнение затрат электроэнергии при использовании различного оборудования для изготовления 310 т сеток в месяц приведено в табл. 2.

При производительности линии "АЛИКС" 60 прутков в 1 мин за 352 ч непрерывной работы можно изготовить 1210 т сеток шириной 3500 мм из проволоки 5 BpI. С учетом затрат времени на смену бухт проволоки и переходов на разные виды сетки, которое занимает около 30 %, для изготовления 310 т сеток на линии "АЛИКС" достаточно односменной работы. И эти показатели достигнуты на предприятии.

Установленная мощность линии составляет всего 391 кВт, что в 4,7 раз меньше по сравнению с установленной мощностью старого оборудования завода. Для изготовления 310 т сеток в месяц линия "АЛИКС" потребляет 19 530 кВт · ч, на старом оборудовании ДСК расход энергии составлял 458 060 кВт · ч, что почти в 23 раза больше. Поэтому заводу удается в часы установленного максимума в системе энергосбережения не терять темпы производства, а ежегодная экономия при оплате энергоресурсов составляет более 5 млн руб.

Общее сокращение затрат на оплату электроэнергии только по двум заводам домостроительного комбината ежегодно составит 14,5 млн руб.

Информационное обеспечение техники и операторской деятельности

Общие положения (ГОСТ Р 43.0.1—2005)

Сведения о стандарте

Разработан Образовательным учреждением Центр "НООН" исследований и поддержки интеллектуальной деятельности (ОУ Центр "НООН"). Внесен Научно-техническим управлением Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2005 г. № 451-ст. Введен впервые. **Дата введения 2007—01—01.**

1. Область применения

Настоящий стандарт устанавливает общие положения, определение и целевое назначение, объекты стандартизации, структуру, состав и границы классификационных групп системы стандартов информационного обеспечения техники и операторской деятельности системы стандартов (ИОТОД).

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие межгосударственные стандарты:

ГОСТ 2.601—95 "Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы";

ГОСТ 2.602—95 "Единая система конструкторской документации. Ремонтные документы".

Примечание. При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю "Национальные стандарты", который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3. Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ИОТОД — информационное обеспечение техники и операторской деятельности;

РД — ремонтные документы;

ЭД — эксплуатационные документы.

4. Основные положения

4.1. Система стандартов ИОТОД (далее — система) состоит из национальных стандартов, правил и рекомендаций, устанавливающих порядок выполнения работ по выпуску технической документации бумажного или электронного исполнения ИОТОД.

Система направлена на реализацию основных принципов Единой системы информационного обеспечения техники и операторской деятельности.

Система распространяется на продукцию всех отраслей промышленности.

4.2. Основное назначение системы состоит в установлении организационно-методических принципов проведения работ, направленных на решение следующих задач:

— обеспечение разработки ИОТОД высокого качества, наиболее полно удовлетворяющего потребности народного хозяйства, населения и конкурентоспособного на внешнем рынке;

— сокращение сроков и затрат на разработку, выпуск и применение ИОТОД;

— обеспечение стабильности показателей качества ИОТОД;

— повышение ответственности исполнителей работ за качество выпуска ИОТОД;

— обеспечение совместимости с международными стандартами в области ИОТОД и информационных технологий.

4.3. Система направлена на реализацию следующих основных принципов повышения эффективности развития народного хозяйства:

— ориентацию на достижение лучших конечных результатов разработки и применения техники;

— увеличение влияния ИОТОД повышенного качества в общем объеме выпускаемой техники;

— рациональное сочетание федеративного, отраслевого и регионального принципов разработки техники.

4.4. Объектами стандартизации системы являются:

— порядок проведения работ в процессе выпуска и применения ИОТОД;

— информация для ИОТОД (ЭД, РД);

— знаковые системы;

— методы представления в электронном виде документации для ИОТОД;

— термины и определения.

4.5. Эффективность функционирования системы обеспечивается при ее взаимодействии со следующими группами стандартов:

— национальной системой стандартизации;

— единой системой конструкторской документации (ЕСКД);

— государственной системой обеспечения единства измерений (ГСИ);

— системой стандартов безопасности труда (ССБТ);

— стандартами информационных технологий;

— системой стандартов по репрографии.

5. Структура, состав, классификация системы стандартов ИОТОД

5.1. Классификационные группы стандартов системы приведены в таблице.

Код группы	Наименование группы стандартов
0	Общие положения
1	Порядок разработки документации для ИОТОД
2	Представление информации для ИОТОД
3	Документация для ИОТОД в электронном виде
4	Прочие стандарты

5.1.1. Стандарты группы 0 устанавливают общие (основные) положения системы для всей продукции информационного назначения, а также термины и определения, применяемые в системе.

5.1.2. Стандарты группы 1 устанавливают требования к порядку разработки ИОТОД (ЭД, РД, создаваемых в соответствии с ГОСТ 2.601, ГОСТ 2.602) в бумажном или электронном виде.

5.1.3. Стандарты группы 2 устанавливают требования к знаковым системам, их применению, представлению информации в ИОТОД.

5.1.4. Стандарты группы 3 устанавливают требования к разработке документации для ИОТОД в электронном виде.

5.1.5. Стандарты группы 4 устанавливают требования к разработке ИОТОД, не входящие в стандарты других классификационных групп системы.

5.2. Национальные стандарты, устанавливающие требования, распространяющиеся на несколько классификационных групп, включают в группу 0.

Ссылка на данный материал не допускается

В. С. МОРОЗОВ, д-р техн. наук, Ю. И. КАЗАКОВ, канд. техн. наук, А. В. КАЗАКОВ, инж., О. И. ТАРАНЕНКО, инж.
ФГУП НИИ "Гермес" (Златоуст Челябинской обл.)

Изыскание и отработка альтернатив озоноопасному хладону 113 в технологических процессах очистки, обезжиривания, промывки и испытаний сборочных узлов ракетно-космической техники

Растворитель хлорфторуглерод хладон 113 ($C_2F_3Cl_3$) используют при изготовлении ракетно-космической техники в технологических процессах обезжиривания, очистки, промывки деталей и сборочных единиц. Применение этого растворителя обеспечивает высокую степень чистоты поверхностей. Тщательное удаление с его помощью поверхностных жировых загрязнений исключает возможность возгорания и взрыва при эксплуатации ракет, в которых окислителем является жидкий кислород. В последние годы хладон 113 используется также в технологических процессах испытания на прочность, герметичность, при нейтрализации топливных систем после слива агрессивных и токсичных компонентов жидкого ракетного топлива.

Однако в соответствии с условиями международных соглашений (Венской конвенции об охране озонового слоя, 1985 г., Монреальского Протокола по веществам, разрушающим озоновый слой, 1987 г.), производство озоноразрушающих веществ первой группы, в которую входит хладон 113, прекращено в промышленно развитых странах с 1996 г. Запрет на производство этих веществ в России действует с конца 2000 г. Предприятия Федерального космического агентства являются основными потребителями хладона 113, и до последнего времени эта потребность удовлетворялась в основном за счет расходования наработанных ранее запасов, которые распределялись по квотам, утверждаемым Министерством природных ресурсов РФ. В настоящее время запасы практически исчерпаны. Переход на технологии, исключающие применение хладона 113 в производстве ракетно-космической техники, является настоятельной необходимостью.

Анализ опыта промышленно-развитых стран (США, Великобритании, Японии, ФРГ, Франции и др.) [1] показал, что к основным вариантам решения проблемы следует отнести применение альтернативных озонобезопасных растворителей и водно-моющих средств.

В группу озонобезопасных растворителей обычно включают органические, хлорорганические и хлорфторуглеводородные.

Из органических растворителей (бензины-растворители, уайт-спирит, керосины, ацетон, спирты, эфиры) в качестве альтернативы хладону 113 на технологических операциях обезжиривания и очистки в наибольшей степени подходят бензины-растворители [2]. По силе и универсальности растворяющего действия возможных органических загрязняющих веществ (минеральных масел, жиров, органики биологического происхождения) бензины-растворители превосходят хладон 113. После доочистки методом ректификации эти растворители способны обеспечить чистоту обрабатываемых поверхностей до уровня остаточных жировых загрязнений 5—10 мг/м^2. Тем не менее главный недостаток — пожаровзрывоопасность — требует применения специального закрытого и защищенного технологического оборудования, изолированных, обеспеченных средствами поддержания пожаровзрывобезопасности рабочих помещений, что ограничивает применение этих растворителей преимущественно для изделий небольших размеров.

Из хлорорганических растворителей (трихлорэтилена, перхлорэтилена, метиленхлорида) — жидкостей повышенной токсичности, как заменитель хладона 113 может быть рекомендован, прежде всего, наименее токсичный и легколетучий метиленхлорид [3]. Однако относительно высокая токсичность ($ПДК_{р.з}$ = 50 мг/м^3) и пожаровзрывоопасность этого растворителя также требуют специального закрытого и защищенного технологического оборудования, изолированных рабочих помещений и ограничивают его применение преимущественно для изделий небольших размеров.

Хлорфторуглеводороды (гидрохлорфторуглероды) — вещества, озоноразрушающая способность которых значительно меньше, чем у хладона 113. Копенгагенскими поправками 1992 г. к Монреальскому протоколу эти вещества включены в список регулируемых переходных озоноразрушающих веществ, разрешенных к производству до 2030 г. Среди известных хлорфторуглеводородных соединений в качестве растворителей можно использовать хладон 122 и его изомеры — хладоны 122а ($C_2F_2Cl_3H$), 141b ($C_2FCl_2H_3$) и 225 ($C_3F_5Cl_2H$). В мировой практике применяют в основном хладоны 141b и 225. Хладон 225 выпускает компания Asahi Glass (Япония), хладон 141b производится в Южной Корее, а также компанией Atofina во Франции и США, как продукт FORANE 141b. В отечественной промышленности хладоны 122, 122а и 141b выпускали опытными партиями на предприятиях ОАО "Химпром" (Волгоград) и ОАО "Кирово-Чепецкий химкомбинат". По физико-химическим свойствам и технологическим качествам хладоны 122, 122а, 141b очень близки к хладону 113. Российским научным центром "Прикладная химия" — ведущим предприятием по синтезу и технологии производства фторорганических соединений — эти растворители рекомендованы в качестве альтернативы хладону 113. В табл. 1 приведены физико-химические свойства и основные технологические качества растворителей гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ-растворителей) в сравнении с хладоном 113 [4].

Применение озоносберегающих ГХФУ-растворителей — хладонов 122, 122а и 114b — вместо хладона 113 является перспективным, поскольку обезжиривающе- очищающее действие их не ниже, а физико-химические качества сопоставимы.

Освоение промышленного производства растворителей — хладонов 122, 122а и 141b для отечественных предприятий не представляет большой проблемы. Первоначально отрабатывалась возможность использования в качестве альтернативы хладону 113 именно этих растворителей.

С целью оценки технологических возможностей озоносберегающих ГХФУ-растворителей в процессах очистки-обезжиривания, промывки и испытаний деталей и сборочных единиц ракетно-космической техники проводили следующие экспериментальные испытания и отработки.

Экспериментальная оценка силы растворителей по отношению к загрязняющим веществам жирового происхождения

Достигаемое с помощью растворителя качество очистки поверхностей изделий в значительной степени зависит от его растворяющей силы. Вначале этот показатель экспериментально оценивали по длительности удаления загрязняющих веществ с контрольной поверхности: минеральных масел, консистентных смазок, пищевых жиров. Результаты испытаний показали, что растворяющая сила хладона 122 и 141b по отношению к этим веществам выше, чем у хладона 113. В наибольшей степени растворимы технический вазелин, индустриальное и трансформаторное масла, масляная основа охлаждающих эмульсий. Наибольшую

Таблица 1

Характеристика растворителя	Хладон 122 Хладон 122а	Хладон 141b Forane 141b DGX	Хладон 225 (АК-225)	Хладон 113
Химическая формула	$C_2F_2Cl_3H$	$C_2FCl_2H_3$	$C_3F_5Cl_2H$	$C_2F_3Cl_3$
Внешний вид, запах	Прозрачная бесцветная жидкость со слабым специфическим запахом			
Молекулярная масса, ед.	169,39	116,95	202,938	187,38
Плотность при 20 °С, г/см^3	1,563	1,25	1,55	1,575
Температура кипения, °С	71,85	31,9	45,5	46,4
Теплота испарения при температуре кипения, ккал/кг	43,3	53,9	34,58	35,07
Поверхностное натяжение при 20 °С, мН/м	23,9	19,1	16,2	19,6
Давление паров при 20 °С, МПа	0,0121	0,0633	0,038	0,034
Коэффициент динамической вязкости при 20 °С, мПа · с	0,72	0,412	0,6	0,708
Каури-бутанольная точка (КБ)	86	56	31	31
Потенциал озоноразрушения, ед.	0,016	0,11	0,05	0,8
ПДК паров в воздухе производственных помещений, мг/м^3	3000	1000	1000	5000
Класс опасности по ГОСТ 12.1.007	Вещество 4 класса опасности (малоопасные по степени воздействия на организм человека)			
Степень пожаровзрывоопасности	Трудногорюч, взрывобезопасен	Трудногорюч, пары в смеси с воздухом (8—15 %) взрывоопасны	Негорючий, пожаровзрывобезопасный продукт	
Регламентирующие документы	ТУ 301-02-137	ТУ 24-019-00480689 Торговая марка компании "Атофина"	Торговая марка компании Asahi Glass	ГОСТ 23844

трудность для растворения представляют консистентные смазки, тяжелые масла типа ВМ-1, пищевые жиры. Коэффициент взаимной диффузии молекул растворителя и растворяемого вещества, характеризующий скорость процесса растворения и экстракции оценивали экспериментально[1].

Результаты эксперимента приведены в табл. 2, из которых следует. что альтернативные растворители превосходят хладон 113 по скорости растворения и экстракции минеральных масел.

Установили, что очистка растворителями обеспечивает возможность удаления с поверхностей за время 3—5 мин контакта практически всей основной массы жировых загрязнений: остаточное количество их на поверхностях зависит в основном от степени чистоты применяемого растворителя.

Экспериментальная оценка стойкости основных конструкционных материалов при воздействии ГХФУ-растворителей

Определяли коррозионное воздействие ГХФУ-растворителей — хладонов 122, 122а и 141b — на сплавы алюминия, титановые, медные и стальные сплавы. Оценивали стойкость этих материалов против общей и щелевой коррозии при непосредственном контакте с растворителями, а также определяли влияние обработки растворителями в жидкой и паровой фазах на последующую стойкость против атмосферной коррозии. Методы оценки коррозионного воздействия — по изменению состояния поверхности образцов, изменению массы образцов (погрешность измерения ± 0,0001 г).

[1] Патент 2246105.

В результате испытаний установили, что непосредственное воздействие растворителей не вызывает видимых изменений коррозионного состояния поверхностей образцов, изменение массы образцов — в пределах весовой погрешности измерений.

Для установления стойкости против атмосферной коррозии металлических материалов, поверхности которых подвергнуты воздействию растворителя, образцы испытывали в камере влажности при следующих режимах в течение суточного цикла: относительная влажность 98 %, увлажнение поверхности образцов конденсацией влаги, выдержка при 40—50 °С в течение 8 ч, последующая выдержка при 20—25 °С в течение 16 ч. Общая продолжительность испытания — 90 сут. Испытанию в камере влажности подвергали образцы, прошедшие испытания воздействием растворителя в течение 72 ч (рабочие), и контрольные образцы, не имевшие контакта с растворителями. Оценку производили путем сравнения результатов коррозионного воздействия на рабочие и контрольные образцы.

В результате испытаний установили:

— титановые, никелевые и хромоникелевые сплавы после контакта с растворителями весьма стойки к атмосферной коррозии;

— исследованные хромистые стали после воздействия растворителей могут быть отнесены к разряду стойких против атмосферной коррозии;

— длительный контакт с растворителями исследованных алюминиевых сплавов также не выводит их из разряда стойких против атмосферной коррозии;

— медь и исследованные медные сплавы, а также конструкционные стали с антикоррозионным покрытием после дли-

Таблица 2

Растворитель	Коэффициенты взаимной диффузии молекул растворителей и растворяемых минеральных масел, $D10^6$, см^2/с							
	Хладон 113	Хладон 122	Хладон 141b	Бензин-растворитель БР-2	Хладон 122 +бензин БР-2		Хладон 141b + бензин БР-2	
					Концентрация бензина, %			
					20	40	20	40
Масло вакуумное ВМ-1	5,8	7,0	9,8	14,7	8,3	9,8	12,1	13,9
Масло вакуумное ВМ-4	6,4	7,6	11,2	15,6	8,3	10,4	13,9	14,7
Масло индустриальное И-20А	10,5	11,2	16,6	17,6	12,9	13,8	17,6	18,6
Масло турбинное Т-22	11,2	12,1	16,6	18,6	12,9	14,7	17,6	18,6

тельного воздействия растворителей можно отнести к разряду удовлетворительно стойких против атмосферной коррозии.

Оценивали воздействие хладонов 122, 122а и 141b на неметаллические конструкционные материалы: резины, полимеры, герметики, смазочные материалы, клеи и лакокрасочные покрытия (ЛКП). В результате установлено, что показатели воздействия альтернативных растворителей на резины (изменение массы, объема, физико-механических характеристик) значительно более высокие: хладоны 122 и 122а превосходят хладон 113 по этим показателям в 2—4 раза, хладон 141b — в 1,5—2 раза. Наиболее стойки к воздействию растворителей резины на основе фторкаучуков. Полиэтилены высокого и низкого давления, фторопласты, полиамиды, фенопласты, пленка полиэтилентерафталатная — также стойки к воздействию. Полистиролы, сополимеры полистирола, поливинилхлоридный пластикат, стекло органическое — нестойки. Анаэробные герметики допускают контакт с растворителями в течение времени до 8 ч.

Установлено, что контакт растворителей с открытыми поверхностями, на которые нанесены смазочные материалы, не допустим, так как приводит к растворению и смыванию смазочной основы. Допустим кратковременный, не более 3—5 мин, контакт с растворителями сборочных единиц, содержащих смазки в зазорах ($\delta \leqslant 50$ мкм) трущихся и сопрягаемых поверхностей. Растворители оказывают разрушающее воздействие практически на все компоненты ЛКП, применяемые в ракетно-космической технике, поэтому недопустим даже самый кратковременный контакт. Клеевые соединения на основе компаунда К-153 и эпоксидной смолы К-300-61 стойки при длительности воздействия растворителя до 72 ч. Прочностные свойства клеевого соединения на основе клея ВК-9 уменьшаются примерно на 15 % после контакта с растворителем в течение 72 ч. Клеевые соединения на основе клея 88 нестойки к воздействию растворителей.

Результаты проверки совместимости ГХФУ-растворителей с компонентами ракетных топлив

Проводили экспериментальные проверки с целью выявления возможных негативных последствий контакта остатков хлорфторуглеводородных растворителей с компонентами жидких ракетных топлив: образование пожароопасных и взрывоопасных композиций, повышенная коррозионная активность образующихся при смешивании сред и др. Проверки выполнены для основных компонентов жидких ракетных топлив: нафтила (ТУ 38-001244), этанола (ГОСТ 5962), гептила (ГОСТ В 17803), винила (ГОСТ В 118-03-503), амила (ГОСТ В 17656), оксида (ГОСТ 6331). Основные результаты исследований приведены в табл. 3. Как следует из анализа данных, остатки растворителей на поверхностях и в полостях нежелательны. Поэтому по окончании технологических операций с применением ГХФУ-растворителей необходимо удалить их остатки с поверхностей методами осушки и удалить пары растворителей из полостей сборочных единиц изделий до уровня остаточных концентраций, допустимых требованиями конструкторской документации.

Отработка методов очистки, обезжиривания, промывки поверхностей и полостей деталей и сборочных единиц с применением ГХФУ-растворителей

Проводили экспериментальную апробацию следующих методов обработки поверхностей хладонами 122, 122а и 141b для удаления жировых, механических загрязнений и остатков рабочих и технологических жидкостей: окунание в ванну с растворителем, струйная очистка (душирование), залив полостей растворителем, прокачка (циркуляция) растворителя, обработка в парах растворителя.

Результаты выполненных испытаний показали, что применение данных растворителей при сходных технологических ре-

Таблица 3

Компонент жидкого ракетного топлива	Растворитель	
	Хладон 122 (122а)	Хладон 141b (Forane 141b)
Нафтил	Совместимы. Взаимная растворимость не ограничена. Признаки химического взаимодействия в растворах отсутствуют. Огнеопасность растворов понижается с увеличением концентрации растворителя. Возможность возгорания и взрыва при взаимном контакте исключена. Коррозионная активность растворов в сравнении с чистыми растворителями — пониженная	
Этанол	То же	
Гептил	Совместимость ограниченная. При смешивании образуются растворы любой концентрации. Возможность возгорания и взрыва при взаимном контакте исключена. Признаки химического взаимодействия (изменение цвета раствора, газовыделение) в зависимости от концентрации гептила в растворителе появляются через 1—3 ч	Совместимы. При смешивании образуются растворы любой концентрации. Возможность возгорания и взрыва при взаимном контакте исключена. Признаки химического взаимодействия (образование белого налета на стенках сосуда) появляются после 4—5 сут. выдержки раствора (аналогично для хладона 113)
Амил	Совместимы. Взаимная растворимость не ограничена. Признаки химического взаимодействия в растворах отсутствуют. Растворы могут быть отнесены к трудногорючим жидкостям. Возможность возгорания и взрыва при взаимном контакте исключена. Коррозионная активность растворов понижается при увеличении концентрации растворителя	Совместимость ограниченная. Взаимная растворимость не ограничена. Признаки химического взаимодействия в растворах отсутствуют. Растворы с концентрацией амила в пределах 5—60 % могут быть отнесены к легковоспламеняющимся жидкостям (температура вспышки менее 28 °С). Возможность возгорания и взрыва при взаимном контакте (без источника воспламенения) исключена. Коррозионная активность растворов понижается при увеличении концентрации растворителя
Винил	Совместимость ограниченная. При взаимном контакте возможность возгорания и взрыва исключена. Смеси паров растворителя и винила не пожаровзрывоопасны. При смешивании с криогенной жидкостью растворитель переходит в твердое состояние (аморфная застывшая масса белого цвета), образуя хрупкие структуры, фрагменты которых могут являться причиной засорения топливных трактов	
Оксид	Совместимость ограниченная. При взаимном контакте (без источника воспламенения) возможность возгорания и взрыва исключена. Смеси паров растворителя и оксида не пожаровзрывоопасны. При смешивании с криогенной жидкостью растворитель переходит в твердое состояние (аморфная застывшая масса белого цвета), образуя хрупкие структуры, фрагменты которых могут являться причиной засорения топливных трактов	

жимах обеспечивает конечные результаты, практически аналогичные достигаемым при использовании хладона 113. Качество обезжиривания зависит от чистоты применяемого растворителя, и при использовании растворителя с содержанием жировых загрязнений не более 10—15 мг/м^3 гарантированно обеспечивается очистка поверхностей до уровня остаточных загрязнений 10—20 мг/м^2. При использовании более чистого растворителя, например с содержанием жировых загрязнений 1—5 мг/м^3, достигается чистота поверхностей на уровне остаточных загрязнений 3—5 мг/м^2.

Таким образом, отработанные технологии очистки при использовании ГХФУ-растворителей позволяют получать результаты, аналогичные достигаемым при применении хладона 113.

Отработка технологии и режимов подготовки изделий к высокочувствительным испытаниям на герметичность

Проводили экспериментальную оценку эффективности применения ГХФУ-растворителей для экстракционной очистки каналов сквозных микронеплотностей от закупоривающих жировых загрязнений и технологических жидкостей. Работу проводили на образцах, имитирующих негерметичность в сварных соединениях с проницаемостью по гелию в пределах потоков 10^{-5}—10^{-10} м^3 · Па/с. В качестве закупоривающих сред использовали минеральные масла, смазки и жиры, составляющие основу поверхностных загрязнений деталей и сборочных единиц в производстве.

Результаты выполненных работ показали, что использование хладонов 122, 122a и 141b в качестве растворяюще-экстрагирующей жидкости обеспечивает большую в сравнении с хладоном 113 скорость очистки сквозных микропор. Конечные результаты практически равноценны: надежность процесса очистки 95—97 %.

Экспериментальная отработка методов контроля герметичности с использованием ГХФУ-растворителей в качестве индикаторной и контрольной жидкости

Обладающие подобно хладону 113 низким показателем сжимаемости ($K_{сж} \approx 10^{-5}$ см^2/кг) озоносберегающие хладоны можно применять при испытаниях прочности сборочных единиц для создания опрессовочных давлений, вплоть до их разрушения. Хладоны 122, 122a и 141b можно также применять при испытаниях объектов, не допускающих заполнения полости водой, при этом рекомендуется совмещать гидроиспытания на прочность с контролем герметичности методом регистрации проникающего в сквозные микронеплотности растворителя.

Экспериментально апробирована и отработана методика контроля суммарной герметичности изделий по регистрации проникающих в микронеплотности паров хладонов 122, 122a и 141b. Для регистрации микропотоков растворителей применяли галогенный, плазменный, электронно-захватный течеискатели, лабораторный хроматограф с детекторами электронно-захватного или ионизационно-резонансного типов. Испытания методом накопления проникающих паров в вакуумной камере и последующего концентрирования их в контрольной емкости малого объема (~0,1 л) обеспечивает достижение чувствительности 10^{-7}—10^{-8} г/с при контроле плазменным течеискателем (ТП-2, ТП-3) и чувствительности 10^{-8}—10^{-9} г/с при регистрации паров лабораторным хроматографом, что сравнимо с показателями, полученными при испытании хладоном 113.

При апробации техники поиска течей установили, что при контроле опрессовкой хладонами 122, 122a возможно уверенное (с погрешностью не более ± 2—5 мм) установление местонахождения течей до ~5 · 10^{-9} г/с, а при контроле хладоном 141b — до 10^{-8} г/с.

При апробации технологии контроля герметичности сборочных единиц методом "бароаквариума" установлена возможность регистрации и определения местонахождения течей до (1—5)10^{-8} м^3 Па/с, что сопоставимо с чувствительностью, достигаемой при использовании хладона 113.

Отработка способов и режимов регенерации загрязненных ГХФУ-растворителей для достижения исходной чистоты

Проводили экспериментальную отработку наиболее простого и эффективного дистилляционного способа регенерации загрязненных растворителей (простой перегонкой). Процесс регенерации реализуется при содержании в растворителе до 30 % жировых загрязнений. Чистота дистиллята во многом зависит от содержания загрязнений в исходном продукте, поэтому при регенерации сильно загрязненных растворителей для получения необходимой чистоты (содержание загрязнений не выше 10—20 мг/л) требуется многократная перегонка.

Применение способа ректификационной очистки обеспечивает повышенную чистоту регенерированного растворителя. При повышении удельных энергозатрат на 25—30 % ректификационная очистка способна обеспечить выход регенерированного растворителя с содержанием загрязнений менее 3—5 мг/л при загрязнении перегоняемого до 1000 мг/л.

Экспериментально установлены условия и режимы регенерации растворителей до уровня остаточных загрязнений продукта на выходе не более 1 мг/л:

— контроль и поддержание стабильного режима работы регенерационного блока (температура испарителя 80—85 °С при регенерации хладонов 122, 122a, 40—45 °С при регенерации хладона 141b, температура конденсатора 15—20 °С, тепловая мощность дистилляционного аппарата (8—9)10^{-2} кВт на 1 кг/ч его производительности при регенерации хладонов 122, 122a (8,5—9,5)10^{-2} кВт на 1 кг/ч производительности при регенерации хладона 141b; тепловая мощность аппарата ректификационной очистки выше соответственно на 25—30 %);

— регулярное выполнение операций удаления кубовых остатков из емкости испарителя (при систематической эксплуатации аппарата не реже, чем через 3—5 сут.);

— необходимость регулярной профилактической очистки емкости испарителя и паровода от накопившихся загрязнений не реже, чем через пять операций удаления кубовых остатков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведанные испытания и отработки показали практическую возможность использования озоносберегающих ГХФУ-растворителей хладонов 122, 122a и 141b — в качестве альтернативы хладону 113 в технологических процессах очистки, обезжиривания, промывки, подготовки и проведения испытаний на прочность и герметичность сборочных узлов ракетно-космической техники. В связи с повышенным воздействием этих растворителей на неметаллические конструкционные материалы рекомендуются их применение преимущественно ранее для обработки конструкций цельнометаллического исполнения. Технологическое оборудование, предназначавшееся ранее для работы с хладоном 113, может быть использовано после соответствующей доработки (исключения нестойких к воздействию растворителей материалов, адаптации регенерационных устройств для обеспечения новых режимов работы и т. п.). Для работы с хладоном 141b необходимо использовать оборудование преимущественно закрытого, герметизированного исполнения.

Отечественные заводы (ОАО "Химпром", Волгоград, ОАО "Кирово-Чепецкий химический комбинат", ОАО "Алтайхимпром", Яровое Алтайского края) в настоящее время организуют производство хладонов 122 и 141b в промышленных объемах.

Результаты выполненных работ обобщены и систематизированы в отраслевом стандарте ОСТ 134-1041—2005, который регламентирует общие требования к технологическим процессам очистки и обезжиривания поверхностей и полостей сборочных единиц ракетно-космической техники, подготовки и испытаний их на прочность и герметичность при использовании фторорганических растворителей в качестве альтернативы хладону 113.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Альтернативы* для CFC-113 и метилхлороформа в очистке металлов. Технический комитет по охране окружающей среды Международного кооператива по охране озонового слоя. Агентство по охране окружающей среды США, 1994.
2. *Бедрик Б. Г.* Растворители и составы для очистки машин механизмов. М.: Химия, 1989.
3. *Ошин Л. А.* Промышленные хлорорганические продукты: Справочник. М.: Химия, 1978.
4. *Максимов Б. Н.* Промышленные фторорганические продукты: Справочник. СПб.: Химия, 1996.

В. А. ВОЛОЧИЕНКО, канд. техн. наук
"МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского

Устранение действия контролируемых возмущений в машиностроительном производстве

В производственном процессе машиностроительного предприятия, осуществляемом на рабочих местах цехов основного производства в соответствии со сменно-суточными (оперативными) заданиями, возникают прерывания в выполнении запланированных работ. Указанные сбои вызываются различными причинами (возмущающими воздействиями на ход производства) — поломками оборудования, браком изготовляемых деталей, задержками в транспортировке предметов производства на межоперационном или (и) межучастковом уровне и др.

Одна из разновидностей вызвана выходами из строя инструментов, оснастки — средств технологического оснащения (СТО). В момент появления данного сбоя необходимо заменить вышедшее из строя СТО исправным за определенный интервал времени. Если цех располагает достаточными ресурсами для устранения сбоя, то принимается и реализуется одно из возможных стандартных решений по ликвидации сбоя, после чего продолжается выполнение запланированной оперативным заданием работы. Иначе выполнение работы прекращается, в оперативное задание вносятся соответствующие коррективы и возникает следующая проблема. Необходимо определить возможные варианты организации поставки исправного СТО в инструментально-раздаточную кладовую (ИРК) данного цеха для замены вышедшего из строя СТО, используя имеющиеся ресурсы предприятия, и реализовать вариант поставки, отличающийся минимальной длительностью или (и) величиной денежных затрат на его реализацию.

При разрешении возникшей проблемы необходимо решить следующие задачи:

— установить уровень управления (внутрицеховой, межцеховой, заводской), располагающий необходимыми ресурсами для осуществления замены вышедшего из строя СТО исправным;

— установить индивидуальное лицо или состав группового лица, принимающего решение (ЛПР), полномочного в принятии решения по осуществлению замены вышедшего из строя СТО исправным;

— принять стандартное решение по организации замены вышедшего из строя СТО или оригинальное решение по ликвидации действия возникшего возмущения из множества возможных альтернатив с учетом установленного временного или(и) финансово-стоимостного критерия выбора.

Типовая процедура разрешения указанной проблемы заключается в последовательном выполнении определенных действий персоналом цеха, в котором произошел сбой, а также других подразделений предприятия, располагающих необходимыми ресурсами для его ликвидации [1].

Мастер участка совместно с начальником бюро инструментального хозяйства (БИХ) цеха диагностируют возникшую сбойную ситуацию на предмет принятия возможных мер по ее разрешению располагаемыми ресурсами цеха. Рассматривается возможность организации срочного ремонта неисправного СТО силами ремонтной инструментальной мастерской (в случае ее наличия в структуре БИХ цеха) за допустимый интервал времени на задержку выполнения работы на рабочем месте в оставшийся до окончания смены (суток) период времени.

Если такой возможности нет, то рассматривается вариант доставки идентичного годного СТО из ИРК данного цеха на рабочее место для продолжения выполнения работы на рабочем месте в соответствии со сменным (суточным) заданием. В случае отсутствия идентичного СТО в ИРК данного цеха мастером участка совместно с начальником БИХ и технологом цеха рассматривается вариант замены непригодного СТО аналогом и доставкой аналога из ИРК данного цеха на рабочее место. Если неисправное СТО не имеет аналога или имеет аналог, но его нет в наличии в ИРК данного цеха, то выполнение работы на рабочем месте прерывается. Мастер может назначить другую работу для выполнения на данном рабочем месте или рабочее место будет простаивать до момента окончания смены (суток). Информация о выбывшем из строя СТО как причина невыполнения оперативного задания по указанной работе заносится в рапорт выполнения сменного (суточного) задания.

На следующий день сведения о невыполнении работ оперативного задания участком цеха за прошедшие сутки с указанием причин невозможности их выполнения поступают на рассмотрение диспетчерского совещания, проводимого начальником цеха. По наименованиям неисправных СТО, повлекших срывы в выполнении запланированных заданиями работ участками цеха за прошедшие сутки, диспетчеру цеха дается поручение проработать вопрос возможности заимствования идентичных или аналогичных СТО в ИРК смежных цехов или вспомогательных производств и обслуживающих служб предприятия.

В случае наличия возможности заимствования необходимых идентичных или аналогичных исправных СТО в смежных цехах или подразделениях предприятия начальник цеха, в котором произошел сбой, решает вопрос с начальниками производственного отдела (ПО) и смежного цеха или руководителем подразделения о передаче необходимых СТО в ИРК возглавляемого им цеха.

Если такой возможности нет, то на следующий день начальник цеха по согласованию с начальником ПО обращается к начальнику ИНО с просьбой проработать вопрос об удовлетворении потребностей цеха в СТО за счет ресурсов инструментального отдела предприятия. В ИНО эта работа выполняется в течении 1—3 сут.

Подразделения, входящие в структуру ИНО, располагают следующими ресурсами по удовлетворению потребностей цехов в СТО. Центральный инструментальный склад (ЦИС) получает и хранит СТО всех наименований, поступающие со стороны (от внешних поставщиков) и из инструментального производства предприятия. Бюро покупного инструмента и оснастки (БПИ) располагает информацией об ожидаемых поступлениях СТО со стороны в течение текущего месяца, квартала. Планово-экономическое бюро (ПЭБ) инструментального отдела располагает информацией о плане выполнения заказов инструментальным производством предприятия на месяц, квартал.

По указанию начальника ИНО начальник ЦИС организует работу по проверке наличия идентичных или аналогичных СТО, вышедших из строя в цехе, и в случае их наличия передает их в ИРК цеха-потребителя.

Если востребованных СТО нет в наличии в ПИСе, то в БПИ прорабатывается возможность их получения со стороны в предельно-допустимые сроки. Если это невозможно, то в ПЭБ инструментального отдела прорабатывается вопрос возможности срочного изготовления СТО в предельно-допустимые сроки в инструментальном производстве предприятия. При отсутствии возможности начальник ИНО принимает решение о включении дефицитных позиций СТО в план поставок со стороны или в план инструментального производства предприятия.

В этом случае предметы производства, находящиеся в не-

завершенном производстве в цехах предприятия, не обеспеченные необходимыми для их изготовления дефицитными СТО, попадают в разряд позиций-кандидатов на отставание от планов их изготовления. Последнее может привести к срыву плановых сроков изготовления продукции цехами основного производства, а в конечном итоге — срыву плановых сроков поставок продукции предприятия внешнему потребителю.

Рассмотренная типовая процедура реакции на возникающие сбои в выполнении участком цеха работ по причине выхода из строя СТО демонстрирует известную проблему иерархических систем управления объектами, а именно: низкую скорость передачи информации снизу вверх и соответственно сверху вниз по ступеням иерархии. Разрешение данной проблемы представляется возможным путем применения специализированных систем распознавания сбоев в производственно-хозяйственной деятельности подразделений предприятия.

Применение данных систем в составе автоматизированных информационных систем управления производственно-хозяйственной деятельностью подразделений предприятия позволит за весьма короткие интервалы времени (измеряемые секундами) устанавливать уровни управления, полномочные в разрешении возникающих сбойных ситуаций, существенно сократить время на принятие и реализацию решений по их разрешению в производственных подразделениях, вспомогательных производствах и обеспечивающих службах предприятия.

Рассмотрим основные этапы построения одного из возможных вариантов специализированной системы распознавания уровня управления, полномочного в разрешении сбоя в выполнении работы на участке цеха в ходе смены, вызванного неисправностью СТО, обозначив ее РС № 1.

Этап № 1. Выбор принципа классификации. Принцип классификации, являющийся основой разбиения множества распознаваемых ситуаций на классы, для рассматриваемой системы можно сформулировать, ориентируясь на ее назначение [2, 3]. В качестве принципа классификации целесообразно использовать сведения о количестве уровней управления на предприятии, располагающими ресурсами для ликвидации причины сбоя. Анализируя рассмотренную выше типовую процедуру устранения причины, повлекшей сбой, устанавливаем, что таких уровней три: первый (нижний) внутрицеховой, второй (средний) межцеховой и третий (верхний) заводской.

Этап № 2. Разработка алфавита классов. В соответствии с установленным принципом классификации в алфавит классов ситуаций данной системы распознавания целесообразно включить четыре непересекающиеся класса: Y_1 — СТО, применяемые для выполнения работ, включенных в сменное задание участку цеха, исправны; Y_2 — при выполнении работы имеет место неисправность СТО, ресурсы цеха позволяют осуществить его замену; Y_3 — при выполнении работы имеет место неисправность СТО, ресурсы цеха не позволяют, а ресурсы межцехового уровня позволяют осуществить его замену; Y_4 — при выполнении работы имеет место неисправность СТО, ресурсы только заводского уровня позволят осуществить его замену.

Во время отсутствия сбоев данная система должна распознать класс ситуаций Y_1.

Если в ходе смены происходят сбои в работе по причине неисправности СТО, то при появлении информации о наличии сбоя система распознавания должна распознать класс Y_2, Y_3 или Y_4. Класс Y_2 укажет на то, что ликвидация причины сбоя возможна за счет ресурсов нижнего (внутрицехового) уровня управления инструментальным обеспечением работ, включенных в сменное задание. Класс Y_3 — на необходимость привлечения ресурсов среднего (межцехового) уровня управления инструментальным обеспечением работ. Класс Y_4 — на необходимость привлечения ресурсов верхнего (заводского) уровня управления инструментальным обеспечением работ.

Этап № 3. Формирование рабочего словаря признаков. В рабочий словарь признаков данной системы распознавания следует включить такие информативные признаки, которые позволили бы выполнить однозначное описание указанных непересекающихся классов ситуаций, имеющих место при выполнении работ сменного задания: U_1 — наличие сведений о неисправном СТО, являющимся причиной сбоя выполнения сменного задания участком цеха; U_2 — наличие возможности организации срочного ремонта неисправного СТО силами ремонтной инструментальной мастерской цеха за допустимый интервал времени на задержку выполнения работы на рабочем месте; U_3 — наличие идентичного исправного СТО в ИРК данного цеха; U_4 — вышедшее из строя СТО возможно заменить аналогичным СТО; U_5 — наличие аналогичного СТО в ИРК данного цеха; U_6 — наличие идентичного исправного СТО в ИРК смежного цеха (производственного подразделения); U_7 — наличие идентичного исправного СТО в ЦИСе предприятия; U_8 — наличие аналогичного СТО в ИРК смежного цеха (производственного подразделения); U_9 — наличие аналогичного СТО в ЦИСе предприятия; U_{10} — наличие возможности срочного изготовления идентичного и(или) аналогичного либо только идентичного СТО в инструментальном производстве предприятия; U_{11} — наличие возможности экстренной поставки идентичного и(или) аналогичного либо только идентичного СТО в ЦИС предприятия со стороны; U_{12} — наличие возможности включения в план поставок со стороны или в план инструментального производства предприятия идентичное и(или) аналогичное либо только идентичное СТО.

Рассматриваемые признаки логические. Они принимают два значения: "истинно", если идентифицируемый признаком факт установлен (признаку присваивается значение единица), или "ложно", если идентифицируемый признаком факт не установлен (признаку присваивается значение нуля):

$$U_n = \begin{cases} 1, \text{ если факт установлен} \\ 0, \text{ если факт не установлен} \end{cases}, \; n = 1, \ldots, 12.$$

Этап № 4. Описание классов ситуаций на языке признаков. Описание классов системы распознавания ситуаций, связанных с поломками СТО при выполнении работ сменного задания участку цеха, для установления уровня управления, полномочного в разрешении причины сбоя, используя аппарат алгебры логики, представим в следующем виде:

$$Y_1 = \overline{U}_1, \quad (1)$$

$$Y_2 = U_1 \times U_2 + U_1 \times \overline{U}_2 \times U_3 + U_1 \times \overline{U}_2 \times \overline{U}_3 \times U_4 \times U_5, \quad (2)$$

$$Y_3 = U_1 \times \overline{U}_2 \times \overline{U}_3 \times (U_6 + U_4 \times \overline{U}_5 \times U_8), \quad (3)$$

$$Y_4 = U_1 \times \overline{U}_2 \times \overline{U}_3 \times (\overline{U}_6 \times U_7 + U_4 \times \overline{U}_5 \times \overline{U}_8 \times U_9) + U_1 \times \overline{U}_2 \times \overline{U}_3 \times (\overline{U}_6 \times \overline{U}_7 + U_4 \times \overline{U}_5 \times \overline{U}_8 \times \overline{U}_9) \times (U_{10} + U_{11} + U_{12}) + U_1 \times \overline{U}_2 \times \overline{U}_3 \times (\overline{U}_6 \times \overline{U}_7 + U_4 \times \overline{U}_5 \times \overline{U}_8 \times \overline{U}_9) \times (\overline{U}_{10} \times \overline{U}_{11} \times \overline{U}_{12}). \quad (4)$$

Этап № 5. Выбор алгоритма распознавания. Алгоритм распознавания ситуаций, связанных с поломками СТО при выполнении работ сменного задания участку цеха для установления уровня управления, компетентного в разрешении причины сбоя, целесообразно построить на основе метода сокращенного базиса. Размер матрицы составит $16 \times 2^{12} = 16 \times 4096 = 65\,536$ бит.

Рассмотрим основные этапы построения одного из возможных вариантов специализированной системы распознавания уровня управления, располагающего достаточными ресурсами для устранения сбоя, вызванного неисправностью СТО, ЛПР, полномочного в разрешении сбойной ситуации, и стандартного решения по организации замены вышедшего из строя СТО при выполнении работ сменного задания. Обозначим эту систему РС № 2.

Этап № 1. Выбор принципа классификации. В качестве принципа классификации в данном случае целесообразно использовать сведения о мощности множества стандартных решений, которые можно применить для ликвидации причины сбоя.

Множество стандартных управленческих решений по разрешению проблемных ситуаций, связанных с поломками СТО, включает три типа решений.

Первый тип решений вырабатывается и принимается нижним уровнем управления производством, то есть внутрицеховым уровнем. В состав ЛПР нижнего уровня управления произ-

водством могут входить начальник ИРК, начальник БИХ, мастер производственного участка, начальник цеха.

Второй — средним уровнем управления производством, т. е. межцеховым. В состав ЛПР среднего уровня управления производством могут входить начальник цеха-потребителя, начальник цеха-поставщика, начальники производственного и инструментального отделов предприятия.

Третий — верхним уровнем управления производством, т. е. заводским уровнем. В состав ЛПР верхнего уровня управления производством могут входить руководители подразделений инструментального отдела предприятия (начальник ИНО, заведующий ЦИС, начальник ПЭБ, начальник БПИ, начальник инструментального производства) и руководитель ПО предприятия.

Обозначим первый тип решений индексом 1, второй — 2, а третий — 3. Каждое решение закрепим за соответствующим ЛПР. Тогда указанное множество включает следующие решения: r_0^1 — организовать срочный ремонт неисправного СТО силами ремонтной инструментальной мастерской цеха за допустимый интервал времени на задержку выполнения работы на рабочем месте (состав ЛПР: мастер участка, начальник БИХ цеха); r_1^1 — доставить идентичное исправное СТО на рабочее место из ИРК данного цеха (состав ЛПР: мастер участка, начальник ИРК); r_2^1 — доставить годное для выполнения работы аналогичное СТО на рабочее место из ИРК данного цеха (состав ЛПР: мастер участка, начальник ИРК, технолог цеха); r_3^2 — доставить идентичное исправное СТО в ИРК данного цеха из ИРК смежного цеха (состав ЛПР: начальник цеха-потребителя, начальник ПО, начальник цеха-поставщика); r_4^2 — доставить годное для выполнения работы аналогичное СТО в ИРК данного цеха из ИРК смежного цеха (состав ЛПР: начальник цеха-потребителя, начальник ПО, начальник цеха-поставщика); r_5^3 — доставить идентичное исправное СТО в ИРК цеха из центрального инструментального склада (ЦИС) предприятия (состав ЛПР: начальник цеха-потребителя, начальник ИНО, начальник ЦИС); r_6^3 — доставить годное для выполнения работы аналогичное СТО в ИРК цеха из ЦИС предприятия (состав ЛПР: начальник цеха-потребителя, начальник ИНО, начальник ЦИС); r_{10}^3 — принять нестандартное (оригинальное) решение (состав ЛПР: начальник ПО, начальник ИНО); r_{11}^3 — осуществить экстренную внешнюю (со стороны) поставку идентичного СТО в ЦИС предприятия (состав ЛПР: начальник ИНО, начальник БПИ); r_{12}^3 — осуществить экстренную внешнюю (со стороны) поставку аналогичного СТО в ЦИС предприятия (состав ЛПР: начальник ИНО, начальник БПИ); r_{13}^3 — включить в план поставок со стороны идентичное СТО (состав ЛПР: начальник ИНО, начальник БПИ); r_{14}^3 — включить в план поставок со стороны аналогичное СТО (состав ЛПР: начальник ИНО, начальник БПИ); r_{15}^3 — срочно изготовить идентичное СТО в инструментальном производстве предприятия и передать в ЦИС предприятия (состав ЛПР: начальник ИНО, начальник ПЭБ и начальник инструментального производства (ИП)); r_{16}^3 — срочно изготовить аналогичное СТО в инструментальном производстве предприятия и передать в ЦИС предприятия (состав ЛПР: начальник ИНО, начальник ПЭБ и начальник ИП); r_{17}^3 — включить в план инструментального производства предприятия идентичное СТО (состав ЛПР: начальник ИНО, начальник ПЭБ и начальник ИП); r_{18}^3 — включить в план инструментального производства предприятия аналогичное СТО (состав ЛПР: начальник ИНО, начальник ПЭБ и начальник ИП).

Этап № 2. Разработка алфавита классов. В системах распознавания, функционирующих в организациях для нахождения стандартных управленческих решений, в качестве принципа классификации часто используют информацию о мощности множества стандартных решений, применяемых для разрешения исследуемого множества проблемных ситуаций. В соответствии с указанным принципом каждому стандартному решению множества должен соответствовать определенный класс в алфавите классов распознающей системы. Такой подход к построению алфавита классов системы распознавания правомерен, если в словарь признаков распознающей системы можно включить достаточное количество информативных признаков для описания непересекающихся классов установленного алфавита на языке признаков.

Однако может возникнуть необходимость соотнести определенную совокупность стандартных решений (альтернатив), принадлежащих соответствующему множеству, с определенным классом проблемных ситуаций, т. е. в системе распознавания одному (или ряду) из классов установленного алфавита могут соответствовать несколько решений. Если в процессе функционирования системы распознавания возникнет проблемная ситуация, принадлежащая такому классу, то после его распознавания необходимо выбрать наиболее рациональную альтернативу в условиях наличия установленных критериев и имеющихся ограничений.

В рассматриваемой системе распознавания множество решений по организации поставки в ЦИС предприятия дефицитных СТО со стороны либо из собственного инструментального производства ($r_{11}^3 — r_{18}^3$) целесообразно отнести к одному классу. Целесообразность такого соображения обусловлена необходимостью выбора стандартного решения из множества возможных альтернатив с учетом установленного временного или(и) финансово-стоимостного критерия. Такой подход к построению алфавита классов данной системы распознавания правомерен, поскольку в рассматриваемом случае использования указанных критериев выбора единственного решения словарь признаков распознающей системы не может содержать достаточное количество информативных признаков для описания непересекающихся классов, соответствующих каждому решению $r_{11}^3 — r_{18}^3$, устанавливаемого алфавита на языке признаков.

В алфавит классов ситуаций данной системы распознавания целесообразно включить 10 непересекающихся классов. Первым 7-ми классам ($R_0^1 — R_6^3$) соответствуют 7 решений ($r_0^1 — r_6^3$); 8-му классу (R_7^3) соответствует множество решений по организации поставки в ЦИС предприятия дефицитных СТО со стороны либо из собственного инструментального производства ($r_{11}^3 — r_{18}^3$); 9-му классу (R_8^3) соответствует решение о необходимости разработки оригинального решения (r_{10}^3); 10-й класс (R_9^1) необходим для информирования персонала цеха о том, что в данный момент времени на производственный процесс не действуют возмущения, обусловленные неисправностью применяемых СТО.

Алфавит классов распознающей системы РС № 2 включает следующие классы: R_0^1 — возможна организация срочного ремонта неисправного СТО силами ремонтной инструментальной мастерской цеха за допустимый интервал времени на задержку выполнения работы на рабочем месте; R_1^1 — идентичное исправное СТО имеется в ИРК данного цеха; R_2^1 — годное для выполнения работы аналогичное СТО имеется в ИРК данного цеха; R_3^2 — идентичное исправное СТО имеется в ИРК смежного цеха (производственного подразделения); R_4^2 — годное для выполнения работы аналогичное СТО имеется в ИРК смежного це-

ха; R_5^3 — идентичное исправное СТО имеется в ЦИСе предприятия; R_6^3 — годное для выполнения работы аналогичное СТО имеется в ЦИСе предприятия; R_7^3 — возможна поставка дефицитного СТО в ЦИС предприятия; R_8^3 — разрешить проблему стандартными решениями невозможно; R_9^1 — СТО, применяемые для выполнения работ, включенных в сменное задание участку цеха, исправны.

Этап № 3. Формирование рабочего словаря признаков. В рабочий словарь признаков данной системы распознавания следует включить такие информативные признаки, которые позволили бы выполнить однозначное описание непересекающихся классов ситуаций, имеющих место при выполнении работ сменного задания: U_1—U_9 — аналогичные применяемым в системе распознавания РС № 1; U_{10}^1 — наличие возможности экстренной поставки идентичного СТО в ЦИС предприятия со стороны; U_{11}^1 — наличие возможности экстренной поставки аналогичного СТО в ЦИС предприятия со стороны; U_{12}^1 — наличие возможности включения идентичного СТО в план поставок со стороны; U_{13} — наличие возможности включения аналогичного СТО в план поставок со стороны; U_{14} — наличие возможности срочного изготовления идентичного СТО в инструментальном производстве предприятия; U_{15} — наличие возможности срочного изготовления аналогичного СТО в инструментальном производстве предприятия; U_{16} — наличие возможности включения идентичного СТО в план инструментального производства предприятия; U_{17} — наличие возможности включения аналогичного СТО в план инструментального производства предприятия.

Рассматриваемые признаки логические. Они принимают два значения: "истинно", если идентифицируемый признаком факт установлен (признаку присваивается значение 1), или "ложно", если идентифицируемый признаком факт не установлен (признаку присваивается значение 0):

$$U_n = \begin{cases} 1, \text{ если факт установлен} \\ 0, \text{ если факт не установлен} \end{cases}, \; n = 1, \ldots, 17.$$

Этап № 4. Описание классов ситуаций на языке признаков. Описание классов системы распознавания уровней управления, ЛПР и стандартных решений по организации замены вышедших из строя СТО при выполнении работ сменного задания участку цеха, используя аппарат алгебры логики, представим в следующем виде:

$$R_0^1 = U_1 \times U_2; \quad (1)$$

$$R_1^1 = U_1 \times \overline{U}_2 \times U_3; \quad (2)$$

$$R_2^1 = U_1 \times \overline{U}_2 \times \overline{U}_3 \times U_4 \times U_5; \quad (3)$$

$$R_3^2 = U_1 \times \overline{U}_2 \times \overline{U}_3 \times U_6 \times (U_4 \times \overline{U}_5 + \overline{U}_4); \quad (4)$$

$$R_4^2 = U_1 \times \overline{U}_2 \times \overline{U}_3 \times U_4 \times \overline{U}_5 \times \overline{U}_6 \times U_8; \quad (5)$$

$$R_5^3 = U_1 \times \overline{U}_2 \times \overline{U}_3 \times \overline{U}_6 \times U_7 \times (U_4 \times \overline{U}_5 \times \overline{U}_8 + \overline{U}_4); \quad (6)$$

$$R_6^3 = U_1 \times \overline{U}_2 \times \overline{U}_3 \times U_4 \times \overline{U}_5 \times \overline{U}_6 \times \overline{U}_7 \times \overline{U}_8 \times U_9; \quad (7)$$

$$R_7^3 = U_1 \times \overline{U}_2 \times \overline{U}_3 \times \overline{U}_6 \times \overline{U}_7 \times U_4 \times \overline{U}_5 \times \overline{U}_8 \times \overline{U}_9 \times \times (U_{11}^1 + U_{13} + U_{15} + U_{17}) + U_1 \times \overline{U}_2 \times \overline{U}_3 \times \overline{U}_6 \times \times \overline{U}_7 \times \overline{U}_4 \times (U_{10}^1 + U_{12}^1 + U_{14} + U_{16}); \quad (8)$$

$$R_8^3 = U_1 \times \overline{U}_2 \times \overline{U}_3 \times \overline{U}_6 \times \overline{U}_7 \times U_4 \times \overline{U}_5 \times \overline{U}_8 \times \overline{U}_9 \times \times \overline{U}_{11}^1 \times \overline{U}_{13} \times \overline{U}_{15} \times \overline{U}_{17} + U_1 \times \overline{U}_2 \times \overline{U}_3 \times \overline{U}_6 \times \overline{U}_7 \times \times U_4 \times \overline{U}_{10}^1 \times \overline{U}_{12}^1 \times \overline{U}_{14} \times \overline{U}_{16}; \quad (9)$$

$$R_9^1 = \overline{U}_1. \quad (10)$$

Этап № 5. Выбор алгоритма распознавания. Алгоритм распознавания ситуаций, связанных с поломками СТО при выполнении работ сменного задания участку цеха, для выработки стандартных решений по замене вышедших из строя СТО можно построить на основе метода сокращенного базиса. Размер матрицы составит $27 \times 2^{17} = 27 \times 131\,072 = 3\,538\,944$ бит.

В системе распознавания РС № 2 выбор решений $r_{11}^3 - r_{18}^3$ ($\{r_j^3\}$ $j = 1, \ldots, n$) целесообразно осуществлять с учетом денежных затрат на их реализацию и финансовых издержек, вызываемых ожидаемым невыполнением плановых сроков поставок продукции потребителям (заказчикам) по причине превышения длительностей интервалов времени реализации принимаемых решений по обеспечению производства дефицитными СТО максимально допустимых.

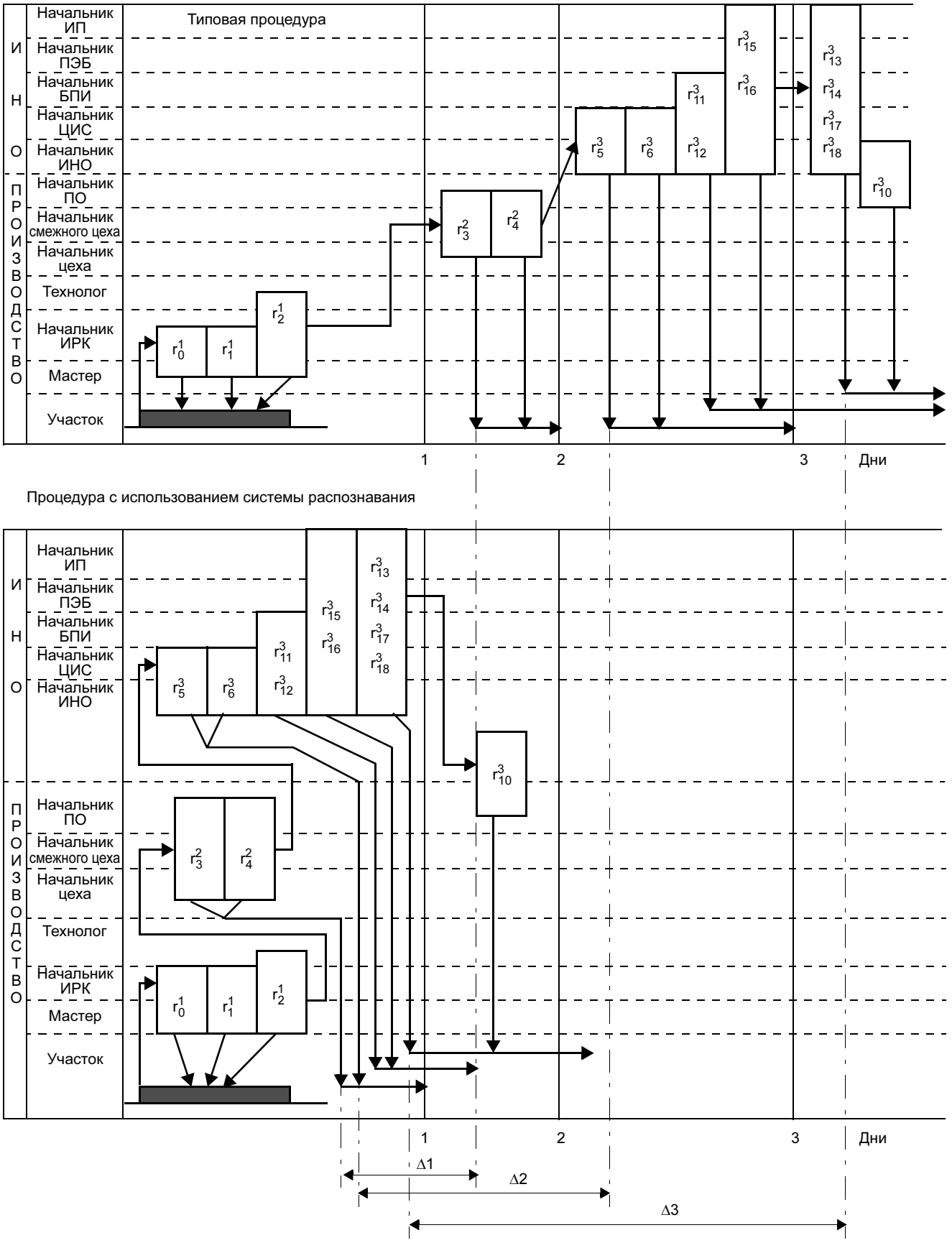
Система распознавания РС № 2 отнесет возникшую проблемную ситуацию в обеспечении производственного процесса требуемым СТО к классу R_7^3 в том случае, если в подразделениях предприятия не окажется в наличии идентичного или аналогичного СТО, а некоторые признаки U_{10}^1—U_{17}, в общем случае все, примут значение единицы.

Не нулевое значение признака U_{10}^1 порождает возможность принятия решения r_{11}^3, признака U_{11}^1 соответственно — решения r_{12}^3 и так далее. Совокупность решений, которым соответствуют не нулевые значения признаков U_{10}^1—U_{17}, образует множество допустимых решений в конкретно возникшей проблемной ситуации, т. е. инструментальная служба предприятия в горизонте управления располагает различными вариантами допустимых решений по организации поставки дефицитного СТО i-го наименования в ЦИС.

Персонал инструментального отдела в интерактивном режиме работы с системой распознавания вносит информацию о длительности интервалов времени реализации допустимых решений в рабочих днях Δt_m^i, $m \in 1, \ldots, n$ и денежных затратах в рублях на их реализацию C_m^i, $m \in 1, \ldots, n$.

Производственный отдел предприятия устанавливает предельно допустимую длительность интервала времени задержки невыполненной работы в рабочих днях, не приводящей к срыву плановых сроков выпуска изделий, в которых используются не изготовленные предметы производства, т. е. устанавливается максимально допустимая продолжительность интервала времени на поставку дефицитных СТО i-го наименования $\Delta t_{\max}^i$.

Информация о $\Delta t_{\max}^i$ поступает в блок выбора оптимального решения системы распознавания, а об изделиях, по которым возможен срыв плановых сроков выпуска, — в планово-экономический отдел (ПЭО) предприятия. Персонал ПЭО устанавливает величину издержек C_P в рублях за каждый день невыполнения плановых сроков поставок продукции потребителю (заказчику), которая поступает в блок выбора оптимального решения системы распознавания. Множество допустимых решений по разрешению возникшей проблемной ситуации r_m^{3i}, $m \in 1, \ldots, n$ разбивается на два подмножества: R_g^i, включающее решения r_m^{3i}, у которых $\Delta t_m^i \leqslant \Delta t_{\max}^i$, $m \in 1, \ldots, n$, и R_q^i, включающее решения r_m^{3i}, у которых $\Delta t_m^i > \Delta t_{\max}^i$, $m \in 1, \ldots, n$.



Процедура организации замены вышедшего из строя СТО в процессе выполнения сменного задания

ISSN 1562-322X. Технология машиностроения. 2007. № 1

Для каждого решения, принадлежащего подмножеству допустимых решений R_g^i, устанавливается значение стоимостного критерия — суммарной величины затрат финансов на реализацию выбранного решения $C_{m\Sigma}^i$, включающую как величину денежных затрат на реализацию выбранного решения C_m^i, так и финансовых издержек, связанных с невыполнением плановых сроков поставок продукции потребителю (заказчику), C_{mP}^i = $= C_p(\Delta t_{\max}^i - \Delta t_m^i)$: $C_{m\Sigma}^i = C_m^i + C_{mP}^i$, $m \in 1, ..., n$. Для каждого решения, принадлежащего подмножеству допустимых решений R_g^i, стоимостным критерием является установленная величина денежных затрат на реализацию выбранного решения C_m^i. Осуществляется упорядочение допустимых решений r_m^{3i}, $m \in 1, ..., n$ по возрастанию значений стоимостного критерия выбора наилучшего решения, в качестве оптимального выбирается решение с наименьшим значением.

Задачу выбора оптимального решения из множества допустимых решений по организации поставки в ЦИС предприятия дефицитного СТО i-го наименования r_m^{3i}, $m \in 1, ..., n$ можно рассматривать так же как многокритериальную. Один из критериев может быть стоимостным, например аналогичным рассмотренному выше критерию осуществления выбора единственного решения из множества допустимых решений в системе распознавания РС № 2. Второй критерий может характеризовать временной аспект оцениваемых решений, например длительность интервалов времени реализации допустимых решений в рабочих днях Δt_m^i, $m \in 1, ..., n$.

Оптимальное решение указанной задачи должно обеспечивать как минимум денежных затрат на реализацию принятого решения, так и минимальную длительность интервала времени реализации принятого решения. После формирования подмножеств допустимых решений R_g^i и R_q^i и соответственно стоимостного критерия для каждого из них C_m^i и $C_{m\Sigma}^i$ следует от множества допустимых решений перейти к множеству эффективных решений в условиях решаемой двухкритериальной задачи. Множество эффективных решений формируется из множества допустимых решений путем отбрасывания из последнего непредпочтительных решений, т. е. таких, для каждого из которых во множестве допустимых решений существует хотя бы одно, более предпочтительное одновременно по двум установленным показателям оценки качества принимаемых решений. Если множество эффективных решений содержит более одного решения, то для выбора из него оптимального по двум установленным показателям оценки качества принимаемых решений необходимо воспользоваться известными методами решения многокритериальных задач, например, формированием глобального критерия на основе дополнительной информации о значимости каждого частного критерия или рядом других методов.

Специализированная система распознавания РС № 2 при возникновении сбоев за весьма ограниченный отрезок времени, измеряемый десятками секунд, несколькими минутами, способна осуществить их диагностику: установить уровни иерархии управления предприятием, располагающие необходимыми ресурсами для разрешения возникших сбойных ситуаций; выработать стандартные управленческие решения, направленные на разрешение возникших сбойных ситуаций; сформировать состав групповых или индивидуальных лиц, принимающих решения по ликвидации сбоев в реальном масштабе времени.

Для наглядности демонстрации сокращения времени на принятие идентичных решений по осуществлению замены вышедшего из строя СТО при применении системы распознавания РС № 2 приведем (см. рисунок) традиционную (типовую) процедуру ликвидации сбоя и аналогичную процедуру с применением системы распознавания. Видно, что чем сложнее возникшая сбойная ситуация, тем существенно бóльший отрезок времени экономится на принятие идентичного решения при применении системы распознавания в сравнении с традиционной процедурой. Наглядно демонстрируется существенное увеличение скорости поступления информации компетентному ЛПР для принятия адекватного решения по ликвидации сбоя.

Таким образом, применение специализированных систем распознавания в рамках иерархических систем управления объектами позволит изменить принятую традиционную технологию межуровневого взаимодействия по разрешению возникающих в процессе их функционирования сбоев за счет адресного установления: полномочного в ликвидации сбоя уровня управления, возможных решений по разрешению возникающих сбоев и ЛПР в реальном масштабе времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Климов А. Н., Оленев И. Д., Соколицын С. А.* Организация и планирование производства на машиностроительном заводе: Учебник для студентов вузов. Л.: Машиностроение, 1973. 496 с.
2. *Горелик А. Л., Скрипкин В. А.* Методы распознавания: Учеб. пособие для вузов. 4-е изд., испр. М.: Высшая школа, 2004. 261 с.
3. *Мыльник В. В., Титаренко Б. П., Волочиенко В. А.* Исследование систем управления: Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Академический Проект; Екатеринбург: Деловая книга, 2003. 352 с.

Н. Г. АГЕЕВА, канд. экон. наук
Московский авиационный институт (государственный технический университет)

Методология обеспечения конкурентных преимуществ предприятий авиастроения

Для эффективной работы в настоящее время, сохранения и повышения уровня конкурентоспособности в будущем авиационные предприятия должны полностью пересмотреть концепцию своего развития, обновить ключевые стратегии и заново пересмотреть возможности отрасли.

Основная проблема, с которой сталкивается каждое авиационное предприятие, формируя конкурентное преимущество — это прогнозирование доли будущих возможностей на рынках, на которую оно может рассчитывать, исходя из имеющихся навыков и умений (ключевых компетенций). Поэтому необходимо решать, какие новые возможности нужно создавать, как использовать существующие навыки, которые могут привести к новым возможностям.

Авиационные предприятия должны быть готовы не только к изменениям видов бизнеса и сокращению ресурсов, перестройке технологических процессов, но и к их непрерывному улучше-

нию на основе обновления стратегий развития. Предприятие уступит в бизнесе в будущем, если достигает наилучших показателей, принципиально при этом не меняясь.

В настоящее время конкуренция в наукоемких отраслях — это конкуренция не отдельных видов продукции/сервиса или бизнес-единиц — это конкуренция между компаниями. Ведь возможности определяются не рамками отдельных продуктов или бизнес-единиц — это должны быть общефирменные возможности, распространяющиеся на ряд направлений бизнеса и требующие значительных ресурсов и сфер применения. Победить в конкуренции сможет та компания, которая располагает более широкими возможностями в организации, управлении, технике, технологии, производстве, НИОКРе по сравнению с конкурирующей фирмой.

Конкуренция сегодня выходит за рамки, например, рынка авиационной и радиоэлектронной продукции/услуг, и распространяется на предвидение и создание новых границ отрасли за счет развития интеграционных образований. Необходимо учитывать эту глубокую по содержанию конкуренцию, чтобы помочь предприятиям быть готовым к будущему отраслевому развитию, в том числе связанному и с глобализацией.

Поэтому задача обеспечения конкурентных преимуществ должна опираться на оценку уровня, достигнутого конкурентами, предполагать как особенности развития конкуренции в будущем, так и перспективные возможности развития. Авиационные предприятия должны организовать разработку техники новых поколений и ее производство, а также первыми выйти на рынок с новыми продуктами/услугами.

Конкуренция на рынке наукоемкой высокотехнологичной продукции, в том числе авиационной, существует между предприятиями или интеграционными образованиями ряда предприятий. При этом сами предприятия конкурируют в области создания ключевых компетенций, которые превышают ресурсы отдельных производств и их подразделений, поэтому актуальной становится разработка направлений обеспечения конкурентных преимуществ.

Предлагаемая в данной работе методология процесса обеспечения конкурентных преимуществ применима для предприятий наукоемких отраслей, в том числе авиационной отрасли, и включает три четких, перекрывающих друг друга этапа (см. рисунок).

Поэтапное обеспечение конкурентных преимуществ включает конкуренцию за предвидение отраслевого развития и интеллектуальное лидерство, в области управления развитием существующего потенциала отрасли и эффективного использования действующего потенциала на рынке наукоемкой, высокотехнологичной продукции и увеличения рыночной доли на этом рынке.

Главная цель первого этапа — формирование направлений развития системы наукоемких отраслей, позволяющих наиболее полно представить их будущее и сформировать эволюционную модель их развития. Для этого необходимо определить:

- перспективу развития новых разработок продукции/услуг и совершенствование действующих разработок в ближайшие пять, десять лет путем глубокого исследования участников авиационной отрасли и смежных с ней отраслей;
- систему ключевых компетенций, которую потребуется создать или развить для этих разработок на основе творческого подхода к функциональным разработкам в НИОКРе и производстве, а также маркетинговым исследованиям, направленным на усиление взаимоотношений с потребителями;
- новые технологии в разработках и производстве;
- пути взаимодействия интеграционных образований в отрасли.

Поставленные задачи должны дать представление о предполагаемых возможностях развития системы наукоемких отраслей. Но это не простое отслеживание достижений ведущих стран в исследуемых отраслях и копирование их методов. Это самостоятельное понимание возможностей развития наукоемких отраслей в России и путей их использования на основе отечественных компетенций и возможностей.

Глубокое восприятие будущих возможностей основывается и на знании текущего положения отрасли и предположительных изменений в будущем. Необходимо рассмотреть перспективы

Методология поэтапного обеспечения конкурентных преимуществ

исследуемого рынка, его сегментов, концепции предоставляемых продуктов/услуг, выявить движущие силы, потенциально способные глубоко преобразовать отраслевую структуру, обозначить разрывы закономерностей как в своей отрасли, так и смежных отраслях.

Конкуренция за будущее, за потенциальный рынок — это больше соревнование за долю возможностей, чем за долю рынка. Это конкуренция за получение максимальной доли возможностей, к которым предприятие сможет получить доступ. Поэтому, ориентируясь на имеющиеся активы (ключевые компетенции), необходимо предположить будущие возможности и навыки, приводящие к конкурентным преимуществам для создания ценностей.

Именно ключевые компетенции позволяют компаниям создавать новые продукты и быстро адаптироваться к изменениям в технологии и методах производства. В быстро изменяющейся среде бизнеса такой уровень адаптации очень важен, если предприятие или компания хотят создавать или сохранять свои конкурентные преимущества.

Проблема заключается в том, чтобы определить, какие новые компетенции нужно создавать и как изменить существующий рынок, чтобы иметь большую долю будущих возможностей. Часто вопрос может звучать и как использовать существующий потенциал и компетенции, которые должны привести к новым возможностям.

Знание того, как координировать различные производственные навыки, умения, технологии, материальные и информационные потоки, образует целостную, общефирменную способность решать стратегические задачи и обеспечивает производственным предприятиям уникальные качества и долгосрочные преимущества на рынке.

Важно, чтобы в конкуренции за отраслевое лидерство оценка портфеля заказов (совокупность бизнес-единиц предприятия, корпорации) рассматривалась как портфель компетенций, а не только как совокупность бизнес-единиц. В обеспечении конкурентоспособности более важным оказывается выделение ключевых компетенций, а не стратегических бизнес-единиц и производственных подразделений. Именно портфель ключевых компетенций позволит расширить возможности производственных систем и обеспечит широкий выбор потребительских ценностей.

Для оценки, выбора и обоснования системы уникальной ключевой компетенции используются ряд критериев:

— *критерий подхода к потребителю* оценивает, действительно ли потенциальная ключевая компетентность исключительно важна в системе ценностей для потребителя и большой ли вклад вносит деятельность компании, по мнению потребителя;

— *критерий конкурентоспособности* показывает, есть ли у компании преимущества по сравнению с конкурентами, трудно ли данное преимущество воспроизвести, насколько критична потенциальная ключевая компетентность для нынешнего положения в отрасли;

— *критерий стратегического видения* показывает, является ли компания критически важной для отрасли в настоящее время, в какой степени потенциальная ключевая компетентность позволит компании определять будущее отрасли, являются ли достижения компании наивысшими в отрасли.

Итак, конкуренция за отраслевое предвидение и интеллектуальное лидерство — это нахождение оптимального пути перехода из нынешнего состояния в будущее отрасли, это борьба за интеллектуальное лидерство в отрасли, обеспечить которое возможно при эффективном управлении и использовании существующего потенциала отрасли.

Цель второго этапа — обеспечение конкурентоспособности предприятия и его производства. Направлена она на использование будущих возможностей — увеличение степени своего влияния на развитие наукоемкой отрасли и развитие существующего потенциала предприятия, производства.

К основным задачам, позволяющим реализовать данную цель, можно отнести:

— наличие и создание ключевых компетенций как набора взаимосвязанных навыков и технологий, составляющих основу производства и позволяющих предлагать новые направления в продуктах/услугах;

— умение и возможности создавать интеграционные образования (стратегические альянсы, коалиции и т. д.) и управлять ими, обеспечивая тем самым доступность дополнительных ресурсов, имеющихся у других организаций;

— умение создавать, разрабатывать и обобщать новые знания и технологии, отражающие наиболее важные направления развития науки и техники и находящие спрос у потребителей, изменять отношения с потребителями;

— формирование известности и развитие марки (бренда) предприятия, развитой инфраструктуры;

— разработку системы новых стандартов, продуктов/услуг, контроль интеллектуальной собственности;

— продвижение отечественной авиационной продукции за рубеж, в страны третьего мира.

Когда наступает третий — последний — этап обеспечения конкурентоспособности предприятия, она уже завершается в области технологических подходов, концепций товаров или услуг и стратегии распределения. Конкуренция между предприятиями перемещается в сферу борьбы за положение на рынке на основе хорошо известных параметров — стоимости, затрат, цен и услуг. Инновации сводятся к расширению производства, повышению эффективности и получению предельных прибылей от продукции или услуг. Поэтому основная цель третьего этапа обеспечения конкурентоспособности предприятия, производства — это оптимальное использование и развитие существующего (накопленного) потенциала.

Основные задачи:

— оптимизация стратегии, структуры и бизнес-процессов создания продукции/услуг;

— создание сети поставщиков;

— подготовка необходимой стратегии работы на рынке;

— опережение конкурентов на критически важных рынках;

— максимизация эффективности и производительности;

— управление конкурентным взаимодействием.

Основные положения концепции работы на рынке на этом этапе направлены в первую очередь на обеспечение доступа к национальным и международным рынкам. Работая с целевыми сегментами, необходимо учитывать перспективу их роста, а также возможность расширения за счет мировых тенденций развития.

Учитывая благоприятные тенденции развития рынка и лояльное отношение потребителей к бренду предприятия, необходимо расширять существующие и развивать смежные направления деятельности. Основные используемые параметры на этом этапе — стоимость, уровень затрат, цен и разнообразие продуктов/услуг. Необходима максимизация эффективности и производительности, управление конкурентным взаимодействием. Инновации должны быть направлены на расширение видов продукции/услуг.

Таким образом, перспективная стратегия развития авиационной отрасли и предприятий в ней должна быть направлена в первую очередь на повышение конкурентоспособности. Обеспечение высокого уровня конкурентоспособности возможно только в результате накопления потенциала при реализации трех перекрывающих друг друга временных этапов развития, требующих на каждом этапе своей системы факторов и предпосылок, способствующих развитию конкурентоспособности.

В. Н. МАШКОВ, канд. техн. наук, М. П. ИГНАТОВ, канд. техн. наук
ФГУП "ММПП "Салют"

Целевая подготовка специалистов в ИЦПС ФГУП "ММПП "Салют"

По инициативе "МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского в 1998 г. в ФГУП "ММПП "Салют" создан Институт целевой подготовки специалистов по двигателестроению (ИЦПС) — филиал МАТИ, на котором в настоящее время обучаются 10 групп студентов вечернего отделения МАТИ и 2 группы студентов дневного отделения. Наряду с этим в компьютерном классе ИЦПС ведутся занятия со студентами целевой подготовки специалистов для предприятия филиала кафедры МАИ "Конструкция и проектирование двигателей". Кроме того, ИЦПС проводит целевую подготовку студентов девяти колледжей Москвы по рабочим профессиям для ММПП "Салют". В табл. 1 приведены колледжи, с которыми заключены договоры на подготовку специалистов по рабочим профессиям.

ИЦПС разработаны следующие предложения по учебному плану подготовки студентов по рабочим профессиям.

1. По всем специальностям планировать проведение двух производственных практик по освоению рабочих профессий: для обучения начальным навыкам (проводится на 2-м курсе в колледже, продолжительность 1 мес.) и освоения и аттестации по рабочей профессии (проводится на 3-м курсе на "ММПП "Салют", продолжительность 2 мес.).

2. Перед второй производственной практикой в теоретической части обучения должны преподаваться машиностроительное черчение, конструкторская документация; материаловедение; допуски и посадки; основы технических измерений; станки и оборудование, инструмент; система менеджмента качества; понятие о технологическом процессе и техника безопасности.

В 2004 г. целевую подготовку по рабочим профессиям прошли 86 студентов колледжей.

ФГУП "ММПП "Салют" заключены договоры о сотрудничестве с ведущими техническими вузами Москвы: "МАТИ"—РГТУ

Таблица 1

Колледж	Рабочая профессия	Число подготовленных специалистов по годам		
		2004 г.	2005 г.	2006 г.
МКАМ	Токарь	25	25	25
	Фрезеровщик	20	20	20
	Шлифовщик	5	5	5
	Слесарь-сборщик АД	15	20	20
	Термист	10	10	10
	Испытатель-механик АД	10	10	10
	Контролер станочных работ	15	10	10
	ИТОГО	100	100	100
МК политехнический	Термист	10	10	10
	Электромонтажник	10	10	10
	Электрик	10	10	10
	Литейщик	10	10	10
	Контролер	10	10	10
	Слесарь механо-сборочных работ	10	10	10
	ИТОГО	60	60	60
МК промышленно-экономический	Слесарь-ремонтник оборудования	20	20	20
	Гальваник	5	5	5
	Электрик	15	15	15
	Слесарь по КИП	7	7	7
	ИТОГО	47	47	47
МК управления и новых технологий	Программист	5	5	5
	ИТОГО	5	5	5

Колледж	Рабочая профессия	Число подготовленных специалистов по годам		
		2004 г.	2005 г.	2006 г.
МК автомобилестроительный	Сварщик	15	15	15
	Токарь	5	5	5
	Фрезеровщик	5	5	5
	ИТОГО	25	25	25
МК математический	Программист	5	5	5
	ИТОГО	5	5	5
МТ космического приборостроения	Оператор станков с ЧПУ	2	10	10
	Контролер на КИМ с ЧПУ	2	5	5
	Слесарь-приборист	2	7	7
	Наладчик КИП и автоматики	2	12	12
	ИТОГО	8	34	34
МК станкостроения, экономики и управления	Токарь	—	5	5
	Фрезеровщик	—	5	5
	Слесарь-инструментальщик	—	5	5
	Оператор станков с ЧПУ	—	5	5
	ИТОГО	—	20	20
МК политехнический № 19	Токарь	25	25	25
	Фрезеровщик	20	20	20
	Слесарь механо-сборочных работ	25	25	25
	ИТОГО	75	75	75

ISSN 1562-322X. Технология машиностроения. 2007. № 1

Таблица 2

Специальность, номер специальности
Турбостроение, 1014
Двигатели внутреннего сгорания, 1012
Динамика и прочность машин, 0711
Технология машиностроения, 1201
Металлообрабатывающие станки и комплексы, 1202
Материаловедение и технология новых материалов, 5516
Менеджмент организации (экономисты), 0611
Машины и технология литейного производства, 1203
Машины и технология обработки металлов давлением, 1204
Оборудование и технология сварочного производства, 1205
Машины и технология высокоэффективных процессов обработки, 1207
Материаловедение в машиностроении, 1208
Проектирование технических и технологических комплексов, 1209
Производство конструкций из композиционных материалов, 1210
Инструментальные системы машиностроительного производства, 1213
Автоматизация технологических процессов и производств, 2102
Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, 3207
Безопасность жизнедеятельности, 3301
Авиационные двигатели и энергетические установки, 1302
Защита окружающей среды, 5535
Металлургия сварочного производства, 1107
Обработка металлов давлением, 1106
Управление качеством, 3401
Литейное производство черных и цветных металлов, 1104
Техническая эксплуатация ЛА и АД, 1303

им. К. Э. Циолковского, МГТУ им. Н. Э. Баумана, МФТИ (Технический университет), МГТУ "МАИ", МГТУ "МАМИ", МГТУ "СТАНКИН", МГТУ МИСиС, факультетом "ВМК" МГУ, МГТУ "МЭИ", МГТУ ГА и МГАПИ.

В соответствии с договорами на предприятии проходят производственную практику студенты вузов по широкому кругу специальностей (табл. 2).

Студенты целевой подготовки МАТИ по кафедре "Технология производства двигателей летательных аппаратов" осваивают рабочие профессии токаря и фрезеровщика в период ознакомительной практики и профессию оператора станка с ЧПУ во время первой технологической практики. Обучение проводится в учебном цехе предприятия и производственных цехах. Ежегодно на предприятии проходят практику свыше 1500 студентов вузов и колледжей Москвы.

ИЦПС ведет работу по заключению договоров о целевой контрактной подготовке студентов "МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского. Начиная с 1999 г. заключено более 100 договоров — контрактов со студентами двух кафедр.

Для повышения уровня подготовки специалистов и поощрения студентов целевой подготовки, достигших лучших результатов в учебе, приказом по предприятию установлены премии "ММПП "Салют": 10 премий — для студентов вечернего отделения филиала МАТИ, 12 — для студентов целевой подготовки дневного отделения. Премии вручаются по итогом учебного года по представлению ИЦПС.

Кроме того, предприятием установлены именные стипендии, выплачиваемые студентам вузов, заключившим договор с ММПП "Салют" на целевую подготовку и последующее трудоустройство.

ИЦПС организует подготовку специалистов высшей квалификации в целевой аспирантуре МАТИ.

Предприятием ведется целенаправленная профессионально-ориентационная работа со школьниками подшефных школ и лицея № 1550. Систематически организуются посещения предприятия школьниками, участниками НТК "Шаг в будущее" МГТУ им. Н. Э. Баумана, участниками выставки "Профессии в современном производстве" ВАО и др. ИЦПС участвовал в организации олимпиады по истории авиации и воздухоплавания среди школьников и учащихся лицеев, конференции школьников, посвященной 100-летию В. П. Чкалова.

Содержание зарубежных журналов[1]

IDR (Industrial Diamond Review) (N 1, 2006, Великобритания)

Tuffy K. et al. Абразивная обработка чугуна с шаровидным графитом кругами из кубического нитрида бора, с. 33—37, ил. 13, библ. 11.

Рассмотрены области применения чугуна с шаровидным графитом, обусловленные его свойствами (высокими прочностью, демпфирующей способностью, износостойкостью и усталостной прочностью и удовлетворительной обрабатываемостью). Из такого чугуна изготовляют кулачковые и коленчатые валы, обкладки поршней, зубчатые колеса, ступицы колес, поршневые кольца и др., поэтому широкий спрос на изделия из него требует повышать производительность механической обработки. Сообщается о новом процессе глубинного шлифования HeDG. Изложены методика проведения испытаний шлифовальных кругов из кубического нитрида бора, результаты испытаний, показана высокая эффективность таких кругов, выражающаяся в повышенной стойкости кругов, снижении сил резания.

Manufacturing Engineering (N 2, Vol. 35, 2005, США)

Вертикальный обрабатывающий центр, с. 15, ил. 1.

Описывается центр VMC 4020, выпускаемый фирмой Fadal Machining Centers (США) и имеющий верхний предел частоты вращения шпинделя 10 000 мин$^{-1}$ (по заказу 15 000 мин$^{-1}$). Шпиндель передает большие крутящие моменты при низких и высоких частотах вращения. Направляющие скольжения обеспечивают высокую демпфирующую способность машины. Станок предназначен для обработки пресс-форм в системе ЧПУ GE Fanuc 18i-MB5.

Пятикоординатные обрабатывающие центры, с. 120, ил. 1.

Описываются высокоскоростные центры HSM 600 (U) ProdMod и HSM 800 ProdMod, выпускаемые фирмой Charmilles Mikron US и оснащенные многоярусными башенными инструментальными магазинами. Магазины с круглыми выступающими полками могут хранить 120, 170 или 220 инструментов. Непосредственная смена инструментов производится за 2 с. Предусмотрены присоединительные места для роботов и модульных транспортеров стружки.

Токарные станки американской фирмы Bardons&Oliver, с. 87, ил 3.

Станки серии SC 650-1200 Big-Bore CNC применяют с цанговыми патронами диаметром 165, 203, 254 и 305 мм для обработки чугунных втулок, деталей подшипников и сложнопрофильных изделий. На станках серии 36 TBC помимо точения выполняют растачивание, отрезку, подрезку торцев и резьбонарезание труб диаметром до 203 мм и прутков диаметром до 102 мм. Автоматические токарно-отрезные станки серии 34/36 этой же фирмы обеспечивают подрезку торцев, снятие фасок и проточку канавок на трубах диаметром до 203 мм и прутках диаметром до 102 мм.

Резьбошлифовальный станок с ЧПУ, с. 46, ил. 2.

Фирма Drake Manufacturing (США) выпускает станок GS TE-LM, который оснащен линейными двигателями. Указывается, что станок эффективен при шлифовании червяков рулевых механизмов автомобилей. Он может функционировать автономно или в составе производственных ячеек. Для программирования используется последняя система ЧПУ корпорации Fanuc.

Хонинговальный станок с ЧПУ, с. 122, ил 1.

Описывается горизонтальный станок KGM 5000 Krossgnndmg, имеющий один шпиндель и предназначенный для мелко- и среднесерийного производства, который поставляет фирма Sunnen Products Co (США). Используемые хоны с алмазным покрытием обеспечивают точность по диаметрам отверстий порядка 0,025 мкм. Головки оснащаются одним или несколькими брусками. Наладки производятся с помощью меню операционной системы Windows NT.

Электроэрозионные копировально-прошивочные станки, с. 124, ил. 1.

Описываются станки серии Roboform 350/550 фирмы Charmilles, оснащенные системами ЧПУ на базе операционной среды Windows. Выполняемые операции иллюстрируются графически, облегчая функции оператора, который получает также электронные инструкции. Модель 550 (больших размеров) предназначена для обработки заготовок размером до 1200 × 850 × 400 мм, массой до 1 598 кг.

Вертикальный обрабатывающий центр, с. 123.

Компактный центр NV 1500 DCG, который выпускает фирма Mori Seiki, занимает площадь 850 × 1935 мм. Перемещения по осям *X*, *Y* и *Z* составляют соответственно 150 × 150 × 200 мм. Усилия подачи передаются через центры тяжести подвижных органов с использованием пяти шариковинтовых передач. Позиционирование осуществляется с помощью оптических шкал с разрешением 0,05 мкм. Верхний предел частоты вращения шпинделя 24 000 мин$^{-1}$. В магазине размещаются 30 инструментов.

Maschine und Werkzeug (N 6, Vol. 106, 2005, Германия)

Пятикоординатные шлифовальные станки с ЧПУ, с. 32, 33, ил 4.

Фирма Hawema Werkzeugschleifmaschinen GmbH (Германия) выпускает станки серии Hawemat, отличающиеся прежде всего приемлемым для средних фирм соотношением цена—качество при высоком техническом уровне. Цена станков колеблется от 100 до 170 тыс. евро. Все они имеют одинаковую конструкцию, одинаковое обслуживание и одну систему ЧПУ Numrotoplus фирмы Num.

Прецизионный шлифовальный станок с ЧПУ с пониженным расходом энергии, с. 50, 51, ил. 2.

Описывается новый станок UPR 3NC, выпущенный фирмой Okamoto, отличительной особенностью которого является наличие гидростатической системы Noncontact, обеспечивающей автоматическое поддержание постоянной толщины масляной пленки в направляющих стола, благодаря которой точность обработки повышается на 400 % при одновременном снижении расхода энергии и масла. Радиальное биение стола диаметром 300 мм при этом не превышает 0,1 мкм, а плоскостность обработанных поверхностей составляет 0,03 мкм. Станок в первую очередь предназначен для подшипниковой промышленности.

Быстродействующие зажимные системы для инструмента, с. 66, ил. 1.

Описываются системы, выпускаемые фирмой Ikob Antnebstechnik. Их применение облегчает труд оператора, обеспечивает высокое усилие зажима и исключает возможность его снижения при работе благодаря самоторможению. Время замены инструмента на 15—30 % меньше, чем в традиционных системах.

[1] Раздел подготовлен инж. Г. С. Потаповой (по вопросам получения материалов из зарубежных журналов обращаться по тел. /факсу: (495) 611 21 37, e-mail: stankoinform@mail.ru).

Прецизионные цанговые патроны и цанги, с. 72, 73, ил. 2.

Описываются патроны фирмы Eugen Fahrion, отличающиеся оптимальным соотношением качества и цены и очень высокой точностью, обеспечивающей длительную стойкость режущего инструмента. Все типоразмеры патронов охватывают диапазон диаметров инструмента от 1,0 до 20,0 мм. Они пригодны для сухой обработки и обработки закаленных сталей. Прецизионные цанги, соответствующие стандартам DIN 6499 и DIN 6388, имеют параметр шероховатости поверхности около 1 мкм, радиальное биение — 0,01—0,03 мкм.

Cutting Technology (N 4, Vol. 6, 2005, США)

Исследования в области обработки миниатюрных деталей, с. 18.

В Исследовательском центре (Атланта, США) обработку миниатюрных деталей выполняют всухую, поскольку одна капля смазочно-охлаждающей жидкости в 100 раз больше, чем диаметр применяемого инструмента. Такая капля может просто "затопить" операцию. Проблемой является также изготовление станины для микростанка. Если ее обрабатывать на традиционном обрабатывающем центре, она будет иметь отклонения по прямолинейности и перпендикулярности, поэтому в институте осуществляется повышение точности обрабатывающего центра с помощью специальной процедуры калибрования и регистрации погрешностей для ввода необходимых коррекций.

Требования к профилешлифовальным станкам для обработки зубчатых колес, с. 20.

Профилешлифовальные станки, изготовляемые компанией Kapp Technologies (США), обладают возможностью обработки поверхностей сложных геометрических форм. В связи с этим к ним предъявляют следующие требования: наличие высокоточных шпинделей и делительных устройств, применение систем термокомпенсации и наличие четырех или пяти управляемых координат, в связи с этим фирма Kapp наладила поставку своих систем "под ключ", куда включены станок, инструменты и технология обработки.

Maschinenmarkt (N 45, 2005, Германия)

Установка для очистки деталей, с. 51, ил. 1.

Сообщается о созданной фирмой BVL Oberflachentechnik (Германия) компактной ротационной установки Rotocleaner EMS для очистки деталей. Детали, подлежащие очистке, загружаются в корзину размером 480 × 320 × 200 мм, которая может вращаться или наклоняться. Система распыления посредством сопл позволяет опрыскивать детали сверху, снизу и с торцев. Обработка деталей со всех сторон обеспечивает высокие качество очистки и производительность процесса. В установке имеется система управления с сенсорным экраном.

Устройство для контроля промывочной жидкости, с. 10, ил. 1.

Высокая эффективность промывки деталей зависит от чистоты моющей жидкости. Институт производственного оборудования и автоматизации (Fraunhofer IPA, Германия) предлагает устройство для непрерывного контроля степени загрязненности промывочной жидкости, которое встраивается в поток промывочной жидкости, что позволяет визуально оценивать ее состояние и измерять размеры посторонних частиц.

Универсальный лазерный станок, с. 52, ил. 1.

Сообщается о новом универсальном станке для лазерной резки по трем координатным осям и сварки, разработанным фирмой Stielelmayer (Германия). Станок характеризуется портальной модульной конструкцией. Он оснащен CO_2-лазером типа Stablaser, прецизионным шпиндельным узлом, направляющими на жесткой станине, что обеспечивает точное позиционирование и перемещение по заданной траектории, высокими динамическими свойствами, легкостью доступа к зоне обработки.

Инструментальная оснастка, с. 51, ил. 1.

Фирма Supfma Gneshaber предлагает компактную инструментальную оснастку Multitool для окончательной обработки валов длиной до 700 мм. Кроме того, предлагаемая оснастка позволяет обрабатывать кулачковые и эксцентриковые валы и валы трансмиссий. В качестве инструментов используют абразивные ленты и бруски. Возможна обработка с одной установки несколькими режущими инструментами и одновременная обработка примыкающих одна к другой поверхностей.

Устройство для виброшлифования, с. 51, ил. 1.

Фирма Spaleck Oberflachentechnik предлагает устройство DL 1000 для непрерывного шлифования деталей в процессе их перемещения по спиральной ленте вибробункера. Суммарная длина рабочего перемещения 18 м при незначительной площади, занимаемой вибробункером. Интенсивность работы установки регулируется бесступенчато, а время перемещения детали по всей длине спиральной ленты (максимум 22 мин) увязывается с параметрами преобразователя частоты.

Станки фирмы TROTZER, с. 57, ил. 2.

Токарные и фрезерные станки фирмы TROTZER, предназначенные для единичного и мелкосерийного производства, не требуют специальных знаний в области программирования ЧПУ и могут работать в нескольких технологических режимах. Токарные станки имеют высоту центров 150—240 мм, расстояние между центрами 700—2 000 мм, частоту вращения шпинделя 15 400 мин$^{-1}$. Во фрезерных станках перемещения по основным осям равны 750—1340 и 400—510 и 600 мм. Частота вращения шпинделя до 6000 мин$^{-1}$.

(N 47, 2005, Германия)

Высокопроизводительный разрезной электроэрозионный станок, с. 76, ил. 1

Сообщается о новом электроэрозионном станке FA-VS с проволочным электродом. Станок характеризуется повышенной на 30 % производительностью резки и обеспечивает параметр шероховатости поверхности реза *Ra* = 0,25 мкм. При применении проволочного электрода диаметром 0,25 мм производительность достигает 370 мм^2/мин, а при диаметре электрода 0,36 мм — 500 мм^2/мин.

Насадная фреза для высокоскоростного фрезерования, с. 75. ил. 1.

Фирма Jakob Lacn предлагает моноблочную алмазную насадную фрезу для высокоскоростного фрезерования плоскостей и уступов алюминиевых деталей автомобильной и электронной промышленности. Обработку осуществляют со скоростью резания и подачей, соответственно равными 7500 и 60 м/мин. Возможна обработка с подачей на зуб до 0,2 мм и большой глубиной резания. Инструмент пригоден для черновой, чистовой и окончательной обработки.

Режущие пластины высокой эффективности, с. 75, ил. 1.

Описываются многогранные режущие пластины Tigettec фирмы Waiter AG различного конструктивного исполнения для токарной обработки стали. Высокая эффективность пластин обусловлена сочетанием нового твердосплавного базового материала и многослойного покрытия. К преимуществам новых пластин относят высокие режимы резания, длительную стойкость и повышенную надежность. Пластины изготовляют из твердого сплава трех видов: WPPXO, WPP20, WPP30.

Новые присадки и стабилизаторы для СОЖ, с. 76.

Фирма Chemische Werke Wuthe предлагает новые присадки и стабилизаторы, с помощью которых масло, применяемое в качестве охлаждающей жидкости при обработке, превращается в новый продукт, свойства которого превосходят все установленные нормы. К преимуществам масла относят полную восстанавливаемость, широкую универсаль-

ность, низкое пенообразование, сопротивляемость окислению, высокие охлаждающие свойства.

Регулируемое сверло, с. 81, ил. 1.

Фирма Mandrel Oy (Финляндия) предлагает сборное сверло REB для черновой и чистовой обработки отверстия за один проход. Эффективность нового инструмента обеспечивается за счет подвода СОЖ под давлением до 15 МПа через полость шпинделя обрабатывающего центра. Изменяя давление СОЖ, можно гидравлическим путем изменять настройку инструмента и за счет автоматического изменения этой настройки можно последовательно выполнять черновую и чистовую обработку отверстия без смены инструмента.

Сверло для глубокого сверления, с. 81, ил. 1.

Фирма Iscar Germany предлагает сверла для глубокого сверления семейства Cham-Gan новых размеров. Сверло имеет быстросменную режущую головку диаметром 10—20 мм, что обеспечивает быстрое и точное сверление отверстий без потери времени на ее смену. Специальное байонетное фиксирующее устройство позволяет устанавливать и заменять режущую головку без снятия инструмента со станка, которые имеют не только различный диаметр, но и различную геометрию режущей части и стружечных канавок.

Установка для отбора стружки, с. 83, ил. 1.

Фирма P. Ries предлагает промышленную установку 1400Z для отбора стружки, пыли и других частиц из металлорежущего станка или сборочного поста. Производительность установки составляет 140 $м^3$/ч при максимальном вакууме 100 МПа. Емкость резервуара 1,5 л. Установка проста в обслуживании и может без дополнительных затрат встраиваться в существующие производственные системы. Эффективная система циркуляции обеспечивает длительную работу установки без замены или очистки фильтра.

Trametal
(N 94, 2005, Франция)

Выбор метода обработки и инструментов при фрезеровании, с. 10, 11, ил. 2.

Подчеркивается, что для точной и высокопроизводительной обработки деталей решающее значение имеет не только выбор надлежащего станка, но и метода обработки и режущего инструмента. Приведены примеры, иллюстрирующие эффективность обработки правильно выбранными фрезами, и методы обработки применительно к конкретным деталям. Метод распространяется на последовательность переходов и режимы резания.

Высокоэффективные инструментальные материалы, с. 13—19, ил. 1.

Описываются новые инструментальные материалы из керамики и кермета, выпускаемые фирмой Kyocera. Для обработки мягких и закаленных сталей, чугунов фирма разработала материал Ceratip, который позволяет повысить стойкость обработки на 35 % в условиях серийного производства. Изготовляемые фирмой керметы TN6020 без покрытия и PV7020 с покрытием, характеризующиеся очень тонкой зернистостью и особой стабильностью режущих кромок изготовленных из них инструментов, значительно превосходят эффективность твердых сплавов по стойкости. Рассмотрены области применения режущих материалов и режимы резания.

Фрезерование по пяти осям, с. 28, 30, 31, ил. 4.

Описан опыт фирмы по обработке высокоточных сложных деталей, в частности для авиастроения. Для повышения эффективности процессов обработки фирма применила вертикальный многоцелевой станок с тремя осями, на котором смонтирован поворотный стол, позволяющий при необходимости осуществлять обработку по пяти осям. Показано значительное расширение технологических возможностей при таком техническом решении. Приведены сведения о производимом автоматическом программировании процессов обработки; применяемом программном обеспечении; оснащении станка для выполнения сложных операций.

Минимизация потребления СОЖ при обработке резанием, с. 36.

Отмечается все расширяющаяся тенденция сокращения потребления СОЖ в процессах обработки резанием. Согласно приведенным данным, при обработке на некоторых станках только за неделю расходуется 1 л СОЖ. Одним из методов минимизации потребления СОЖ является микрораспыление, но это связано с рядом технических проблем. Некоторые пользователи осуществляют охлаждение струями воздуха, используя для этого сопла с эффектом Вентури, обеспечивающие охлаждение нагнетаемого воздуха. Сообщается и о применении теплового удара, воздействующего на инструменты, однако указывается, что эта технология эффективна только при обработке титана и жаростойких материалов. Один из методов охлаждения и смазки — использование масляного тумана под давлением до 7 МПа, что эффективно при сверлении и нарезании резьб метчиками. Ведутся дальнейшие разработки по совершенствованию методов минимизации потребления СОЖ.

Результаты и основные направления деятельности Министерства промышленности и энергетики Российской Федерации на 2007–2009 гг.

20 октября 2006 г. в Москве прошел 11-й ежегодный форум крупного бизнеса России "Эксперт-400", организованный журналом "Эксперт" совместно с Минпромэнерго РФ. Редакция предлагает читателям журнала основные положения доклада, подготовленного Минпромэнерго РФ, о промышленной политике министерства на среднесрочный период[1].

Деятельность министерства в рамках своих функций и полномочий направлена на достижение стратегических целей страны: повышение уровня и качества жизни населения, уровня национальной безопасности, обеспечение высоких темпов устойчивого экономического роста и создание потенциала для будущего развития.

Соответственно миссия Министерства промышленности и энергетики РФ заключается в управлении развитием промышленности и энергетики в целях обеспечения высокого уровня национальной конкурентоспособности и безопасности.

Для планового периода приоритетные цели и тактические задачи министерства определены исходя из национальных стратегических приоритетов развития страны, изложенных в Посланиях Президента Российской Федерации Федеральному Собранию Российской Федерации, Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2020 г., одобренной Правительством Российской Федерации, Основных параметров прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на 2007 г. и на период до 2009 г. и предельных уровней цен (тарифов) на продукцию (услуги) субъектов естественных монополий на 2007 г., а также Национальной программы разработки технических регламентов.

Исходя из этих целей и задач министерством подготовлен программный документ — "Доклад о результатах и основных направлениях деятельности Минпромэнерго на 2007—2009 гг.", дающий представление о текущей деятельности министерства и описывающий стратегические планы ведомства.

Разработка и реализация государственной промышленной политики министерства ориентируется на достижение четырех стратегических целей, расположенных в смежных, отчасти пересекающихся, сферах.

Для каждой из стратегических целей сформулированы тактические задачи, решение которых позволит обеспечить их достижение.

Цель 1. *Повышение конкурентоспособности и ускорение темпов роста промышленно-энергетического сектора экономики.*

Эта цель относится, прежде всего, к сфере конкурентных отношений на внутреннем и внешних рынках промышленной продукции и энергетических рынках в условиях открытой экономики и опосредованно (через создание рабочих мест, увеличение доходов работников, развитие "человеческого капитала" и расширение доступного набора товаров и услуг) — к социальной сфере.

Задача 1.1. *Содействие образованию и развитию эффективных экономических субъектов в промышленности и энергетике.*

Задача 1.2. *Поддержка разработки конкурентоспособной техники и технологий, модернизации и реконструкции производственных мощностей.*

Задача 1.3. *Разработка и реализация мер по энерго- и ресурсосбережению промышленности.*

Развитие конкурентоспособности российской экономики с учетом ее истории, культуры, геополитического места в мире и ряда других факторов возможно только в рамках сбалансированной системы "сильное государство — сильный бизнес", предполагающей отказ от директивного управления и выстраивание эффективной промышленной политики.

В данный период министерство уделяет пристальное внимание реализации промышленной политики в легкой, металлургической и лесной промышленности, разработке и реализации стратегий развития авиационной промышленности, судостроения, энергетического и транспортного машиностроения, химической, нефтехимической и электронной промышленности. Помимо этого совместно с Роскосмосом ведется разработка и согласование проекта стратегии развития ракетно-космической промышленности.

Повышения конкурентоспособности и ускорения темпов роста промышленно-энергетического сектора экономики планируется достичь на основе реализации подпрограмм "Развитие электронной компонентной базы на 2007—2011 гг.", "Создание прогрессивных автотранспортных технологий для автомобильной техники нового поколения, обеспечивающих выполнение перспективных международных требований по экологии, энергосбережению и безопасности на 2007—2011 гг.", ФЦП "Новая технологическая база на 2007—2011 гг.", ФЦП "Электронная Россия" (2002—2010 гг.), ФЦП "Восстановление экономики и социальной сферы Чеченской республики (2002 г. и последующие годы)", ФЦП "Развитие гражданской авиационной техники России на 2002—2010 гг. и на период до 2015 г.", подпрограммы "Разработка, подготовка производства, изготовление навигационного оборудования и аппаратуры для гражданских потребителей", ФЦП "Глобальная навигационная система", ФЦП "Повышение эффективности энергопотребления в Российской Федерации".

Цель 2. *Повышение эффективности топливно-энергетического комплекса и обеспечение энергобезопасности".*

Формулировка второй стратегической цели полностью соответствует приоритетным направлениям развития России, "Энергетической стратегии РФ до 2020 г.", Положениям о деятельности Минпромэнерго РФ и Федерального агентства по энергетике, постановлениям Правительства РФ.

Данная цель предполагает эффективное и надежное обеспечение топливно-энергетическими ресурсами и соответствующими инфраструктурными услугами всех групп потребителей как на федеральном, так и региональном уровнях.

Задача 2.1. *Проведение структурных преобразований в энергетике (рынки электроэнергетики, угля и газа).*

Задача 2.2. *Рационализация добычи и использования ресурсов на предприятиях ТЭК, развитие перспективных направлений энергетики.*

Задача 2.3. *Диверсификация и региональное развитие топливно-энергетической инфраструктуры.*

Задача 2.4. *Стимулирование опережающего воспроизводства ресурсно-сырьевой базы.*

Достижение данной цели, связанной с повышением эффективности топливно-энергетического комплекса и обеспечением энергобезопасности, будет осуществляться на основе реализации ФЦП "Повышение эффективности энергопотребления в Российской Федерации", ФЦП "Развитие Калининградской области на период до 2010 г.", ФЦП "Экономическое и социальное развитие Дальнего Востока и Забайкалья на 1996—2005 гг. и до 2010 г.", ФЦП "Юг России" и реализации крупных инфраструктурных проектов добычи, переработки и транспортировки энергоресурсов.

Цель 3. *Развитие научно-технологического и производственного потенциала в интересах повышения уровня национальной безопасности.*

[1] Печатается с сокращениями.

Данная цель направлена, прежде всего, на военную, экологическую и технологическую безопасность страны (включая сохранение государственного контроля над ключевыми для безопасности страны технологиями).

В настоящее время в условиях резкого сокращения заказов финансово-экономическое положение большинства предприятий оборонных отраслей поддерживается в основном за счет выполнения экспортных заказов, а также заказов для топливно-энергетического комплекса и других отраслей экономики. Особенно тяжелым является состояние предприятий, ориентированных на выполнение государственного оборонного заказа. Как следствие, предприятия используют в основном научно-технический и производственный заделы прошлых десятилетий, их способность разрабатывать и выпускать конкурентоспособную продукцию снижается, что отрицательно сказывается на обороноспособности страны.

Для обеспечения высокого уровня национальной безопасности необходимо не только восстановить и нарастить научно-технологический и производственный потенциал российской оборонной промышленности, но и добиться наиболее эффективного его использования.

Задача 3.1. *Обеспечение разработки и производства новых видов вооружения и военной техники.*

Задача 3.2. *Научно-техническое и производственно-технологическое развитие мощностей по утилизации обычного и химического оружия, обеспечение ядерной и радиационной безопасности.*

Задача 3.3. *Повышение эффективности государственного управления предприятиями ОПК.*

Развитие научно-технического и производственного потенциала в интересах повышения уровня национальной безопасности планируется обеспечить посредством реализации ФЦП "Промышленная утилизация вооружений и военной техники (2005—2010 гг.)", президентской программы "Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации на период 1995—2012 гг.".

Цель 4. *Создание системы технического регулирования, стандартизации и обеспечения измерений в интересах повышения качества жизни населения и конкурентоспособности экономики.*

Важнейшими условиями реализации этой цели является ускорение темпов реформы технического регулирования, достижение соответствия развития реформы технического регулирования интересам национальной экономики, современному уровню материально-технической базы и научно-технического развития.

Деятельность министерства в рамках достижения данной цели направлена на повышение конкурентоспособности российской промышленности путем перехода на двухуровневую систему технического регулирования: технические регламенты и стандарты.

Задача 4.1. *Создание системы технического регулирования.*

Задача 4.2. *Развитие национальной системы стандартизации.*

Задача 4.3. *Обеспечение единства измерений, развитие эталонной базы.*

Данная цель относится, главным образом, к социальной (здоровье и качество жизни населения) и экономической сферам, имея в виду создание (через гармонизацию стандартов и другие мероприятия) условий для эффективного развития отечественного предпринимательства.

Первая цель занимает в представленной системе стратегических целей Министерства центральное место, поскольку ее достижение зависит от успешного продвижения по остальным направлениям. Предпринятая в формулировке третьей цели увязка развития научно-технического потенциала промышленности и энергетики с интересами национальной безопасности имеет в виду сложившуюся концентрацию научных разработок и высоких технологий в отраслях оборонно-промышленного комплекса, который призван выступить локомотивом инновационно-технологического развития промышленности и энергетики в целом. Четвертая цель, наряду с самостоятельным значением имеет обеспечивающий характер для остальных стратегических целей.

Общей частью для всех стратегических целей министерства являются повышение качества экономического роста, стимулирование инвестиционной и инновационной деятельности, повышение конкурентоспособности российского бизнеса, развитие научного потенциала, повышение эффективности государственного управления и развитие потенциала международных связей.

Е. С. Добринский, канд. техн. наук

Е. С. ДОБРИНСКИЙ, канд. техн. наук
(Центр экспертных программ ВОК),
В. И. ПАШКОВ, инж., В. А. СЕИН, инж.
(Аналитический центр ОАО "АСМ-холдинг")

Стратегия успеха российского автомобилестроения
(по итогам 1-го Международного автомобильного форума МАФ—2006)

1—2 сентября 2006 г. в МВЦ "Крокус Экспо" прошел 1-й Международный автомобильный форум (МАФ—2006) под девизом "Автомобилестроение России: стратегии успеха", организованный НП "Объединение автопроизводителей России (ОАР), ОАО "АСМ-холдинг", МВЦ "Крокус Экспо" и НО "Национальная ассоциация производителей автокомпонентов" (НАПАК) при содействии Минпромэнерго РФ, ТПП РФ и Администрации Московской области.

Цель Форума — координация деятельности отечественных и зарубежных бизнесменов и политической общественности страны для углубления многостороннего сотрудничества, определения наиболее эффективных путей привлечения инвестиций в развитие автомобильной промышленности в регионах России и ускорения ее интеграции в мировой автопром.

Форум проходил в рамках деловой программы московского Международного автомобильного салона "Автосалон—2006".

В работе форума приняли участие свыше 150 ведущих специалистов отечественного и зарубежного автопрома, смежных отраслей, а также консалтинговых фирм. В качестве докладчиков выступили руководители органов исполнительной власти РФ, администрации ряда субъектов РФ, ведущие топ-менеджеры бизнес-структур отечественных и зарубежных фирм. Всего было заслушано 13 докладов и сообщений по различным аспектам и направлениям деятельности в области автомобилестроения.

Все выступления на форуме можно сгруппировать по трем направлениям в зависимости от обсуждаемой проблематики:

— государственная политика в области автомобилестроения;

ISSN 1562-322X. Технология машиностроения. 2007. № 1

— проблемы регионального развития автомобилестроения в России;

— основные направления развития производства автотранспортных средств и автокомпонентов.

На форуме были представлены доклады ведущих федеральных органов экономического блока исполнительной власти — Минпромэнерго РФ, Минэкономразвития РФ, общественных и научных организаций — НП "ОАР", ГНЦ РФ ФГУП "НАМИ", а также руководителей Ассоциации европейского бизнеса (АЕБ) в России.

В докладе ВРИО Министра Минпромэнерго А. Г. Реуса "Режим "промышленной сборки" — инновационная технология привлечения инвестиций" уделено внимание ситуации, сложившейся в отрасли после принятия правительством в марте 2005 г. Постановления № 116 "О внесении изменений в Таможенный тариф Российской Федерации в отношении автокомпонентов, ввозимых для промышленной сборки".

Отмечая в целом положительный эффект этой меры, докладчик довел до сведения участников форума, что в целях дальнейшего расширения инвестиционной привлекательности проектов по промышленной сборке автомобильных компонентов подготовлены изменения и дополнения в совместный приказ Минэкономразвития России, Минпромэнерго России и Минфина России от 15 апреля 2005 г. № 73/81/58н "О порядке, определяющем понятие "промышленная сборка" и устанавливающем применение данного понятия при ввозе на территорию Российской Федерации автокомпонентов для производства моторных транспортных средств, их узлов и агрегатов".

В докладе и. о. директора Департамента Минэкономразвития России А. А. Соколова "Меры государственной поддержки проектов развития российской промышленности" представлен комплекс регулирующих мер по повышению конкурентоспособности и темпов роста ведущих секторов экономики, к которым, безусловно, относится автомобильная промышленность. Среди мер, в частности, следует отметить:

— общесистемные, направленные на стимулирование спроса на новую технику и технологии, а также на ускорение изъятия устаревшего оборудования;

— повышение эффективности и формирование новых государственных финансовых инструментов развития с последующим использованием их ресурсов для развития промышленности.

В докладе президента Ford Motor Company в России и СНГ, председателя Комитета автопроизводителей Ассоциации европейского бизнеса (АЕБ) в России Х. Нензена "Развитие автомобильного рынка в России" проанализировано состояние российского автомобильного сектора экономики на фоне основных направлений развития мировой автомобильной промышленности. Подробно рассмотрены основные аспекты реализованных в России концерном "Форд" перспективных проектов организации производства популярных моделей "Форд", с полным производственным циклом, созданным иностранным инвестором.

Докладчик обратил внимание участников форума на наиболее важные и актуальные проблемы автомобильной сферы, а также результаты взаимодействия АЕБ с российскими органами власти, общественными институтами и национальными отраслевыми ассоциациями в различных сферах: автомобильном регулировании (сертификации), таможенных правилах, статистике, продаже автомобилей, качестве ГСМ, маркетинге, PR и др.

Особое внимание в выступлении д-ра Х. Нензена было уделено положительным факторам, влияющим на автомобильный рынок, перспективам будущего роста и возможности его увеличения выше прогнозируемого уровня.

Взаимодействие НП "Объединение автопроизводителей России" и федеральных органов государственной власти в сфере автомобилестроения было представлено председателем совета НП, генеральным директором ОАО "КамАЗ" С. А. Когогиным. Докладчик озвучил позицию ОАР, что отрасль нельзя "сдавать" при вступлении в ВТО, а также делать ставку только на иностранные концерны. На примере реализованных защитных мер государства по тяжелым грузовикам докладчик отметил выигрыш потребителей. Начиная с 2003 г. последовательно вводятся следующие защитные меры:

— запрет на ввоз автомобилей, отвечающих нормам Евро-0;

— повышенные пошлины на автомобили со сроком эксплуатации свыше 7 лет временно;

— повышенные пошлины на автомобили со сроком эксплуатации свыше 7 лет на постоянной основе;

— повышенные пошлины на автомобили со сроком эксплуатации свыше 5 лет временно.

В результате принятых мер исчезли изношенные автомобили. Улучшилась возрастная структура импорта подержанных автомобилей (раньше преобладали со сроком эксплуатации свыше 7 лет, в настоящее время — свыше 5—6 лет);

— увеличились объемы продаж новых импортных автомобилей;

— создаются комплектации для России. Практически все производители из европейской "большой семерки" разработали и представили на российском рынке специальные комплектации, адаптированные к российским условиям как по техническим параметрам, так и по цене (до 2003 г. только "Скания Гриффин" (с 2001 г.), затем появились МВ "Аксор" (2003 г.), "Вольво Регион" (2004 г.), "Даф Перспектива" (2005 г.), "Рено Восток-2" (2005 г.), "Ивеко Стрейлис АТ440" (2005 г.);

— производство автомобилей в России становится перспективным, например, производство, созданное компанией "Вольво Трак" и работавшее в полсилы набирает обороты. Ряд производителей подтверждают возможность открытия производства в России ("Скания").

Глубокий анализ автомобилестроения России сделан в докладе зам. генерального директора ГНЦ РФ ФГУП "НАМИ" А. А. Эйдиновым в докладе "Перспективы развития автомобильной промышленности России на период до 2020 г.: проблемы, задачи и решения". Основной вывод, который делает докладчик, заключается в потере сегментов рынка российским автопромом по легковым автомобилям и даже увеличение производства импортных автомобилей на территории России пока не восполняет эти потери. Примерно аналогичная картина по грузовым автомобилям.

Прогноз объемов производства автомобильной техники отечественными автозаводами до 2020 г. (по расчетам НАМИ) приведен в таблице.

Среди причин сложившегося положения докладчик отмечает следующие:

— отставание отечественного автомобилестроения от мирового в техническом уровне (экологии, энергосбережении, безопасности);

— слабая привлекательность для внешних инвесторов;

— недостаточность государственной защиты собственных продуцентов (квотирование, ввозные пошлины, национальная стандартизация и др.);

Показатель	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.	Прогноз по годам					
							2007	2008	2009	2010	2015	2020
Объем, тыс. шт.	1255	1221	1286	1389	1253	1386,9	1500	1600	1800	1900	2600	3300
Индикатор производства	103,2	97,3	103,3	108,0	97,4	103,5	104,0	105,0	104,0	105,5	113,6	127

— недостаточность расходов на НИОКР (например, только одна фирма "Форд Мотор" (США) потратила на НИОКР в 1,7 раза больше, чем РФ на всю науку (4,3 млрд долл.) и др.

Докладчик предложил в возможно короткий срок утвердить в Правительстве РФ ведомственную программу развития автопрома, разработанную НАМИ совместно с ОАО "АвтоВАЗ" и другими бизнес-структурами.

На форум были приглашены руководители промышленности ряда регионов с развитым сектором автомобилестроения, в частности, Республики Татарстан и Самарской области, а также руководство АМО "ЗИЛ" — ведущего предприятия автомобилестроения Москвы.

Характеристика автомобильного кластера Самарской области была представлена в сообщении и. о. министра промышленности и энергетики Самарской области В. М. Первакова в докладе "О состоянии и развитии автомобилестроения Самарской области".

Автомобилестроение является одной из системообразующих отраслей области. Здесь сконцентрировано около 40 % объемов производства, 40 % численности занятых, 60 % основных фондов промышленности, 25 % всех затрат на НИОКР, 20 % объема экспорта.

Правительство Самарской области поддерживает создание совместных предприятий по производству автокомпонентов: ЗАО "СОЭЗ-Автодеталь" (AL-комплектующие), компания "Аком" (аккумуляторные батареи мощностью до 1 млн шт. в год), "Теннеко-Аутомотив-Волга" (системы выхлопа) и др.

Стратегическим приоритетом Правительства Самарской области и ОАО "АвтоВАЗ" является реализация проекта создания промышленно-производственной особой экономической зоны в Тольятти, специализированной на организации производств высокотехнологичных автокомпонентов нового поколения для российских и зарубежных автопроизводителей — ОЭЗ "Российские автокомпоненты".

Характеристика особой экономической зоны "Российские автокомпоненты":

— специализация ОЭЗ — производство автокомпонентов, автомобилестроение;

— полный объем инвестиций — 71 820 млн руб.;

— планируемый годовой оборот — 223 830 млн руб.;

— количество новых рабочих мест — 30 000 шт.

Реализация стратегических проектов в особой экономической зоне основана на механизмах частно-государственного партнерства и нацелена на максимальное использование научно-производственного, кадрового, финансового потенциала кластера и региона в целом для развития конкурентоспособного сегмента рынка автокомпонентов.

Представитель еще одной региональной корпоративной структуры — директор по маркетингу АМО "ЗИЛ" В. А. Новоченко представил доклад "Интеграция российского автопрома в мировой автомобильный рынок" (на примере АМО "ЗИЛ"). АМО "ЗИЛ" принял в 2005 г. концепцию глубокого реформирования завода как крупнейшей автопромышленной площадки Москвы и транспортного узла, рассчитанную на 5 лет. Новая концепция предусматривает:

— сокращение производственных мощностей до 50 тыс. машин в год (проектная мощность — 200 тыс. машин);

— стратегическое сотрудничество с ОАО "АвтоФрамос" по модернизации выпуска комплектующих (штамповка лицевых панелей, капотов, дверей, крыльев). Общий объем договора — 720 тыс. деталей в год;

— расширение поставки своей продукции, включая автокомпоненты и агрегаты на первичные конвейеры других крупных российских и зарубежных автопроизводителей. По бизнес-плану 2006 г. объем продаж только запчастей должен достичь 2,7 млрд руб. (в 2005 г. он составил 1,6 млрд руб.).

По расчетам специалистов уже через полтора-два года завод должен выйти на уровень безубыточности.

В работе форума приняли участие ведущие корпоративные производители автомобилей и автокомпонентов, в том числе ОАО "АвтоВАЗ", ОАО "Северсталь-авто", ОАО "Костромской завод "Мотордеталь", ОАО "Завод Автоприбор" (г. Владимир), компания "Tenneco аутомотив Европа Н. В.".

В докладе председателя совета директоров ОАО "АвтоВАЗ" В. В. Артякова "Перспективы развития легкового автомобилестроения в РФ" представлены стратегия развития флагмана российского автомобилестроения, одного из крупнейших производителей легковых автомобилей в Восточной Европе.

Стратегический план развития предприятия предполагает реализацию комплекса мер по оптимизации использования имеющихся и созданию новых производственных и сбытовых ресурсов. Ключевым пунктом плана является строительство за три-четыре года на территории завода нового производственного комплекса мощностью 450—500 тыс. автомобилей в год.

Завод ведет разработку универсальной платформы, которая должна стать основой для серии автомобилей классов В, С, Д, а также нового внедорожника. Одновременно планируется расширить модельный ряд на базе LADA KALINA (купе, микровэн, полноприводной, бизнес-автомобиль). Серьезные планы "АвтоВАЗа" по повышению инвестиционной привлекательности и росту уровня капитализации, а также вниманию к ценным бумагам на зарубежных фондовых биржах.

Генеральный директор ОАО "Костромской завод "Мотордеталь" Ю. Э. Елисеев представил доклад "Предложения по формированию концепции развития современного двигателестроения в России". По мнению докладчика, производство современных двигателей, удовлетворяющих требованиям норм Евро-3, Евро-4, должно осуществляться лишь на основе глубокой кооперации с узкоспециализированными производителями автокомпонентов. Необходимо более широкое участие отечественных производителей компонентов в разработке, проектировании, опытном производстве и испытаниях новых двигателей и модернизации существующих. Для производства конкурентоспособной техники, двигателей и их компонентов необходим дальнейший упрощенный режим импорта технологий и специального оборудования, а также государственная поддержка в области налогового регулирования (уточнение отнесения расходов на нематериальные активы и капитальные вложения).

С докладом "Взаимодействие с отечественными и зарубежными партнерами по локализации производства автомобилестроения" выступил генеральный директор ОАО "Завод "Автоприбор" (г. Владимир) А. А. Мельников. Основное внимание докладчик уделил ситуации в автокомпонентной отрасли, сложившейся после принятого правительством в марте 2005 г. Постановления № 116, которое позволило компаниям, заключившим инвестиционные соглашения и занятым промышленной сборкой автомобилей, беспошлинно или с 3 %-ной ставкой ввозить в Россию импортные комплектующие. Докладчик подробно рассмотрел опыт участия завода "Автоприбор" в локализации производства автокомпонентов для автопроизводителей, осуществляющих промышленную сборку:

— первый опыт участия в проекте "Форд Фокус С170", развитие сотрудничества через участие в проекте "Форд Фокус С307";

— использование опыта, совместно накопленного с компанией "Роберт Бош ГмбХ" при реализации проекта "Форд", в локализации проекта "Рено Логан" компании "Автофрамос";

— освоение нетипичных для "Автоприбора" изделий по запросу ЗАО "ЗАЗ" для автомобиля "Шевроле-Ланос";

— опыт сотрудничества с ОАО "Северсталь-Авто" по проекту "Фиат".

Названы также факторы, обеспечивающие успешную локализацию автокомпонентов, в частности:

— создание межфункциональных команд, участие в них представителей потребителей;

— составление подробного плана-графика, максимально учитывающего все работы по проекту;

— тщательный и подробный FMEA, согласованный с потребителем;

— активное маркетинговое сопровождение проекта;

— последовательное внедрение принципов Lean Production как инструмента снижения издержек и, как следствие, экономической привлекательности для потребителей.

Глава правительства комиссии "Теннеко аутомотив Европа Н. В. " Д. О. Осипов в сообщении "Приход иностранных производителей компонентов как фактор повышения конкурентоспособности российского автопрома" поделился опытом создания в России локальной индустриальной базы по производству выхлопных систем к автомобилям как российских, так и иностранных производителей. Докладчик затронул актуальные вопросы научно-технического, маркетингового, юридического и финансового обеспечения иностранных потенциальных производителей комплектующих для российского автопрома. Приятной неожиданностью для российских участников форума стала оценка докладчика: "Потенциал отечественного автопрома очень высок как по уровню технологической мысли, так и по возможному обеспечению качества".

Результаты работы форума показали, что российское автомобилестроение имеет высокий потенциал и хорошие перспективы дальнейшего развития. Были представлены мнения ведущих отечественных и западных специалистов по ключевым вопросам, влияющих на развитие, инвестиционный климат и регулирование автомобильной промышленности России. Существенно повысилось внимание к проблемам российского автопрома со стороны государственных и региональных органов управления.

Форум способствовал объединению усилий представителей государственной власти и бизнесменов, ученых и инвесторов, промышленников и предпринимателей в формировании цивилизованной бизнес-среды, способствующей выработке согласованных решений в области экономического и технического сотрудничества и дальнейшего развития автомобильного рынка в России.

Многие из предложенных на форуме мер рекомендовано учесть в рамках дополнительной практической реализации приоритетных задач на среднесрочную и долгосрочную перспективы по устойчивому развитию автомобильной промышленности РФ и ее интеграции в мировую экономику.

По итогам форума издан полный сборник докладов и тезисов, который можно заказать в Аналитическом центре ОАО "АСМ-холдинг" (www.asm-holding.ru).

6-я Международная специализированная выставка "Передовые технологии автоматизации–2006"

С 18 по 20 сентября 2006 г. на территории ВК ЗАО "Экспоцентр" проходила Международная специализированная выставка, где демонстрировалось современное оборудование, новейшие технологии в области промышленной автоматизации и встраиваемых систем.

В выставке участвовали 142 компании, в том числе и российские. Она была организована выставочной компанией "Экспотроника" (Москва) при поддержке Департамента науки и промышленной политики Москвы, Министерства науки и образования РФ, РИА и российского представительства Общества приборостроения, систем и автоматики (ISA).

Тематика выставки — автоматизация промышленного предприятия технологических процессов, бортовые и встраиваемые системы, системная интеграция и консалтинг.

Ниже приведено краткое описание экспонатов, демонстрировавшихся на выставке и вызвавших наибольший интерес у специалистов.

ГНЦ "НИИТеплоприбор" (Москва) демонстрировал на выставке свои разработки.

Установку "Поток-Т" для беспроливной (имитационной) градуировки и поверки электромагнитных теплосчетчиков, расходомеров и счетчиков-расходомеров. В основе имитационного метода лежит способность устанавливать распределение магнитного поля в канале по его компоненте, нормальной к поверхности канала. Для этого используют преобразователь магнитного поля (датчик, представляющий плоскую индукционную катушку, помещенную на внутренней поверхности канала или в плоскости оси канала и линии, соединяющей электроды). Напряжение, индуцируемое в катушке, пропорционально напряжению, возникающему между электродами расходомера при движении потока жидкости с распределением скорости. Имитационное моделирование обладает следующими возможностями: неограниченным диапазоном имитируемых значений потока; высокой точностью поверки и калибровки; возможностью поверки расходомеров в рабочих и лабораторных условиях; хорошей эффективностью метрологических поверок из-за полной автоматизации результатов поверки, регистрации и ведения архива. Установка может быть реализована для выполнения следующих прикладных работ: градуировки и поверки полнопроходных расходомеров и теплосчетчиков для трубопроводов с $Ду$ = 25÷1000 мм и выше; градуировки и поверки расходомеров с погружными преобразователями скорости в трубопроводе с $Ду$ = 50÷4000 мм; измерения коэффициентов преобразования расхода (скорости) первичных электромагнитных преобразователей любых конструкций; исследования зависимости расходомера от перестройки профиля потока; замены измерительных устройств расходомера без демонтажа датчиков. Имитируемая рабочая среда — вода при температуре 10—180 °С. Основная погрешность по объемному расходу ± 0,2 %, по количеству теплоты ± 0,5 %.

Односенсорный экструдерный мультипреобразователь давления и температуры "Расплав ДИТ-МК" для работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами производств при повышенных температурах. Обеспечивает преобразование избыточного давления газообразных и жидких сред с вязкостью не более 10^6 Па · с по каналу давления и сигнализацию температуры по каналу температуры в унифицированные токовые электрические выходные сигналы 5—20 или 4—20 мА постоянного тока и индикацию выходных сигналов давления и температуры на четырехразрядных светодиодных индикаторах двух измерителей-регуляторов ИРТ 5920. Мультипреобразователь состоит из высокотемпературного первичного преобразователя давления и температуры ППДТ и двух микропроцессорных измерителей-регуляторов ИРТ 5920, соединенных между собой кабельной шестипроводной линией связи длиной до 25 м. Преобразователь давления ППДТ обеспечивает преобразование давления и температуры высокотемпературный среды в электрический выходной сигнал. Особенностью ППДТ является использование в его конструкции высокотемпературной, созданной на базе полупроводниковой структуры "Кремний на сапфире" микроэлектромеханической системы (МЭМС), контактирующей с измеряемой средой. Такое решение позволяет использовать полупроводниковую МЭМС для измерения одновременно двух физических величин — давления и температуры. Разработчики считают, что прибор экологически чистый, мировые аналоги отсутствуют. Пределы измерения давления 2,5—160 МПа при погрешности ±(0,25—1,00) %; температуры 5—320 °С (кратковременное измерение температуры до 350 °С при погрешности ± 3 °С). Мультипреобразователь работает при температуре окружающей среды –10—80 °С, питающее напряжение 220 В.

Прибор ЛИС-2 для измерения скорости и расхода сточных вод в системах водоотведения. Может работать при высоких уровнях турбулентности и осуществляет индикацию "мгновенной" и осредненной скорости потока. Диапазон измеряемых скоростей 10—5000 мм/с при погрешности

измерения расхода ± 2 %, скорости — ± 0,3 %. Прибор работает при температуре окружающей среды –4—40 °С.

Программно-технический комплекс "КВИНТ СИ" для АСУ ТП, позволяющий, начав с автоматизации небольшого участка технологического производства, наращивая и объединяя существующие автономные системы в единое информационное пространство, построить систему управления технологическим процессом в масштабе предприятия. Он обеспечивает сбор и обработку информации, автоматическое и ручное управление; технологические защиты и блокировки; представление информации на мнемосхемах, графиках и оповещение операторов о состоянии системы и происходящих событиях (протекание технологического процесса); архивирование информации и действий персонала; анализ ситуаций, расчеты технологических параметров, оптимизацию производства. В комплексе имеется несколько видов оперативных и неоперативных рабочих станций. Они построены на современной оперативной платформе в офисном или промышленном исполнении и функционируют под управлением операционной системы Windows XP. Время рабочего цикла комплекса 10 мс. Класс точности для токовых сигналов 0,13—0,2 %, термопар и термометров в сопротивления — 0,15—0,25 %. Питающее напряжение комплекса 220 В, потребляемая мощность 100 Вт. Габаритные размеры комплекса с односторонним обслуживанием 600 × 600 мм, с двухсторонним — 800 × × 800 мм, высота 2200 мм.

Приборостроительное предприятие "Системы контроля" (Пермь) показало на выставке свою продукцию.

Многоканальный регулятор температуры "Термодат-11М3" (от двух до пяти каналов) для регулирования температуры в нескольких точках одновременно. Он работает как несколько независимых регуляторов, его удобно использовать для аварийной сигнализации. Регулятор имеет две строки светодиодных индикаторов и один дополнительный индикатор для номера канала. Каждый вход может работать с термопарами типа ХА, ХК, ПП, ПР, МК, ЖК, НН, ВР или термометрами сопротивления типа Pt, Cu, а также измерять напряжение до 50 мВ или ток (с внешним шунтом) до 20 мА. Диапазон измерения температуры (200—2500 °С) определяется датчиком. Регулятор может быть оснащен интерфейсом PS485 и подключен к ПК через адаптер. Компьютерная программа позволяет накапливать результаты измерений, наблюдать и распечатывать графики температуры. Архив измеренных температур записывается в энергонезависимую память с привязкой к реальному времени и календарю. Данные в архиве образуют кольцевой буфер, т. е. после заполнения архива данные вновь записываются сначала, стирая старые. Архив не может быть удален оператором. Период записи от 2 с до 1 ч, объем архива 1 Мбайт обеспечивает до 250 тыс. записей на канал.

Программный регулятор температуры "Термодат-14Е2" для плавного или ступенчатого измерения температуры по заданной программе. Можно задавать до 30 программ по 16 шагов в каждой, а также объединить несколько программ для получения одной, более длинной. Программа может содержать участки роста (снижения) температуры с необходимой скоростью и выдержкой при заданной температуре. Скорость изменения температуры 0,1—36000 °С/ч, задаваемый временной интервал на одном шаге программы от 1 мин до 48 ч. Первичными приборами у регулятора являются термопары или термометры сопротивления. Ими можно регулировать напряжение или ток или управлять мощностью по методу равномерного распределения рабочих сетевых периодов. Реле и семисторный выход при ПИД-регулировании работают в широтно-импульсном режиме. Прибор может быть снабжен интерфейсом и архивной памятью, имеет двухстрочный алфавитно-цифровой жидкокристаллический индикатор и меню на русском языке. Габаритные размеры корпуса прибора 96 × × 96 × 95 мм, питающее напряжение 220 В. Класс точности регулятора 0,25.

НПП "Элемер" (Зеленоград Московской обл.) демонстрировал технологические регуляторы и поверочный комплекс.

Поверочный комплекс "ЭЛЕМЕР-ПКДС-210" для поверки и калибровки в полевых и лабораторных условиях стрелочных и цифровых преобразователей избыточного и абсолютного давления, давления — разрежения, поверки термопреобразователей сопротивления, термоэлектрических преобразователей, преобразователей с унифицированными сигналами, а также для поверки и калибровки вторичных приборов. Комплекс состоит из калибратора — измерителя унифицированных сигналов с функцией калибратора давления и встроенного блока питания напряжением 24 В; внешних эталонных модулей давления — преобразователи давления; источников создания давления — ручной пневматической помпы; ноутбука с программным обеспечением.

Многоканальный технологический регистратор РМТ59 для измерения, контроля, регистрации и визуализации температуры, а также других неэлектрических величин, значения которых преобразуются в электрические сигналы силы и напряжения постоянного тока. Результаты измерений отображаются в виде чисел, графиков, диаграмм на цветном дисплее. Результаты сохраняются в энергонезависимой памяти (240 Мбайт) и могут быть просмотрены на месте или перенесены с помощью USB Flash карты (брелок) или через COM-порт на ПК. Режим сохранения данных может быть включен постоянно или включаться при нажатии кнопки.

Измеритель-регулятор ИРТМ 2402/М3Ех-2 технологический многоканальный для многоканального измерения и контроля температуры, а также других неэлектрических величин, значения которых преобразуются в унифицированные сигналы 0—5 мА, 4—20 мА или 0—100 мВ. Измеритель-регулятор осуществляет запись измеренных значений в энергонезависимую память с привязкой по времени. Массив измеренных значений может быть скопирован во внешний компьютер. Измеритель-регулятор имеет 12 стандартизированных каналов с гальванической развязкой и уровнем взрывозащиты [Exia]//ИС. Канал управления — 16 электромагнитных реле и 24 программируемые уставки. Габаритные размеры измерителя-регулятора 144 × 144 × 1250 мм, масса 4 кг. Питающее напряжение 220 В, мощность 50 Вт.

Малогабаритный цифровой термометр ТЦМ 9410Ех (рис. 1) для измерения температуры различных, в том числе агрессивных, сред первичным термопреобразователем погружного или контактного типа. Он имеет измерительный блок (микропроцессор, аналогоцифровой преобразователь, жидкокристаллический индикатор и блок питания аккумуляторного типа с элементами искрозащиты). Измеряемые параметры отображаются и устанавливаются на передней панели пятью кнопками или через интерфейс PS232 с помощью компьютерной программы. На приборе можно проводить подстройку нуля и диапазона измеряемых температур, запоминать их максимальные и минимальные значения. Термометр применяют при научных исследованиях, в технологических процессах в горнодобывающей, нефтяной и других отраслях промышленности. Он имеет металлический или пластмассовый корпус.

Всероссийский НИИ автоматики им. Н. Л. Духова (Москва) демонстриро-

Рис. 1. Малогабаритный цифровой термометр ТЦМ 9410Ех

Рис. 2. Измерительно-вычислительный комплекс "КИРАС"

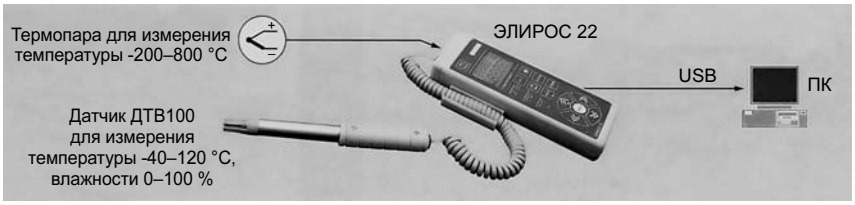


Рис. 3. Переносной измеритель-регистратор температуры и влажности (термогигрометр) "ОВЕН ЭЛИРОС 22"

вал *датчики и сигнализаторы давления*, используемые в различных отраслях промышленности. Они изготовлены во взрывоопасном исполнении. Датчики давления предназначены для непрерывного преобразования избыточного давления или перепада давлений жидкостей и газов в унифицированный выходной сигнал постоянного тока в системах контроля и управления давлением. Сигнализаторы давления предназначены для коммутации электрических цепей при достижении заданных значений давлений и перепада давления (уставки срабатывания и обратного переключения контактной группы при изменении давления и перепада давления на величину дифференциала).

ЗАО "Информационные и управляющие системы" (ИНИУС) (Саратов) предложило потребителям *измерительно-вычислительный комплекс "КИРАС"* (рис. 2) для построения систем противоаварийной защиты, контроля и управления технологическими процессами. Комплекс обеспечивает автоматизацию контроля, управления, учета и сигнализацию предельных значений заданных параметров технологического процесса с отображением необходимой информации на мониторах автоматизированных рабочих мест. Он может входить в состав АСУ ТП во многих отраслях промышленности. Комплекс оснащен первичными датчиками и контроллерами для сбора информации и управления. Первичные датчики подключаются ко входам комплекса через барьеры искробезопасности. При необходимости комплекс настраивается (конфигурируется) под конкретный технологический процесс.

НИЛ АП (Таганрог) разработал и предложил *АСУ технологическими процессами котельных*, в которых используют одногорелочные или многогорелочные водогрейные и паровые котлы различной мощности. АСУ ТП осуществляет автоматический пуск и останов оборудования; управление котлом (вентиляция топки, опрессовка, поддержание заданного давления в общем газопроводе и заданного разрежения в топке), розжиг запальника, розжиг и вывод горелки на номинальную мощность; управление запорной арматурой, насосными агрегатами, процессом химводоподготовки; контроль технологических параметров и параметров состояния оборудования; сигнализацию (звуковую, световую и на экране компьютера) о выходе параметров технологического процесса за рамки допуска и в аварийных ситуациях. Режим работы: автоматический, диспетчерский и ручной. Программное обеспечение АРМ оператора включает Windows XP, программный пакет Master SCADA или Trace Mode.

НПО "ОВЕН" (Москва) демонстрировало оригинальные разработки.

Переносной измеритель-регистратор температуры и влажности (термогигрометр) "ОВЕН ЭЛИРОС 22" (рис. 3) для промышленного применения в неагрессивных газовых средах и производственных помещениях, а также на открытом воздухе. Результаты измерений высвечиваются на жидко-кристаллическом дисплее прибора. Регистрация текущих измерений и вычисленных параметров осуществляется в энергонезависимой памяти прибора (до 24 000 точек регистрации). Регистрация начинается при нажатии кнопки "Запись" или автоматически в заданное время и длится в течение заданного времени. О том, что идет сеанс записи, сигнализирует пиктограмма. Кроме того, на экран можно вывести подробную информацию о текущем сеансе (время регистрации, периодичность). Сеанс регистрации можно остановить в любое время и изменить период между записями. Информацию о сеансах можно просматривать и удалять ненужные сеансы. Зарегистрированные данные удобнее просматривать на ПК, к которому прибор подключается через порт USB. Прибор имеет удобное меню настроек, можно настроить параметры регистрации, выбрать подключаемую термопару, ввести цифровую фильтрацию измерений, настроить параметры дисплея (подсветку, контраст). Питание прибора от сети переменного тока напряжением 220 В или от трех батареек напряжением 4,5 В. Диапазон измерения температуры –40—120 °С, относительная влажность до 100 % при погрешности измерения ± 2 °С и ± 5 % соответственно. Габаритные размеры прибора 187 × 70 × 28 мм.

Монитор напряжения сети "ОВЕН МНС1" для отключения электрооборудования, в частности электродвигателей, при возникновении аварийных ситуаций. Монитор контролирует напряжение в однофазной (220 В) и трехфазной (380 В) сети, его мощность 15 Вт. Время задержки срабатывания защитного отключения 2,5—7,5 с. Габаритные размеры прибора 72 × 88 × 54 мм.

Компания "Связь комплект" (Москва) предложила *кабельный анализатор Sidekick®Plus* (рис. 4) для тестирования состояния и определения мест повреждений.

Рис. 4. Кабельный анализатор Sidekick® Plus

Рис. 5. Многофидерный измеритель электроэнергии BFM 136

ния кабельных линий связи. В анализаторе совмещены функции рефлектометра, емкостного и резистивного моста, измерителя напряжения, тока, сопротивления и продольной асимметрии. Кроме этого, прибором можно измерить шумы и затухание линии, оценить влияние источников сети электропитания, определить наличие и число катушек Пупина. Режим "Автотест" позволяет произвести измерения заданных параметров без переключений режимов тестирования. Уникальность анализатора заключается в использовании тестов: Stress Test и Leakege Test.

Stress Test позволяет локализовать высокоомные повреждения, обрывы, емкостную асимметрию пупиновских катушек, поврежденные пары, решать проблемы с заземлением. Принцип действия теста построен на возбуждении в линии специального сигнала. Он вызывает в линии электрический ток, в результате в месте неоднородности (повреждения) появляется напряжение, вызывающее стрессовый шум, свидетельствующий о наличии искомого повреждения.

Leakege Test позволяет определить "плавающие" резистивные повреждения подачей импульса напряжения амплитудой 135 В, который "пробивает" изолирующий слой, образовавшийся в месте повреждения пары.

Конструктивным отличием анализатора от аналогов является одновременное использование цифровой и аналоговой форм отображения полученных значений, что значительно упрощает измерение пиковых значений при быстрых измерениях.

Фирма SATEC (США) предложила автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии.

Многофидерный измеритель электроэнергии BFM136 (рис. 5). Прибор измеряет электроэнергию и основные параметры сети по 36 однофазным или 12 трехфазным каналам, а также в любой их комбинации. Подключение прибора производится через внешние токовые трансформаторы. По мнению представителей фирмы, он обеспечивает полную информацию о расходе электроэнергии для подготовки отчетов. При подключении прибора к системе eXpertpower™, работающей на базе Web, он осуществляет анализ энергосистемы, обеспечивая доступ к данным из любого места в любое время (Web — приложение eXpertpower™ — система, позволяющая получить развернутую картину энергопотребления, оценить параметры электроэнергии, ее качество и другие данные, полученные в режиме реального времени из любой удаленной точки). Измеритель оснащен жидкокристаллическим дисплеем и работает с высокой точностью в соответствии со стандартами ANSI и IEC. Прибор легко настраивается, обеспечивая возможность ведения учета потребляемой энергии и мощности как по обычному, так и дифференцированному тарифу. Для учета электроэнергии возможно выделение одной или нескольких цепей для каждого потребителя. Переназначение групп каналов другим потребителям или между потребителями производится по заданной программе. Измеритель оснащен аварийной сигнализацией. Он имеет прочный корпус, защищенный от несанкционированного вскрытия.

Переносной анализатор качества энергии EDL 172EHXR для измерения, регистрации и анализа электрической сети. В дополнение к стандартному гармоническому анализу напряжений и токов прибор измеряет мощность гармоник и их энергию. Анализатор оснащен пакетом программ PAS, обеспечивающим возможность анализа данных и отображение графической информации. Он укомплектован стандартными токовыми клещами на 200, 1000, 3000 А и измерительным поясом для измерения токов 30, 300 и 3000 А (Flex Sensor), а также аккумулятором для автономной работы и модемом GSM.

В рамках выставки проходила Всероссийская конференция по АСУ ТП и встраиваемым системам. Она способствовала внедрению высоких технологий и развитию российской промышленности в целом.

А. Н. ИВАНОВ, инж.

Издательский центр "Технология машиностроения"

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 01.11.2006. Подписано в печать 18.12.2006. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 13,18. Заказ 01/07.

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"