

ТЕХНОЛОГИЯ



МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:**

Гл. редактор

В. А. Казаков

Н. П. Бирюкова

Р. С. Голов

В. Д. Горбач

С. Н. Григорьев

Б. В. Гусев

А. В. Дуб

В. М. Ермаков

А. С. Зубченко

А. В. Иванайский

Е. А. Калашников

В. В. Капустин

А. Л. Карунин

И. П. Ксенович

А. Е. Лигачев

А. А. Лозован

В. П. Лялякин

А. В. Медарь

Б. А. Никитин

Г. В. Самодуров

В. Н. Семенов

О. С. Сироткин

А. К. Скворчевский

Н. В. Смирнов

А. В. Телушкин

А. Н. Феофанов

В. А. Фролов

В. К. Шелег

И. Н. Шиганов

Редакция:

С. В. Богус,

Т. П. Маслик

Компьютерная верстка:

Е. В. Конова

Дизайн обложки:

Е. С. Благовидов

Специальные

корреспонденты:

А. Н. Иванов, А. В. Казаков,

Ан. А. Суслов

Редактор-переводчик

Е. О. Егорова

Корректор

Е. В. Комиссарова

**11 (77)
Ноябрь
2008**

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр

"Технология машиностроения"

Журнал издается при содействии

Министерства промышленности

и торговли РФ,

Министерства образования и науки РФ,

Российской инженерной академии,

Союза машиностроителей России,

ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»

Адрес редакции:

127015, Москва, ул. Большая Новодмитровская, 23.

Адрес для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 01.

Телефоны: гл. редактор — (495) 796 2491;

редакция — (495) 748 0142.

Факс: (495) 748 0142.

Бухгалтерия: 8 910 414 9184.

E-mail: tekhmash@ic-tm.ru

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

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

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-7779

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

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

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



TEKHNLOGIYA

MASHINOSTROENIYA

REVIEW-ANALYTICAL, SCIENTIFIC-TECHNICAL
AND PRODUCTION JOURNAL

EDITORIAL BOARD:

V. A. Kazakov
Editor-in-Chief

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

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

Computerized making-up:
E. V. Konova

Cover design:
E. S. Blagovidov

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

Editor-translator
E. O. Egorova

Proof-reader
E. V. Komissarova

11 (77)
November
2008

FOUNDER:

Publishing Centre

"Tekhnologiya Mashinostroeniya"

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

Address of the editorial office:

B. Novodmitrovskaya, 23, Moscow.

For correspondence: P.O.B.01, Moscow,
129626, Russia.

Phones: (495) 796 2491 — Editor-in-Chief;
(495) 748 0142 — Editorial office.

Fax: (495) 748 0142.

Book-keeping: 8 910 414 9184.

E-mail: tekhmash@ic-tm.ru
[Http://www.ic-tm.ru](http://www.ic-tm.ru)

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

Registration certificate ПИ № 77-7779

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

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

*Reference to "Tekhnologiya Mashinostroeniya"
at reprint is obligatory*

СОДЕРЖАНИЕ

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

- Крушенко Г. Г. — Модифицирование доэвтектического алюминиево-кремниевого сплава нанопорошком нитрида титана при литье сложнагруженных деталей транспортных средств 5

ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

- Иванайский А. В., Иванайский В. А., Мыслевец Е. А. — Технология изготовления отливок из высоколегированных сталей, склонных к пленкообразованию. 8

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

- Гаврилова Т. М. — Физико-механические свойства поверхностного слоя деталей после ультразвукового раскатывания. 10
- Ломаев В. И., Сагателян Г. Р., Иванайский В. А. — Технологическое обеспечение точности изделий из композиционных материалов, изготавливаемых методом выкладки 13
- Гадалов В. Н., Алехин Ю. Г., Скрипкина Ю. В., Бредихина О. А., Абашкин Р. Е., Винокуров О. В. — Электроискровые покрытия, подвергнутые выглаживанию минералокерамикой. 19
- Малов И. Е., Мамалиев С. Ф., Шиганов И. Н. — Фотополимеризующиеся композиции для лазерной стереолитографии. 23

СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

- Янюшкин А. С., Кузнецов А. М. — Износостойкость твердосплавного инструмента при обработке древесностружечных плит 29
- Журавлев В. В. — Особенности пайки алмазных резцов 32

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА И РОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

- Волобуев Ю. С., Потапов Н. Н., Старченко Е. Г., Волобуев О. С. — Состояние и перспективы развития производства и применения сварочных флюсов в отечественной промышленности 33

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ

- Абрамов А. Д., Галай М. С. — Применение виброударной технологии для упрочнения поверхностей деталей машин 38

МЕТРОЛОГИЯ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- Полянский М. А. — Особенности применения термометров сопротивления и термоэлектрических преобразователей 41

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ

- Кретов Е. Ф. — Ультразвуковая толщинометрия в машиностроении. 44

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ, САПР

- Потапов В. А., Феофанов А. Н. — Автоматизация производства предприятия 48

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

- Дуюн Т. А., Гринек А. В. — Математическая модель стружкообразования при точении коллекторной меди 51

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

- Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Перечень эквивалентных терминов (ГОСТ Р 12.4.235—2007) 54

ОХРАНА ТРУДА В МАШИНОСТРОЕНИИ

- Бутовский М. Э. — Отходы машиностроительного предприятия и пути их использования 59

ЭКОНОМИКА МАШИНОСТРОЕНИЯ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Клочков В. В., Шкадова А. А., Ждановский А. В. — Экономические аспекты морального устаревания техники 65

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

- Носов В. К., Уваров В. Н., Мамонов С. А. — Повышение профессиональной подготовки выпускников вузов и содействие их трудоустройству 71

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

- Потапова Г. С. — Содержание зарубежных журналов. 73

ИНФОРМАЦИЯ

- Добринский Е. С., Сеин В. А. — Инновационные продукты, современные материалы, технологии и инструменты зарубежных фирм 78

CONTENTS

STRUCTURAL MATERIALS, METAL SCIENCE

- Krushenko G.G.** – Hypoeutectic aluminium-silicon alloy inoculation by titanium nitride nano-powder at casting aggregate-loaded hardware of transportation facilities 5

BLANK PRODUCTION

- Ivanaysky A.V., Ivanaysky V.A., Myslevets Ye.A.** – Liable to shelling high-alloy steel casts processing technique . . . 8

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

- Gavrilova T.M.** – Physical-mechanical properties of the component surface layer after ultrasonic flattening-out 10

- Lomayev V.I., Sagatelyan G.R., Ivanaysky V.A.** – Process assurance of accuracy for composite products, manufactured by the laying-out technique 13

- Gadalov V.N., Alyokhin Yu.G., Skripkina Yu.V., Bredikhina O.A., Abashkin R.Ye., Vinokurov O.V.** – Electric-spark coating, subjected to cemented-oxide burnishing 19

- Malov I.Ye., Mamaliyev S.F., Shiganov I.N.** – Photopolymerizing composition for laser stereolithography 23

TOOLING PRODUCTION

- Yanyushkin A.S., Kuznetsov A.M.** – Carbide-tipped tooling wear resistance at woodchip board working 29

- Zhuravliov V.V.** – Diamond cutter brazing features 32

TECHNOLOGIES AND MACHINES FOR WELDING PRODUCTION AND RELATED PROCESSES

- Volobuyev Yu.S., Potapov N.N., Starchenko Ye.G., Volobuyev O.S.** – State and prospect of industry development and welding fluxes application in home industry 33

SPECIAL TECHNOLOGIES

- Abramov A.D., Galay M.S.** – Vibroimpact technology application to strengthen machine components surfaces 38

METROLOGY AND MEASUREMENT ASSURANCE

- Polyansky M.A.** – Resistance thermometer and thermoelectric converter application features 41

TESTING AND DIAGNOSTICS METHODS IN ENGINEERING INDUSTRY

- Kretov Ye.F.** – Ultrasonic measuring of thickness in engineering industry 44

PROCESSES AND PRODUCTION AUTOMATION AND CONTROL, CAD SYSTEMS

- Potapov V.A., Feofanov A.N.** – Enterprise manufacturing automation 48

MATHEMATICAL MODELLING, CALCULUS OF APPROXIMATIONS AND SOFTWARE SYSTEMS

- Duyun T.A., Grinek A.V.** – Mathematical model of chip-formation at collector copper turning 51

STANDARDIZATION AND PRODUCT QUALITY CONTROL

- System** of labour safety standard. Respiratory protective device. List of convertible terms (GOST R 12.4.235–2007) 54

LABOUR PROTECTION IN ENGINEERING INDUSTRY

- Bootovsky M.E.** – Machine building plant waste products and means for their utilization 59

ECONOMICS OF THE ENGINEERING INDUSTRY AND PRODUCTION ORGANIZATION

- Klochkov V.V., Shkadova A.A., Zhdanovsky A.V.** – Economic aspects of hardware moral obsolescence 65

EDUCATION AND PERSONNEL TRAINING

- Nosov V.K., Uvarov V.N., Mamonov S.A.** – Higher vocational training of the graduating students of higher education institutes and job placement assistance 71

FOREIGN EXPERIENCE

- Potapova G.S.** – Contents of the foreign journals 73

INFORMATION

- Dobrinsky Ye.S., Sein V.A.** – Innovative products, modern materials, technologies and tools from foreign companies. . 78
-

Г. Г. КРУШЕНКО, д-р техн. наук
Институт вычислительного моделирования СО РАН

Модифицирование доэвтектического алюминиево-кремниевого сплава нанопорошком нитрида титана при литье сложнонагруженных деталей транспортных средств

Алюминиево-кремниевые литейные сплавы широко применяют для литья деталей транспортных средств, работающих в сложнонагруженных условиях. Обычными процедурами при приготовлении этих сплавов являются рафинирование, предназначенное для удаления водорода и посторонних включений, и модифицирование — с целью измельчения структуры и, как результат, повышения механических свойств.

Однако в случае необходимости получения литых деталей, работающих в высоконагруженных экстремальных условиях, с повышенными требованиями по уровню механических свойств и эксплуатационных характеристик указанные общепринятые средства металлургической обработки не всегда обеспечивают получение отливок с требуемыми свойствами. Из группы деталей, взаимодействующих в составе крупногабаритного узла транспортного изделия, работающего в экстремальных условиях, в качестве объекта исследования была выбрана конусная деталь типа обтекатель, к механическим свойствам которой предъявляют повышенные требования. Деталь отливается из сплава АЛ4М, близкого по составу к сплаву АЛ4 [1]. Сплав относится к конструкционным сплавам системы Al—Si, которые применяют для литья деталей, испытывающих высокие нагрузки в условиях эксплуатации в двигателестроении и транспортном машиностроении.

Химический состав сплава (%): 8,0—10,0 Si; 1,4—1,9 Cu; 0,35—0,65 Mg, остальное — Al. Кроме того, в его состав входит комплекс модифицирующих и упрочняющих элементов в пределах 0,01—0,5 %.

Структура сплава состоит из твердых растворов, эвтектики (механическая смесь из образований α - и β -твердых растворов) и включений интерметаллических фаз. При этом эвтектика без применения каких-либо средств воздействия на сплав в жидком состоянии, как правило, имеет грубоигольчатое строение. Сплавы с такой структурой вследствие большой хрупкости кремния (β -фаза) характеризуются низкими механическими свойствами.

Требуемый уровень механических свойств сплава в отливках в термически обработанном состоянии, согласно технической документации, находится в следующих пределах: временное сопротивление разрушению $\sigma_B \geq 350$ МПа, предел текучести $\sigma_{0,2} \geq 240$ МПа (обычно эта характеристика для литейных алюминиево-кремниевых сплавов не оговаривается), относительное удлинение $\delta \geq 5,0$ %, твердость — 1100—1170 МПа. При работе по стандартной заводской технологии такие механические свойства не всегда отвечают указанным выше требованиям.

Поэтому, исходя из опыта применения нанопорошков (НП) тугоплавких химических соединений (нитриды, карбиды, карбонитриды, бориды, оксиды и др.) [2, 3], для повышения физико-механических характеристик литых изделий из алюминиевых сплавов, чугуна и стали решено использовать НП и при литье обтекателя. В качестве НП применяли нитрид титана TiN, полученный методом плазмохимического синтеза [4]. В проведенных ранее исследованиях это соединение оказалось одним из наиболее эффективных агентов.

НП вводили в расплав в объеме прутка диаметром 9,5 мм, отпрессованного из композиции частицы алюминия + частицы НП TiN. Содержание НП в прутках 1,5—2,7 %. Полученные прутки служили носителем модификатора — при их введении в расплав алюминиевая матрица расплавлялась и частицы НП оказывались в объеме жидкого металла, минуя контакт с атмосферой. При этом установили, что для эффективного воздействия на структуру любых сплавов достаточно вводить в расплав до 0,05 % НП, а в отдельных случаях — всего до тысячных долей процента.

Деталь отливали конусом вниз. Наружная конусная поверхность детали оформлялась в металлической форме, внутренняя — с помощью песчаного стржня, в котором была устроена литниково-питающая система. Черновая масса отливки составляет 25 кг, чистовая — 14,5 кг.

По стандартной заводской технологии сплав готовили в индукционной печи. Масса шихты составляла 75 кг, из них 60 кг — свежие компоненты: алюминий и лигатуры Al—25 % Si и Al—50 % Cu, остальное — отходы собственного производства в виде литников и прибылей, которые содержали около 0,2 % Ti.

После расплавления всех компонентов расплав дегазировали при 750 °С гексахлорэтаном C_2Cl_6 в два приема (по 75 г каждый) с выдержкой после окончания процесса в течение 7—8 мин. Затем сплав модифицировали стандартным тройным модификатором (25,0 % NaF + 12,5 % KCl + 62,5 % NaCl) [5] в количестве 1,5—2,0 % от массы плавки, который засыпался на зеркало металла и после 15-минутной выдержки замешивался в расплав. Затем продукты взаимодействия модификатора с расплавом очищались с поверхности металла, после чего вводили чушковую лигатуру Al—10 % Ti. Обработка расплава тройным модификатором и введение лигатуры Al—10 % Ti производили с целью измельчения структуры литых деталей. Зародышеобразующей фазой в лигатуре Al—10 % Ti являются частицы $TiAl_3$, которые имеют гранецентрированную тетрагональную решетку.

После растворения лигатуры с помощью разливочного ковша емкостью 25 кг при 710—720 °С заливали три детали с интервалом 10 мин. От каждой плавки одновременно с деталями заливали в кокиль по три пробы-свидетеля, из которых впоследствии после термической обработки в одной садке с деталями вырезали образцы для определения механических свойств.

Термическую обработку производили по следующему режиму:

— двухступенчатая закалка: нагрев до 505 ± 5 °С, выдержка в течение 2 ч; последующий нагрев до 525 ± 5 °С, выдержка в течение 8 ч; охлаждение в воде ($T \geq 20$ °С) с выдержкой не менее 15 мин; при этом длительность переноса деталей из закалочной печи в емкость с водой не должна превышать 30 с;

— старение: нагрев до 160 ± 5 °С; выдержка в течение не менее 6 ч; охлаждение на воздухе; в результате старения должна быть получена твердость 1100—1170 МПа, при получении меньших значений необходимо продолжить выдержку при той же температуре до получения требуемого уровня твердости.

Такие жесткие требования к режиму термической обработки связаны с необходимостью быстрого фиксирования происходящих при нагреве изменений фазового состава сплава, которые создают упрочняющий эффект. Согласно работе [1], в зависимости от содержания в сплаве меди в условиях, близких к равновесным, кристаллизуются различные структурные составляющие — главным образом эвтектического происхождения. Небольшие добавки титана

(0,2 %) и бора (0,05 %) образуют в сплаве большое количество дисперсных тугоплавких боридов AlB_2 , TiB_2 и др., измельчающих зерна α -твердого раствора алюминия и частично различные составляющие эвтектики. Фазами-упрочнителями в сплаве в процессе термической обработки являются соединения Mg_2Si , $W(Al_4CuMg_5Si_4)$ и $\theta-(CuAl_2)$.

Как правило, механические свойства не всех деталей, отлитых из сплава, полученного по данной технологии, удовлетворяли требованиям. В связи с чем, вместо лигатуры Al—10 % Ti в расплав в объеме прутка диаметром 9,5 мм вводили НП TiN.

В результате предлагаемого изменения технологии приготовления сплава получены детали с механическими свойствами, которые превышали требуемые: $\sigma_B = 354 \div 360$ МПа; $\sigma_{0,2} = 246 \div 255$ МПа; $\delta = 5,5 \div 6,0$ %; $HB = 1125 \div 1150$ МПа. Несмотря на то, что время разливки сплава после окончания металлургической обработки было существенно больше регламентного, механические свойства всех трех отливок практически не отличались.

Полученные результаты можно объяснить следующим образом.

Согласно общепринятой классификации [6], модификаторы делятся на две группы. Модификатор первого рода — поверхностно-активные вещества (ПАВ) — адсорбируются на зародышах, возникающих на центрах кристаллизации, и тормозят их рост, в результате появляется большое количество новых зародышей, рост которых становится возможным из-за уменьшения концентрации модификатора на их поверхности. В данной работе к этой группе относится тройной модификатор, в котором натрий является ПАВом. Модификатор второго рода — так называемый модификатор инокулирующего действия — облегчает образование в расплаве центров кристаллизации, например коллоидных частиц, оказывающих влияние на зарождение кристаллов металлических фаз при затвердевании. При появлении большого числа таких центров образуется повышенное количество мелких зерен основной фазы или мелких включений других фаз. НП TiN можно отнести к модификаторам второго вида.

При этом механизм воздействия натрия заключается в блокировании роста формирующихся при затвердевании сплава кристаллических образований, в результате происходит измельчение эвтектики, которая без применения каких-либо средств воздействия на жидкий сплав, как правило, имеет грубоигольчатое строение (сплавы с такой структурой вследствие большой хрупкости кремния характеризуются низкими механическими свойствами), а также формирование более мелких и закономерно ориентированных дендритов α -твердого раствора алюминия, что и приводит к росту механических свойств литых изделий.

Однако эффективность обработки сплавов натрий-содержащими солями сохраняется до 20—25 мин вследствие окисления натрия, причем по мере разлики сплава модифицирующий эффект ухудшается с одновременным закономерно уменьшающимся уровнем механических свойств от первой до последней детали. Кроме того, недостатками применения флюсового модифицирования являются:

— необходимость предварительной сушки флюса ввиду высокой гигроскопичности входящих в него солей при несоблюдении температурно-временных режимов сушки или в результате длительного хранения флюса на воздухе после сушки. Поглощенная флюсом влага становится источником образования в отливках газовой пористости, что приводит к снижению уровня их механических свойств и герметичности;

— быстрый износ и преждевременный выход из строя тиглей или футеровки печи, в которых производится модифицирование вследствие их взаимодействия с солями, а также загрязнение сплава продуктами этого взаимодействия.

Недостатком применения лигатуры Al—10 % Ti является длительность процесса ее растворения вследствие более высокой температуры плавления по сравнению с рабочей температурой сплава (710—720 °С). По данным работы [7], температура плавления сплава Al—10 % Ti составляет 1000, 1030 и 1150 °С.

Можно полагать, что универсальность модифицирующего воздействия НП на различные металлы и сплавы связана со свойствами используемых для этой цели нанопорошков. Во-первых, все они имеют высокую температуру плавления, во-вторых, обладают высокой седиментационной устойчивостью в жидкостях. Применяемые в настоящее время инокулирующие добавки вследствие более высокой или более низкой плотности, чем плотность жидкого металла, не во всех случаях работают эффективно из-за оседания или всплывания под действием силы тяжести. Частицы же НП обладают исключительно высокой седиментационной устойчивостью из-за своих малых размеров (до 100 нм) и высокой удельной поверхностью по причине, установленной еще

в 1905 г. А. Эйнштейном [8], который показал, что для частиц размером до 1 мкм энергии броуновского движения достаточно для того, чтобы они находились в постоянном движении и не оседали под действием силы тяжести. Поэтому частицы НП обладают двойным модифицирующим воздействием: во-первых, они служат центрами кристаллизации, а во-вторых, будучи весьма многочисленными по количеству и находясь длительное время во взвешенном состоянии, блокируют диффузию соответствующих атомов (кластеров, блоков) с зарождающимися и растущими кристаллами, что в конечном счете и способствует формированию мелкокристаллической структуры литых изделий. Кроме того, установлено [9], что частицы НП могут упрочнять присутствующие в расплавах интерметаллические соединения. Все эти эффекты ведут к повышению механических свойств литых изделий.

Разработанная технология были применена и при литье других деталей из алюминиево-кремниевых сплавов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров А. М. Промышленные сплавы цветных металлов. Фазовый состав и структурные составляющие. М.: Металлургия, 1980. 125 с.
2. Крушенко Г. Г. Нанопорошки химических соединений — средство повышения качества металлоизделий и конструкционной прочности // Заводская лаборатория. 1999. Т. 65. № 11. С. 42—50.
3. Крушенко Г. Г. Применение нанопорошков химических соединений для улучшения качества металлоизделий // Технология машиностроения. 2002. № 3. С. 3—6.
4. Плазмохимический синтез ультрадисперсных порошков и их применение для модифицирования металлов и сплавов / В. П. Сабуров, А. Н. Черепанов, М. Ф. Жуков и др. Новосибирск: Наука, 1995. 344 с.
5. Алюминиевые сплавы. Плавка и литье алюминиевых сплавов: Справочное руководство. М.: Металлургия, 1970. 319 с.
6. Ребиндер П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах // Физико-химическая механика. М.: Наука, 1979. С. 143—154.
7. Вол А. Е. Строение и свойства двойных металлических систем. М.: Физматгиз, 1959. Т. 1. 756 с.
8. Эйнштейн А., Смолуховский М. Броуновское движение. М.-Л.: ОНТИ, 1936. 607 с.
9. Крушенко Г. Г., Балашов Б. А. Упрочнение частиц $TiAl_3$ в алюминиевом композиционном материале // Литейное производство. 1995. № 10. С. 16—17.

А. В. ИВАНЯЙСКИЙ, д-р техн. наук, В. А. ИВАНЯЙСКИЙ, канд. техн. наук, Е. А. МЫСЛЕВЕЦ, инж.
Московский государственный открытый университет

Технология изготовления отливок из высоколегированных сталей, склонных к пленообразованию

Как известно, получение качественных отливок и сталей, содержащих хром и титан (типа X18H10ТЛ), представляется сложной технической задачей. Это связано с высокой окисляемостью легирующих элементов (хрома и титана), образованию из них оксидов плен во время плавки и заливки в формы.

Высоколегированные стали содержат в своем составе легко окисляемые элементы, такие как хром, титан, марганец, кремний, алюминий и др. Поэтому получение качественных отливок без плавки и заливки в вакууме не представлялось возможным.

Предложено проводить заливку высоколегированных сталей, склонных к пленообразованию, в режиме кавитации. При этом учитывали прочность литейной формы. Литейные формы изготавливали из холоднотвердеющих смесей (ХТС), где в качестве вяжущего использовали смолу "Фуритол-107". Такая форма имеет повышенные физико-механические свойства.

В результате воздействия на литейную форму с расплавом вибрационными колебаниями низкой частоты с вибрационной скоростью 0,6—2,5 м/с в металлическом расплаве возникает кавитация. При этом происходит разрушение плены и равномерное распределение по всему объему тугоплавких твердых частиц, из которых состоит плена (TiO_2 , Cr_2O_3). При таком состоянии плены не образуются литейные дефекты в виде спая. Более того, тугоплавкие неметаллические включения оказывают модифицирующее воздействие, измельчая структуру отливки. Таким образом, плена переводится в другое состояние в виде тугоплавких частиц, равномерно распределенных по всему объему.

Изготовления отливок производили с наложением на литейную форму (с начала ее заполнения расплавом и до окончания) вибрационных колебаний низкой частоты с вибрационной скоростью 0,6—2,5 м/с (режим кавитации расплава).

При вибрационной скорости меньше 0,6 м/с в отливке имеются дефекты в виде плен и спаяв, при виброскорости волновода свыше 2,5 м/с происходит разрушение отливки.

Режимы вибрационного воздействия определяли по графику (см. рисунок).

Выплавляемая сталь в индукционной печи емкостью 50 кг получена следующего состава (%): 0,1 С;

18 Cr; 8,9 Ni; 0,4 Ti; 1,4 Mn; 0,7 Si. Перед заливкой каждой формы брали спиральную пробу на жидкотекучесть. Для сравнительного анализа определяли рекомендуемую жидкотекучесть и температуру заливки стали по номограмме.

Скорость подъема уровня металла в форме вычисляли по формуле

$$v = \frac{h}{\tau}, \quad (1)$$

где h — высота отливки; τ — время заполнения формы.

Толщина стенки отливки

$$\delta = \frac{2S}{P}, \quad (2)$$

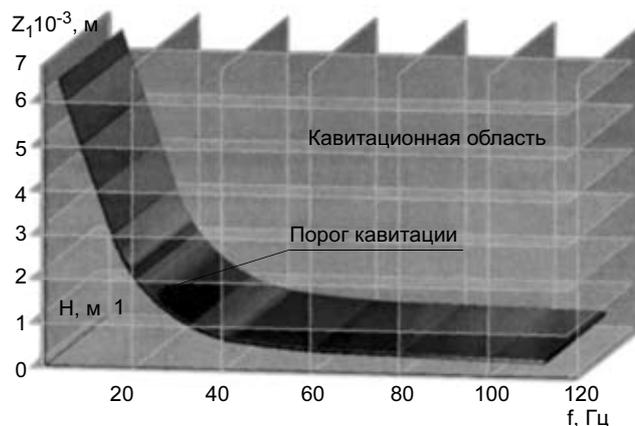
где S — площадь сечения; P — периметр сечения.

Эквивалент состава определяли по формуле

$$\Theta_c = 9(\% C - 0,15) + \frac{1}{8} \% Ni - \frac{1}{10} \% Cr - \% Ti. \quad (3)$$

Полученные отливки подвергали визуальному осмотру, затем разрезали вдоль с целью определения размеров усадочной раковины и пористости. Наличие и распределение неметаллических включений определяли с помощью микроскопа МИМ-8.

Форму для получения образцов изготавливали из холоднотвердеющей смеси следующего состава (%): 3 "Фуритол-107"; 0,8 фосфорной кислоты (сверх 100 %); 97 песка 2K0315.



К определению пороговых значений параметров колебаний

Номер режима	Вибрационная скорость, м/с	Температура заливки, °С	Литейные дефекты
1	0,3	1530	Плены и спаи
2	0,6	1520	Нет
3	0,9	1500	"
4	1,5	1520	"
5	2,5	1540	"
6	3,0	1530	Отливка в виде отдельных блоков

Форма выдерживает вибрационное воздействие в режиме кавитации расплава в период разливки литейной формы.

Вибрационное воздействие в режиме низкочастотной кавитации расплава позволяет получить бездефектные отливки при температуре заливки на 100 °С ниже рекомендуемой (см. таблицу).

При сравнении образцов, вырезанных из отливок, полученных при режимах 1 и 3 (см. таблицу), отмечено, что плотность образца, полученного по

режиму 1, составляет 7,64 г/см³, усадочная раковина развита, а по режиму 3 — 7,95 г/см³, усадочная раковина сосредоточенная. Распределение неметаллических включений по сечению в образце, полученном при кавитационном воздействии, более равномерное.

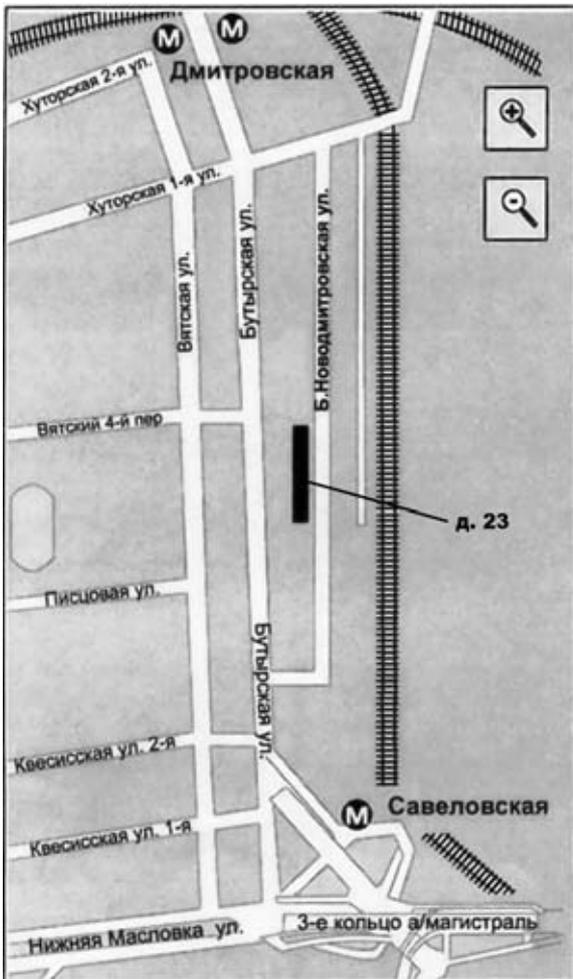
Плен в явном виде обнаружено не было. Поверхность отливок без оксидных плен и других видимых дефектов.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментально определены условия измельчения и замешивания оксидной пленки в расплав при низкочастотном кавитационном воздействии.

2. Экспериментально определена температура перегрева над точкой плавления $(0,1-0,15)T_{пл}$ матричного сплава, которая обеспечивает расплавленное состояние матрицы при суспензировании твердых частиц и их равномерное распределение в объеме материала.

Вниманию читателей!



**Информируем Вас
о новых адресах и телефонах журнала:**

**Издательский центр
"Технология машиностроения":**

Http://www.ic-tm.ru
E-mail: ic@ic-tm.ru

**Адрес редакции журнала
"Технология машиностроения":**

127015, Москва, ул. Большая Новодмитровская, 23.

Телефоны: (495) **796 2491** — главный редактор;
(495) **748 0142** — редакция.
Факс: (495) **748 0142**.

Для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 01.

Бухгалтерия:

8 910 414 9184.

E-mail: tekmarsh@ic-tm.ru

Т. М. ГАВРИЛОВА, канд. техн. наук

Уральский государственный технический университет – УПИ
Нижнетагильский технологический институт (филиал)

Физико-механические свойства поверхностного слоя деталей после ультразвукового раскатывания

В процессе эксплуатации машин и приборов поверхностные слои деталей оказываются наиболее нагруженными вследствие взаимодействия с сопрягаемыми деталями, а также они непосредственно подвергаются воздействию со стороны внешней среды. Вследствие этого состояние поверхностного слоя (ПС) деталей определяет работоспособность, долговечность и надежность работы машин в целом. Применение современных специальных технологических методов позволяет формировать ПС со свойствами, соответствующими условиям эксплуатации [1].

Существенного повышения качества и улучшения свойств поверхностного слоя деталей можно достичь, применяя упрочняющие методы обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД), которые позволяют управлять микрогеометрией поверхности, ее твердостью, степенью деформационного упрочнения, уровнем остаточных напряжений, структурой и фазовым составом, устранять микродефекты (поры, трещины) [2, 3].

Прогрессивным направлением интенсификации процессов ППД является введение в зону деформации ультразвуковых колебаний (УЗК) [4, 5]. Перспективен в этом отношении метод ультразвукового раскатывания [6], используя который удастся сочетать как повышение твердости [7], так и чистоты обработанной поверхности, а также получать регулярный микро-рельеф [8].

С целью технологического обеспечения показателей качества рабочих поверхностей деталей важно выявление взаимосвязи между состоянием ПС исходного материала и режимами ультразвукового поверхностного пластического деформирования с одной стороны, и физико-механическими свойствами поверхностного слоя после обработки, с другой.

Вследствие этого для установления влияния технологических параметров процесса на формирование физико-механических свойств поверхностного слоя при ППД с введением в зону деформации ультразвуковых колебаний отобраны детали типа кольца из стали 45 с исходной микротвердостью $H_{\diamond 50} = 2600 \div 2700$ МПа (после термической обработки) и $H_{\diamond 50} = 1700 \div 1900$ МПа (без предварительной термической обработки). Амплитуда ультразвуковых крутильных колебаний деформирующего элемента $\xi = 60$ мкм, рабочая частота колебательной системы $f = 18$ кГц. Варьируемые параметры процесса: диаметр деформирующего элемента $d = 4,7 \div 12$ мм (материал — сталь ШХ15), частота вращения детали $n = 31,5 \div 90,0$ об/мин, подача $s = 0,14 \div 1,2$ мм/об, статическая сила прижима деформирующего элемента к поверхности детали (усилие деформирования) $P = 3,5 \div 15$ Н.

Обработку осуществляли на специальной установке [6]¹.

¹ Патент 2095217 (РФ).

Микротвердость поверхностного слоя определяли на приборе ПМТ-3 с алмазной пирамидой Викерса при нагрузке 0,5 Н, время выдержки 5 с, шаг замеров 0,025 мм.

Деформационное упрочнение поверхностного слоя после раскатывания инструментом, совершающим крутильные ультразвуковые колебания, оценивали микротвердостью $H_{\diamond 50}$, глубиной h и степенью наклепа u_H , а интенсивность наклепа по глубине поверхностного слоя — градиентом наклепа $u_{гр.н}$ по формулам

$$u_H = \frac{H_{\diamond 50} - H_{\diamond 50}^{оч.м}}{H_{\diamond 50}^{оч.м}} 100 \% ; \quad (1)$$

$$u_{гр.н} = \frac{H_{\diamond 50} - H_{\diamond 50}^{оч.м}}{h} = \frac{\Delta H_{\diamond 50}}{h} , \quad (2)$$

где $H_{\diamond 50}$ — максимальная микротвердость поверхностного слоя, МПа; $H_{\diamond 50}^{оч.м}$ — микротвердость основного металла, МПа; h — глубина упрочненного слоя.

Данные показатели являются особенно важными параметрами физико-механического состояния поверхностного слоя после упрочняющей обработки ППД, так как во многом определяют его служебные свойства, такие как износостойкость, стойкость против коррозионных воздействий, усталостную прочность, отражательную способность и др.

Металлографические исследования проводили на микроскопе Neophot-2.

Вырезку темплетов для определения внутренних остаточных на-

пряжений упрочненных поверхностных проводили по методике работы [9]. Рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре "Дрон-4М" в $\text{Cu K}\alpha$ -излучении. Длина волны $\lambda = 0,15405$ мм, съемку осуществляли в диапазоне углов $40\text{—}47$ и $96\text{—}102^\circ$ с шагом отсечки $0,1^\circ$, время экспозиции 10 с. Получены дифрактограммы с поверхности образцов, раскатанных без воздействия ультразвуковых колебаний (эталоны) и с введением УЗК в зону деформации. Эталон изготовлен из стали 45, отожжен на мелкое зерно при $t = 600^\circ\text{C}$ и выдержан в печи в течение 1 ч, затем его подвергли электролитическому травлению в концентрированном растворе HNO_3 . Напряжения в ПС эталона $\sigma = 140\div 160$ МПа, размеры блоков мозаики $D_{\text{HKL}} = 94\div 100$ мкм.

Величина искажений решетки в направлении, перпендикулярном плоскости отражения (HKL), так же, как и размер блока мозаики в направлении, нормальном к (HKL), определяли в соответствии с методикой работы [10]:

для микронапряжений

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\beta}{4 \operatorname{tg} \theta_{\text{HKL}}} ; \quad (3)$$

для величины блоков

$$D_{\text{HKL}} = \frac{0,94\lambda}{\beta \cos \theta_{\text{HKL}}} , \quad (4)$$

где a — период кристаллической решетки; $\frac{\Delta a}{a}$ — относительная микродеформация решетки; β — истинное физическое уширение линии рабочего образца; θ — угол отражения от плоскости (HKL); D_{HKL} — величина блоков мозаики; λ — длина волны рентгеновского излучения.

Уровень микронапряжений в поверхностном слое оценивали по величине относительной деформации (микродеформации):

$$\sigma = \frac{\Delta d_{\max}}{d} ; \quad \frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta a}{a} . \quad (5)$$

Воздействие ультразвука при ППД на макро- и микрогеометрию поверхности подробно исследовано в работе [8].

Результаты исследования показали, что при обычном раскатывании деталей из стали 45, подвергнутых предварительной термической обработке ($H_{\diamond 50} = 2600\div 2700$ МПа), в рассматриваемом диапазоне P с увеличением статической силы прижима деформирующего элемента микротвердость поверхностного слоя повышается не более чем на 7 %, глубина упрочнения не превышает 0,2 мм вследствие малой величины нагрузки (рис. 1, 2). Микротвердость поверхностей, обработанных с введением ультразвуковых крутильных колебаний в зону деформации, увеличива-

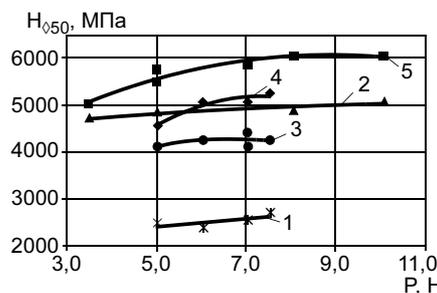


Рис. 1. Влияние статической силы прижима деформирующего элемента на микротвердость упрочненного слоя при раскатывании: 1 — без УЗК и термической обработки детали; 2 — без УЗК и с термической обработкой детали; 3, 4 — с УЗК и без термической обработки детали; 5 — с УЗК и термической обработкой детали

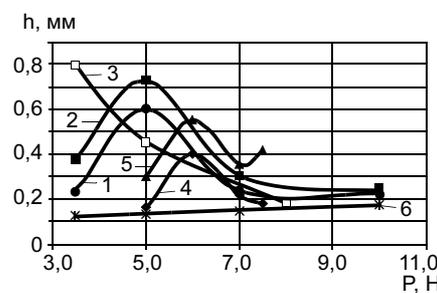


Рис. 2. Влияние статической силы прижима деформирующего элемента на глубину упрочнения при раскатывании: 1 — с УЗК и термической обработкой детали ($d = 10$ мм, $n = 31,5$ об/мин); 2 — то же ($d = 10$ мм, $n = 63$ об/мин); 3 — то же ($d = 12$ мм, $n = 31,5$ об/мин); 4 — с УЗК и без термической обработки детали ($d = 8$ мм, $n = 45$ об/мин); 5 — то же ($d = 8$ мм, $n = 63$ об/мин); 6 — раскатывание без УЗК

ется на 20—25 %, а наклепанный слой — до 1 мм.

При ультразвуковом раскатывании деталей с исходной микротвердостью $H_{\diamond 50} = 1700\div 1900$ МПа (не прошедших предварительную термическую обработку) эффективность упрочнения существенно выше: $H_{\diamond 50}$ возрастает на 46—50 % по сравнению с обработанными в обычных условиях. При ультразвуковом раскатывании с увеличением усилия деформирования интенсивность роста микротвердости выше, чем при обработке без ультразвукового воздействия. Вместе с тем приращение твердости тем больше, чем пластичнее исходный материал (чем ниже его характеристики прочности).

Это объясняется тем, что при воздействии УЗК в поверхностном слое интенсифицируется процесс образования различного рода препятствий и барьеров (в том числе точечных и линейных дефектов кристаллической решетки), а за счет активного дробления кристаллов на фрагменты и блоки возрастает число межзеренных границ, около которых задерживаются дислокации [11] и как результат — увеличивается сопротивление металла деформированию (понижается подвижность дислокаций), что и является основной причиной упрочнения поверхностного слоя.

Повышение статической силы прижима деформирующего элемента приводит к увеличению глубины распространения пластической деформации (см. рис. 2), которая достигает максимума при $P = 5$ Н. При дальнейшем росте P происходит снижение глубины упрочнения. Очевидно, что с увеличением микротвердости поверхностного слоя глубина его упрочнения снижается (рис. 3). Это можно объяснить следующим. Скорость образования дислокаций возрастает с увеличением времени действия и деформирующих напряжений, вследствие чего ускоряется процесс образования тонкой структуры (раздробление кристаллов

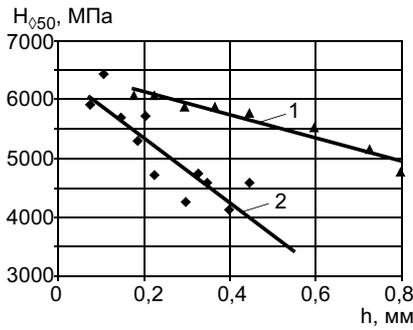


Рис. 3. Зависимость микротвердости от глубины упрочнения поверхностного слоя: 1 — с УЗК и предварительной термической обработкой детали; 2 — с УЗК и без предварительной термической обработки детали

на блоки), что и вызывает более сильное упрочнение. В то же время [11] ультразвуковые колебания поглощаются преимущественно дислокациями. Таким образом, увеличение дефектов кристаллического строения приводит к более быстрому затуханию ультразвука в приповерхностном слое, а следовательно, уменьшению глубины распространения пластической деформации.

Закономерности изменения глубины упрочненного слоя и его микротвердости в зависимости от статической силы прижима деформирующего элемента сохраняются как для термообработанных, так и нетермообработанных материалов (см. рис. 2, 3). Однако интенсивность снижения $H_{\diamond 50}$ для последних значительно выше (см. рис. 3).

Это связано с тем, что в металлах, не подвергнутых термической обработке с исходной крупнозернистой структурой, процесс образования точечных и линейных дефектов кристаллической решетки, дробление кристаллов на фрагменты и блоки протекает более интенсивно, чем в металлах, прошедших термическую обработку и имеющих мелкозернистую структуру. С возрастанием числа межзеренных границ, около которых задерживаются дислокации, увеличивается сопротивление металла деформированию и глубина упрочненного слоя резко снижается.

Глубина упрочнения зависит и от размера контактной площади, которая растет с повышением диаметра деформирующего элемента и вследствие этого h снижается. При $d = 12$ мм максимум упрочнения оказывается сдвинутым к поверхности детали (см. рис. 2). При этом, чем больше частота вращения шпинделя и подача инструмента, тем больше глубина упрочнения. Повышение частоты вращения детали от 31,5 до 90 об/мин при прочих равных условиях способствует росту глубины упрочнения в 2—3 раза.

Степень наклепа, определенная по формуле (1), при раскатывании в обычных условиях находится в пределах 62—78 %. При введении ультразвука в зону деформации степень наклепа составляет 84—132 и 150—250 % соответственно для деталей, подвергнутых предварительной термической обработке и без нее, причем с увеличением статической силы прижима деформирующего элемента u_n возрастает (рис. 4, а). Повышение степени наклепа происходит вследствие роста микротвердости поверхностного слоя при введении ультразвука в зону деформации.

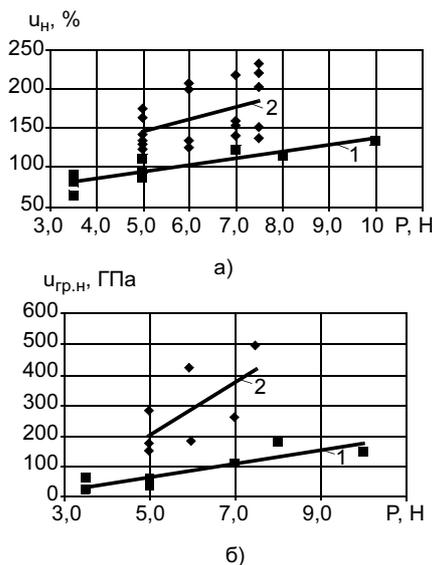


Рис. 4. Зависимость степени наклепа u_n (а) и градиента наклепа $u_{гр.н}$ (б) от статической силы прижима деформирующего элемента: 1, 2 — см. рис. 3.

Градиент наклепа $u_{гр.н}$, рассчитанный по формуле (2), в данных исследованиях составляет при раскатывании без УЗК 26—61 ГПа, а с введением ультразвука в зону деформации — 48—150 ГПа (для термообработанных деталей) и 130—490 ГПа (для нетермообработанных деталей) (рис. 4, б). Такое значительное увеличение $u_{гр.н}$ при раскатывании, когда деформирующий элемент совершает дополнительно крутильные ультразвуковые колебания, обусловлено ростом микротвердости поверхностного слоя и одновременным при этом снижением глубины упрочнения.

Эффект любого упрочнения определяется также и величиной остаточных напряжений, формирующихся в поверхностном слое при ППД.

Расчеты, выполненные по формулам (3)—(5) и в соответствии с методикой работы [10], показали, что при прочих и равных условиях введение ультразвука в зону деформации при раскатывании сопровождается ростом плотности дислокаций в поверхностном слое и измельчением блоков мозаик с 94—100 до 19—26 мкм, что способствует увеличению напряженного состояния ПС с 140—160 до 600—3500 МПа.

С повышением интенсивности технологических режимов раскатывания уровень внутренних напряжений растет. Наибольшее влияние на уровень искажений кристаллической решетки, а следовательно, и на величину внутренних напряжений в металле поверхностного слоя оказывает статическая сила прижима деформирующего элемента. С увеличением подачи при ультразвуковом раскатывании величина блоков мозаики возрастает при прочих равных условиях. При этом происходит вытягивание зерен в направлении главной деформации и их дробление, формируется так называемая текстура деформации.

Результаты исследования показали, что с увеличением степе-

ни деформационного упрочнения ПС и его напряженного состояния при ведении процесса в ультразвуковом поле износостойкость поверхности повышается в 1,7 раза по сравнению с раскатыванием без воздействия УЗК.

Таким образом, установлена взаимосвязь технологических режимов ультразвукового раскатывания с введением в очаг деформации крутильных УЗК и физико-механическим состоянием металла поверхностного слоя.

Выявлено, что введение крутильных ультразвуковых колебаний в очаг деформации при раскатывании позволяет достичь максимального упрочнения до 0,4—1,0 мм при статической силе прижима инструмента 10—12 Н, в то время как при обычном раскатывании упрочнение при данной нагрузке несущественно ($h = 200$ мкм). При этом микротвердость поверхностного слоя повышается на 20—25 % для термообработанных и на 46—50 % для нетермообработанных деталей по сравнению с традиционным раскатыванием, что в свою очередь приводит к росту степени наклепа

с 62—78 до 84—132 и 150—250 % соответственно и градиента наклепа с 26—61 до 48—150 ГПа (для термообработанных деталей) и 190—430 ГПа (для нетермообработанных).

Введение в зону деформации крутильных УЗК приводит к уменьшению размеров блоков мозаики в 2—5 раз и увеличению уровня микронапряжений в поверхностном слое по сравнению с раскатанными без УЗК.

Изменение физико-механического состояния поверхностного слоя после ультразвукового ППД привело к увеличению его износостойкости в 1,7 раза по сравнению с традиционным раскатыванием.

Более эффективно воздействие ультразвука на металлы с низкими исходными характеристиками прочности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шнайдер Ю. Г. Технология финишной обработки давлением: Справочник. С.-Петербург: Политехника, 1998. 414 с.
2. Палшев Д. Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пла-

стическим деформированием. М.: Машиностроение, 1978. 152 с.

3. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. Справочник. М.: Машиностроение, 1987. 328 с.
4. Применение ультразвука и взрыва при обработке и сборке / М. Ф. Вологин, В. В. Калашников, М. С. Нерубай, Б. Л. Штриков. М.: Машиностроение, 2002. 264 с.
5. Марков А. И. Ультразвуковая обработка материалов. М.: Машиностроение, 1980. 237 с.
6. Метод ультразвукового упрочнения внутренних цилиндрических поверхностей / В. Ф. Пегашкин, В. В. Евдокимов, Т. М. Гаврилова, Г. А. Осипенкова // Боеприпасы. 2001. № 4—5. С. 62—63.
7. Деформационное упрочнение поверхностного слоя при ультразвуковом раскатывании / В. Ф. Пегашкин, Т. М. Гаврилова, Г. А. Осипенкова и др. // Боеприпасы. 2001. № 4—5. С. 63—66.
8. Гаврилова Т. М. Влияние ультразвука на качество поверхности при раскатывании // Известия вузов. Машиностроение. 2003. № 8. С. 37—43.
9. Хорн Ф. Атлас структур сварных соединений. Пер. с нем. Г. Н. Клебанова / Под ред. Э. С. Каракозова. М.: Металлургия, 1977. 288 с.
10. Биронт В. С. Применение ультразвука при термической обработке металлов. М.: Металлургия, 1977. 168 с.
11. Фарбер В. М. Современные методы рентгенографии и электронной микроскопии металлов и сплавов. Свердловск: УПИ, 1988. 60 с.

В. И. ЛОМАЕВ, канд. техн. наук, Г. Р. САГАТЕЛЯН, д-р техн. наук, В. А. ИВАНЬСКИЙ, канд. техн. наук
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Технологическое обеспечение точности изделий из композиционных материалов, изготавливаемых методом выкладки

Основным элементом антенно-фидерной системы являются приемно-передающие антенны в виде отражателей параболической формы.

Наиболее простым описанием влияния различных факторов на работу радиолокационной станции (РЛС) является уравнение дальности радиолокации. Одна из форм записи этого уравнения определяет мощность сигнала [1]

$$P_r = \frac{P_t G}{4\pi R^2} \frac{S_a}{4\pi R^2} A_r, \quad (1)$$

где P_t — мощность передатчика; G — коэффициент усиления антенны; R — расстояние от РЛС; S_a — эффективная площадь рассеяния (ЭПР); A_r — эффективная площадь апертуры.

Основной характеристикой антенны является коэффициент усиления, который может быть определен как

$$G = G_0(1 - \Delta W), \quad (2)$$

где ΔW — потери мощности в антенне.

Наибольшее значение для уменьшения потерь антенны имеют такие погрешности, как линейное от-

клонение фокальной точки рефлектора от положения облучателя, угловое отклонение главной оси параболаида от оси антенны и отклонение поверхности рефлектора от идеального параболаида (ОПТ). Две первые погрешности могут быть устранены на этапе сборки антенны, а ОПТ в случае сплошной конструкции рефлектора исправлению не подлежит.

Потери из-за отклонений поверхности рефлектора [2]

$$\Delta W = 1 - e^{-\frac{4\pi\sigma}{\lambda}}, \quad (3)$$

где σ — среднеквадратичное значение погрешности формы рефлектора.

Из соотношения (3) следует, что при отношении $\sigma/\lambda = 0,1$ потери $\Delta W = 80\%$, а при $\sigma/\lambda = 0,03$ $\Delta W < 13\%$. Допустимое значение соотношения σ/λ лежит в пределах 0,02—0,03. Таким образом, уменьшение отклонений отражающей поверхности рефлектора от теоретически заданной составляет один из основных резервов повышения эффективности параболических антенн. До определенного времени их изготавливали из металлических сплавов, как правило, алюминиевых. Переход на сантиметровой, а затем и миллиметровый диапазоны рабочих волн антенных устройств предъявляет повышенные требования к точности и стабильности формы рефлекторов, которые в несколько раз превышают возможности алюминиевых сплавов. При этом практически исключено применение материалов с температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) более $2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Наиболее перспективным материалом, удовлетворяющим указанным требованиям, являются углепластики. Так, сравнительный расчет, проведенный для условий эксплуатации $\pm 150^\circ\text{C}$, показывает, что ОПТ рефлектора диаметром 1400 мм из углепластика составляет 0,4 мм, в то время как для рефлектора из алюминиевого сплава это отклонение в 10 раз больше.

Технологии изготовления высокоточных конструкций из углепластика исследованы недостаточно. Актуальна разработка технологического процесса изготовления высокоточных размеростабильных рефлекторов с $\sigma = 0,3 \div 0,5$ мм.

Замена металлических материалов на ПКМ в изделиях всех отраслей и технология их переработки обычно направлены на обеспечение максимальных значений удельных прочностных характеристик изделия. При этом точность изготовления изделия и его термостабильность не являются основными критериями для оценки целесообразности применения композитов. Поэтому влияние технологических параметров режима отверждения на точность изделий из углепластиков, изготовленных методом выкладки, практически не исследовано.

За базовый для исследований был принят рефлектор диаметром 1400 мм, поскольку он имеет симметричную конфигурацию и среднюю для параболических рефлекторов величину отношения F/D , составляющую примерно 0,4 (F — фокусное расстояние, D — диаметр рефлектора). Это трехслойная оболочка, состоящая из углепластиковых обшивок толщиной 0,6 мм (отражающая и тыльная обшивки), между которыми установлен сотовый алюминиевый наполнитель из фольги АМг2 Н 0.04 (ТУ 48-21-169—83). Высота сот 4,5 мм, размер ячейки 3,5 мм. Каждая из обшивок набрана из четырех слоев Слопрега-4Л-0.2 (ТУ 6-19-206—82) (углеткань ЛУ П-0.2, ТУ 6-06-31-И81—80, пропитанная связующим ЭНФБ, ТУ 1-596-36—82). Соединение обшивок с сотами выполнено с помощью стеклоткани ЭЗ-100 (ГОСТ 19907—83), пропитанной связующим ЭНФБ. Для крепления рефлектора в центральной его части имеется металлическая закладная деталь-фланец из сплава АМг6, в котором выполнены посадочное и присоединительные отверстия. Требования по точности изготовления заданы величиной $\sigma \leq 0,3$ мм, причем замер предусмотрен по 24 точкам, расположенным в трех поясах.

Основными конструктивно-технологическими особенностями такого рефлектора являются:

- сочетание разнородных по физико-механическим и теплофизическим свойствам материалов в конструкции сборочной единицы;
- одновременное создание материала конструкции и формирование основных геометрических параметров;
- многостадийность технологического процесса изготовления рефлектора, обусловленная тепловым режимом обработки.

Основные технологические параметры режима отверждения можно представить в виде двух основных групп: определяющие тепловое и силовое воздействие на формируемое изделие во времени. В качестве определяющих целесообразно исследовать такие параметры, как экстремальные температуры процесса отверждения, длительность его определяющих периодов, а также равномерность температурного поля.

Формование изделий должно проводиться за время, пока материал находится в вязкотекучем состоянии, т. е. до начала резкого увеличения скорости отверждения. Время нахождения материала в вязкотекучем состоянии оценивают в общем виде уравнением

$$t_{\text{в-т}} = A e^{\frac{u}{RT}}, \quad (4)$$

где A — параметр, зависящий от содержания в пресс-композиции реакционно-способных функциональных групп; u — свободная энергия активации полимеризации; T — температура; R — газовая постоянная.

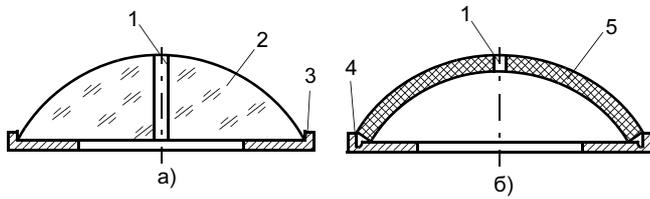


Рис. 1. Конструкции оправок для изготовления рефлекторов параболических антенн из композиционных материалов методом выкладки: 1 — базировочное отверстие; 2 — оправка из ситалла; 3, 4 — опорные кольца; 5 — оправка из бетона

Исследование влияния погрешности изготовления формообразующей поверхности оправки необходимо вести исходя из предположения, что такая погрешность полностью переносится на размер оформляемой детали. Это подтверждено в ряде работ по исследованию точности изготовления изделий из пластмасс. При расчете допусков на изготовление металлической оснастки для прямого прессования пластмасс принята формула [3]:

$$\Delta\phi = 0,015\sqrt[3]{h}, \quad (5)$$

где h — номинальный расчетный размер пластмассовой детали.

Применяя соотношение к формообразующей оправке для изготовления рефлектора диаметром 1400 мм и заменяя погрешность изготовления пресс-формы среднеквадратичным отклонением поверхности оправки от теоретически заданной, получим $\Delta\phi = 0,01$ мм.

Таким образом, требования к точности поверхности формообразующей оправки высоки. Так как величина ОПТ оправки включает погрешность ее изготовления и отклонение поверхности, данные о тепловом влиянии режима отверждения изделия, можно предположить, что использование размеростабильной оснастки взамен металлической позволит отказаться от таких высоких требований, предъявляемых к ее изготовлению.

Для формообразующей оправки рефлектора необходим материал, обладающий низким ТКЛР, кото-

рый обеспечит максимальное уменьшение тепловой деформации оправки. Однако класс материалов, свойства которых удовлетворили бы предъявленным требованиям, невелик. Исследовали стеклокерамику оптическую СО-115 и бетон. Из-за технологических ограничений стеклокерамическая оправка выполнена в виде сплошной конструкции, а бетонная — в виде сводчатой (рис. 1). Стеклокерамическая оправка (рис. 1, а) представляет вкладыш из ситалла, свободно расположенный в металлическом опорном кольце. Вкладыш имеет центральное базировочное отверстие.

Используя метод конечных элементов, провели расчеты тепловой деформации и деформации под действием собственного веса для оправок разного диаметра и изготовленных из разных материалов. Анализ упругонапряженного состояния оправок для формообразования параболических рефлекторов производили на основании рассмотрения поведения сводчатой оправки (рис. 1, б) в процессе отверждения. Решали краевую задачу термоупругости для осесимметричного тела. Обе задачи (определение температурного поля и деформированного состояния оправки) решены с помощью комплекса программ GARNET-2, созданного на основе численного метода конечных элементов.

Для рассматриваемой трехслойной конструкции углепластикового рефлектора с обшивками, формируемыми из однонаправленного углеродного наполнителя, возможны три принципиальные схемы формообразования (рис. 2): отдельного формования обшивок (рис. 2, а), совмещенного (рис. 2, в) и полусовмещенного (рис. 2, б). По этим схемам были изготовлены рефлекторы диаметром 900 мм на стеклокерамической оправке.

Результаты контроля ОПТ рефлекторов, изготовленных по каждой из схем, сводятся к следующему. Рефлекторы, изготовленные по совмещенной схеме, хотя и обеспечивали минимальность ОПТ $\sigma = 0,32$ мм, имели на отражающей обшивке отпечаток сотового заполнителя, который проявлялся во время режима отверждения — при воздействии давления прессования. Из-за малой толщины обшивки (0,6 мм) при

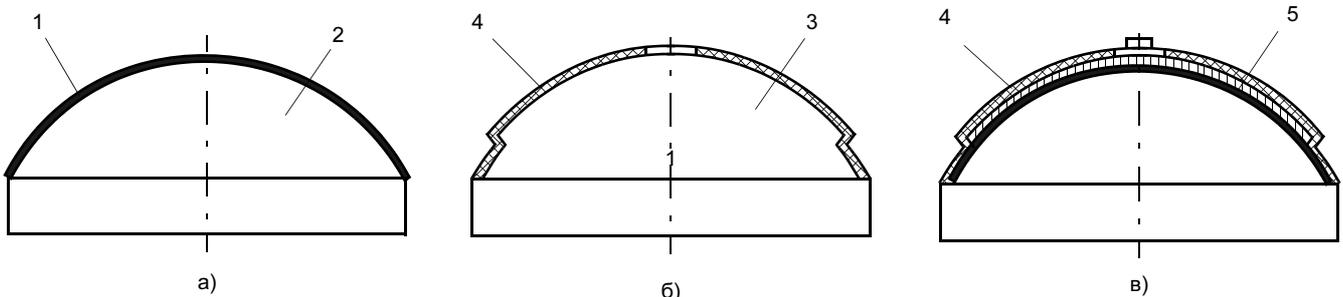


Рис. 2. Схемы формообразования отражающей (а) и тыльной (б) обшивок, а также их сборки (в) при изготовлении рефлекторов параболических антенн из композиционных материалов методом выкладки: 1 — отражающая обшивка; 2 — оправка для изготовления отражающей обшивки; 3 — оправка для изготовления тыльной обшивки; 4 — тыльная обшивка; 5 — сотовый наполнитель

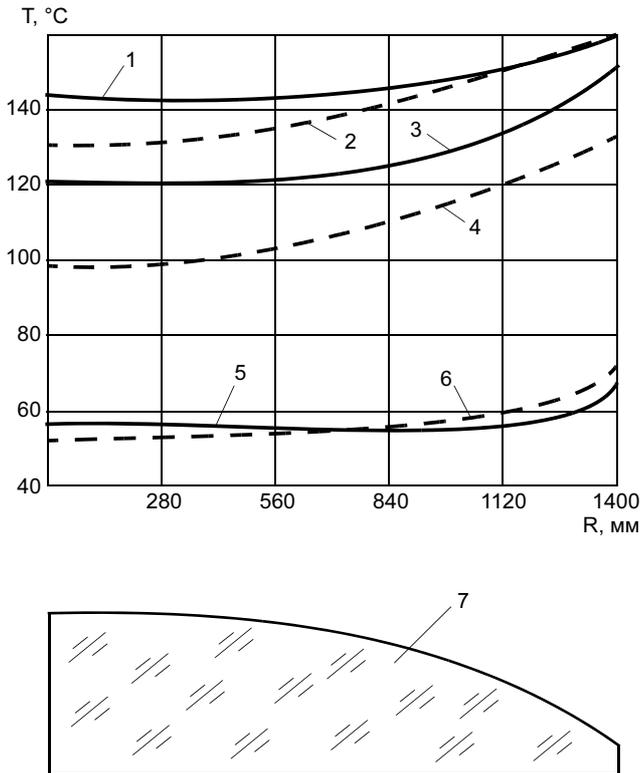


Рис. 3. Распределение температуры вдоль поверхности оправки из ситалла при нагреве в течение 11 (1; 2), 6 (3, 4) и 1,5 ч (5, 6): 1, 3, 5 — расчетные значения; 2, 4, 6 — экспериментальные; 7 — форма оправки из ситалла

такой схеме процесса формообразования избежать этого явления не представляется возможным. Рефлекторы, изготовленные по раздельной схеме, имеют наибольшую величину ОПТ $\sigma = 3,0$ мм, которую можно объяснить значительными внутренними неравномерно распределенными напряжениями в конструкции рефлектора после склейки обшивок, прошедших режимы отверждения раздельно.

Наиболее рациональной оказалась полусовмещенная схема формообразования, обеспечившая ОПТ $\sigma = 0,6$ мм, которая и положена в основу типового технологического процесса изготовления рефлектора. Правильный выбор рациональных режимов полимеризации при такой схеме формообразования весьма важен, так как процесс отверждения производится дважды.

Полусовмещенная схема формообразования, когда отражающая обшивка формируется в процессе первого режима отверждения, затем на отформованную обшивку устанавливают сотовый наполнитель, на который выкладывают заготовки полуфабриката второй обшивки, и сборочная единица проходит режим отверждения вторично, принята за основу при построении процессов формообразования рефлектора диаметром 1400 мм и всех рефлекторов других типоразмеров.

Как показывают теоретический расчет и экспериментальные исследования, монолитные оправки не обеспечивают однородности температурного поля в направлении образующей в процессе режима отверждения изделия.

На рис. 3 приведено изменение температуры вдоль образующей в различные моменты стадии нагрева, определенное расчетным и экспериментальным путем для монолитной стеклокерамической оправки, на рис. 4 — изменение температурного поля в той же оправке, определенное экспериментальным путем для всего периода режима отверждения. Следует отметить, что такая оправка прогревается медленно и неполностью вследствие значительной толщины и малой теплопроводности материала.

Исследование температурных полей в монолитных оправках позволило выявить следующие закономерности. В начальный период нагрев оправки происходит без градиента температурного поля в направлении образующей. Это объясняется тем, что тепловой поток распространяется по нормали к поверхности оправки. Затем в утоненной части конструкции тепловые потоки от верхней и нижней поверхностей встречаются и происходит более быстрый нагрев утоненной части оправки. На поверхности оправки появляется градиент температуры (см. рис. 3).

Далее неоднородность температурного поля распространяется на всю поверхность оправки и сохраняется до полного прогрева оправки. Таким образом, гелеобразование связующего и процессы полимеризации протекают в условиях неоднородного температурного поля. В таких условиях нарушается однородность физико-механических свойств связующего и возможна фронтальная схема отверждения композита, приводящая к значительным остаточным напряжениям в готовом изделии, а следовательно, и изменению его геометрии.

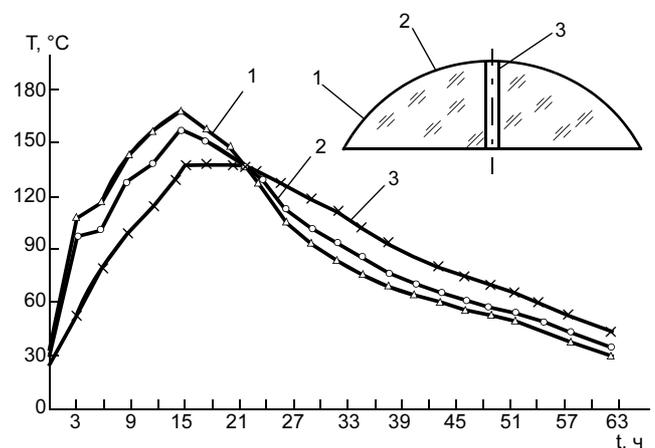


Рис. 4. Изменение температуры в различных областях оправки из ситалла в процессе формообразования обшивок параболической антенны, изготавливаемых методом выкладки: 1—3 — области малой, средней и наибольшей толщин оправки

Тем не менее, стеклокерамическая оправка обеспечивает требования по ОПТ рефлектора диаметром 1400 мм ($\sigma \leq 0,3$ мм).

Добиться однородности температурного поля по образующей можно конструктивным путем, выполнив оправку в виде равнотолщинной толстостенной оболочки (оправка сводчатой конструкции). Однако технологические ограничения не позволяют изготовить оправку сводчатой конструкции из стеклокерамики. Кроме того, стеклокерамические оправки нетехнологичны при эксплуатации в виду хрупкости материала.

Таким образом, при проектировании сводчатых оправок требуется материал с ТКЛР, близким к ТКЛР стеклокерамики, и обладающий технологическими возможностями для изготовления такого типа конструкции. Разработан новый специальный материал на основе бетона "эвкрипитбетон" ($\text{ТКЛР } \pm 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$). Применение в качестве размерно-стабильного материала модифицированной бетонной смеси потребовало разработки и освоения специального технологического процесса изготовления сводчатой оправки (рис. 5) методом заливки бетонной смеси в специально подготовленную форму.

Оправки изготавливают в перевернутом виде. Перевод оправки в рабочее состояние сопровождается

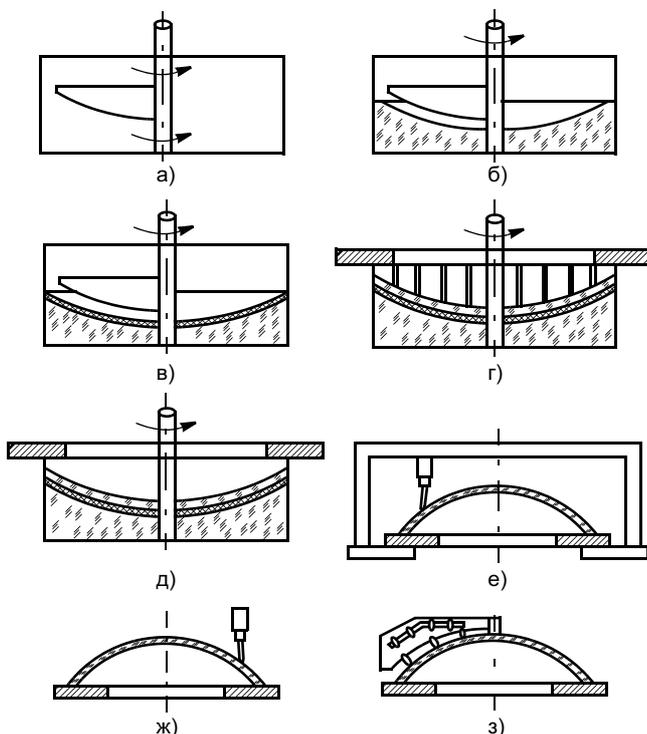


Рис. 5. Основные технологические операции изготовления оправки из эвкрипитбетона: а — сборка формообразующей контрформы; б — заливка контрформы бетоном; в — нанесение корректирующего слоя парафина; г — заливка эвкрипитбетонной смеси; д — сушка смеси и ее выдержка; е — механическая обработка заготовки оправки; ж — нанесение антиадгезионной смазки; з — контроль точности формы рабочей поверхности оправки

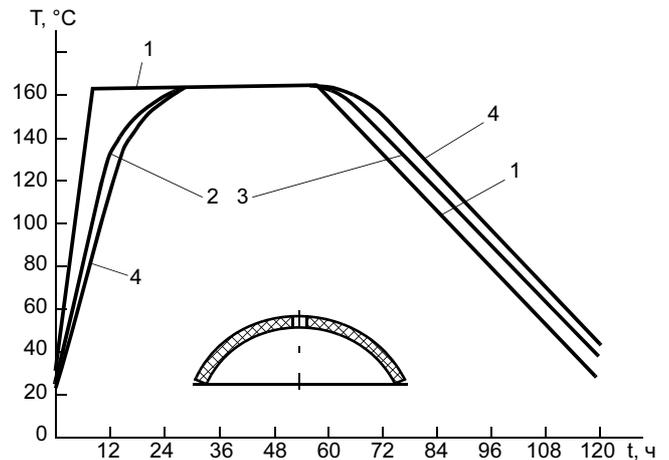


Рис. 6. Расчетная зависимость температуры оправки из эвкрипитбетона в процессе формообразования обшивок при их изготовлении методом выкладки: 1 — температура среды; 2, 3 — внешняя и внутренняя поверхности оправки; 4 — срединный слой

ее "проседанием" под действием собственного веса. Потери точности формы увеличиваются с увеличением диаметра оправки. Здесь показатель размерной стабильности при действии температурного поля и сил тяжести одного порядка и, следовательно, дальнейшее повышение точности оправки требует ее доводки в рабочем положении. На основании этого в технологический процесс изготовления оправки из этих материалов дополнительно включена операция механической обработки ее формообразующей поверхности.

Проектирование сводчатых оправок осуществляли из условия обеспечения прочности. Необходимость прочностных расчетов обусловлена невысоким значением предела прочности эвкрипитбетона на растяжение. Прочность оправок оценивали по максимальному значению первого главного напряжения. Следует также отметить, что уменьшение толщины оправки существенно снижает неоднородность температурного поля по толщине (рис. 6), что исключает образование трещин в теле оправки.

Анализ результатов контроля отформованных изделий показал, что ОПТ рефлекторов, изготовленных на оправках из эвкрипитбетона, ниже, несмотря на более высокую точность стеклокерамической оправки, а разброс значений ОПТ меньше. Это можно объяснить значительным снижением внутренних остаточных напряжений в материале рефлектора, которое обеспечивается большей равномерностью температурного поля при отверждении на оправке сводчатого типа. В результате проведенных экспериментальных исследований по отработке технологии изготовления углепластиковых рефлекторов установлены эмпирические зависимости между

ОПТ формообразующих оправок из различных материалов и заданной величиной ОПТ рефлектора:

— для стеклокерамической оправки

$$\sigma_{\text{опр}} \leq 0,2\sigma_{\text{изг}};$$

— для эвкрипитбетонной оправки

$$\sigma_{\text{опр}} \leq 0,4\sigma_{\text{изг}}.$$

Оказывается, что требования к точности изготовления формообразующей поверхности стеклокерамической оправки в 2 раза выше, чем для оправки из эвкрипитбетона, что существенно повышает стоимость ее изготовления. Учитывая, что стоимость самой стеклокерамики в 4 раза выше стоимости эвкрипитбетона, можно сделать вывод, что экономически целесообразнее применение оправок из эвкрипитбетона, которые требуют, однако, определенного объема работ по созданию средств технологического оснащения для их изготовления. Можно рекомендовать к применению оба типа оправок, при этом выбор вида оправок для конкретных задач должен производиться из условий требуемой точности, сроков технологической подготовки производства, технологичности в эксплуатации и экономической целесообразности. Сравнивая точность рефлекторов, полученных на стеклокерамической и эвкрипитбетонной оправках, установили, что формообразующие оправки сводчатого типа, изготовленные из смеси "эвкрипитбетон", могут быть рекомендованы для изготовления изделий с меньшим ОПТ.

Полученная на базе экспериментальных исследований математическая модель процесса отверждения определила направления совершенствования технологических параметров режима, влияющих на точность формы рефлектора, снижение давления прессования и увеличение его длительности. Уточненные в процессе отработки технологические параметры режимов отверждения рефлектора диаметром 1400 мм показали, что увеличение времени общей длительности режима и выдержки при максимальной температуре отверждения $T_{\text{отв}} = 160^\circ\text{C}$ за счет введения промежуточного дополнительного режима приклейки сотового заполнителя к отформованной первой обшивке позволяет дополнительно уменьшить ОПТ рефлектора на 20 %.

Рекомендации частных технологических инструкций и регламентов (стандартный режим отверждения углепластиков) заключаются в сохранении давления прессования до конца режима отверждения. Однако эти режимы определяли из условий максимизации физико-механических характеристик углепластика и не учитывали повышенных требований к точности формуемого из него изделия.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что с целью повышения точности рефлектора давление прессования на стадии охлаждения

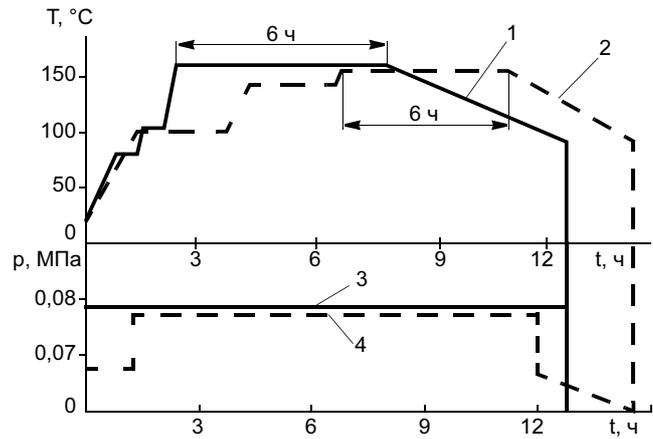


Рис. 7. Применявшийся ранее (1, 3) и разработанный (2, 4) режимы отверждения углепластика при изготовлении параболических антенн методом выкладки: 1, 2 — температура; 3, 4 — давление

при переходе зоны стеклования материала необходимо снижать (рис. 7). Объяснить этот эффект можно тем, что снижение давления, по-видимому, создает более благоприятные условия для релаксации возникающих в материале напряжений, приводит к снижению уровня остаточных напряжений в изделии, а следовательно, повышению его точности. Снижение давления прессования при переходе температуры стеклования позволяет зафиксировать окончательную форму рефлектора без воздействия дополнительных сил, вызываемых избыточным давлением.

Таким образом, экспериментальная оценка влияния различных схем формообразования на точность формы рефлектора позволила рекомендовать в качестве рациональной полусовмещенную схему. На основе аналитических и экспериментальных исследований разработана сводчатая оправка из эвкрипитбетона [4]. Оправка такого типа имеет ряд конструктивных особенностей, которые связаны с использованием нового, обладающего специфическими свойствами материала и его сочетанием с другими материалами, значительно отличающимся по ряду характеристик, в частности ТКЛР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по радиолокации. Т. 1. Основы радиолокации / Под ред. М. Скольникова (пер. с англ.). М.: Советское радио, 1976. С. 10—13.
2. Ruze J. Antenna tolerance theory (a review) // Proceedings of the IEEE. 1966. Vol. 54. N 4. P. 633—640.
3. Брагинский В. А. О проблеме взаимозаменяемости и точности деталей из пластмасс // Точность и взаимозаменяемость изделий из полимерных материалов. М.: НТО Машпром, 1972. С. 5—10.
4. Ломаев В. И. Технология производства изделий ракетно-космической техники и композиционных материалов. М.: Сатурн-С, 2004. 150 с.

В. Н. ГАДАЛОВ, д-р техн. наук, Ю. Г. АЛЕХИН, канд. техн. наук, Ю. В. СКРИПКИНА, канд. техн. наук, О. А. БРЕДИХИНА, канд. техн. наук, Р. Е. АБАШКИН, аспирант, О. В. ВИНОКУРОВ, аспирант
Курский ГТУ

Электроискровые покрытия, подвергнутые выглаживанию минералокерамикой

Развитие машиностроения на современном этапе невозможно без постоянного повышения производительности труда и улучшения качества выпускаемых изделий. Для решения этой задачи разрабатывают и внедряют новые методы обработки и материалы. К таким методам относятся методы поверхностного пластического деформирования (ППД) [1—15], в частности выглаживание минералокерамикой. В последнее время технология ППД находит все большее применение в различных отраслях промышленности на этапах финишной обработки, так как имеет широкие технологические возможности и обеспечивает высокое качество поверхностного слоя [15].

Достижимое при обработке выглаживанием деталей с покрытиями высокое качество поверхности и упрочнение поверхностного слоя являются факторами, определяющими важнейшие эксплуатационные свойства и долговечность работы как отдельных деталей, так и машин в целом.

Поверхностный слой, формируемый при выглаживании, обладает эксплуатационными характеристиками, недостижимыми при других методах финишной обработки, и существенно увеличивает надежность и долговечность работы механизмов и машин.

Сущность выглаживания заключается в упругопластическом деформировании поверхностного слоя детали или покрытия инструментом с цилиндрической рабочей частью (гладилкой) при взаимном перемещении детали и инструмента. Способ основан на применении принципа трения скольжения.

Выглаживанием можно обрабатывать детали с высокой и малой

жесткостью, точность их не нарушается благодаря малой величине усилия выглаживания. Достоинством подвижного инструмента в процессе выглаживания является малая шероховатость обработанной поверхности при достаточной толщине упрочненного слоя электроискрового покрытия.

Несмотря на известные преимущества алмазного выглаживания (алмаз имеет высокую твердость, низкий коэффициент трения, высокую теплопроводность, малую способность к упругому деформированию) по сравнению с другими способами отделочно-упрочняющей обработки, этот процесс не получил широкого распространения в машиностроении из-за дефицитности и высокой стоимости природного алмаза. Недостатками алмазного выглаживания являются: обязательная ориентировка кристалла алмаза в заданном направлении; необходимость использования станков повышенной точности и виброустойчивости (биение обрабатываемой детали не выше 0,05 мм); невозможность обработки прерывистых поверхностей, а также деталей с неравномерной твердостью из-за хрупкости алмаза, при этом сила выглаживания не должна превышать 400—500 Н. Поэтому важно изыскать более дешевые, легко обрабатываемые и менее дефицитные инструментальные материалы, заменяющие кристаллические алмазы без снижения качественных показателей процесса выглаживания.

Известно, что в производстве алмазное выглаживание не находит широкого применения в связи с низкой стойкостью и высокой стоимостью алмазного инструмента, а также малой производитель-

ностью процесса при существующих конструкциях инструмента и режимах обработки.

Для реализации ППД при изготовлении инструмента и прецизионных деталей из труднообрабатываемых материалов в качестве основы можно рекомендовать систему приспособлений [8].

В Курском ГТУ разработан метод ротационного выглаживания (РВ) электрофизических покрытий минералокерамическим инструментом. Данный метод основан на изменении кинематической схемы процесса выглаживания. Инструменту, изготовленному из инструментальной минералокерамики (МК) ВОР60, ВОР70, ЦМ332, ОНТ20 и др., имеющему вид стержня квадратного сечения, наряду с поступательным движением вдоль обрабатываемой поверхности сообщается вращение вокруг его геометрической оси, которая перпендикулярна направлению подачи. Непрерывное вращение инструмента осуществляется от привода установки ЭЛФА-541. Непрерывная смена участка контакта профиля инструмента с обрабатываемой поверхностью, снижение скорости трения по рабочей поверхности, низкая теплопроводность, высокая адгезионная стойкость, твердость и красностойкость МК позволяют осуществлять при РВ скоростное высокоэнергетическое воздействие на поверхностный слой, способствующее интенсификации физико-химических и механических явлений в зоне контакта инструмента и детали.

РВ минералокерамикой имеет по сравнению с другими финишными методами обработки поверхности ряд преимуществ: сохранение целостности волокон металла



Рис. 1. Установка для электроискрового легирования ЭЛФА-541

и образование мелкоультрадисперсной структуры в поверхностном слое; отсутствие термических дефектов; обеспечивается стабильность физико-механических свойств поверхностного слоя; достигается минимальная шероховатость поверхности как на термически не обработанных сталях, цветных сплавах, так и на высокопрочных материалах; создаются благоприятные сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое; плавно и стабильно повышается микротвердость поверхности.

Операцию выглаживания выполняли на установке ЭЛФА-541 (рис. 1) при помощи устройства (рис. 2) с применением стальной гладилки цилиндрической формы с наконечником из минералокерамики ВОК, которая относится к классу оксидно-карбидной режущей керамики следующего состава (%): 76 Al_2O_3 ; 20 TiC; 3—5 (WCo)C; < 1 Mg.

Устройство для выглаживания плоских и фасонных поверхностей на установке ЭЛФА-541 устанавливается на ее носящей головке. Данное устройство имеет корпус 1 с уголком 2, служащим для крепления на портал установки ЭЛФА-541. В проушины корпуса установлены осевые подшипники качения 8, в которых перемещается шток 5 с выглаживателем 9. Сила выглаживания обеспечивается грузами 3, помещаемыми на верхнюю часть штока. Приспособление, состоящее из рейки 7, рычага 6 и фикса-

тора 4, служит для ориентирования штока.

Данное устройство позволяет выглаживать фасонные поверхности с перепадом по высоте до 50 мм.

Анализ научно-технической литературы и результаты предварительных исследований возможностей электроискрового легирования (ЭИЛ) и в частности локального электроискрового нанесения (ЛЭН) покрытий, с целью обеспечения требуемой условиями эксплуатации изделий шероховатости ($Ra = 0,4 \div 0,6$ мкм) ограничен уровнем шероховатости после ЭИЛ или ЛЭН ($Ra = 1 \div 3$ мкм) (рис. 3, кривая 1). Выглаживание минералокерамикой ВОК60 с радиусом сферической рабочей части $R_{сф} = 2 \div 3$ мм ЛЭН покрытия из самофлюсующегося сплава $NiCr_{18}Si_{2...4}B_{2...4}C_{0,5...0,1}$ на спеченном титановом сплаве $TiAl_6Mo_{12}$ обеспечило $Ra = 0,3 \div 0,6$ мкм (рис. 3, кривая 2) [15].

Параметр шероховатости рабочей части инструмента из минералокерамики $Ra = 0,00145 \div 0,02$ мкм.

Исследовали композит: подложка—порошковый титановый сплав ОТ4 или ВТ20 с многослойными электрофизическими покрытиями из самофлюсующихся сплавов системы Ni—Fe—Cr—Si—B—C. Покрытия получали методом локального электроискрового нанесения (ЛЭНП) на установке ЭЛФА-541. Применяли порошковые электроды, изготовленные по технологии ноу-хау.

Нанодисперсный порошок W, WC и графита и их композиции (смеси) наносили перед напылением на спеченные титановые сплавы в виде обмазки с использованием цапонлака № 951 (ГОСТ 6236—50) или силикатного клея (ТУ 2297-002—2000) в качестве связи.

Ниже приведены результаты исследования влияния силы выглаживания на шероховатость (рис. 4, кривая 1). Видно, что сначала увеличение силы выглаживания P вы-

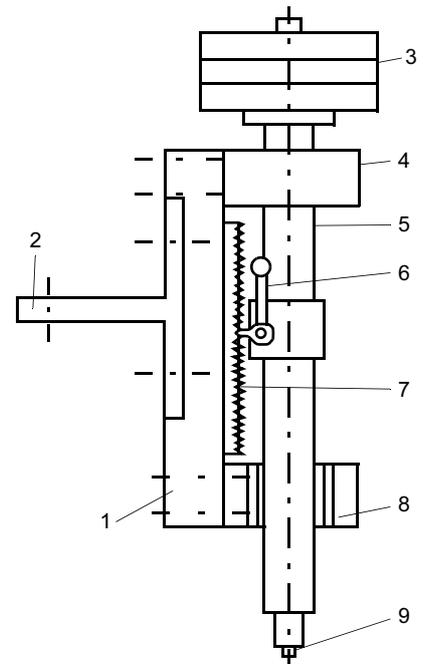


Рис. 2. Устройство для выглаживания плоских и фасонных поверхностей на установке ЭЛФА-541

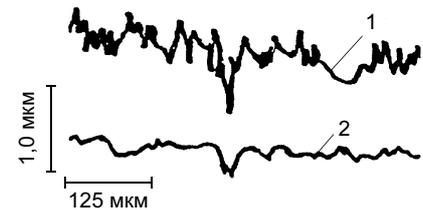


Рис. 3. Профилограммы, записанные с одного места покрытия до (1) и после (2) выглаживания

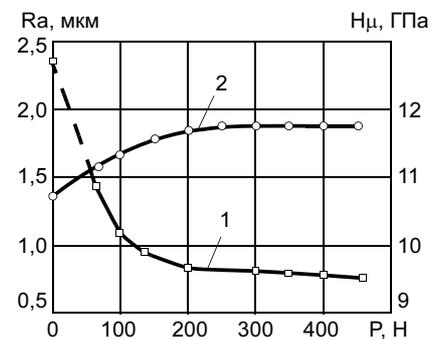


Рис. 4. Зависимость параметра шероховатости Ra (1) и микротвердости H_{μ} (2) покрытия, полученного ЛЭН на порошковом титановом сплаве электродом из самофлюсующегося сплава системы Ni—Fe—Cr—Si—B—C с тугоплавкими нанодобавками и инструментом из минералокерамики, от силы выглаживания

зывает уменьшение высоты микровыступов поверхности за счет их сглаживания.

По мере заполнения микропрофиля, увеличения площади поверхностного контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью и упрочнения поверхностного слоя покрытия сопротивление деформации растет, и уменьшение шероховатости замедляется. Когда происходит полное заполнение неровностей микропрофиля, шероховатость практически не изменяется, что соответствует оптимальному значению силы выглаживания. При недостаточной силе выглаживания микровыступы сглаживаются неполностью.

При увеличении P микротвердость поверхности ЛЭН покрытия возрастает вследствие пластической деформации, приводящей к упрочнению (рис. 4, кривая 2). Однако превышение оптимального значения силы выглаживания (300—350 Н) способно вызвать перенаклеп поверхностного слоя, что может привести к снижению микротвердости. Микротвердость покрытий после выглаживания повышается на 22—27 %.

Повышение прочностных характеристик покрытия после выглаживания связано с увеличением плотности дислокаций вследствие технологического воздействия ППД. Результаты аналитически-расчетного исследования путем определения распределения внутренней энергии, обусловленного присутствием дислокаций, показали, что оно зависит как от расстояния между дислокациями, так и их взаимной ориентации. Рассмотрение различных дислокационных систем позволило выявить схемы расположения дислокаций, отвечающих упрочнению и, наоборот, способствующих разупрочнению материала покрытия после ППД. При этом в качестве критерия использовали среднее значение энергии упругой деформации и характеристик ее распределения. В упрочняющих схемах расположения

дислокаций средний уровень энергии почти не изменяется с увеличением их плотности; незначительно колеблется и характеристика распределения энергии, в то время как в разупрочняющих схемах эти показатели возрастают в несколько раз. Так, например, если рассматривать систему дислокаций одинакового знака, расположенных в одной плоскости скольжения, то поверхностная плотность энергии возрастает в ней с 35 эрг/мм² при расстоянии l между дислокациями, равном 0,60 нм, до 175 эрг/мм² при $l = 0,9$ нм. Для дислокаций разного знака, также находящихся в одной плоскости скольжения, эти значения составляют соответственно 30 и 50 эрг/мм². Аналогичные соотношения характерны и для систем дислокаций, выстроенных в "стенку" — типа полигональных. Характеризуя дислокационный механизм упрочнения в целом, можно сказать, что в связи с возрастанием плотности дислокаций наблюдается перераспределение упругой энергии, характеризующейся большей рав-

номерностью, и она тем значительней, чем меньше расстояние между дислокациями (но лишь в определенных схемах расположения).

Назначение силы выглаживания больше оптимальной (свыше 350—400 Н) приводит к хрупкому разрушению покрытия (рис. 5, а—в), проявляющемуся в виде отдельных трещин (рис. 5, г), развивающихся как вглубь материала, так и параллельно поверхности под влиянием разной концентрации напряжений у концов микротрещин.

При превышении силы выглаживания более чем на 30—35 % происходит слияние малых трещин в большие. В результате под действием растягивающихся напряжений в отдельных микрообъемах возникают локальные зоны сдвигаобразования и покрытие растрескивается. При этом откалывается пласт металла толщиной, равной приблизительно глубине очага деформации.

В связи с этим при выглаживании покрытий необходимо исключать перенаклеп, который в большинстве случаев приводит к по-

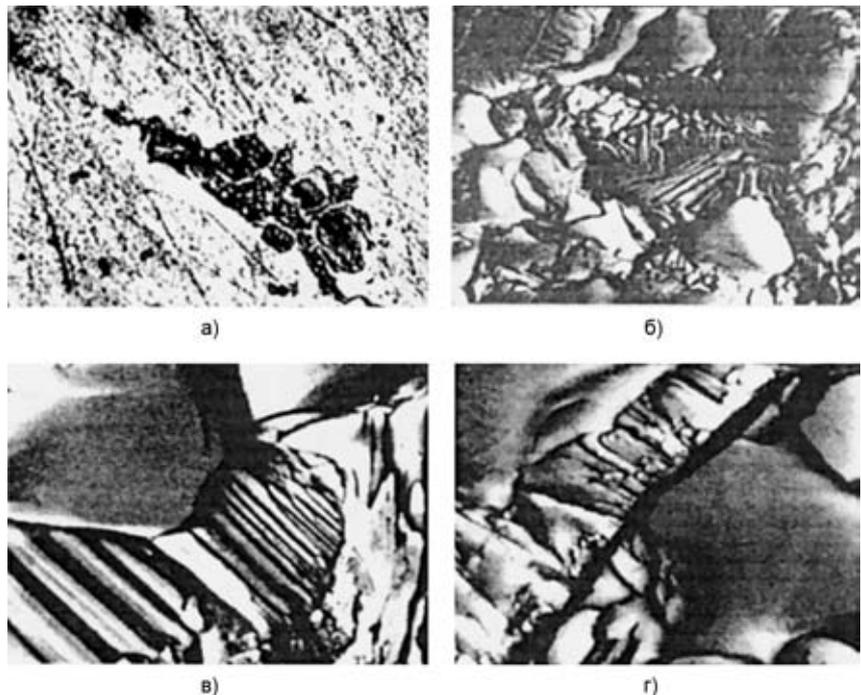


Рис. 5. Структура покрытия при силе выглаживания свыше 350 Н: а — металлогрфия (×800); б—г — фрактография (×8000)

явлению микротрещин и далее хрупкому разрушению.

Металлофизический анализ показывает, что в процессе выглаживания на оптимальном режиме в поверхностном слое покрытия не происходит макро- и микроструктурных изменений. В то же время происходит залечивание пор (рис. 6, а, б). При этом число пор и микротрещин убывает.

На рис. 7 приведены электронные микрофотографии структуры покрытий в месте контакта с инструментом после выглаживания. Установлено, что беспорядочно распо-

ложенные на глубине 13—19 мкм кристаллические зерна в покрытии после выглаживания становятся мельче и вытягиваются в направлении деформации параллельно поверхности (см. рис. 7, а).

В покрытии даже при незначительной нагрузке наблюдаются линии скольжения (см. рис. 7, б), в которых дислокации перемещаются беспрепятственно. В выглаженном покрытии скольжение в этих плоскостях затруднено в связи с образованием полигональных структур (рис. 8, а) и закрепления дислокаций примесными атома-

ми (рис. 8, б) и их скоплениями (рис. 8, в), что повышает сопротивление усталости.

Как показали предварительные исследования, оптимальный радиус минералокерамического выглаживателя $R_{сф} = (2 \div 3) \pm 0,05$ мм. При оптимальной силе выглаживания оптимальное уменьшение радиуса выглаживателя повышает микротвердость и уменьшает шероховатость покрытия. Результаты исследования показали, что изменение подачи S в пределах $(0,02—0,08) \pm 0,01$ мм/об не вызывает заметного увеличения высоты микронеровностей выглаженной поверхности. Следует применять подачи, при которых след от предшествующего прохода выглаживателя перекрывается, при этом сохраняется большая производительность процесса выглаживания. Следует также учитывать, что при $S > 0,12$ мм/об происходит неполное сглаживание исходных микронеровностей.

При уменьшении подачи микротвердость выглаженной поверхности повышается. При подаче меньше оптимальной микротвердость поверхностного слоя понижается из-за перенаклепа поверхности. При увеличении подачи кратность приложения нагрузки уменьшается, поэтому микротвердость выглаженной поверхности понижается.

Скорость выглаживания практически не влияет на шероховатость покрытия после выглаживания, так как скорость упругопластических деформаций поверх-

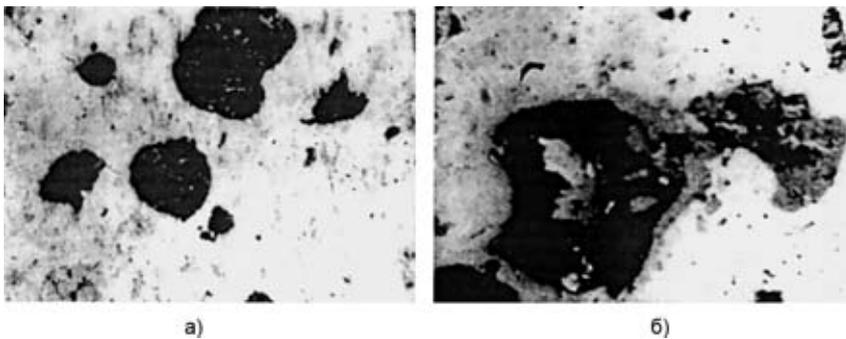


Рис. 6. Поры в покрытии после выглаживания: а — $\times 600$; б — $\times 600 \times 2$

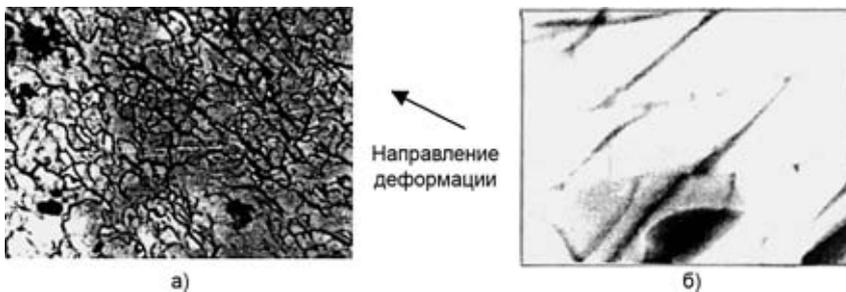


Рис. 7. Электронные микрофотографии металлопокрытия, полученного ЛЭН электродом из сплава $NiCr_{12}Fe_4Si_4B_4C_{0,5}$ с нанодобавками: а — участок мелкокристаллических зерен; б — линии скольжения

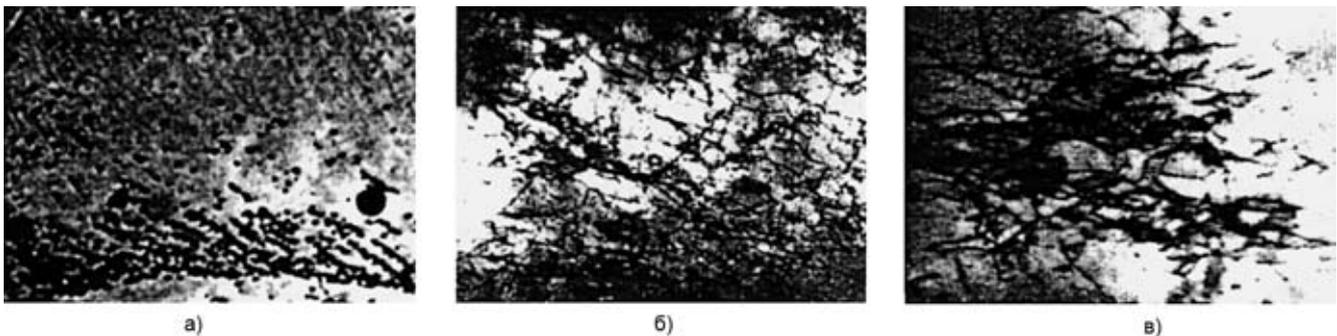


Рис. 8. Структура покрытия после выглаживания: а — субструктура ($\times 2000$); б — скопление примесей на дислокациях ($\times 40\ 000$); в — дислокации с примесями ($\times 60\ 000$)

ностного слоя не влияет на величину остаточных напряжений.

Скорость выглаживания значительно меньше влияет на изменение степени наклепа поверхности покрытия, чем сила выглаживания. С ее увеличением степень упрочнения поверхности уменьшается из-за увеличения сопротивления металлопокрытия пластичной деформации и тепловых явлений, возникающих в зоне контакта инструмент—покрытие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваль Н. Н., Сафонов И. Н. Влияние поверхностно-пластической деформации на некоторые пластические свойства поверхности, упрочненной электроискровым способом // Электронная обработка материалов. 1973. № 5. С. 87—89.
2. Колодин Б. А., Чепя П. А. Повышение долговечности деталей поверхност-

- ным деформированием. Минск: Наука и техника, 1974. 231 с.
3. Папшев Д. Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхности пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 1978. 151 с.
4. Башков Г. П. Выглаживание восстановленных деталей. М.: Машиностроение, 1979. 80 с.
5. Обработка металлопокрытий выглаживанием / Л. А. Хворостухин, В. Н. Машков, В. А. Торпачев и др. М.: Машиностроение, 1980. 63 с.
6. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка поверхностным пластическим деформированием: Справочник. М.: Машиностроение, 1987. 328 с.
7. Пшебыльский В. П. Технология поверхностного пластической обработки. М.: Металлургия, 1991. 476 с.
8. Горохов В. А. Система приспособлений для обработки деталей методом поверхностного пластического деформирования. М.: ВНИИТЭМР, 1989. 48 с.
9. Батой Ю. И., Бутаков Б. И., Сысоев В. Г. Поверхностное упрочнение металлов. Киев: Наукова думка, 1995. 256 с.
10. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пла-

- стическим деформированием. М.: Машиностроение, 2002. 300 с.
11. Колеватов В. В. Повышение несущей способности покрытий на титановых сплавах с помощью предварительного упрочнения ППД // Упрочняющие технологии и покрытия. 2006. № 2. С. 8—9.
12. Лебедев В. А., Стрельцова И. П. Закономерности формирования и упрочнения поверхностного слоя динамическими методами ППД // Упрочняющие технологии и покрытия. 2006. № 7. С. 4—7.
13. Фархшатов М. Н. Упрочнение восстановленных деталей машин поверхностным пластическим деформированием // Упрочняющие технологии. 2006. № 8. С. 13—16.
14. Повышение долговечности изделий с помощью поверхностного деформирования / Б. И. Бутаков, В. А. Артюк, О. А. Анисимов и др. // Тяжелое машиностроение 2006. № 9. С. 26—32.
15. Гадалов В. Н., Горякин И. М., Болдырев Ю. В. Исследование электроискровых покрытий на порошковом титановом сплаве // Упрочняющие технологии и покрытия. 2006. № 10. С. 24—32.

И. Е. МАЛОВ, канд. техн. наук, С. Ф. МАМАЛИЕВ, аспирант, И. Н. ШИГАНОВ, д-р техн. наук
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Фотополимеризующиеся композиции для лазерной стереолитографии

В современном машиностроительном производстве одной из основных задач является быстрый выпуск качественной конкурентоспособной продукции. Для сокращения длительности этапа подготовки производства все чаще применяют технологии быстрого прототипирования (ТБП) [1]. В настоящее время существует несколько основных направлений ТБП [2], одним из наиболее развитых направлений является лазерная стереолитография (ЛС) [1, 2].

Технология стереолитографии самая распространенная и обладает следующими преимуществами:

- возможностью получения моделей наиболее сложной формы;
- возможностью повторного использования неэкспонированного полимера;
- используемые в ЛС материалы обладают рядом преимуществ (прочностью, прозрачностью, влагонепроницаемостью, легкостью обработки поверхности, возможностью склейки и др.);
- стереолитографические модели, созданные по CAD-данным, позволяют оценивать конструкцию

и внешний вид разрабатываемых изделий; проверять собираемость и работоспособность конструкций; проводить аэродинамические и гидравлические испытания; получать металлические детали литьем по выжигаемым моделям; изготавливать оснастку для опытных образцов (эластичные силиконовые, металлические напыляемые и металлополимерные формы, литые штампы, а также серийные пресс-формы и штампы литьем стали по выжигаемым стереолитографическим моделям).

- К недостаткам метода можно отнести следующее:
- требуется создание поддерживающих структур;
 - стоимость оборудования и расходных материалов достаточно высока;
 - невозможно использовать прототип в ряде агрессивных сред;
 - жесткие условия к температурному режиму и постоянству мощности лазерного излучения.

Наряду с оборудованием фирмы-производители предлагают широкий спектр фотополимеризую-

щихся композиций (ФПК), обладающих различными свойствами. В качестве основы в ФПК используют акриловые и эпоксидные мономеры [3, 4].

Основное различие акриловых и эпоксидных композиций заключается в структуре мономерного звена (рис. 1).

Полимеризация у акриловых мономеров идет с раскрытием двойной углерод-углеродной связи и образованием цикла (рис. 2).

Скорость фотополимеризации ФПК на основе акрилатов достаточно высокая.

Эпоксидные мономеры формируют полимер под воздействием реакции раскрытия кольца в присутствии катионных фотоинициаторов (рис. 3).

Стадии процесса полимеризации у акриловых и эпоксидных композиций одинаковы и включают инициирование, рост и обрыв цепи [5].

Инициированием является превращение части молекул мономера в свободные радикалы в результате облучения светом УФ или видимого диапазона

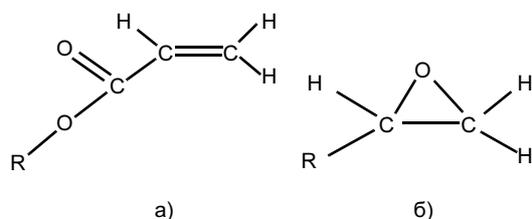


Рис. 1. Акрилатный комплекс (а) и эпоксидная группа (б)

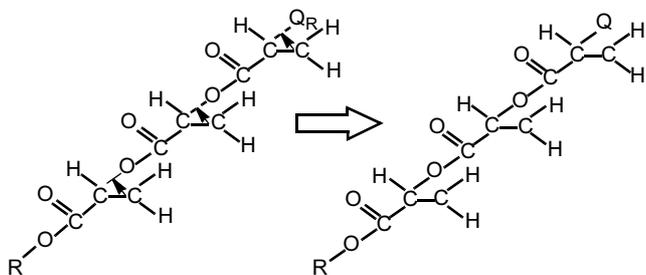


Рис. 2. Присоединение и рост цепи. Радикальная полимеризация

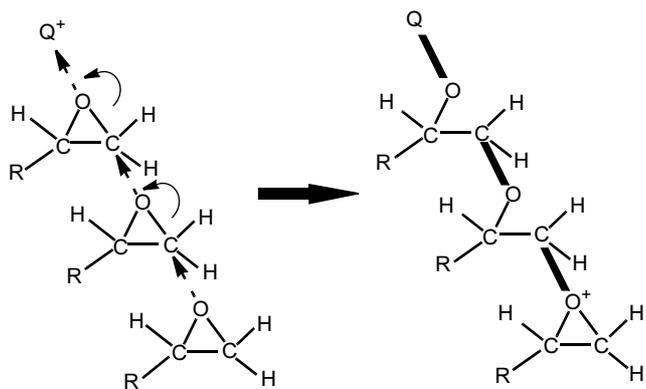


Рис. 3. Присоединение и рост цепи. Катионная полимеризация

длин волн чистого мономера, содержащего катализатор или фотосенсибилизатор.

В качестве фотоинициаторов применяют производные бензофенона, антрахинона, тиоксантона, ацилфосфиноксиды, пероксипроизводные и др. В частности, для ФПК, отверждаемом в видимом свете, нашел применение краситель "Бенгальская роза" [6].

Для эпоксидных смол в качестве катализаторов для получения растущей частицы — третичного иона оксония — могут использоваться различные каталитические системы [7—9]. Однако в качестве фотоинициаторов доступно только три класса катионных инициаторов [10].

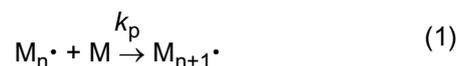
Диарилдодониевые соли. Эти соли произведены компанией 3М и General Electric. Вследствие их высокого квантового выхода и высокой иницирующей способности их используют в большинстве катионно-полимеризующихся мономеров. Пик поглощательной способности приходится на 350 нм. Но они могут эффективно использоваться и в видимом спектре излучения со специальными красителями (бензофлавином, антрацином и его производными и др.).

Триарилсульфониевые соли. Механизм действия, аналогичный иодониевым солям, предложен для фотолиза сульфониювых солей. Множество свойств этих двух классов, таких как квантовый выход, сенсибилизация, схожи.

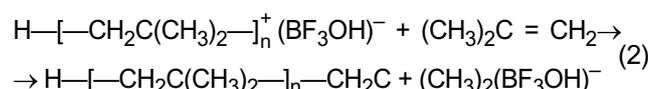
Цикло-пентадиен-феариновые комплексы. Это новый класс инициаторов, разработанный компанией Ciba Geigy. Доступным образцом является Irgacure 261. Разница заключается в том, что в случае акрилатов процесс полимеризации иницирует свободный радикал (или первичный радикал), образующий исходное звено растущей цепи $M_1^•$. В случае эпоксидных смол образуется иницирующая ионная пара, которая затем продолжает расти так же, как и звено $M_1^•$, путем последовательного присоединения молекул мономера.

Ростом цепи является последовательное присоединение молекул мономера к растущему радикалу или иону. Заключается в последовательном присоединении к $M_1^•$ большого числа (сотен, а возможно и тысяч) молекул мономера M .

Схематически последовательные реакции присоединения можно представить в общем виде:



либо для эпоксидных смол



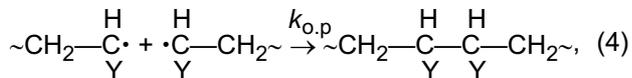
или в общем виде



где k_p — константа скорости роста цепи.

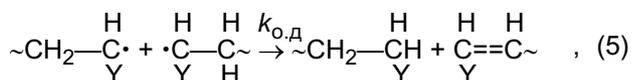
Обрыв цепи у акрилатов с уничтожением радикальных центров происходит в результате бимолекулярной реакции между радикалами. Два радикала могут реагировать друг с другом либо

- путем рекомбинации



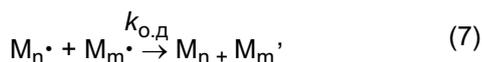
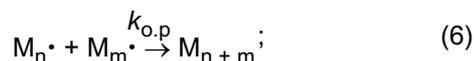
где $k_{o,p}$ — константа скорости обрыва реакции рекомбинацией;

- путем диспропорционирования, заключающегося в том, что водород, находящийся в β -положении к радикальному центру, переносится на другой радикальный центр. В результате образуются две полимерные молекулы — одна насыщенная, а другая ненасыщенная:



где $k_{o,d}$ — константа скорости обрыва путем диспропорционирования.

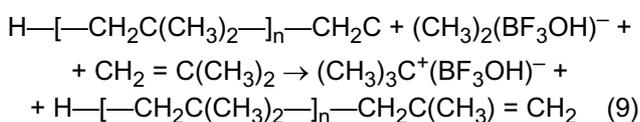
Обрыв также может иметь место вследствие совместного действия реакций рекомбинации и диспропорционирования. В общем виде реакции обрыва можно представить следующим образом:



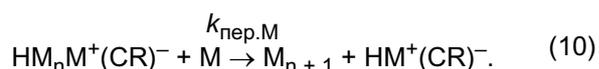
причем

$$k_o = k_{o,p} + k_{o,d}. \quad (8)$$

При катионной полимеризации одна из наиболее частых реакций обрыва цепи — передача цепи на мономер. Эта реакция заключается в переходе комплекса сокатализатор—катализатор к молекуле мономера, сопровождающемся образованием концевой ненасыщенной группы в макромолекуле полимера:

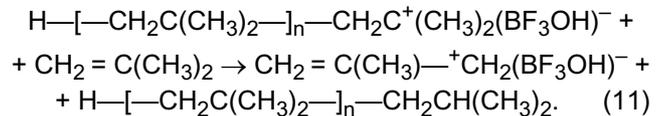


или



Передача цепи на мономер при катионной полимеризации оказывает значительно большее влияние на рост полимерной цепи, чем при радикальной.

Другим важным типом реакции передачи цепи на мономер является реакция отрыва гидрид-иона от мономера растущей частицы:



Если сравнивать механизмы радикальной и ионной полимеризации, то можно заметить, что для ионной полимеризации характерен ряд существенных отличий от радикальной.

Во-первых, почти все мономеры способны к радикальной полимеризации, тогда как ионная полимеризация протекает в высшей степени избирательно. Избирательность ионной полимеризации обусловлена строгими требованиями стабилизации анионных и катионных растущих частиц. Тип полимеризации зависит от влияния заместителей у алкеновой двойной связи. Подобно любым реакциям ионного типа ионная полимеризация весьма чувствительна к природе среды. Процессы образования полимера для определенной пары мономер—инициатор в средах, существенно различающихся по полярности, значительно отличаются по скоростям, могут подчиняться разным кинетическим закономерностям и приводить к макромолекулам различного строения [11, 12].

Второе отличие касается природы инициатора. В радикальных процессах она проявляется обычно в относительной стабильности инициатора как источника свободных радикалов. Применительно к процессам ионной полимеризации такое правило отсутствует. В зависимости от типа инициатора и природы среды иницирующим агентом может быть либо сам исходный инициатор, либо его производное — продукт ионизации, диссоциации и др.

Третье отличие состоит в механизме и значении реакций кинетического обрыва. В процессах гомогенной радикальной полимеризации эти реакции представляют неизбежное бимолекулярное взаимодействие растущих цепей, сопровождающееся их дезактивацией. В ионных системах реакции обрыва обычно менее существенны. Они могут полностью отсутствовать, иметь ограниченное значение и лишь в ограниченных случаях играют решающую роль. К процессу обрыва роста цепи следует также отнести обрыв вследствие ингибирования цепи. Один из основных недостатков акрилатов — подверженность поверхностного слоя ингибирующему влиянию кислорода. В связи с этим происходит либо неполное отверждение поверхностного слоя, либо неудовлетворительная "склейка" слоев при недостаточной интенсивности или длительности облучения. Однако в последнее время появились ФПК, минимально подверженные ингибирующему влиянию кислорода и обеспечивающие высокое соеди-



Рис. 4. Модели из ФПК Accura® Bluestone

нение слоев, что значительно увеличивает жесткость получаемой детали. Таковой, например, является акриловая ФПК Accura® Bluestone. Обладая высокой термо- (до 250 °С), водостойкостью и жесткостью, она обеспечивает высокую чистоту поверхности модели. Последние фактически сразу же готовы к последующему применению в изделиях без операций доводки. Наиболее частое применение модели из Bluestone находят в авиационной и автомобильной промышленности в качестве тестовых моделей для аэродинамических испытаний, элементов конструкций, работающих в водной среде, а также изделий, работающих в условиях повышенной температуры (рис. 4).

Фотополимеризация, основанная на катионной реакции, не подвержена ингибирующему влиянию кислорода. Это происходит вследствие того, что в процессе иницирования образуется ионный центр вида $\text{HM}^+(\text{CR})^-$ (С, RH и M — катализатор, сокатализатор и мономер соответственно). Кислород не способен присоединиться к ионному центру, а потому не может ингибировать реакцию. Однако полимеризация катионных систем часто снижается в присутствии молекул воды. Ингибирующий эффект зависит от мономеров и иницирующих систем, которые входят в формулу полимера.

Четвертое отличие заключается в скорости и степени полимеризации. Реакции роста и обрыва цепи при катионной полимеризации протекают на порядок медленнее, чем при радикальной. Однако обычно скорость катионной полимеризации больше скоростей радикальной полимеризации. Это обусловлено тем, что концентрация растущих частиц в данном случае значительно больше, чем при радикальной полиме-

ризации. Концентрация $\text{HM}^+(\text{CR})^-$ (общая концентрация всех растущих ионных пар) близка концентрации катализатора, которая обычно составляет порядка 10^{-3} М. При радикальной полимеризации $[\text{M}\cdot]$ находится в области 10^{-7} — 10^{-9} М.

Пятое отличие заключается в том, что катионные фотополимеры продолжают термоотверждение вслед

за фотоотверждением в отличие от акриловых фотополимеров, у которых отсутствует термополимеризация. Увеличивающийся молекулярный вес в продолжающейся термополимеризации даже при 18—20 °С для катионных процессов может быть весьма существенным и полезным для ЛС. Особенно это может иметь значение в областях промышленности, где требуются миниатюрные изделия, модели которых должны обладать высокой жесткостью, прочностью и чистотой для проведения различных технологических операций. Одна из таких ФПК — Accura® Amethyst™ (модуль упругости 3600—3700 МПа). Детали из этой композиции обладают высокой чистотой и качеством поверхности, кроме того, обладая высоким модулем упругости, меньше подвержены короблению. Они идеально подходят для ювелирного производства и тех сфер производства, где требуются миниатюрные детали высокой точности (например часовая промышленность) (рис. 5).

Различие в исходной структуре эпоксидных и акриловых композиций влияет не только на разницу в механизмах полимеризации, но и на различные физические свойства самих ФПК.

В настоящее время ведущим производителем оборудования для лазерной стереолитографии является компания 3D Systems [13]¹. Имеются данные [14], что японские и китайские компании также наладили выпуск подобных машин, однако отсутствие их установок, а также представителей этих фирм на мировом рынке не позволяет говорить о сколько-нибудь значимой конкуренции, создаваемой 3D Systems.

Линейка материалов для машин 3D Systems представлена различными марками, состоящими из ФПК, имеющими в своей основе акриловые или эпоксидные композиции. Эпоксидные композиции позволяют получать более сложные и высокопрочные изделия. Однако акриловые композиции являются более дешевыми, что позволяет использовать их более широко, чем эпоксидные.

Акриловые ФПК образуют жесткую химическую сетку уже на ранних этапах полимеризации. Это приводит к тому, что степень конверсии двойных связей может быть около 40 %, если не применять

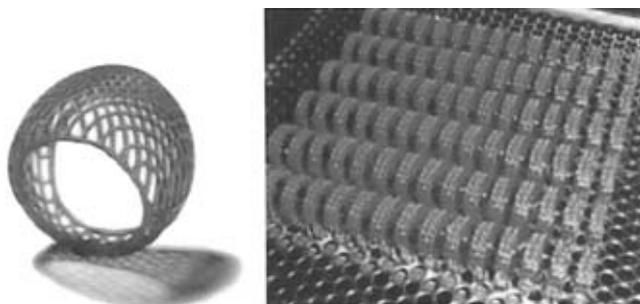


Рис. 5. Модели из ФПК Accura® Amethyst™

Патент 5184307 (US).

дополнительные методы (дополимеризацию, снижение вязкости и др.). Кроме того, большинство акриловых композиций имеют большую вязкость по сравнению с эпоксидными. Например, серийно производимая эпоксидная смола SL5170 имеет вязкость 165—195 сП, акриловая смола SL5149 — 1600—2400 сП при температуре 20 °С. Низкая вязкость моnofункционалов и многофункциональных мономеров позволяет регулировать механические характеристики конечной модели. Однако в последние несколько лет в ИПЛИТ РАН (Шатура) [15] разработаны отечественные акриловые композиции (табл. 1), обладающие вязкостью, сравнимой с вязкостью эпоксидных смол. Кроме того, данные ФПК подходят для использования как в отечественных машинах (производства ИПЛИТ РАН) ЛС-250, так и системах SLA-250 и SLA-500 компании 3D Systems.

Природа исходной композиции в совокупности с механизмом полимеризации непосредственно влияет на качество и механические свойства отвержденной структуры, которые иногда имеют сильные отличия.

Физические свойства отвержденных акриловых моделей по некоторым параметрам уступают моделям из эпоксидных смол. Исследования, проведенные на серийно выпускаемых ФПК компании Ciba Gaigy, показали высокие отклонения от плоскостности тестовых моделей из акриловых полимеров [13] (рис. 6).

В качестве образцов использовали прямоугольные пластины размером 6 × 6 дюймов, выращиваемые по различной методике (STAR-WEAVE для акриловых и ACES для эпоксидных ФПК). Как видно на рис. 6, эпоксидные смолы значительно лучше удерживают плоскую форму поверхностного слоя, чем акриловые.

Рассматривая литейные свойства акрилатов, необходимо отметить, что данные ФПК обладают большой линейной усадкой, что в большей степени влияет на точность изготавливаемых прототипов. В связи с этим следует учитывать усадку при проектировании модели изделия в тех случаях, когда это необходимо. В табл. 2 приведены результаты исследо-

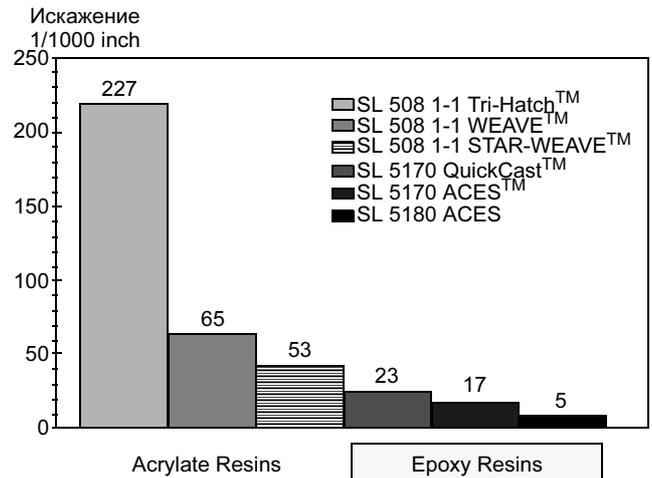


Рис. 6. Искажение плоскостности для различных ФПК

Таблица 2

ФПК	Основа	Объемная усадка, %	Линейная усадка, %	Скручивание, %
SL 5149	Акрилат	6,1	0,7*	10
SL 5081-1	"	7,1	0,9*	10
SL 5170	Эпокси	7,0	0,05**	1**
SL 5180	"	6,1	-0,2**	6**
			0,05***	2***
			0,2***	3,5***

* QuickCast™.
 ** WEAVE™ для акриловых смол.
 *** ACES™ для эпоксидных смол.

ваний образцов из нескольких производимых серийно композиций для машин 3D Systems.

Как видно из табл. 2, линейная усадка акриловых композиций значительно выше эпоксидных. Фактор скручивания также выше в несколько раз, что приводит к нестабильности формы отвержденных моделей. Однако необходимо отметить, что результаты тестов приведены для смол, использовавшихся 5—6 лет назад. На сегодняшний день существуют акриловые композиции, не уступающие по качеству эпоксидным. Таковой, например, является композиция Accura® 50 Plastic. Она хорошо держит форму, обладая при этом высокой гибкостью, позволяет использовать модели из этой ФПК для легко расплавляемых моделей (рис. 7).

С точки зрения механических свойств многие эпоксидные смолы обладают рядом преимуществ по сравнению с акриловыми. Модуль упругости отвержденного образца из материала Cibatool SL 5180 (Ciba Gaigy) достигает 1082 МПа (после выдержки при 18—20 °С в течение 1 ч). Для SL 5180 модуль упругости после отверждения достигает 2520 МПа. Данные композиции со временем были заменены на более перспективные в технологическом плане (в частности серия Accura).

Таблица 1

Параметр	НИЦТЛ-1	ИПЛИТ-1	SL 5170
Основа	Акрилат	Акрилат	Эпокси
Плотность, г/см ³	1,21	1,15	1,14
Вязкость, сП	260	540	165—195
Dr, мм	0,16	0,19	0,12
Ec, МДж/см ²	4,2	4,1	13,5
Отвержденные образцы			
Ударная вязкость, кДж/см ²	6,3	2,6	27—30 (нач.); 80—90 (3 нед.)
Предел прочности, МПа	28	89	5,9—6,0
Твердость, МПа	162	140	85



Рис. 7. Модели из ФПК Accura® 50 Plastic

Как было показано выше, эпоксидные смолы имеют значительно меньший уровень линейной усадки и большую устойчивость к сохранению формы, что позволяет использовать полученные из этих смол модели в качестве литейных мастер-моделей для точного литья в различных отраслях промышленности. Например, ФПК Accura SI 10, обладая хорошей комбинацией высокой прочности и низкой вязкости, позволяет получать изделия для различных видов литья (по выплавляемым моделям, под давлением и др.), хотя и не обладает при этом высокой точностью поверхности как, например, AccuGen.

Акриловые ФПК можно отметить как достаточно фотоактивные, весьма распространенные и менее дорогие по сравнению с эпоксидными. Модели из акрилатов находят применение в области дизайна, машиностроении при проверке собираемости узлов и литейной промышленности, где не требуется высокая точность отливок (например медицинская отрасль). Эпоксидные же модели обладают более высокими механическими характеристиками, чем акриловые. Высокая прочность и низкая усадка вместе со стабильностью формы позволяют использовать модели для различных видов литья, в том числе высокоточного. Однако вследствие более низкой фотоактивности композиций необходимы дополнительные временные и энергетические затраты на производство изделий.

Большой выбор композиций, подходящих для тех или иных областей, объясняется тем, что каждая из них обладает определенными преимуществами или недостатками, связанными либо с физико-химическими свойствами, либо с термомеханическими свойствами отвержденной модели. Однако исследование новых композиций продолжается в связи с необходимостью улучшения качества полимерной структуры и снижения трудоемкости выращивания изделий.

Основными критериями использования ФПК являются технологические факторы, а также конечные свойства изделия, зависящие от процесса полимеризации. Таким образом, можно обозначить два ос-

новных направления в создании композиций для стереолитографии. Первый — оптимизация свойств композиции, повышающих эффективность процесса выращивания. К ним относятся получение композиций с низкой вязкостью и высокой фотоактивностью, повышение скорости образования твердого полимера, а также обеспечение жизнеспособности полимера, способности

сохранять свои свойства, не полимеризуясь под воздействием внешней среды. И второй — оптимизация свойств композиции, влияющих на конечные свойства изделия. Это достигается за счет снижения минимального теплового расширения при выжигании стереолитографической модели и максимально полного сгорания полимера при минимальной температуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплекс ускоренного производства отливок на основе метода лазерной стереолитографии / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, И. Е. Малов и др. // *Технология машиностроения*. 2002. № 6. С. 3—7.
2. Малов И. Е., Шиганов И. Н. Технологии изготовления деталей с применением лазерных методов быстрого прототипирования // *Технология машиностроения*. 2005. № 10. С. 13—18.
3. Grivello J. V., Lam J. H. W., Volante C. N. // *J. Radiat. Curing*, 1977.
4. Green G. E., Stark P. P., Zahir S. A. // *J. Macro. Sci.-Revs. Macro. Chem.*, 1981.
5. Оудиан Дж. Основы химии полимеров: Пер. с англ. М.: Мир, 1974. 614 с.
6. Использование лазеров с полупроводниковой накачкой в технологии быстрого прототипирования / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, И. Е. Малов и др. // *Производственные технологии—2002*. 2002. С. 38—39.
7. Аксенов А. Ф. Авиационные топлива, смазочные материалы и специальные жидкости. 2 изд. М., 1970.
8. Лачинов М. Б., Черникова Е. В. Методические разработки к практическим работам по синтезу высокомолекулярных соединений. М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2002.
9. Ерусалимский А. Н., Любецкий Е. В. Процессы ионной полимеризации. Л.: Химия, 1974. 160 с.
10. Charles W. Hull, Paul F. Jacobs. Integration of Stereolithography into Agile Manufacturing // *3D Systems Company Literature*, 1993.
11. Шибанов В. В., Костенко Т. А. Фотополимеризующиеся композиции для изготовления печатных форм. М.: Книга, 1980. Вып. 1. С. 49.
12. Грищенко В. К., Маслюк А. Ф., Гудзера С. С. Жидкие фотополимеризующиеся композиции. Киев: Наукова думка, 1985. 208 с.
13. Jacobs Paul F. Stereolithography and other RP&M Technologies from Rapid Prototyping to Rapid Tooling. New York, 1996. P. 183.
14. Wohler T. Wohlers Report 2005. Wohlers Associated, Inc. 2005.
15. Фотополимеризующиеся композиции для лазерной стереолитографии. ИПЛИТ РАН. <http://www.laser.ru/rapid/index.html>

СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

А. С. ЯНЮШКИН, д-р техн. наук, А. М. КУЗНЕЦОВ, аспирант
Братский государственный университет

Износостойкость твердосплавного инструмента при обработке древесно-стружечных плит

В настоящее время отмечается существенный рост потребительского спроса на изделия из древесно-стружечных плит (ДСтП, ЦСП) и слоистых пластиков. Эти материалы отличаются трудной обрабатываемостью, поэтому для достижения высокого качества изготовленных из них деталей необходимо использовать инструмент, обладающий высокой износостойкостью. Применяемые в настоящее время инструментальные материалы не отвечают возрастающему требованию по износостойкости, производительности и качеству эксплуатируемого инструмента. Изучению процессов деревообработки и повышению износостойкости инструмента большое внимание уделяли ученые и специалисты [1—9 и др.]. Однако эта проблема не решена в полной мере и не теряет своей актуальности.

Для решения этих проблем предлагаются конкретные пути повышения стойкости дереворежущего инструмента и качества производимой продукции, основанные на опыте, накопленном в машиностроении: использование инструментальных материалов, обладающих высокой износостойкостью, не применяемых ранее в деревообрабатывающей промышленности, а также определение рациональных режимов резания и геометрии режущего инструмента по критериям качества обрабатываемой поверхности и наибольшей стойкости инструмента.

В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований стойкости инструментального материала ВКЗМ в зависимости от режимов резания. Твердый сплав ВКЗМ выбран и

обоснован в результате ранее выполненных исследований [10]. В качестве основных параметров, наиболее сильно влияющих на стойкость режущего инструмента и качество получаемой продукции, приняты: подача S , м/мин, глуби-

на резания t , мм, скорость резания v , м/с и угол заострения режущего элемента δ , °.

Применяли матрицу планирования типа 2^4 . Условия и результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 1—3, получены

Таблица 1

Фактор	Условное обозначение	Нижний уровень	Основной уровень	Верхний уровень	-d	+d
Обороты шпинделя, об/мин	X_1	2000	4000	6000	1200	6800
Подача, м/мин	X_2	4	6	8	3	9
Глубина резания, мм	X_3	1	2	3	0,5	3,5
Угол заострения режущей части, °	X_4	50	55	60	48	62
Марка твердого сплава режущей части	—	—	ВКЗМ	—	—	—
Марка ДСтП	—	—	П-1	—	—	—
Ширина фрезерования, мм	—	—	10	—	—	—
Диаметр фрезы, мм	—	—	160	—	—	—

Таблица 2

Y_1	Y_2	Y_3	\bar{Y} (T — среднее значение стойкости)
1854	1995	1935	1928
1478	1365	1441	1428
1715	1659	1468	1614
1232	1098	1255	1195
1578	1545	1518	1547
1356	1272	927	1185
1412	1399	1206	1339
1015	970	991	992
2565	2495	2350	2470
1915	1835	1740	1830
2134	1950	2117	2067
1545	1490	1258	1431
1950	2110	2090	2050
1645	1515	1397	1519
1867	1634	1647	1716
1320	1250	1243	1271
1825	1934	1620	1793
1230	1345	1283	1286
1790	1679	1733	1734
1358	1210	1320	1296
1970	1845	1810	1875
1540	1360	1384	1428
1490	1530	1321	1447
1900	2035	1819	1918
1745	1615	1569	1643

Таблица 3

Y_1	Y_2	Y_3	\bar{Y} (R_{\max} — максимальная высота микронеровностей)
61	71	63	65
30	36	30	32
80	74	77	77
39	42	48	43
72	75	69	72
38	40	41	33
87	89	81	91
80	81	76	83
89	84	87	96
73	70	75	74
98	93	100	101
70	69	73	68
97	93	95	103
64	65	68	59
109	104	107	116
76	71	78	79
93	97	95	95
46	44	45	45
59	61	63	61
76	81	83	80
61	58	67	62
76	78	65	73
54	55	50	53
76	75	83	78
75	69	69	71

зависимости периода стойкости режущего инструмента T и шероховатости обрабатываемой поверхности R_{\max} от режимов резания и геометрии режущей части инструмента:

$$T(n, S, t, \beta) = 3347 + 0,115665n + 176,44S - 278,128t - 97,3501\beta + 0,002906nS + 0,015938nt - 0,0039n\beta + 11,4375St - 2,725S\beta - 8,175 \cdot 10^{-6}n^2 - 11,2375S^2 + 23,3t^2 + 1,552\beta^2; \quad (1)$$

$$R_{\max}(n, S, t, \beta) = -132,913 - 0,01299n + 8,3842S + 19,7777t + 4,3185\beta + 0,000219nS + 0,000125nt - 1,3 \cdot 10^{-5}n\beta + 1,625St - 0,3125S\beta - 0,55t\beta + 6,125 \cdot 10^{-7}n^2 + 0,675S^2 + 1,2t^2 + 0,008\beta^2. \quad (2)$$

Исследование влияния скорости резания на стойкость инструмента (рис. 1, а) и шероховатость обработанной поверхности (рис. 1, б) показали, что увеличение скорости резания от 15 до 50 м/с ведет к снижению периода стойкости режущего инструмента на 35—37 % и шероховатости обработанной поверхности на 36—40 %.

Зависимости периода стойкости режущего инструмента (рис. 2, а) и шероховатости обработанной поверхности (рис. 2, б) от продольной подачи свидетельствуют, что при увеличении продольной подачи от 4 до 8 м/мин период стойкости снижается на 15—17 % и шероховатости обработанной поверхности увеличивается на 10—14 %.

При изучении зависимости периода стойкости режущего инструмента (рис. 3, а) и шероховатости обработанной поверхности (рис. 3, б) от глубины резания установили, что увеличение глубины резания от 1 до 3 мм снижает период стойкости на 26—29 % и повышает параметр шероховатости R_{\max} на 13—15 %.

Данные о влиянии угла заострения режущего элемента на технологическую стойкость дереворежущего инструмента (рис. 4, а) и качество обработанной поверхности (рис. 4, б) показали, что уве-

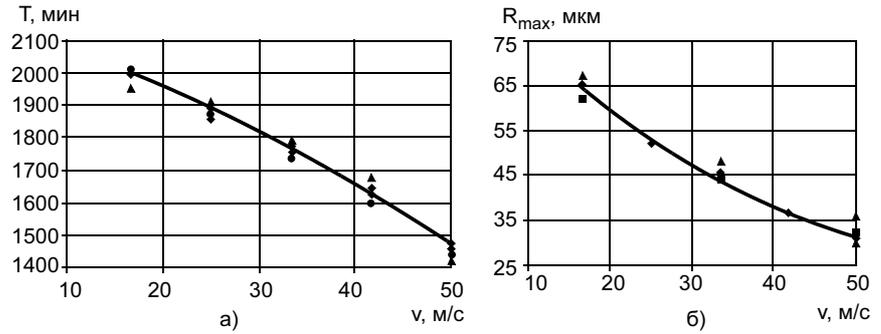


Рис. 1. Зависимость периода стойкости (а) дереворежущего инструмента, оснащенного твердым сплавом ВКЗМ, и шероховатости обработанной поверхности (б) от скорости резания при обработке ДСтП П-1

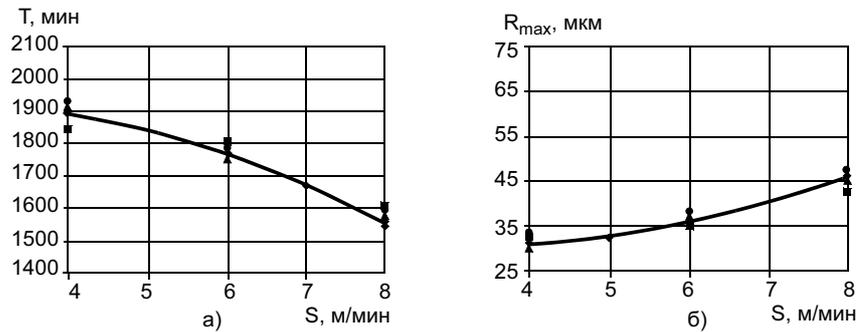


Рис. 2. Зависимость периода стойкости (а) дереворежущего инструмента, оснащенного твердым сплавом ВКЗМ, и шероховатости обработанной поверхности (б) от продольной подачи при обработке ДСтП П-1

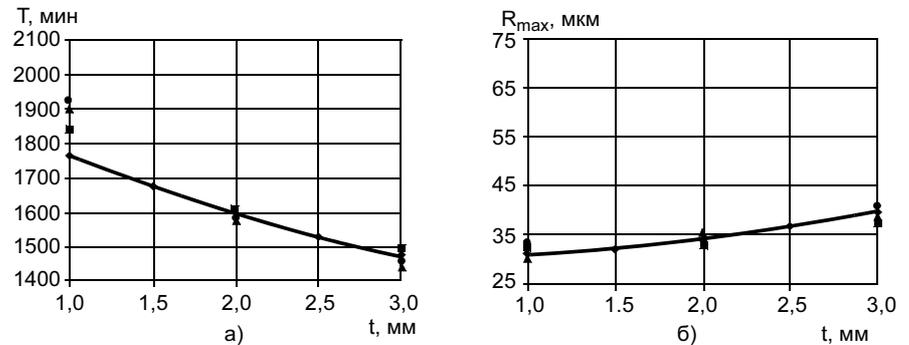


Рис. 3. Зависимость периода стойкости (а) дереворежущего инструмента, оснащенного твердым сплавом ВКЗМ, и шероховатости обработанной поверхности (б) от глубины резания при обработке ДСтП П-1

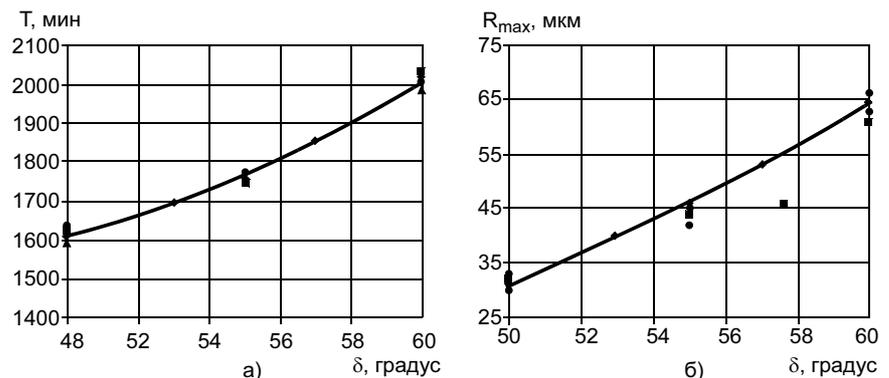


Рис. 4. Зависимость периода стойкости (а) дереворежущего инструмента, оснащенного твердым сплавом ВКЗМ, и шероховатости обработанной поверхности (б) от угла заострения режущего элемента при обработке ДСтП П-1

личение угла заострения от 50 до 60° приводит к увеличению периода стойкости на 16—18 % и шероховатости обработанной поверхности на 35—38 %.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что увеличение числа оборотов шпинделя, снижение глубины резания и скорости продольной подачи неоднозначно влияют на выходные параметры процесса фрезерования. С улучшением шероховатости обработанной поверхности одновременно наблюдается существенное снижение производительности процесса резания и периода стойкости режущего инструмента.

Однако внедрению в деревообработку прогрессивного твердосплавного режущего инструмента препятствуют недостатки его качественного затачивания. Использование традиционных методов затачивания ведет к появлению дефектов на инструментальном материале в виде сколов, макро- и микротрещин и преждевременному выходу из строя режущего инструмента (рис. 5).

С учетом производственного опыта для затачивания твердосплавного инструмента предлагается использовать комбинированный метод электроалмазного шлифования с непрерывной правкой круга, обладающий существенными преимуществами в сравнении с другими прогрессивными методами затачивания. С целью реали-

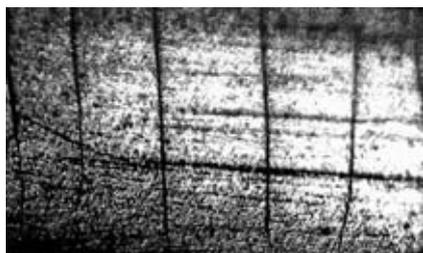


Рис. 5. Поверхность ($\times 30$) твердого сплава ВК8, затаченного шлифовальным кругом ЧК 150 \times 50 \times 32 63С 16 СМ1 6 К5 ($v = 15$ м/с; $S_{пр} = 5$ м/мин, $S_{пол} = 0,05$ мм/дв. ход)

зации этого метода разработаны способы и ряд устройств для электроалмазной обработки твердосплавных инструментов с непрерывной правкой круга¹. Для удобства и снижения затрат при расчетах оптимального напряжения и плотности тока правки абразивного круга в электрической цепи при комбинированном шлифовании разработана и запатентована программа для ЭВМ², имеющая редактируемую базу абразивных кругов, электролитов и обрабатываемых материалов и позволяющая устанавливать требуемые режимы обработки. При затачивании твердосплавного деревообрабатывающего инструмента с использованием метода электроалмазного шлифования с одновременной непрерывной правкой круга рациональные условия выполняются при следующих режимах обработки: $v_{пр} = 3,5$ м/с; $S_{пр} = 1,5 \div 2$ м/мин; $t_{пр} = 0,02 \div 0,03$ мм/дв. ход; $i_{пр} = 0,2 \div 0,25$ А/см²; $i_{тр} = 15 \div 20$ А/см² [11].

Для определения рациональных режимов резания и геометрии режущего элемента разработана автоматизированная программа расчета рационального значения режимов резания и угла заострения режущей кромки при оптимальных значениях стойкости, шероховатости обработанной поверхности и производительности.

Таким образом, результаты исследования влияния переменных факторов на технологическую стойкость фрезерного дереворежущего инструмента и шероховатость обработанной поверхности показали, что наибольшее влияние оказывает скорость резания и угол заострения режущих элементов. Максимальная стойкость инструмента наблюдается при скорости резания $v = 15$ м/с, продольной подаче $S = 4$ м/мин, глубине реза-

ния $t = 1$ мм, угле заострения режущего элемента $\delta = 60^\circ$. Период стойкости инструмента при этом составляет $T = 2335$ мин. Минимальное же значение шероховатости установлено при скорости резания 50 м/с, продольной подаче 4 м/мин, глубине резания 1 мм и угле заострения режущего элемента 50°. Параметр шероховатости обработанной поверхности в этом случае составил 31 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абразмов В. В. Материалы фрезерных инструментов для обработки цементостружечных плит: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1993. 248 с.
2. Амалицкий В. В., Абразмов В. В., Квачадзе Т. Д. Исследование режущих свойств керамики при фрезеровании ЦСП // Процессы резания, оборудование и автоматизация в деревообработке. М.: МЛТИ, 1991. Вып. 236. С. 5—10.
3. Булгаев А. М. Совершенствование конструктивно-технических методов повышения износостойкости инструментов для обработки неметаллических материалов: Автореферат дис. ... канд. техн. наук. М., 2002.
4. Зотов Г. А., Киров В. А. Технологические методы повышения стойкости дереворежущего инструмента: обзор. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1986. 36 с.
5. Памфилов Е. А., Пыриков П. Г. Повышение износостойкости ножей дереворежущих инструментов // Дереворежущая промышленность. 1996. № 3. С. 23—24.
6. Квачадзе Т. Д. Оптимизация процесса фрезерования цементостружечных плит: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1991. 192 с.
7. Лолодзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1982. 230 с.
8. Суслов А. Г., Дальский А. М. Научные основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2002. 648 с.
9. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов. М.: Высшая школа, 1985. 304 с.
10. Янюшкин А. С., Лобанов Д. В., Кузнецов А. М. Перспективные инструментальные материалы для деревообрабатывающего инструмента // Новые материалы и технологии в машиностроении. Брянск, 2003. Вып. 2. 110 с.
11. Янюшкин А. С. Технология комбинированного электроалмазного затачивания твердосплавных инструментов. М.: Машиностроение-1, 2003. 242 с.

¹ Патент 2239525, 42193, 2268118 (РФ).

² Свидетельство о регистрации 2004611425 (РФ).

В. В. ЖУРАВЛЕВ, д-р техн. наук
ВНИИАЛМАЗ

Особенности пайки алмазных резцов

Эффективность использования однокристалльного алмазного инструмента в значительной степени определяется надежностью крепления алмаза к корпусу. В отличие от пайки металлов при пайке алмаза необходимо учитывать большую разницу в температурных коэффициентах линейного расширения алмаза и материала державки, специфику смачиваемости алмаза расплавом припоя, относительно низкую температуру начала графитизации алмаза (около 800 °С), анизотропию твердости алмаза в зависимости от формы кристалла и ориентации его граней при механической обработке (а следовательно, различной конечной шероховатости поверхности алмаза под пайку).

В данной работе на столбиках с поперечным сечением 2 × 3 мм, вырезанных из алмазов октаэдрической и ромбододекаэдрической формы, проводили исследования обрабатываемости плоскости алмаза в зависимости от усилия прижима столбика к ограничному диску, зависимости параметра шероховатости полученной поверхности от удельной интенсивности шлифования, а также зависимости силы среза напаянного кристалла от параметра шероховатости обработанной поверхности.

Огранку торцев столбика алмаза проводили на чугунном диске, шаржированном алмазным порошком АМ-40/28, при скорости $v = 35$ м/с в течение 40 мин, пово-

рачивая столбик алмаза на 90° через каждые 10 мин обработки.

Удельная интенсивность шлифования

$$q = Q/St,$$

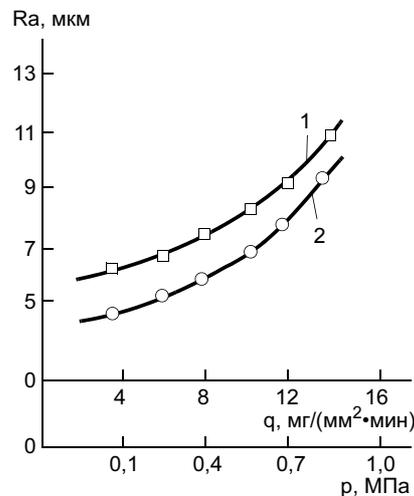


Рис. 1. Зависимость параметра шероховатости обработанной поверхности торца столбика алмаза от удельной интенсивности шлифования и нагрузки на торец: 1, 2 — октаэдрическая и ромбододекаэдрическая формы кристаллизации алмаза соответственно

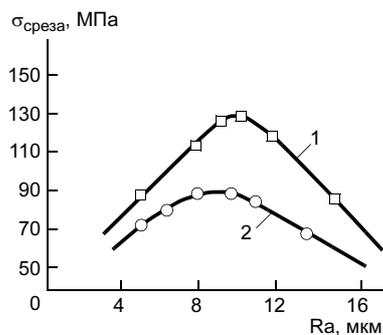


Рис. 2. Зависимость прочности крепления алмаза от параметра шероховатости: 1, 2 — см. рис. 1

где Q — съём алмаза, мг; S — площадь торцевой грани столбика, мм²; t — время шлифования, мин.

Съём алмаза определяли взвешиванием на каратных весах Tettler.

На рис. 1 приведены зависимости параметра шероховатости обработанной поверхности торца столбика алмаза, вырезанного из алмазов октаэдрической и ромбододекаэдрической формы, от удельной интенсивности шлифования и давления на алмазный столбик при обработке. Видно, что алмазы разной формы кристаллизации имеют разную удельную интенсивность шлифования и, соответственно, шероховатость обработанной поверхности.

Пайку алмазных образцов осуществляли ТВЧ с частотой 60 Гц, время пайки 3 мин, температура пайки 860 °С. Использовали припой системы Cu—Sn—Ag—Ti. Сдвиг паяных алмазов осуществляли на стандартной разрывной машине мощностью до 50 кН.

На рис. 2 приведены зависимости прочности крепления $\sigma_{\text{среза}}$ от параметра шероховатости обработанной поверхности кристаллов алмаза при различной форме кристаллизации алмаза. Видно, что кривая прочности крепления алмаза методом пайки в зависимости от параметра шероховатости проходит через максимум и максимальная прочность соответствует параметру шероховатости поверхности $Ra = 8 \div 9$ мкм.

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА И РОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Ю. С. ВОЛОБУЕВ, канд. техн. наук, Н. Н. ПОТАПОВ, д-р техн. наук,
Е. Г. СТАРЧЕНКО, канд. техн. наук, О. С. ВОЛОБУЕВ, инж.
ОАО "НПО "ЦНИИТМАШ"

Состояние и перспективы развития производства и применения сварочных флюсов в отечественной промышленности

Ситуация в области производства и применения сварочных флюсов в отечественной промышленности за последние 15 лет практически не изменилась. Перестройка не вызвала кардинальных изменений в этом сегменте экономики, не увеличились инвестиции на расширение и совершенствование составов и технологий изготовления сварочных флюсов, а напротив, многие производства флюсов в результате общего промышленного спада и соответствующего снижения потребности в сварочных флюсах, а также смены форм собственности сначала снизили объемы производства, а затем некоторые из них были закрыты. В том числе, например, был закрыт и один из лучших современных высокотехнологичных цехов в РФ по производству специальных флюсов для атомного и энергетического машиностроения на ЭМК "Атоммаш" в Волгодонске.

Но российская промышленность, по-прежнему, использует в производстве сварочные флюсы, и необходимость в них, особенно в последнее время, растет. Ориентировочная потребность в настоящее время составляет порядка 20—30 тыс. т сварочных флюсов в год. Их основными потребителями являются трубные заводы, предприятия машиностроительного и нефтегазового комплекса, судостроительные заводы и другие предприятия отечественной промышленности. В настоящее время наиболее широко в отечественной промышленности используют плавные флюсы.

Предприятия МПС России потребляют около 3000 т флюсов в год. Только ОАО "Северсталь" ежегодно использует более 600 т сварочных флюсов. Потребность Волжского трубного завода составляет около 3000 т.

После распада Советского Союза основные производители сварочных плавных флюсов оказались за пределами Российской Федерации. Имею-

щиеся производственные мощности указанных флюсов не в состоянии удовлетворить потребности отечественной промышленности. В связи с этим основная масса используемых сварочных флюсов закупается за границей, преимущественно в Украине. Только Запорожский завод сварочных флюсов поставляет на российский рынок порядка 6—10 тыс. т флюсов ежегодно. Из отечественных предприятий, которые производят плавные флюсы, можно выделить следующие: ООО "Ижорские сварочные материалы" (3 печи по 500 кг); ОАО "Севмашпредприятие" (3 печи по 500 кг); ОАО "Челябинский трубопрокатный завод" (в настоящее время свернул производство плавных флюсов); ОАО "Красный котельщик" (2 печи по 100 кг).

В последние годы значительно активизировалось проникновение на отечественный рынок керамических (агломерированных) флюсов западного, в основном шведского, производства. Эти флюсы по сравнению с плавными обладают более высокими сварочно-технологическими и металлургическими характеристиками.

В целом состояние дел в области сварочных флюсов в настоящее время характеризуется высокой зависимостью от их поставки из-за рубежа, ориентацией на использование устаревших плавных флюсов, а также нарастающим отставанием от современного мирового уровня сварочных технологий.

Для предотвращения все большего отставания производства сварочных флюсов от западных конкурентов необходимо создание отечественных производственных мощностей по изготовлению современных сварочных флюсов.

Несмотря на то, что плавные флюсы еще долгое время будут находить широкое применение в отечественной промышленности, в особенности

из-за ссылок на них в нормативной документации, создавать новые или расширять существующие производства плавяных флюсов нецелесообразно и бесперспективно, так как их производство связано с большими энергетическими затратами и экологическими проблемами. Кроме того, с металлургической точки зрения керамические флюсы открывают новые перспективы при изготовлении ответственных конструкций, например, при изготовлении оборудования и трубопроводов, работающих в условиях Крайнего Севера. Поэтому при решении вопроса о создании производственных мощностей по изготовлению сварочных флюсов необходимо ориентироваться на керамические (агломерированные) флюсы.

Основные преимущества керамических флюсов заключаются в следующем:

— производство керамических флюсов является практически безотходным технологическим процессом, оно экологически значительно чище в результате минимизации выбросов в атмосферу;

— энергетические затраты при производстве керамических флюсов в 4—5 раз ниже по сравнению с плавяными флюсами;

— возможности введения в состав керамических флюсов легирующих добавок позволяют создавать корректирующие составы флюсов, улучшающих наплавляемый металл при использовании стандартных сварочных материалов и за счет этого получать высококачественные сварные соединения со специальными свойствами, а в ряде случаев отказаться от изготовления дорогостоящих специальных сварочных проволок как сплошного сечения, так и порошковых;

— возможность модифицирующего влияния керамического флюса на структуру металла сварного шва позволяет получать его мелкозернистую структуру, а соответственно, и более высокую пластичность металла шва, в том числе при низких температурах;

— сварочно-технологические характеристики керамических флюсов существенно выше по сравнению с плавяными;

— технология изготовления керамических флюсов позволяет использовать отходы ряда производств;

— технологические возможности позволяют готовить флюсы с высокой основностью, что в ряде случаев невозможно при изготовлении плавяных флюсов из-за их повышенной склонности к гидратации;

— возможность изготовления керамических флюсов с более низкой насыпной плотностью по срав-

нению с плавяными, что особенно важно при сварке на повышенных скоростях, например при многодуговой сварке труб;

— расход керамического флюса на единицу наплавляемого металла существенно ниже по сравнению с плавяными (на 30—40 %).

Развитие в России производства керамических флюсов обусловлено тем, что мировой опыт в области сварки в настоящее время ориентирован исключительно на использование керамических (агломерированных) флюсов. В отечественной промышленности керамические флюсы до настоящего времени не нашли широкого применения прежде всего из-за отсутствия производственных мощностей по их выпуску в достаточном количестве, а также из-за отсутствия разработанных высокотехнологичных марок керамических флюсов, допущенных к применению нормативными документами. Среди немногих производителей керамических флюсов в РФ можно назвать ОАО "НПО "ЦНИИТМАШ", которое является разработчиком и производителем малых партий специальных флюсов для сварки и наплавки в атомном и энергетическом машиностроении, ООО "Спецфлюсмаш", выпускающее самую широкую гамму флюсов, используемых как для сварки, так и наплавки (более 10 марок, в том числе и для сварки оборудования, эксплуатируемого при низких температурах — ФКС-37, ФКС-39 и др.), НПО "Прометей", специализирующееся по выпуску флюсов для судостроения, ООО "Спецсвармет", выпускающее флюсы преимущественно для наплавки на предприятиях РЖД и др. Самым крупным производителем керамических флюсов в РФ в настоящее время является ОАО "ЧТПЗ", организовавшее производство керамического флюса для сварки труб. Общая производственная мощность перечисленных предприятий составляет не более 7—8 тыс. т в год, что явно недостаточно для отечественной промышленности. Поэтому российские потребители сварочных флюсов, по-прежнему, используют преимущественно плавяные флюсы, такие как ОСЦ-45, АН-348, АН-47, АНЦ-1, АН-60, АН-67, АН-67Б, АН-26 и др., поставка которых осуществляется из Украины, что связано с определенными трудностями, а также экономически нецелесообразно для России. Имеющиеся производственные мощности плавяных флюсов в России, а тем более керамических, явно не в состоянии удовлетворить потребность отечественной промышленности в сварочных флюсах.

Образовавшуюся нишу на российском рынке сварочных материалов в последнее время успешно заполняют западные поставщики сварочных флю-

сов, такие фирмы как ESAB, BOHLER, SANDVIK, LINCOLN, OERLICON и др. Это касается прежде всего керамических флюсов для сварки труб, которые выгодно отличаются по своим сварочно-технологическим и металлургическим характеристикам от плавящихся. Все вышесказанное свидетельствует о необходимости кардинальных инновационных решений в области совершенствования производства сварочных флюсов для нужд отечественных предприятий. Это касается, конечно, не только производства сварочных материалов, но и в целом всей сварочной отрасли.

Создание производственной базы по изготовлению керамических флюсов возможно в двух направлениях:

— организация нескольких мощных производственных баз по типу западных, например фирмы ESAB, с единым исследовательским центром, обеспечивающих отечественную промышленность всем комплексом высококачественных, сертифицированных сварочных материалов, изготавливаемых по единым стандартам;

— организация производств небольшой мощности (300—700 т/год) непосредственно на предприятиях-потребителях сварочных флюсов, изготавливающих две-три марки флюса для своих нужд по единым стандартам.

Реализация предлагаемых мер позволит создать в РФ производственные мощности по выпуску высококачественных керамических флюсов нового поколения, что позволит поднять на новый уровень качество сварных конструкций и их эксплуатационную надежность, а также значительно повысить конкурентоспособность отечественного производителя сварных металлоконструкций, особенно ответственного назначения (заводы атомного и энергетического машиностроения, оборонные предприятия, машиностроительные заводы нефтегазового комплекса, трубные заводы, предприятия транспортного и сельскохозяйственного машиностроения и др.) и защитить российский рынок от экспансии зарубежных фирм. Актуальность поставленного вопроса повышается в связи с постоянным ростом потребления сварочных флюсов отечественной промышленностью.

Вместе с тем следует отметить, что создание производственных мощностей по выпуску керамических флюсов не решает проблему повышения качества и надежности изготавливаемого оборудования. Необходимо в первую очередь создать перспективные составы высокотехнологичных флюсов для сварки-наплавки, а также разработать новые тех-

нологические процессы и оборудование для их реализации.

Особо следует подчеркнуть необходимость создания высококачественных сварочных материалов для нужд предприятий, изготавливающих высокотехнологичное ответственное оборудование, обеспечивающее жизнедеятельность и безопасность страны. И прежде всего это касается оборудования для атомных и тепловых станций и нефтехимического комплекса.

Эксплуатационная надежность и безопасность оборудования АЭС в определяющей степени зависит от качества выполненных сварных швов при изготовлении указанного оборудования. В свою очередь механические характеристики и качество сварного шва определяются правильным выбором сварочных материалов, в частности, флюса и проволоки и технологии их применения. Поэтому получение сварных швов с более высокими механическими характеристиками и низким содержанием вредных примесей, таких, например, как медь, сера, фосфор и др., является одной из важнейших задач при разработке новых сварочных материалов.

Проблема повышения качества и эксплуатационной надежности атомного энергетического оборудования требует комплексного подхода для решения указанных задач. При совершенствовании существующего оборудования и разработке реакторов нового поколения необходимо параллельное проведение исследований не только по разработке новых сталей, но также сварочных материалов и технологий их изготовления и применения, обеспечивающих высокую надежность энергетического оборудования.

Успешное решение указанных задач позволит получить качественно новый уровень сварных конструкций и обеспечить повышение их надежности при эксплуатации в особо сложных условиях.

Мировой и отечественный опыт в области разработки сварочных материалов для аналогичного оборудования позволяет определить основные направления проводимых исследований.

Новые сварочные материалы и технология их применения должны обеспечивать следующие свойства сварного шва и сварного соединения:

— низкое содержание вредных примесей серы и фосфора и др. в металле сварного шва, что достигается за счет как низкого содержания указанных примесей в сварочной проволоке, так и рафинирующих свойств самого флюса, что в свою очередь обеспечивается физико-химическими характеристиками сварочного флюса;

— низкое содержание газов в металле сварного шва и его высокую чистоту по неметаллическим включениям эндогенного и экзогенного происхождения, что также обеспечивается оптимальным сочетанием состава сварочной проволоки и флюса за счет достижения, по возможности, равновесного состояния в системе сварочная ванна—электродная проволока—керамический флюс, а также за счет оптимизации физических свойств керамического флюса (поверхностное и межфазное натяжение, вязкость, плотность), обеспечивающих очищение границ зерен кристаллизующегося металла;

— мелкозернистую структуру металла шва, которая достигается модифицирующим влиянием керамического флюса при введении в его состав микродобавок компонентов-модификаторов, измельчающих структуру металла шва, а также за счет технологии сварки, оказывающей оптимальное термическое воздействие на металл сварного соединения.

Особо важная роль при решении перечисленных проблем отводится сварочному флюсу. В настоящее время в отечественном атомном машиностроении используют только плавные флюсы, которые в ряде случаев не отвечают современному уровню требований, предъявляемых к изготовлению ответственного оборудования.

За последние годы в ОАО «НПО "ЦНИИТМАШ"» накоплен значительный опыт в области разработки и применения как плавных, так и керамических флюсов в различных отраслях промышленности. Плавные флюсы ФЦ-11, ФЦ-16, ФЦ-17, ФЦ-18, ФЦ-19, ФЦ-21, ФЦ-22 успешно внедрены при изготовлении оборудования АЭС. Создана серия керамических флюсов (ФЦК-23, ФЦК-27, ФЦК-28, ФЦК-29, ФЦК-30, ФКН-5, ФКН-6, ФКЛ-2) для сварки и наплавки сталей различного класса, в том числе и для атомного машиностроения. Разработаны новые технологические керамические флюсы с высокой основностью ФКС-37, ФКС-39, обеспечивающие низкое содержание кислорода в наплавленном металле и высокие механические характеристики при сварке в сочетании с низколегированными сварочными проволоками. Завершается разработка керамического флюса общего назначения для сварки-наплавки взамен плавных флюсов, таких как АН-348А, ОСЦ-45, АН-47, АН-42.

Проводятся работы по совершенствованию плавного флюса ФЦ-18, предназначенного для антикоррозионной наплавки реакторного оборудования в электрошлаковом режиме двухленточным электродом и разработке его керамического аналога, а также по разработке керамического флюса для

сварки высоколегированных сталей аустенитно-ферритного класса, обеспечивающего процесс саморегулирования содержания ферритной фазы в наплавленном металле.

В ОАО «НПО "ЦНИИТМАШ"» проводятся исследования по совершенствованию технологии изготовления керамических флюсов, а также модернизации основного технологического оборудования. Среди перспективных направлений в этой области можно выделить следующие:

— разработка флюсов для сварки ответственного оборудования, эксплуатируемого при низких температурах, вплоть до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$;

— разработка специальных рафинирующих керамических флюсов для сварки и наплавки в атомном и энергетическом машиностроении, обеспечивающих особо чистый металл по сере и фосфору;

— разработка серии керамических флюсов для механизированной наплавки уплотнительных поверхностей арматуры различного назначения;

— разработка флюса для износостойких наплавов горнодобывающего, строительного и дорожно-оборудования, позволяющего увеличить межремонтный срок эксплуатации оборудования;

— разработка керамических флюсов общего назначения взамен широко используемых плавных флюсов;

— определение новых сырьевых источников для производства керамических флюсов;

— разработка комплекса мероприятий, обеспечивающих снижение исходной концентрации серы и фосфора и других вредных примесей в сырье для производства керамических флюсов;

— разработка технологических приемов, обеспечивающих снижение перехода серы и фосфора в наплавленный металл в процессе выполнения сварных швов;

— разработка серии новых керамических флюсов для сварки оборудования АЭС;

— разработка технологии изготовления нового керамического флюса;

— разработка новых технологических процессов использования керамических флюсов;

— разработка и согласование программы аттестационных испытаний керамического флюса;

— проведение аттестационных испытаний керамического флюса в соответствии с требованиями Ростехнадзора для сварки кольцевых и продольных швов и наплавки корпусного оборудования АЭС;

— разработка нормативно-технической документации на новые керамические флюсы (технические условия и технологические инструкции) и согласование их в установленном порядке.

Необходимо также отметить, что если в области металлургии сварки под флюсом накоплен значительный теоретический и практический опыт, позволяющий с высокой точностью для практических целей оценивать металлургические свойства сварочных флюсов и подбирать составы флюсов для сварки различных материалов в сочетании с определенными сварочными проволоками, то в области прогнозирования сварочно-технологических характеристик флюсов, определяющих такие характеристики, как отделимость шлаковой корки, формирование наплавленного валика в различных пространственных положениях, вероятность образования дефектов и др., которые в свою очередь определяются физико-химическими характеристиками сварочных флюсов (вязкостью, плотностью, межфазным и поверхностным натяжением и т. д.), надежных методов не существует.

Поэтому в этом направлении предстоит проведение фундаментальных исследований, так как сварочно-технологические свойства флюсов наряду с металлургическими характеристиками могут оказать решающее влияние на эксплуатационные характеристики сварного соединения.

Кроме перечисленных традиционных задач, которые следует решать для повышения качества сварных конструкций, изготавливаемых сваркой под флюсом, необходимо проводить перспективные исследования по разработке принципиально новых технологических процессов изготовления флюсов нового поколения.

Одним из таких направлений исследований может стать создание принципиально новых технологий изготовления флюсов нового поколения, например, технологии производства термически гранулированных флюсов, получаемых при совмещении процессов плавления (оплавления) или спекания с процессом грануляции, что позволяет исключить технологические операции сушки-прокалки и интенсифицировать процесс изготовления флюсов, уменьшить энергозатраты при их производстве, повысить экологическую безопасность производства, а также существенно улучшить сварочно-технологические

и металлургические характеристики флюса. Отсутствие воды в технологическом процессе изготовления флюсов позволит существенно понизить содержание водорода в наплавленном металле и получать более высокий уровень сварочно-технологических и металлургических свойств, а также существенно улучшить эксплуатационные характеристики сварных соединений.

Таким образом, исследование и разработка флюсов нового поколения, а также оборудования и технологии их изготовления и их внедрение при сварке ответственных конструкций позволит выйти на новый уровень прочностных характеристик сварных соединений, что существенно повысит эксплуатационную надежность и безопасность сварных конструкций.

Важным направлением в области создания новых технологий производства флюсов является использование нанотехнологий при разработке и изготовлении керамических (особенно легирующих) флюсов. Это направление в настоящее время совершенно не исследовано.

Не менее актуальным является также разработка и исследование технологии изготовления керамических флюсов с малой насыпной плотностью, что особенно важно при производстве труб для обеспечения низкой выпуклости сварного шва.

Необходимо также отметить особую важность разработки нормативно-технической документации на керамические флюсы, которая в настоящее время практически отсутствует.

ВЫВОД

В целях повышения эксплуатационной надежности сварных конструкций, предотвращения возможных угроз в связи с высокой зависимостью отечественной промышленности от поставки сварочных материалов, в частности сварочных флюсов, из-за рубежа необходимо принятие срочных инновационных решений по созданию в РФ производств более технологичных и перспективных керамических (агломерированных) флюсов.

А. Д. АБРАМОВ, канд. техн. наук, М. С. ГАЛАЙ, аспирант
Сибирский государственный университет путей сообщения

Применение виброударной технологии для упрочнения поверхностей деталей машин

Качество детали в значительной степени определяется свойствами поверхностного слоя материала, из которого она изготовлена. Это связано с тем, что при любых видах нагружения (кручение, изгиб и др.) наибольшее напряжение испытывают поверхностные слои материала деталей машин, а внутренние — практически не испытывают нагрузки. Поверхностные слои также противостоят износу, коррозии, тепловому и другим видам воздействий при эксплуатации.

Эффективным методом обеспечения необходимого качества поверхностного слоя является поверхностное пластическое деформирование (ППД). Обработка ППД позволяет обеспечить глубину упрочненного поверхностного слоя до 30 мм, а также увеличить микротвердость в среднем на 150 % относительно исходного значения до 6500 МПа. Остаточные напряжения после обработки ППД всегда имеют отрицательное значение, глубина их распространения превышает глубину распространения повышенной микротвердости в 1,5 раза. В связи с этим упрочнение ППД является результативным способом повышения эксплуатационных характеристик деталей машин.

Основными, наиболее распространенными методами поверхностной пластической деформации являются упрочняющее раскатывание и обкатывание, выглаживание, поверхностное дорнование, дробеструйная обработка, ударное раскатывание, упрочняющая чеканка и др. Процесс дорнования применяют для точной обработки поверхностей отверстий. При дорновании инструмент (дорн) протягивается через обрабатываемое отверстие, имеющее несколько меньшие размеры по сравнению с размером самого инструмента. Дорны отличаются друг от друга не только размерами, маркой стали, общей формой, но и формой рабочего профиля, которая существенно влияет на окончательный вид обработанной поверхности и усилия в процессе дорнования.

Обкатывание и раскатывание осуществляют роликами и шариками, оказывающими давление на поверхность обрабатываемой детали. Обкатывание шарами обладает рядом преимуществ по срав-

нению с обкатыванием роликами. Эти преимущества заключаются в следующем:

- простота конструкции и универсальность обкатного приспособления;
- применение высококачественных и сравнительно низких по стоимости стандартных шариков, выпускаемых промышленностью;
- создание наиболее выгодных условий процесса обкатывания благодаря самоустанавливаемости шариков;
- достижение высоких контактных давлений при сравнительно небольших силах, передаваемых со стороны деформирующего элемента на обрабатываемую поверхность заготовки.

Для обкатывания используют стандартные шары, твердость которых должна превышать твердость обрабатываемого материала. Для обкатывания закаленных сталей необходимо выбирать шары наиболее высокой твердости (63—65 HRC). Стойкость инструмента зависит от параметров режима обкатывания и свойств материала заготовки.

Применение ролика в качестве деформирующего элемента целесообразно при отделочно-упрочняющей обработке заготовок из антифрикционных порошков материалов. Использование однороликовых обкатников проще и удобнее, чем многороликовых. Однако однороликовые обкатники вызывают в обкатываемом изделии большой изгибающий момент и значительное поперечное усилие на станок, которые могут оказаться недопустимыми в связи с опасностью пластического изгиба упрочняемого изделия или износа станка. Поэтому однороликовые обкатники применяют преимущественно в тех случаях, когда можно ограничиться сравнительно небольшой глубиной упрочненного слоя и небольшим давлением на деформирующий элемент. Следует отметить, что для крупных заготовок, обкатываемых на мощных станках, допустимое давление на роликах может достигать 50—70 кН, а глубина наклепа достигает нескольких миллиметров.

Для упрочнения отверстий в железнодорожных рельсах используют раскатники с деформирующими телами в виде твердых шариков, расположенных в сепараторе (полном податливом цилиндриче-

ском теле). Сепаратор охвачен втулкой в сборе, на которой выполнены шесть резьбовых отверстий и входящего торцем в одно из трех конусных углублений на сепараторе, раскатчик настраивается на требуемый диаметр упрочняемого отверстия: 34, 35 или 36 мм. Шарики изнутри сепаратора распирают конусом в сборе, подпружиненном пружиной относительно сепаратора и втулки. Конус введен в расточку конического или цилиндрического хвостовика и скреплен с ним штифтом. Раскатники устанавливаются на переносных рельсосверлильных станках.

Кроме раскатников и обкатников для повышения эксплуатационной стойкости деталей применяют виброголовки. Виброголовки для обработки наружных и внутренних цилиндрических, конусообразных и торцовых поверхностей в основном конструируются к токарным станкам, меньше — к фрезерным, координатно-расточным, строгальным, шлифовальным. Использование главного и вспомогательного движений токарного станка существенно упрощает кинематическую схему вибронакатывания. Таким образом, основным назначением виброголовки является осцилляционное движение деформирующего элемента. В качестве привода осцилляционного движения наибольшее применение получил механический, отличающийся простотой и надежностью. Многошариковые виброголовки применяют двух видов: с расположением деформирующих элементов по окружности и в ряд. Площадь канавок, перекрываемая выдавливаемыми деформирующими элементами, при прочих равных условиях пропорциональна их числу. Таким образом, применяя взамен одного два, три или более работающих элемента, определенным образом расположенных относительно друг друга, можно увеличить в 2, 3 или более раз подачу виброголовки вдоль оси обрабатываемой заготовки и тем самым повысить производительность обработки.

Современный арсенал методов ППД позволяет изменять свойства поверхностных слоев металла в требуемом направлении и создавать поверхностные слои с заданными физико-механическими свойствами и оптимальным микрорельефом. Но существующие методы ППД являются нерациональными ввиду громоздкости оборудования, невысокой точности регулирования режимов упрочняющей обработки и повышенного расхода электроэнергии. Одним из путей решения рассматриваемой проблемы является технология виброударного пластического упрочнения (ВПУ), основными преимуществами которой являются точность регулирования параметров упрочнения и возможность выполнения операции непосредственно на месте производ-

ства основных работ. Кроме того, виброударная технология, базирующаяся на силовом воздействии на обрабатываемую деталь с использованием энергии удара — одной из наиболее мощных динамических нагрузок, может быть отнесена к ресурсосберегающим технологиям. Необходимо отметить, что для упрочнения отверстий в рельсах методами ППД были попытки использовать дорны, пуассоны и другой ударный инструмент. Однако они не увенчались успехом из-за отсутствия удобного, малогабаритного оборудования.

Основа метода ВПУ — многократное точечное воздействие на упрочняемую деталь за ряд повторяющихся ударов за счет регулирования энергии единичного удара, частоты вращения заготовки и подачи виброударной машины.

Метод ВПУ может быть реализован с использованием в качестве генератора ударных воздей-

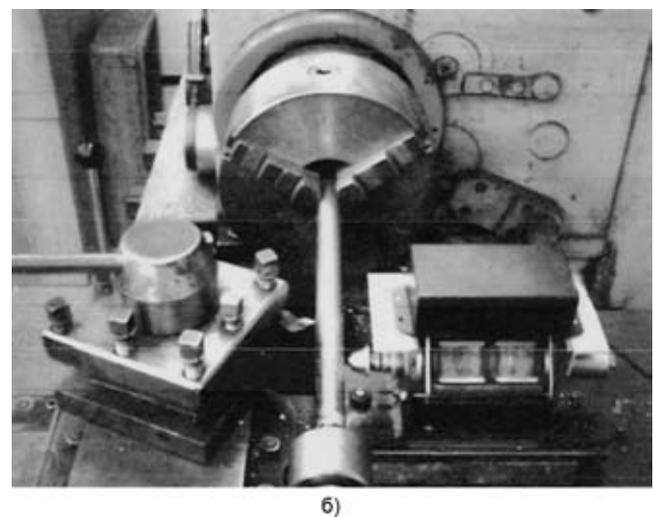
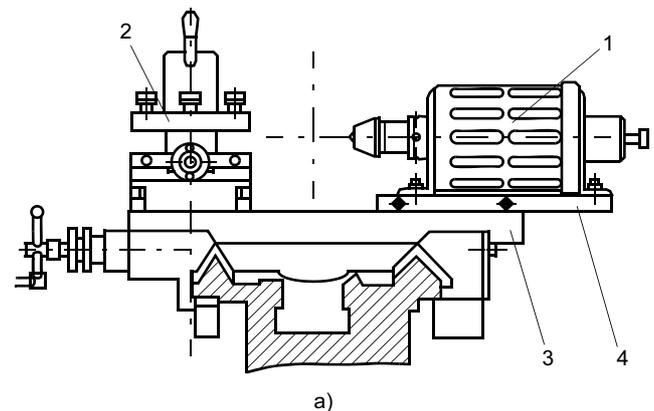


Рис. 1. Установка для виброударного пластического упрочнения: а — принципиальная схема (1 — виброударная машина; 2 — резцедержатель; 3 — суппорт; 4 — направляющий швеллер); б — вид общий

вий электромагнитной машины ударного действия, которая обеспечивает снижение энергопотребления и нагрузки на сеть, массогабаритных и стоимостных показателей (рис. 1). Данный метод приобретает особую значимость для ремонтного производства, так как не требует сложного и дорогостоящего оборудования и реализуется установкой малогабаритной виброударной машины на суппорте токарного станка как сменной оснастки.

Одним из показателей эффективности виброударных машин является уровень энергии единичного удара, отнесенной к массе машины. Для существующих ручных машин он составляет 1—2 Дж/кг, что зачастую недостаточно даже для начала пластического течения материала. Вместе с тем проведенный анализ показал, что для реализации ряда виброударных технологий он должен составлять 10—15 Дж/кг, что нелегко получить обычными путями.

Электромагнитные машины ударного действия представляют специфический класс электрических машин, что позволяет использовать для анализа динамики линейных электромагнитных двигателей общие положения теории электрических машин. Известно, что для машин переменного тока мощность связана с электромагнитными нагрузками и главными геометрическими размерами следующим соотношением:

$$P = \Omega D_c A_s B_\delta A, \quad (1)$$

где Ω — обобщенный коэффициент, учитывающий частоту питающей сети; D_c — диаметр ротора статора; A_s — линейная токовая нагрузка, определяемая величиной потребляемого тока, отнесенной к длине машины; B_δ — индукция в рабочем воздушном зазоре; A — длина машины (статора).

Согласно формуле (1), увеличение мощности (или энергии единичного удара) при заданных размерах двигателя может быть достигнуто увеличением A_s и B_δ . Но так как B_δ имеет некоторое предельное значение, определяемое свойствами ферромагнитного материала, то увеличение энергии удара при $D_c^2 A = \text{const}$ может происходить только за счет роста A_s . При этом частота питающей сети должна быть снижена таким образом, чтобы среднее за период значение тока, определяющее нагрев машины и нагрузку на сеть, оставалось неизменным.

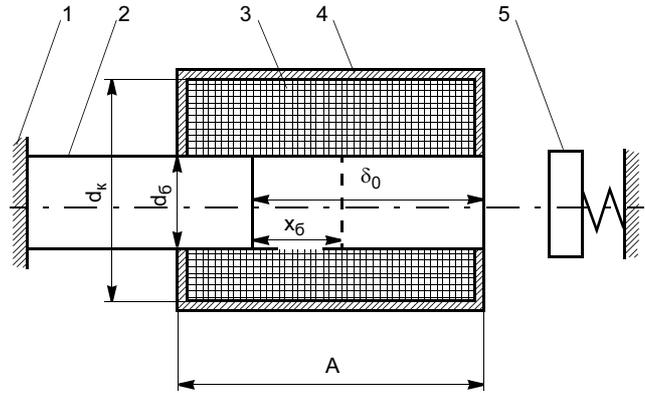


Рис. 2. Схема силовой части привода: 1 — неподвижный ограничитель; 2 — боек; 3 — силовая катушка; 4 — наружный магнитопровод; 5 — подвижный ограничитель вылета бойка (инструмент)

Увеличение энергии удара неизбежно приведет к качественным изменениям в работе приводного двигателя за счет роста электромагнитных нагрузок и их импульсного характера, обусловленного рассогласованием между частотой питающего напряжения и частотой ударов.

Исходя из вышеприведенного, основными требованиями, определяющими выбор конструкции двигателя, являются его способность к перегрузкам и устойчивость работы при пониженном напряжении. Этим требованиям в наибольшей степени отвечает линейный электромагнитный двигатель. С учетом данных особенностей в электромагнитных машинах ударного действия, применяемых для реализации технологии виброударного пластического упрочнения, в качестве приводного механизма применяют электромагнитный двигатель, непосредственно преобразующий электроэнергию в возвратно-поступательное движение бойка. Силовая часть машины ударного действия, конструктивная схема которой приведена на рис. 2, представляет цилиндрическую катушку со стальным сердечником — бойком и магнитопроводом, сечение которого равно сечению бойка.

Создание высокоэффективных электромагнитных машин ударного действия, в которых воплощены последние технические достижения, позволит реализовать широкий спектр технологий в различных сферах промышленного производства.

М. А. ПОЛЯНСКИЙ, инж.
ОАО «НПП "Эталон"»

Особенности применения термометров сопротивления и термоэлектрических преобразователей

ОАО «НПП "Эталон"» выпускает широкую номенклатуру конструкций первичных преобразователей температуры двух видов для промышленности: термометры сопротивления (ТС) и термоэлектрические преобразователи (термопары).

Медные ТС предназначены для измерений температуры от -50 до 180 °С, платиновые — от -200 до 600 °С.

Для платиновых ТС стандартизованы два типа характеристик $\alpha_{100} = 1,3910$ и $\alpha_{100} = 1,3850$ (α_{100} — отношение сопротивления ТС при 100 °С к сопротивлению ТС при 0 °С).

ОАО «НПП "Эталон"» выпускает платиновые ТС с $\alpha_{100} = 1,3910$ и $\alpha_{100} = 1,3850$, что обеспечивает замену импортных ТС. Медные ТС выпускаются с $\alpha_{100} = 1,4280$, однако их отклонение от $\alpha_{100} = 1,4260$ невелико и замена не вызывает сложности, например при 180 °С отклонение составляет $0,7$ °С.

Повышенные требования предъявляют к ТС, используемым при учете тепловой энергии. Поставка производится в виде комплекта КТСПр-9514 (рис. 1), в котором значения сопротивлений двух ТС, входящих в комплект, при 0 °С (R_0) отличаются между собой на величину не более $0,01$ %, а значения W_{100} отличаются на величину не более $0,0001$. В настоящее время поставляются комплекты КТСПр, соответствующие международным стандартам, с поверкой в трех точках.

Поскольку термометры сопротивления имеют стандартизованные пределы допустимого откло-

нения сопротивления от НСХ, в случае необходимости замены датчиков не требуется подстройка или введение поправок во вторичном измерительном или регулирующем приборе.

Наиболее важное условие правильного измерения температуры с помощью ТС — обеспечение электрической изоляции как самого измерительного резистора, так и соединительных проводов. Сопротивление изоляции должно быть не менее 10 МОм иначе шунтирование приведет к значительной погрешности. С этой целью выводы ТС заливают на выходе из защитной гильзы эпоксидным компаундом.

Провода, соединяющие ТС с вторичным прибором, нельзя прокладывать вместе с сетевыми проводами, чтобы избежать наводок, искажающих результаты измерения.

Поскольку сама конструкция ТС влияет на теплопередачу от среды к измерительному резистору, для снижения погрешности измерений это необходимо учитывать при выборе способа монтажа на объекте. Если монтаж производится на трубопроводе, то необходимо теплоизолировать трубопровод вокруг места врезки. Прежде всего это необходимо, когда измеряемой средой является воздух или газ с небольшим давлением (одна или несколько атмосфер).

Погрешность измерения будет тем меньше, чем больше отношение длины погружения к диаметру ТС.

ТС должен устанавливаться в точке с наибольшей скоростью течения измеряемой среды.

Необходимая длина погружения в значительной мере зависит от интенсивности теплообмена, зависящей в свою очередь от характеристик измеряемой среды. В жидкостях и паре высокого давления с очень хорошей теплоотдачей глубина погружения должна примерно в $1,5$ раза превышать активную длину датчика температуры, в газах нормального давления — в 2 раза, т. е. составляет минимум 6 — 8 диаметров защитного чехла. Например, для ТСП 9201 при активной длине датчика 60 мм глубина погружения в первом случае 90 мм, во втором случае — 120 мм.

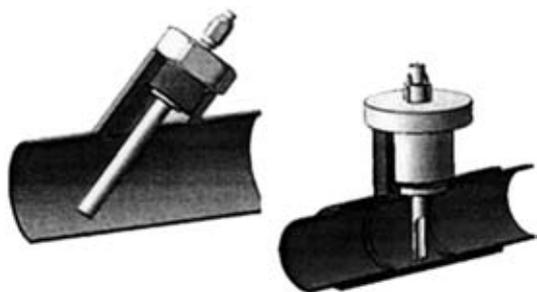


Рис. 1. Способы установки комплекта КТСПр-9514 на объекте

Если же измерения производятся не в трубопроводе, а в спокойной воздушной или газовой среде, то желательнее погружение датчика на глубину около $30d$ (d — диаметр ТС), а в спокойной жидкости — около $10d$.

Чтобы ТС можно было устанавливать и снимать с трубопровода, не сбрасывая давление в магистрали, используют защитные гильзы, которые защищают ТС от высокого давления и скоростного напора в магистрали.

Поскольку температурный диапазон промышленных ТС -200 — 600 °С, их защитную арматуру, как правило, выполняют из коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т.

При температуре до 200 °С для защиты ТС от агрессивной среды (щелочной или кислотной) используется покрытие полимерными материалами, инертными к измеряемой среде.

При измерениях на объектах или в средах с быстроменяющейся температурой существенное значение приобретает время термической реакции ТС — время, необходимое для того, чтобы при внесении в среду с постоянной температурой разность температур, среды и любой точки внесенного в нее ТС стала равной $0,37$ того значения, которое будет в момент наступления регулярного теплового режима.

К особенностям измерений с помощью ТС следует отнести необходимость учета сопротивления внутренних проводников, соединяющих чувствительные элементы (ЧЭ) с выводами ТС, и сопротивления линии, соединяющей ТС с измерительным прибором.

Сопротивление соединительных проводов исключается из измерительной схемы только при использовании четырехпроводной схемы соединения, когда измерительный ток подается по одним проводам, а падение напряжения на ЧЭ измеряется прибором с высоким входным сопротивлением, соединенным с помощью двух других проводов, подключенных непосредственно к выводам ЧЭ. Для эталонных ТС и рабочих ТС класса А, АА используется только четырехпроводная схема соединения. Помимо обеспечения наибольшей точности при этом упрощается процедура измерения, так как не требуется учет поправки на сопротивление соединительных проводов. Особенно существенным это становится при большой длине соединительных линий. Преимущество четырехпроводной схемы состоит также в том, что в рабочей зоне (в зоне погружения ТС в среду, где измеряется температура), во-первых, распределение температуры, как правило, не известно, а во-вторых, оно чаще всего изменяется во времени, что не позволяет произвести точный расчет поправки для

устранения влияния сопротивления соединительных проводов и его изменения в процессе измерений.

При обычных измерениях температуры в промышленности, как правило, используются ТС класса В, внутренние проводники которых могут быть выведены на клеммы Тс по двух-, трех- или четырехпроводной схеме.

Стандарты на ТС устанавливают, что для двухпроводной схемы соединений внутренних проводников ТС с ЧЭ, их сопротивление не должно превышать $0,1$ % номинального значения сопротивления при 0 °С, эти значения вносятся в паспорт на ТС. С учетом расстояния между ТС и вторичным прибором выбирается тип соединительной линии между ТС и вторичным прибором (двух-, трех- или четырехпроводную) и, зная сопротивление внутренних проводников ТС и сопротивление соединительной линии, можно рассчитать поправку.

Поверка (калибровка) ТС может быть проведена на двух типах поверочного оборудования, выпускаемого заводом "Эталон" — на установке УПСТ-2М или автоматизированной установке АРМ ПТС.

Термопары, выпускаемые ОАО «НПП "Эталон"», имеют температурные диапазоны:

- хромель-копелевые от -40 до 600 °С;
- хромель-алюмелевые от -40 до 1050 °С;
- платинородий-платиновые от 0 до 1300 °С;
- платинородиевые от 300 до 1600 °С.

НСХ этих термопар стандартизованы, причем российские стандарты соответствуют международным.

Стандартизованы также пределы допускаемых отклонений термоэдс от НСХ. Например, для хромель-алюмелевых термопар ХА(К) класса допуска 2 он составляет $\pm 2,5$ °С в диапазоне измерений от -40 до 333 °С и $\pm 0,0075t$ в диапазоне от 333 до 1300 °С.

Это обеспечивает взаимозаменяемость термопар, в том числе и импортных.

Термоэлектрические преобразователи (термопары) имеют следующие основные особенности:

- они являются генераторами термоэдс, причем величина эдс зависит от разности температур между рабочим ("горячим") спаем и свободными ("холодными") концами; стандарт на термопары нормирует их номинальные статические характеристики (НСХ), пределы допускаемого отклонения от НСХ при температуре свободных концов (0 °С);

- при измерениях приходится учитывать температуру свободных концов термопары, применять их термостатирование или использовать устройства компенсации температуры свободных концов термопар, или измерять температуру свободных концов и вводить соответствующую поправку;

— цепи, соединяющие термопару с вторичным прибором, должны быть выполнены компенсационными проводами, иначе возникает погрешность, величина которой зависит от температуры в точке контакта термопары с инородными проводниками.

Для термопар из неблагородных металлов используют компенсационные провода из тех же сплавов (ХА, ХК и т. д.). Для термопар из благородных металлов разработаны и выпускаются компенсационные провода из сравнительно дешевых специальных сплавов, дающих такую же термоэдс, как и термопара соответствующего типа. Это делается для платинородий-платиновых термопар типа ТПП "S".

Для платинородиевых термопар типа ТПР ("В") компенсационные провода не требуются, если свободные концы термопары выведены в зону, где допускается температура от 0 до 100 °С, так как до этой температуры термопара ТПР имеет низкую термоэдс. Поэтому соединение с вторичным прибором можно выполнять медными проводами, погрешность от этого не превысит 3 °С.

Что касается монтажа на объекте, то для термопар необходимо соблюдать те же требования, что и для ТС, для обеспечения хорошей теплопередачи от измеряемой среды к рабочему спаю и снижения теплопередачи вдоль защитной арматуры термопары.

При температуре до 800 °С защитную арматуру термопар выполняют из стали 12Х18Н10Т, при температуре до 1050 °С — из стали 15Х25Т, сплава ХН78Т, при температуре до 1200—1300 °С — из сплава ХН45Ю. При более высоких температурах, а также для защиты от агрессивной среды используют керамические защитные чехлы: из корунда, карбида кремния и даже искусственного сапфира.

ЧЭ термопар изготавливают из термоэлектродной проволоки, поставляемой согласованными в пару бухтами или катушками.

Существенные преимущества обеспечивает использование кабельных термопар, так как они до-



Рис. 2. Термопары ТХА (ТХК) 0007



Рис. 3. Термопреобразователи сопротивления ТСП 9418, ТСМ 9418

пускают изгиб при монтаже на объекте. Кроме того, они могут быть изготовлены с внешним диаметром 1 мм, что позволяет использовать их в труднодоступных местах или на малых объектах. Из термопарного кабеля изготавливают термопары ТХА (ТХК) 9608, ТХА (ТХК) 0006, ТХА (ТХК) 0007 (рис. 2).

Для использования во взрывоопасных зонах завод "Эталон" выпускает термопреобразователи сопротивления ТСП 9418, ТСМ 9418 (рис. 3) и термоэлектрические преобразователи ТХА 9416, ТХК 9416 с видом взрывозащиты "взрывонепроницаемая оболочка". Кроме того, выпускаются термопреобразователи сопротивления с встроенным в головку нормирующим усилителем ТСПУ 9312, ТСМУ 9313 с унифицированным выходным сигналом 4—20 или 0—5 мА общетехнического исполнения.

Наряду с выпуском изделий, представленных в каталоге, ОАО «НПП "Эталон"» ведет широкую работу по индивидуальным заказам потребителей. В ряде случаев такие разработки приводят к появлению новых серийных типов изделий, что позволяет постоянно расширять номенклатуру выпускаемых изделий.

Вниманию подписчиков!

Напоминаем, что оформить подписку на журнал можно с любого месяца в любом почтовом отделении связи.

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

Е. Ф. КРЕТОВ, канд. техн. наук
ОАО "Ижорские заводы"

Ультразвуковая толщинометрия в машиностроении

Как правило, ультразвуковой метод измерения толщины применяют в таких местах металлоконструкций, которые недоступны или труднодоступны для измерения механическим измерительным инструментом. Особенно широко этот метод используют для определения толщины стенок труб, котлов, сосудов, т. е. объектов замкнутого типа или с односторонним доступом. Обычно измерения производят на эквидистантных (равноудаленных друг от друга) поверхностях или участках поверхности, хотя принципиально возможны измерения в других случаях.

По физическим принципам, используемым для измерения толщины, акустические толщинометры делят на эхо-импульсные и резонансные. Принцип ультразвуковой толщинометрии импульсными приборами основан на измерении времени прохождения ультразвукового импульса в изделии или слое и умножении измеренного времени на коэффициент, учитывающий скорость звука в материале изделия. В резонансных приборах для измерения толщины используется локальный резонансный метод или локальный метод свободных колебаний, а также интерференционные явления, возникающие при распространении акустических волн в изделии.

Резонансный метод позволяет измерять толщину от минимального значения

$$h_{\min} = 0,5c/f_{\max},$$

где c — скорость звука в материале изделия; f_{\max} — максимальная частота прибора [1].

При повышении частоты до 30 МГц можно измерять толщину стальных изделий, начиная с 0,1 мм. Измерение таких толщин эхо-ме-

тодом выполнить не удастся. Использование иммерсионного варианта метода обеспечивает непрерывный контроль труб диаметром 3—4 мм и более, что также трудно обеспечить другими методами; погрешность составляет при этом 1—2 %. Резонансный метод применяют для контроля изделий с гладкими поверхностями. Изменение толщины в зоне измерения не должно превышать 8 %, при этом измеряется средняя толщина, а не наименьшее ее значение. Этими возможностями определена область преимущественного использования резонансных толщиномеров для измерения толщины при автоматическом контроле тонкостенных труб малого диаметра в иммерсионном варианте. В остальной области повсеместно применяют ультразвуковые эхо-импульсные толщинометры — простые в управлении и компактные приборы, позволяющие с хорошей точностью измерять толщину не менее 0,5 мм.

Долгое время измерение толщины ультразвуковым эхо-методом воспринималось такой же простой операцией, как измерение линейкой. Действительно: поставили искатель в указанную точку на изделии и считали результат. При использовании толщиномеров в лучшем случае руководствовались инструкцией по эксплуатации прибора. Первый отраслевой стандарт в этой области [2] (далее ОСТ), распространяющийся на изделия судовой техники, появился в 1985 г., т. е. существенно позже стандартов (инструкций) по ультразвуковому контролю сплошности материалов и сварных соединений. В 1992 г. введен в действие отраслевой методический документ по

толщинометрии в атомной энергетике [3] (далее ПНАЭ), а в 1998 г. — методика измерения толщины элементов грузоподъемных машин [4] (далее РД РОСЭК). Рассмотрим основные положения технологии ультразвуковой толщинометрии на основе этих трех документов.

В стандартах отмечается, что толщинометрия способом однократных измерений применяется в местах, недоступных для измерения механическим измерительным инструментом. Ее выполняют при изготовлении изделий, их эксплуатации, техническом диагностировании и экспертном обследовании. Измерения выполняют дискретно в запланированных точках на ОК. Необходимость проведения измерений толщины ультразвуковым методом, объем измерений, конкретные точки для измерений и критерии оценки результатов должны быть оговорены в производственно-конструкторской документации.

Современные толщинометры позволяют производить сплошное (непрерывное) измерение толщины с сигнализацией (или регистрацией) выхода измеряемой толщины за указанные пределы. Однако технология такого контроля в рассматриваемых документах не предусмотрена.

ОСТ и ПНАЭ не ограничивают диапазон измеряемых толщин. РД ограничивает измеряемые толщины диапазоном 2,5—60,0 мм. Это ограничение связано с толщинами реально существующих элементов грузоподъемных машин.

ОСТ и РД РОСЭК регламентируют измерение толщины монометаллических элементов, область применения ПНАЭ распространяется дополнительно на би-

металлические изделия, а также на антикоррозионные покрытия из сталей аустенитного класса на изделиях из сталей перлитного класса.

К работе по измерению толщины допускаются дефектоскописты, аттестованные по правилам, действующим в соответствующей отрасли, и изучившие отраслевой стандарт по толщинометрии. Руководство работами по измерению толщины, периодическая проверка качества его исполнения и оформление заключений по его результатам возлагаются на инженерно-технических работников в соответствии с правилами, действующими в отрасли.

Средства контроля

РД РОСЭК регламентирует для целей толщинометрии применение ультразвуковых толщиномеров с цифровой или стрелочной индикацией результатов. Как известно, в функциональной схеме толщиномера реализуются дополнительные относительно дефектоскопа блоки, позволяющие повысить точность измерений (например, автоматическая регулировка усиления для стабилизации амплитуды первого донного сигнала) или дополнительные требования к блокам (короткий и крутой зондирующий импульс, широкополосность) [5]. Поэтому применение толщиномеров при контроле толщин примерно до 100 мм более оправдано, чем дефектоскопов. Однако при толщинах элементов более 100 мм, которые встречаются в судовых конструкциях и характерны для оборудования атомных электростанций (АЭС), чувствительности толщиномеров не всегда достаточно, а измерение толщины антикоррозионных покрытий вообще возможно только дефектоскопом. Поэтому ультразвуковые дефектоскопы включены в состав средств измерения толщин в методиках ОСТ и ПНАЭ.

При использовании толщиномеров следует применять пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП),

которые входят в комплект толщиномера. Чаще всего это прямые раздельно-совмещенные (РС) ПЭП, иногда применяют прямые совмещенные ПЭП с задержкой. В зависимости от измеряемой толщины используют ПЭП с частотой из диапазона 2,0—10,0 МГц. При измерении толщины монометаллов и биметаллов дефектоскопами используют прямые совмещенные ПЭП с жестким протектором. Толщину антикоррозионного покрытия измеряют прямыми совмещенными (со стороны основного металла) или РС ПЭП (со стороны покрытия). Используют частоты 2,0—5,0 МГц.

Для настройки прибора применяют стандартные образцы предприятия (СОП), изготовленные из материала ОК. Основные требования к СОП: воспроизведение скорости звука, формы и состояния поверхности, соответствующих параметрам ОК. Так, например, если ставится задача измерения толщины объекта с лакокрасочным покрытием, образец должен иметь покрытие, выполненное по такой же технологии. В тех случаях, когда ОК имеет малый радиус кривизны (менее 50 мм), сложную криволинейную форму поверхности (гибы труб), необходимо применять СОП в виде фрагментов соответствующих изделий. Обычно рекомендуют иметь СОП со ступенями минимально и максимально допустимой толщины. Пример СОП для измерения толщины антикоррозионной наплавки приведен на рис. 1.

Средства контроля должны быть паспортизованы и проходить поверку в установленном порядке.

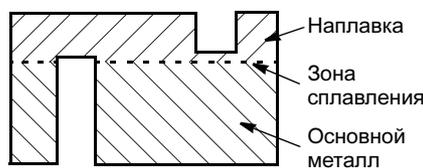


Рис. 1. Стандартный образец предприятия для настройки дефектоскопа при измерении толщины антикоррозионной наплавки

Подготовка к контролю

Перед проведением измерений необходимо произвести настройку прибора. Конкретные способы настройки для каждого прибора определены инструкцией по эксплуатации, однако они всегда содержат две операции: настройку нуля (т. е. момента входа ультразвукового импульса в ОК) и настройку на скорость звука в ОК. Настройка нуля в современных толщиномерах может быть выполнена без применения внешних образцов. Настройку на скорость звука в ОК осуществляют по СОП. Точность настройки проверяют по нижней и верхней границам диапазона измерений.

Для измерения толщины монометалла или биметалла подготавливают площадку размером $30 \times 30 \text{ мм}^2$ с центром в точке измерения. В случае измерения толщины наплавки готовят площадку размером $50 \times 50 \text{ мм}^2$. Большой размер площадки связан с тем, что не в каждой точке ОК можно получить отчетливый эхо-сигнал от зоны сплавления основного металла с наплавкой. Иногда для этого требуется произвести небольшие перемещения ПЭП около намеченной точки измерения. Подготовленная площадка должна быть свободна от загрязнений, отслаивающейся окалины или краски. Параметр шероховатости поверхности со стороны ввода ультразвуковых колебаний должен быть $Ra \leq 6,3 \text{ мкм}$ (ГОСТ 2789—73). Чем более точно необходимо произвести измерение, тем более жесткие требования предъявляются к состоянию обеих поверхностей ОК. Нет смысла требовать погрешность измерения $\delta < 0,1 \text{ мм}$ на объекте с корродированной поверхностью.

При измерении толщины на участках удаления поверхностных дефектов для установки ПЭП должна быть подготовлена площадка диаметром 15 мм, параллельная поверхности изделия. Преобразователь должен плотно

прилежать к поверхности изделия. В некоторых случаях измерение может быть выполнено со стороны, противоположной выборке. Если выборка имеет крутой профиль, не позволяющий обеспечить плоскую площадку для установки ПЭП, измеряют толщину в точках вокруг выборки. Глубину выборки измеряют микрометрическим или индикаторным глубиномером. Толщину в месте выборки находят как разность между минимальной толщиной в окрестности выборки и глубиной выборки.

В соответствии с ПНАЭ температура окружающего воздуха и ОК должна находиться в пределах 5—40 °С. ОСТ и РД РОСЭК позволяют выполнять измерения в диапазоне температур, разрешенном инструкцией по эксплуатации применяемого толщиномера. По данным американской спецификации SE-797, каждое увеличение температуры на 55 °С влечет за собой уменьшение скорости звука в стали на 1 % [6].

Проведение измерений

Перед началом измерений необходимо ознакомиться с документацией на измеряемый объект и, если возможно, составить представление об ожидаемом состоянии донной поверхности.

На каждый размеченный участок наносят контактную жидкость, устанавливают ПЭП и тщательно притирают к поверхности ОК, добиваясь минимального устойчивого показания. При измерении толщины трубопроводов экран РС ПЭП должен быть ориентирован перпендикулярно образующей трубы. Причиной отсутствия показаний могут быть плохой акустический контакт (например из-за плохого качества контактной поверхности), язвенная коррозия донной поверхности, отсутствие эквидистантности поверхностей, наличие элемента, приваренного к донной поверхности, наличие внутреннего дефекта материала в месте измерения и др.

При измерении толщины ультразвуковыми дефектоскопами следует проводить и настройку, и измерение в режиме "по фронту". Для уменьшения погрешности настройки и измерения необходимо выполнять при одинаковой высоте эхо-сигнала.

При измерении толщины в местах язвенной и пятнистой поверхности коррозии внутренней поверхности прибор фиксирует отдельные язвину сферической формы размером более 2,5—3,0 мм. Для определения участка наименьшей толщины приходится выполнять измерения с малым шагом (до 3 мм и меньше). О наличии пятнистой или язвенной коррозии свидетельствуют скачущие показания прибора на небольшом участке измерений.

Считывание результата измерения проводят после получения устойчивого и достоверного показания. Для цифрового прибора оно характеризуется либо одним значением, либо двумя, изменяющимися в пределах дискретности прибора. В последнем случае записывают значение, ближайшее к границе допуска на размер. Если возникает сомнение в правильности показаний толщиномера, участок измерения целесообразно проверить дефектоскопом.

Возможность измерения толщины антикоррозионной наплавки основана на том, что акустические сопротивления основного металла и антикоррозионной наплавки несколько отличаются ($z_1 = 4,6 \cdot 10^7 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}/\text{с}$; $z_2 = 4,2 \cdot 10^7 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}/\text{с}$), следовательно, на границе сплавления образуется отраженная ультразвуковая волна, которая регистрируется ультразвуковым дефектоскопом. При измерении со стороны основного металла толщина наплавки рассчитывается как разность показаний полной толщины объекта и толщины основного металла (рис. 2).

Измерение со стороны наплавки усложняется тем, что ма-

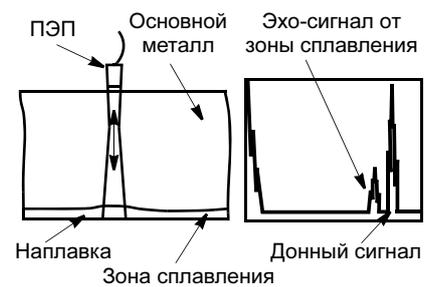


Рис. 2. Схема измерения толщины антикоррозионной наплавки со стороны основного металла

териал наплавки представляет литую аустенитную крупнозернистую структуру. Поскольку коэффициент отражения от границы раздела наплавка—основной металл довольно мал (расчетный коэффициент без учета диффузного рассеяния $R_p = 0,035$), требуется установить высокую чувствительность для получения сигнала от границы сплавления. При этом может оказаться, что структурный шум из объема наплавки не позволит выявить сигнал от зоны сплавления. Для оптимизации измерения в этом случае выбирают такой РС ПЭП, у которого фокусное расстояние больше толщины наплавки (рис. 3).

При этом оказывается, что чувствительность ПЭП в области зоны сплавления всегда выше, чем в материале наплавки, следовательно, можно ожидать, что уровень структурных шумов позволит выделить сигнал от зоны сплавления.

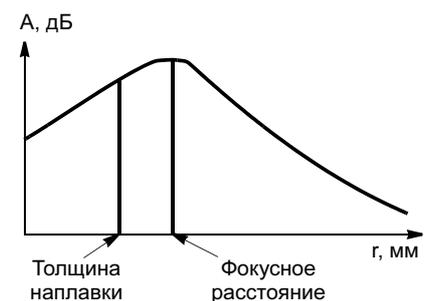


Рис. 3. К выбору РС ПЭП для измерения толщины наплавки со стороны наплавки (А — амплитуда сигнала от отражателя в виде плоскости; r — расстояние от поверхности ввода до отражателя)

Ошибки измерений

При измерениях могут возникать ошибки трех видов.

Грубыми называют такие ошибки (промахи), при которых получают результат, существенно отличающийся от ожидаемого в данных условиях. Для надежного выявления промаха нужно либо повторить измерение спустя некоторое время, когда контролер уже "забыл" полученный им результат, либо произвести независимое повторное измерение, начиная с настройки прибора, другим контролером. Иногда промах можно легко выявить при беглом просмотре результатов измерений, если какой-то результат явно выпадает из общего ряда.

Систематические — это такие ошибки, величина которых одинакова или закономерно изменяется во всех измерениях, проводимых одним и тем же методом с помощью одних и тех же приборов. При ультразвуковой толщинометрии такая ошибка возникает при неправильной настройке задержки нуля или скорости ультразвука.

Указанные два вида ошибок можно минимизировать путем тщательной настройки прибора и при внимательном и аккуратном проведении измерений и записи результатов. Наиболее сложно уменьшать величину случайных ошибок, которые изменяются случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Случайные ошибки возникают из-за:

— колебаний технических параметров в допустимых пределах;

— смещения ПЭП при повторных его установках в точку измерения;

— колебания толщины прослойки контактной жидкости из-за неравномерного прижима ПЭП к изделию;

— срабатывания прибора по разным периодам колебаний в радиоимпульсе;

— других факторов.

Величину случайной ошибки можно уменьшить путем проведения многократных (трех-пяти) измерений в одной точке. Погрешность измерений определяется преимущественно случайными ошибками. Экспериментальное определение погрешности измерений основано на статистической обработке многократных измерений в нескольких точках и сравнении результатов измерений с действительной толщиной [2]. В общем случае погрешность измерений в машиностроении принимают равной $\pm 0,2$ мм при измеряемой толщине H до 20 мм и $0,01H$ при толщине более 20 мм. Для дальнейшего уменьшения погрешности измерений следует:

— проводить измерение при отношении максимального к минимальному значению толщин не более 2;

— использовать для настройки две ступени СОП из материала ОК: одну — с максимальной, вторую — с минимальной допустимой толщиной;

— производить настройку прибора по точке ОК, в которой известно точное значение толщины.

При этих условиях можно добиться погрешности измерений, равной дискретности показаний прибора.

Погрешность измерения толщины антикоррозионной наплавки связана не с техническими параметрами прибора или технологическими особенностями процесса измерения, а с колебаниями положения зоны сплавления в пределах падающего на нее пучка ультразвуковых колебаний, другими словами — с технологией выполнения самой наплавки. Установленная погрешность измерений толщины антикоррозионной наплавки, выполненной ленточными электродами, составляет $\pm 1,0$ мм [3].

Форма записи результата измерений

Результат измерений должен быть представлен в виде:

$$x, \Delta \text{ от } \Delta_{\text{н}} \text{ до } \Delta_{\text{в}}; P,$$

где x — номинальное значение результата измерения; $\Delta_{\text{н}}$, $\Delta_{\text{в}}$ — нижний и верхний пределы погрешности измерения; P — вероятность, с которой погрешность находится в этих границах.

Пример: $22,3 \pm 0,2$ мм; $P = 0,972$.

Значение доверительной вероятности допускается не указывать, если $P = 0,95$.

При оформлении результатов нескольких измерений, выполненных в одинаковых условиях и имеющих одинаковые показатели точности (Δ и P), их указывают 1 раз для всех результатов измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолов И. Н., Ланге Ю. В. Ультразвуковой контроль // *Неразрушающий контроль: Справочник / Под общ. ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 2004. Т. 3. 864 с.*
2. *ОСТ 5Р.5550—85. Отраслевой стандарт. Контроль неразрушающий. Полуфабрикаты и изделия металлические. Ультразвуковой метод измерения толщины. М.: Изд-во стандартов, 1985.*
3. *ПНАЭ Г-7-031—91. Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Ультразвуковой контроль. Часть III. Измерение толщины монометаллов, биметаллов и антикоррозионных покрытий. М.: ЦНИИАтоминформ, 1992.*
4. *РД РОСЭК-006—97. Машины грузоподъемные. Конструкции металлические. Толщинометрия ультразвуковая. Основные положения. М.: Машиностроение, 1998.*
5. *Алешин Н. П. Методы акустического контроля металлов. М.: Машиностроение, 1989. 456 с.*
6. *ASME Code, секция V, раздел V, статья 23, спецификация SE-797. Типовая методика измерения толщины ручным ультразвуковым эхо-импульсным методом.*

В мире неразрушающего контроля, 2008, № 2

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ, САПР

В. А. ПОТАПОВ, аспирант, А. Н. ФЕОФАНОВ, д-р техн. наук
МГТУ "Станкин"

Автоматизация производства предприятия

Случайно или закономерно, но период развития автоматизации в настоящее время можно охарактеризовать как этапный. Происходят серьезные изменения в идеологическом, организационном и техническом плане. Существенно повысился уровень заказчиков, формируются новые требования к автоматизированным системам, появляются принципиально новые технологии, претендующие на лидерство в системах автоматизации.

До настоящего времени три типичные уровня автоматизации промышленных предприятий АСУ (системы автоматизации управленческой и финансово-хозяйственной деятельности), САПР (системы автоматизированного проектирования) и АСУТП (системы автоматизации технологических и производственных процессов) развивались обособленно и независимо друг от друга. Они проектировались и создавались исходя из требований разных подразделений предприятия и в соответствии с различными правилами, обслуживая их автономно. И, несмотря на то, что полноценное функционирование требует взаимоувязанной работы всех подразделений, изначально они не были подчинены единым целям и задачам, оставались слабо связанными физически и информационно, а чаще не связанными вовсе.

К тому же, каждая из этих систем традиционно строилась по своим внутренним законам и часто реализовывалась на основе различных аппаратных, программных и информационных стандартов.

Только в АСУТП наиболее часто используемых стандартов на техническое, программное обеспечение и промышленные сети насчитывается более десятка (а есть еще и нестандартные решения). Кроме того, не все решения были полностью открытыми, т. е. допускающими использование в рамках одной системы разнотипного оборудования, выпущенного в разное время разными производителями (как отечественными, так и зарубежными). Поэтому потребитель часто попадал в долгосрочную зависимость от одного изготовителя и не имел возмож-

ности самостоятельно развивать и модернизировать созданную на его предприятии АСУТП. Аналогичная ситуация создавалась и при внедрении систем других уровней.

В этих условиях руководителям предприятий приходилось делать трудный выбор: с чего начинать автоматизацию — с АСУ, САПР или АСУТП; на какие стандарты ориентироваться? Естественно, что в условиях неопределенности и ограниченных ресурсов далеко не все находили оптимальное решение и в итоге задавали себе вопрос: а нужно ли вообще было браться за решение проблем автоматизации предприятия? Тем не менее, брались практически все, и результаты у большинства получились поразительно похожими.

Создававшиеся без комплексного плана, как правило, под требования различных подразделений, участков и процессов, не связанные между собой системы автоматизации очень напоминали "лоскутное одеяло". А многообразие используемых стандартных и нестандартных аппаратных и программных средств придавало разноцветный и разношерстный характер. И как следствие, реальная эффективность от внедрения автоматизации на предприятии оказывалась совсем не такой, какую ожидали, а у заказчиков и исполнителей оставался осадок неудовлетворенности.

"Лоскутная" автоматизация — это объективный и необходимый этап развития. Это лишь означает, что к комплексной автоматизации на предприятии по-настоящему не были готовы ни разработчики, ни поставщики, ни потребители. А положительными итогами прошедшего этапа стали накопленный опыт, осознание серьезности задач автоматизации, необходимости их коррекции и дальнейшего развития самого процесса автоматизации на новом качественном уровне. Важно теперь не задержаться на этом этапе, вовремя перейти к следующему, тем более что сейчас для такого перехода появляются все возможности.

В настоящее время необходимо применять новые технологии и материалы.

Во-первых, все более отчетливо проявляется логическое и информационное взаимопроникновение различных уровней автоматизации бизнес-уровня (АСУ), уровня проектирования (САПР) и производственно-технологического уровня (АСУТП). Интеграция этих систем позволяет автоматизации стать реальной производительной силой и охватить предприятие в целом, от технологов-операторов до высшего руководства. Предприятие едино и должно функционировать в едином информационном пространстве, только в этом случае появляется возможность оптимального и оперативного управления его финансово-хозяйственной и производственной деятельностью (см. рисунок).

Во-вторых, идет интенсивное сближение стандартов и технологий сопряжения (интерфейсов) различных аппаратных и программных средств автоматизации, используемых как в рамках одного уровня автоматизации, так и при связи одного уровня с другими. Это позволяет без существенных дополнительных затрат объединять в одну систему оборудование от различных производителей, как приобретенное ранее, так и современное и планируемое к выпуску в будущем.

Например, где-то уже установлены отечественные контроллеры Р-130, а на других участках имеются импортные средства автоматизации фирм Siemens и Modicon. При правильном подходе эти подсистемы один раз можно связать между собой в единую информационную сеть таким образом, чтобы в дальнейшем без дополнительных затрат включать в эту же сеть новое оборудование, выпускаемое этими, а также другими отечественными или зарубежными фирмами.

Внедрение подобных открытых технологий позволит предприятию сохранить уже вложенные и вновь вкладываемые в автоматизацию инвестиции в течение длительного срока.

В-третьих, наблюдается бурное развитие технологий Интернет и их все более глубокое проникновение во все уровни системы автоматизации предприятий. Это открывает принципиально новые возможности для взаимодействия пользователей с автоматизированной системой. С одной стороны, при работе в единой информационной среде пользователь может обходиться без специалиста-посредника между ним и системой автоматизации. С другой стороны, для приема и передачи компьютерной информации пространство и время сжимаются, доступ к информации становится простой процедурой.

И руководитель высшего звена, и менеджер по продажам, и бухгалтер, и оператор прокатного стана могут самостоятельно, с помощью специально для них разработанных графических панелей на экране дисплея не только запрашивать и принимать необходимую информацию, но и осуществлять все необходимые настройки различных режимов информационного обслуживания.

Руководитель без посторонней помощи может установить или изменить последовательность и вид поступления информации на свой компьютер сразу после его включения.

Новые тенденции развития автоматизации позволяют тем, кто уже создал АСУ, в полном объеме или частично, просто подключить к ней систему АСУТП. Включить в общий процесс электронного документооборота производственную документацию, такую как технологические карты, карты контроля качества, индивидуальные паспорта на изделия и т. п., получить на самом верху оперативную информацию от всех подразделений предприятия, включая и производственно-технологические.

Те, кто только приступает к серьезной автоматизации, могут с учетом особенностей предприятия начать ее с технологического уровня, с АСУТП (раньше было принято начинать с АСУ, теперь это совсем необязательно). Вложенные в эти мероприятия инвестиции не будут потеряны.

Еще одна особенность сегодняшнего дня — руководители сами пошли навстречу процессам автоматизации и активно участвуют в формулировании требований к ней. В результате опыта ра-

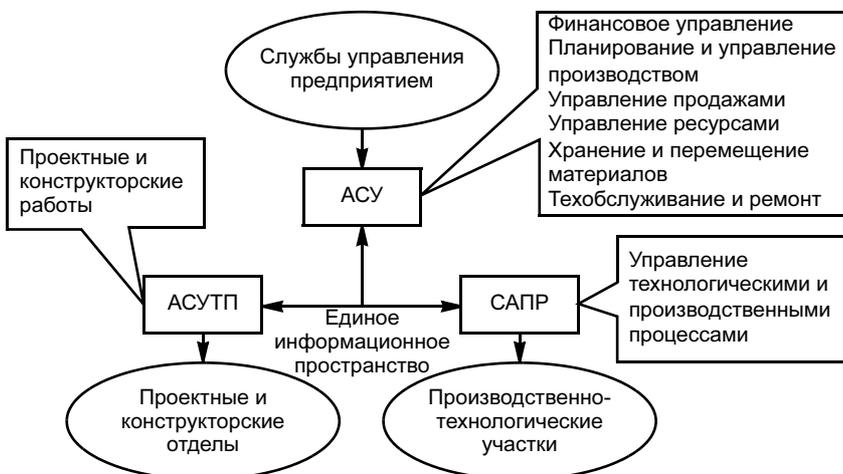


Схема управления финансово-хозяйственной и производственной деятельностью предприятия

боты с системами верхнего уровня они осознают, что информации, существующей на уровне АСУ, явно недостаточно для принятия оптимальных управленческих решений. Серьезный анализ вырождается, когда в него не включены основные технологические процессы, нет информации по надежности, качеству, реальной себестоимости производства единицы продукции. Слой технологических параметров должен обязательно учитываться при выработке управляющих решений, иначе управленцы по-прежнему будут опираться лишь на собственную интуицию и индивидуальный опыт. Этого недостаточно в условиях глобализации рынка и растущего уровня конкуренции. Сегодня нужно уметь оперативно просчитывать цену и последствия принимаемых решений.

Поэтому начинать автоматизацию надо с разработки генерального плана развития информационных технологий предприятия (этот план, вообще говоря, является частью стратегии развития бизнеса в целом с учетом рыночных реалий и перспектив). Генеральный план может быть весьма гибким: когда появляются средства, выполняется очередной этап работ. Однако в этом процессе очень важна непрерывность, поэтому для поддержания устойчивого финансирования плана может быть создан специальный фонд развития информационных технологий. Одной из задач такого фонда должно быть страхование инвестиций предприятия в автоматизацию, они не должны быть потеряны, поэтому их нужно четко планировать (в том числе и в долгосрочной перспективе) и контролировать их расходование.

Страховкой для вложенных средств должно быть оптимальное проектирование будущей системы, исключение непроизводительных затрат при ее реализации. Например, вместо того, чтобы несколько раз в году тянуть кабели для каждой из подсистем от-

дельно, можно использовать один и тот же кабель для единой системы.

Еще одно необходимое условие реализации такого плана заключается в том, что в его создании и воплощении должны принимать непосредственное участие первые лица предприятий, особенно на стадии формулирования требований к различным подсистемам единой автоматизированной системы предприятия и при принятии решения по их выбору. До последнего времени, например, для АСУТП эти требования задавались технологами, не знающими досконально сути бизнеса и тенденций его развития и не имеющими поэтому возможности оценить, какая информация и в каком виде должна экспортироваться из АСУТП на верхний уровень. В результате даже уже имеющаяся в электронном виде в АСУТП производственно-технологическая информация чаще всего оставалась невостребованной.

Такая ситуация часто приводила к серьезным моральным и материальным потерям. Так, на одном предприятии, производящем под заказ изделия сложных форм из легких сплавов, сорвался большой зарубежный контракт на поставку продукции в связи с невозможностью обеспечить индивидуальные технологические паспорта на каждое изделие в отдельности. Для этого была необходима автоматическая информационная связь АСУ верхнего уровня с АСУТП с достоверной фиксацией для каждого изделия типа сырья, режимов плавки и дальнейшей обработки.

Таким образом, будущее за полной и комплексной автоматизацией предприятия в целом как единого организма. Не надо ждать всеобщей, полной и комплексной автоматизации предприятия завтра, слишком общие подходы обычно долго реализуются и требуют слишком больших затрат, поэтому нужно разрабатывать генеральный план автоматизации с привлечением широкого круга специалистов и при обязательном участии самих заказчиков.

Т. А. ДУЮН, канд. техн. наук, А. В. ГРИНЕК, канд. техн. наук
Белгородский ГТУ им. В. Г. Шухова

Математическая модель стружкообразования при точении коллекторной меди

При изготовлении электродвигателей постоянного тока одной из важных технологических задач является обеспечение требуемого качества контактной поверхности коллектора, от которой во многом зависят условия коммутации и интенсивность износа щеток, что в конечном счете влияет на долговечность работы электродвигателя. Для нормальной работы щеточно-коллекторного узла и хорошей коммутации параметр шероховатости данной поверхности $Ra \leq 0,8$ мкм, а биение коллектора в готовой машине должно быть не более 0,03—0,04 мм. Половина этого значения обусловлена зазором подшипников и эксцентриситетом подшипниковых щитов, т. е. доля допустимого биения коллектора составляет 0,007—0,01 мм (для машин средней мощности).

Традиционная технология механической обработки коллектора включает предварительную черновую, получистовую, чистовую токарную обработку и шлифование, при этом в научно-технической литературе по проектированию, изготовлению и ремонту электрических машин отсутствуют конкретные рекомендации технологического характера, обеспечивающие проектирование высокоэффективного технологического процесса. Поэтому важной задачей является исследование процессов механической обработки данной поверхности с целью оптимизации технологических параметров.

Характер деформации и разрушения в объеме срезаемого слоя металла подчиняется определенным закономерностям и зависит от вида металла и баланса действующей системы механических сил, возникающих в процессе резания. Основными параметрами, определяющими процессы стружкообразования, являются плоскость скалывания (плоскость сдвига) и угол скалывания (угол сдвига).

Плоскость и угол сдвига связаны с механическими и тепловыми явлениями, протекающими в зоне резания. По результатам исследований¹, значение угла сдвига позволяет рассчитывать все другие важнейшие параметры процесса резания: силы, дейст-

вующие на переднюю и заднюю поверхности инструмента, коэффициент трения на передней и задней поверхностях инструмента, длину контакта стружки с инструментом, контактные напряжения на передней и задней поверхностях инструмента. Эти параметры в свою очередь могут быть использованы для расчета температурного поля инструмента и заготовки в зоне резания, износа инструмента, оптимизации режимов резания.

Установить экспериментально величину плоскости или угла скалывания достаточно сложно. Однако данные параметры неразрывно связаны с величиной усадки стружки. По формуле И. А. Тиме поперечная усадка стружки

$$\xi_a = \frac{\cos(\beta_1 - \gamma)}{\sin\beta_1} = \frac{\cos\gamma + B\sin\gamma}{B}, \quad (1)$$

где β_1 — угол наклона условной плоскости сдвига; γ — передний угол резца; B — величина, характеризующая степень пластических деформаций металла снимаемого припуска и поверхностного слоя обрабатываемой детали и равная $\tan\beta_1$.

Для выявления экспериментальной зависимости усадки стружки и угла скалывания от технологических режимов использовали коллектор тягового двигателя ДПЭ-52 с диаметром контактной поверхности 250 мм.

Измерения проводили с использованием отсчетного микроскопа. Длину и ширину стружки измеряли прямым методом, а толщину стружки в связи с малой величиной — косвенно, т. е. вычислением исходя из сохранения объема срезаемого материала. В качестве исследуемых технологических параметров приняты глубина резания, подача и скорость резания.

Для имитационного исследования использовали построенную на основании экспериментальных дан-

¹ Силин С. С. Метод подобия при резании материалов. М.: Машиностроение, 1979. 152 с.

ных математическую модель. Эксперимент строили по схеме полного факторного эксперимента типа 2³.

Параметры режимов резания варьировали в диапазоне чистового точения: глубину резания изменяли в пределе от 0,25 до 0,5 мм; подачу — от 0,05 до 0,2 мм/об; скорость резания — от 155 до 465 м/мин. Анализ силовых зависимостей показывает, что изменение скорости резания существенно изменяет характер силовых зависимостей, поэтому общий диапазон 155—465 м/мин был разбит на два дополнительных интервала: 155—310 и 310—465 м/мин.

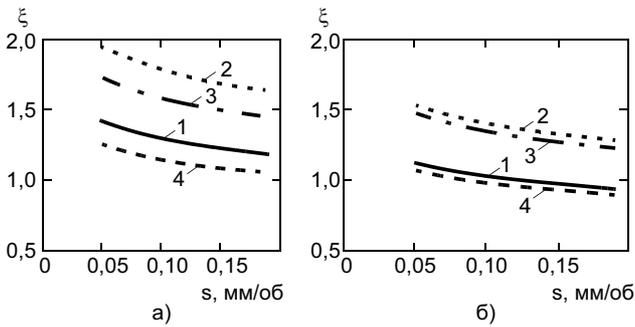


Рис. 1. Зависимость поперечной усадки стружки от подачи при глубине резания 0,25 (1, 3) и 0,5 (2, 4) мм: а — 1, 2 — скорость резания 155 м/мин, 3, 4 — 280 м/мин; б — 1, 2 — скорость резания 330 м/мин, 3, 4 — 465 м/мин

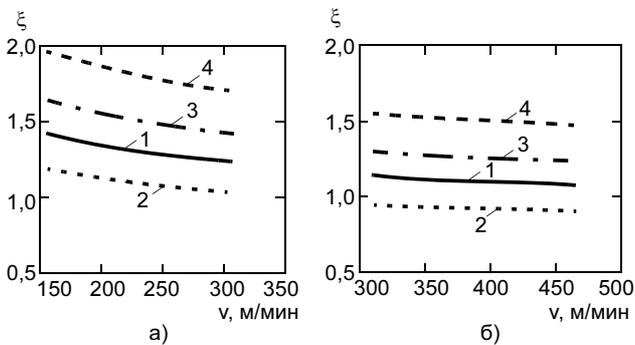


Рис. 2. Зависимость поперечной усадки стружки от скорости резания при подаче 0,05 (1, 3) и 0,2 (2, 4) мм/об и глубине резания 0,25 (1, 2) и 0,5 (3, 4) мм

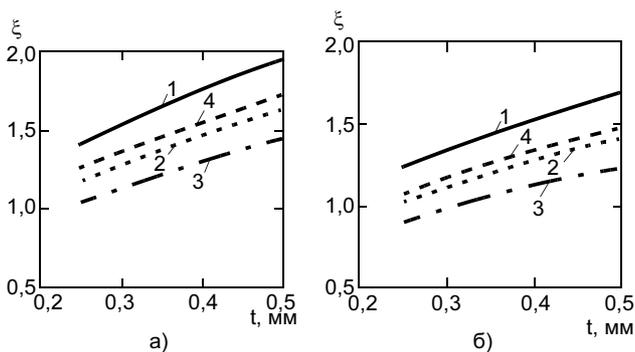


Рис. 3. Зависимость поперечной усадки стружки от глубины резания при подаче 0,05 (1, 3) и 0,2 (2, 4) мм/об: а — скорость резания 155 (1, 2) и 280 (3, 4) м/мин; б — 330 (1, 2) и 465 (3, 4) м/мин

Изменение продольной усадки в зависимости от технологических параметров представлены в степенном виде:

$$\xi_a = Ks^\alpha v^\beta t^\gamma, \quad (2)$$

где K — коэффициент; α, β, γ — показатели степени при каждом факторе (степени влияния каждого фактора).

В результате экспериментальных исследований получили искомые зависимости поперечной усадки

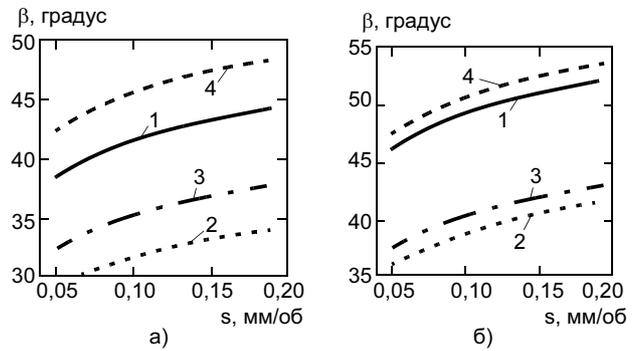


Рис. 4. Зависимость угла наклона условной плоскости сдвига от подачи при глубине резания 0,25 (1, 3) и 0,5 (2, 4) мм: а, б — см. рис. 3

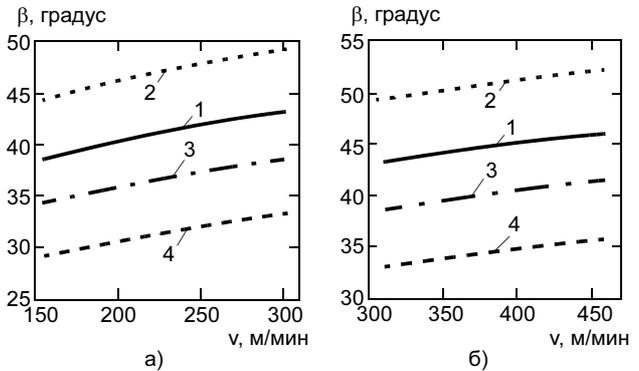


Рис. 5. Зависимость угла наклона условной плоскости сдвига от скорости резания при подаче 0,05 (1, 3) и 0,2 (2, 4) мм/об и глубине резания 0,25 (1, 2) и 0,5 (3, 4) мм

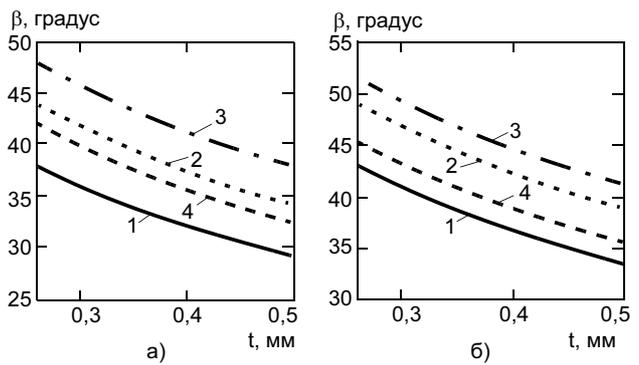


Рис. 6. Зависимость угла наклона условной плоскости сдвига от глубины резания при подаче 0,05 (1, 3) и 0,2 (2, 4) мм/об: а — скорость резания 155 (1, 2) и 280 (3, 4) м/мин; б — 330 (1, 2) и 465 (3, 4) м/мин

стружки для различных диапазонов скоростей резания (серий № 1, 2 соответственно):

$$\xi_{\text{сa}} = 5,122s^{-0,128}V^{-0,205}t^{0,461}, \quad (3)$$

$$\xi_{\text{сa}} = 2,882s^{-0,127}V^{-0,121}t^{0,451}. \quad (4)$$

Результаты дисперсионного анализа показали, что наибольшее влияние на поперечную усадку стружки оказывает глубина резания. Степень ее влияния среди прочих факторов составляет 62—66 % для разных интервалов скоростей резания. Сохраняется также общая тенденция снижения влияния скорости резания с ее увеличением: в интервале меньших скоростей резания (155—310 м/мин) оно составляет 15 %, а в интервале больших (310—465 м/мин) — снижается до 5 %. Влияние подачи практически постоянно и составляет 21—23 %. Эффекты парных взаимодействий факторов оказываются гораздо менее существенными. Наибольшее влияние из парных взаимодействий оказывает взаимодействие подачи и глубины резания, которое составляет до 5 %.

С использованием полученных соотношений (3) и (4) на рис. 1—3 приведены семейства графиков,

отображающие влияние исследуемых факторов на поперечную усадку стружки.

Анализ результатов, приведенных на рис. 3, показывает, что увеличение глубины резания увеличивает поперечную усадку стружки, что согласуется с существующими теоретическими положениями. В отличие от глубины резания с увеличением подачи и скорости резания поперечная усадка стружки уменьшается. При этом на меньших скоростях резания при одинаковой глубине и подаче поперечная усадка больше, чем на более высоких скоростях резания.

Экспериментальные исследования процесса усадки стружки позволили определить угол сдвига при точении медной поверхности для различных технологических условий. На рис. 4—6 приведены зависимости угла наклона условной плоскости сдвига от параметров режима резания.

Видно, что при обработке контактной поверхности коллектора угол наклона условной плоскости сдвига лежит в интервале от 28 до 53° при различных сочетаниях технологических параметров. Полученные значения могут быть использованы для дальнейшего исследования процесса точения и возможности оптимизации технологических параметров.

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./факс: (495) 748 0142, тел.: (495) 796 2491.**

Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания.

Перечень эквивалентных терминов (ГОСТ Р 12.4.235—2007)

Стандарт разработан рабочей группой ПК2 "Средства индивидуальной защиты органов дыхания" Технического комитета по стандартизации средств индивидуальной защиты ТК 320 "СИЗ". Внесен Техническим комитетом по стандартизации средств индивидуальной защиты ТК 320 "СИЗ". Утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 декабря 2007 г. № 390-ст. Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному (региональному) стандарту EN 135:1998 "Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Перечень эквивалентных терминов". При этом дополнительные положения, учитывающие потребности национальной экономики, выделены курсивом.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного регионального стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2004 (п. 3.5).

Введен впервые. Дата введения **2008-07-01**.

Настоящий стандарт распространяется на средства индивидуальной защиты органов дыхания (далее — СИЗОД) и содержит перечень терминов, используемых в области СИЗОД. Целью настоящего стандарта является гармонизация российских терминов с терминами, используемыми в европейских стандартах на СИЗОД.

Стандарт не распространяется на следующие специальные виды СИЗОД: пожарные; военные; медицинские; авиационные.

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующий стандарт: ГОСТ Р 12.4.233—2007 "Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Термины и определения".

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 заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

Перечень эквивалентных терминов

Приведенные в настоящем перечне термины расположены в алфавитном порядке их российских эквивалентов. Алфавитный порядок российских терминов и их определений представлен также в ГОСТ Р.12.4.233.

Абразивные струйные работы
Абсорбент
Автономный дыхательный аппарат
Автономный дыхательный аппарат с замкнутым контуром со сжатым кислородом
Автономный дыхательный аппарат с замкнутым контуром со сжиженным кислородом
Автономный дыхательный аппарат с замкнутым контуром с химически связанным кислородом
Автономный дыхательный аппарат с открытым контуром
Автономный дыхательный аппарат с открытым контуром со сжатым воздухом
Автономный дыхательный аппарат с открытым контуром со сжатым воздухом для эвакуации (самоспасатель) с капюшоном
Автономный дыхательный аппарат с открытым контуром со сжатым воздухом для эвакуации (самоспасатель) с маской или загубником
Автономный, носимый
Адсорбент
Анкерное соединение (анкер)
Апертометр (для измерения поля зрения)
Аппарат для подводных работ
Аппарат постоянного потока (воздуха)
Аэрозоль
Аэрозоль на водной основе
Базовое (реперное) давление
Байпасный клапан
Баллон со сжатым воздухом (воздушный баллон)
Бегущая дорожка
Без помех
Боек
Боковое соединение

Быстродействующий стартер	Дезинфицирующий раствор	Игольчатый клапан
Быстроразъемное устройство с клапаном непрерывной подачи воздуха	Действующее значение	Избыток воздуха
Вдыхаемый воздух	Держатель (зажим) фильтра	Избыточная дыхательная смесь
Вентиль баллона	Детали (узлы) под высоким давлением	Избыточное давление
Вибрационный тест	Диапазон давления	Измеритель потока
Височная тесьма	Диапазон частот	Индикатор воздушного потока
Вмонтированные фильтры	Долговременная линейная деформация	Индикатор давления
Водонепроницаемый	Допустимый уровень экспозиции	Инжектор
Воздуходувка	Дым	Инжектор сжатого воздуха
Воздухоочиститель	Дыхание по замкнутому контуру	Интерактивный поток
Воздух с недостаточным содержанием кислорода	Дыхательная машина (искусственные легкие)	Искажение видимости
Воздух, содержащийся в дыхательных путях	Дыхательная смесь	Искра трения
Воспламеняемость	Дыхательные пути	Испаритель
Впускной клапан	Дыхательный аппарат для абразивных струйных работ	Испытание
Вредное воздействие	Дыхательный аппарат для работы на большой высоте	Испытание на герметичность
Временное изменение длины	Дыхательный аппарат (изолирующий)	Испытание на растяжение
Время защитного действия	Дыхательный аппарат с замкнутым контуром	Испытания при практических условиях применения
Время регенерации	Дыхательный аппарат для работы на большой высоте	Испытательная аппаратура
В состоянии после поставки	Дыхательный аппарат (изолирующий)	Испытательный центр
В условиях применения, для которых маркирован	Дыхательный аппарат с замкнутым контуром	Испытуемый образец
Выдохнутый воздух	Дыхательный клапан	Испытуемый объект
Выдыхаемый воздух	Дыхательный контур	Исходная длина
Высокое давление	Дыхательный мешок	Капюшон
Вытесненный (замещенный) объем	Дыхательный цикл	Кислородный баллон
Газ	Емкость для транспортировки	Кислородный резервуар
Газовая смесь	Емкость (дыхательного мешка)	Клапан избыточного потока
Газонепроницаемый	Естественное поле зрения	Клапан вдоха
Герметичность	Жидкий аэрозоль	Клапан в сборе
Гигиеническая норма	Загрязнение	Клапан выдоха
Гнездо клапана	Загубник	Клапан дополнительной подачи воздуха
Гнездо клапана выдоха	Загубник в комплектующими	Клапан дополнительной подачи кислорода
Гнездо (место) клапана	Замкнутый контур	Клапан непрерывной подачи воздуха (клапан для подачи непрерывного потока в шланговых дыхательных аппаратах от линии сжатого воздуха)
Гнездо фильтра	Запасная деталь	Клапан, открываемый давлением
Горизонтальная плоскость	Запирающий клапан манометра	Клапан подачи воздуха по потребности дыхания (легочный автомат)
Горючая газовая смесь	Запирающий клапан трубки манометра	Клапан сброса избыточного давления
Готовый к применению	Запорное устройство	Класс защиты
Гофрированный шланг	Запыление	Класс фильтра
Грубый фильтр-сито	Зарядное устройство	Комбинированная подача кислорода
Давление в баллоне	Застежка	Комбинированная фильтрующая полумаска
Давление воздуха для дыхания	Затвор баллона	Комбинированный фильтр
Давление открытия, давление срабатывания	Затылочная тесьма	Комплект фильтров
Давление при заправке	Защитная одежда	Компонент
Давление при испытаниях	Защитная трубка	
Дата изготовления	Защитное покрытие	
Дезинфекция	Защитные очки	
Дезинфицирующее средство	Защитный капюшон	
	Звуковое сигнальное устройство	
	Зубной захват	

Кондиционирование	Надевание	Период испытаний
Контролирующее устройство	Налобная тесьма	Перфорация
Контрольное (регулирующее) устройство	Насадка	Пластина головная (часть оголовья)
Контрольный (регулирующий) клапан	Насыщенный кислородом	Пневматическая линия
Контурного типа	Насыщенный кислородом воздух	Пневмокапюшон
Корпус загубника	Небьющийся	Пневмокуртка
Корпус лицевой части	Недостаток кислорода	Поверхностная прочность
Корпус патрона	Незапотевающая пленка	Поглотитель (поглотительный патрон)
Крепежные элементы	Необходимый для дыхания	Подача воздуха
Крепление	Непреднамеренно	Подача пригодного для дыхания воздуха
Кривая зависимости давления от объема	Непрерывная подача воздуха	Поддерживающий дыхание
Лабораторное испытание	Неравномерность распределения потока (в патроне)	Подземное испытание
Легкое снаряжение	Несминаемый	Подмасочник
Легочный автомат, открываемый давлением	Несущий ремень (несущий пояс)	Подмасочное пространство
Лепесток клапана	Низкое давление	Подогнутый обтюратор
Линзы	Ножка клапана	Подсос
Линия сжатого воздуха	Номер испытания	Подсос по полосе обтюрации
Лицевая часть	Номер сертификата	Подсос через клапан
Лицевая часть, включающая защиту головы	Номинальное время эксплуатации	Подсос через клапан выдоха
Лицевой щиток	Номинальный коэффициент защиты	Поле зрения
Ловушка для слюны	Номинальный срок использования	Полоса обтюрации
Максимально допустимое давление наполнения	Носовой зажим	Полумаска
Максимальное значение	Носовой прижим	Полумаска без клапанов вдоха
Манекен головы	Область глаз	По потребности дыхания
Манекен тела	Обратный клапан быстрого действия	По потребности дыхания без избыточного давления
Манометр	Обтюратор лицевой части	По потребности дыхания с избыточным давлением
Марка фильтра	Обтюрация	Пояс
Маркирование, идентифицирующее марку	Объемный поток	Поясной ремень (пояс)
Маркировка для тестирования	Оголовье	Практические условия применения
Маркировка, идентифицирующая марку	Оголовье (для подводных работ)	Предварительная промывка
Маска	Оголовье из сетки	Предкамера (клапана выдоха)
Маска (для подводных работ)	Ограничение по применению	Предохранительный клапан
Маятниковое дыхание	Ограничитель	Предохранительный клапан редуктора давления
Медицинский кислород	Окружающая атмосфера	Предсказуемые условия использования
"Мертвое" пространство	Оправа	Предупредительный сигнал
Место соединения	Органические соединения с низкой температурой кипения	Предфильтр
Механическая прочность	Отношение времени выдоха к времени вдоха	Прецизионный манометр
Механическая целостность	Охладитель	Пригодный для дыхания
Мехи	Охлаждающая система	Пригодный для дыхания воздух
Минимальное требование	Очиститель	Прилегание (маски)
Минимальные характеристики устройства по данным изготовителя	Очки	Применение в соответствии с надлежащими инструкциями
Минимальный объемный поток по данным изготовителя	Падение давления	Приток кислорода
Минутный объем	Пар	Пробная эксплуатация
Минутный объем дыхания (МОД)	Пара фильтров (фильтрующая пара)	Продувочный клапан (для аппарата с непрерывной подачей потока менее 1,5 л/мин)
	Переговорная мембрана	Прокладка носового прижима
	"Перекрытое" поле зрения	

Промывочное устройство	С ручным приводом	Соединительный элемент лицевой части
Проникание	Самозапирающийся	Соединительный элемент оборудования
Проникание через СИЗОД в целом	Самозатухающий	Соединительный элемент патрона
Проникание через фильтр	Самоспасатель	Сопrotивление вдоху
Проницаемость, степень проницаемости	Самоспасатель изолирующий со сжатым воздухом	Сопrotивление выдоху
Пропановая горелка	Самоспасатель изолирующий со сжатым кислородом	Сопrotивление дыханию
Пропановый баллон	Самоспасатель изолирующий с химически связанным кислородом	Сопrotивление открытию (клапана)
Проскоковая концентрация	Сатуратор	Сопrotивление электрической изоляции
Противоаэрозольный фильтр	Сборочный узел	Сорбционная емкость фильтра
Противоаэрозольный фильтр без корпуса	Сварочный щиток	Со стороны выхода
Противоаэрозольный фильтр в корпусе	Сдвоенный дыхательный шланг	Специальные соединения
Противогазовая фильтрующая полумаска	Сепаратор	Спецификация (правила) испытаний
Противогазовый фильтр	Сертификат	Спинка
Противодымный капюшон	Сеть магистралей сжатого воздуха	Спиральный шланг
Прототип	Сжатый воздух	Среднее давление
Пружина клапана	Сжатый кислород	Средства защиты органов дыхания для эвакуации (самоспасатели)
Пусковое устройство	Сжиженный кислород	Средство для очистки стекол
Пыленепроницаемый	Сигнал к выходу из опасной зоны	Средство защиты органов дыхания с маятниковым дыханием
Пыль	Сигнальное устройство	Средство индивидуальной защиты органов дыхания — СИЗОД (респиратор)
Работа дыхания	СИЗОД	Средство от запотевания
Работающий с принудительной подачей	СИЗОД для эвакуации (самоспасатель)	Срок службы по данным изготовителя
Рабочая машина	Синусоидальная дыхательная машина	Срок хранения
Рабочее давление	Система быстрого монтажа	Стандартное испытание с имитацией работы
Разделяемые фильтры	Система предварительной промывки	Стандартное резьбовое соединение
Разового пользования	Скорость интерактивного потока	Стандартное резьбовое соединение; внутренняя часть
Разрежение	Сменный фильтр (патрон)	Стандартное резьбовое соединение; наружная часть
Разрежение открытия	Смотровое окно	Старение
Разрыв	Смотровое окно (для подводных работ)	Статическое давление
Распределение по массе	Смотровое стекло	Стекло манометра
Регенеративный патрон	Снабжение сжатым воздухом	Степень низкого давления
Регулировка	Снижение видимости	Твердый аэрозоль
Регулируемый	Снимание	Температура окружающего воздуха
Регулятор давления	Совместимость с кожей	Температура по влажному термометру
Редуктор давления	Содержание диоксида углерода	Температурный тест
Резьбовое соединение	Содержание кислорода	Теплообменник
Ременное крепление	Соединение	Тест-аэрозоль
Ременное крепление для туловища	Соединительный шланг	Тест-газ
Ремень	Соединительный шланг для сигнального устройства	
Ремни крепления для головы (оголовье)	Соединительный шланг (низкого давления)	
Респираторное оборудование	Соединительный элемент	
Речевая связь	Соединительный элемент зарядного устройства	
Ротационная воздуходувка	Соединительный элемент клапана баллона	
С подачей воздуха		
С принудительной подачей		
С принудительной подачей от воздуходувки		

Тест-концентрация	Физическая нагрузка	Шейная тесьма (для ношения)
Тест на запыление	Фильтр	Шланг
Тест на самоспасение	Фильтр для грубодисперсной пыли	Шланг для выдыхаемого воздуха
Торговая марка	Фильтр для сжатого воздуха	Шланг легочного автомата
Точка росы	Фильтр предварительного увлажнения	Шланг подачи воздуха
Транспорт	Фильтр с резьбовым соединением	Шланг подачи кислорода
Транспортное испытание	Фильтр с соединительным шлангом	Шланг подачи сжатого воздуха (среднего давления)
Трубка манометра	Фильтрующая коробка	Шланг подачи сжатого воздуха (среднего давления) с креплением
Туман	Фильтрующая лицевая часть	Шланг подачи чистого воздуха
Тяжелое снаряжение	Фильтрующая полумаска	Шланг среднего давления
Удар	Фильтрующая полумаска с клапанами	Шланговый дыхательный аппарат без принудительной подачи чистого воздуха
Ударные циклы (на ударной машине)	Фильтрующее СИЗОД с навинчивающимся фильтром	Шланговый дыхательный аппарат от линии сжатого воздуха
Указания по эксплуатации	Фильтрующее СИЗОД с принудительной подачей воздуха от воздуходувки	Шланговый дыхательный аппарат с подачей чистого воздуха
Универсальный противогазовый фильтр	Фильтрующее СИЗОД (турбо) с принудительной подачей воздуха	Шланговый дыхательный аппарат с подачей чистого воздуха от линии сжатого воздуха
Уплотнительное кольцо	Фильтрующее устройство	Шланговый дыхательный аппарат с принудительной подачей чистого воздуха с капюшоном
Упор для подбородка	Фильтрующее устройство (турбо) с принудительной подачей воздуха	Шлем
Управляемая дыханием подача	Фильтрующий самоспасатель	Шлем аппарата для подводных работ
Управляемое дыханием дозирующее устройство для кислорода	Фильтрующий самоспасатель с капюшоном для выхода из зоны пожара	Штепсельное соединение
Управляемый дыханием клапан (легочный автомат)	Фильтры со шлангом (не предназначенные для присоединения к лицевой части)	Щелочной патрон
Уровень звукового давления	Хлоратная свеча	Эвакуация (самоспасение)
Усилие разрыва	Холодильная камера	Эксплуатационное давление
Усилие растяжения	Хранение	Эксплуатационные условия
Установленный срок эксплуатации	Центральное резьбовое соединение	Эластичная камера
Устойчивость к воздействию температуры	Части, подвергаемые удару	Эластичность
Устойчивость к тепловому излучению	Частица аэрозольная	Эффективное поле зрения
Устройство блокировки крышки	Частицы, посторонние включения	Эффективность
Устройство для блокировки пламени	Частота дыхания	Эффективность фильтрации
Устройство для тренинга	Четвертьмаска	Эффективный объем воздуха
Устройство, моделирующее дыхание (искусственные легкие)	Чистка	Эффективный срок эксплуатации
Устройство подачи кислорода	Чистящие средства	Эффекты возвратного дыхания
Устройство принудительной подачи пригодного для дыхания воздуха		
Устройство ручной подачи воздуха для дыхания		
Устройство с баллоном со сжатым воздухом и редуктором давления		
Участок для тренинга		
Фактор защиты		
Физиологические требования		

Ссылка на данный материал как официальный документ не допускается

М. Э. БУТОВСКИЙ, канд. хим. наук
Рубцовский индустриальный институт

Отходы машиностроительного предприятия и пути их использования

Основная деятельность предприятия ОАО "Рубцовский машиностроительный завод" (РМЗ) — изготовление деталей и узлов для транспортных тягачей, деталей механического и термического передела почвообрабатывающих комплексов для сельского хозяйства, техники оборонного заказа.

В процессе производственной деятельности образуются различные виды отходов, которые временно складываются на специально организованных площадках на территории предприятия, далее передаются организациям, осуществляющим сбор данных отходов с целью их вторичного использования, обезвреживания, захоронения и т. д. Транспортирование отходов до данных организаций осуществляется собственным автотранспортом. На предприятии осуществляется нейтрализация токсичного отхода — кислоты аккумуляторной серной отработанной. Отдельные отходы, такие как масла автомобильные отработанные, масла индустриальные отработанные, используются на собственном предприятии для смазки малоответственных механизмов, излишки масел обезвреживаются в собственной котельной. Прочие отходы — бумаги незагрязненные, отходы твердых производственных материалов,

загрязненные нефтяными и минеральными жировыми продуктами (отработанные промасленные фильтры), обтирочный материал, загрязненный маслами (содержание масел менее 15 %), по мере накопления также обезвреживаются в собственной котельной. Таким образом, основными видами деятельности по обращению с опасными отходами являются сбор отходов, их обезвреживание, использование и транспортирование. Сводная информация об образующихся отходах и их физико-химических свойствах на РМЗ приведена в таблице.

Из упомянутых около 40 видов отходов наибольшую опасность для окружающей среды представляют нефтепродукты, представленные отходами 3-го класса опасности — отработанными минеральными маслами нескольких видов.

В настоящее время тривиальное сжигание в котельной нельзя считать положительно решенной задачей, так как в этом случае возникают газообразные выбросы неизвестного состава, но скорее всего содержащие высокотоксичные компоненты.

Термическая деструкция углеводов, как известно, наиболее продуктивна и безопасна в случае реализации ее в виде водотопливной эмульсии [1, 2].

Вид опасного отхода	Класс опасности для ОПС	Опасные свойства	Происхождение	Физико-химические свойства			Вид деятельности по обращению с опасными отходами	Количество
				Агрегатное состояние	Наименование компонентов	Содержание, %		
Ртутные лампы люминесцентные, трубки отработанные и брак	1	Токсичные	Монтаж, ремонт систем, потребительские свойства	Готовое изделие, утратившее потребительские свойства	Стекло	94,42	Образование, сбор, хранение, транспортирование	0,02
					Ртуть	0,02		
					Люминофор	1,89		
					Сталь	0,05		
					Медь	0,16		
					Платинит	0,06		
					Вольфрам	0,15		
					Гетинакс	0,42		
					Латунь	0,35		
					Мастика	1,18		
						Всего 1-го класса	0,02	
Кислота аккумуляторная серная отработанная	2	Токсичные	Истечение срока годности аккумуляторов свинцовых	Жидкое	Вода (H ₂ O)	58	Образование, сбор, нейтрализация	0,24
					Сульфат свинца	6		
					Кислота серная (H ₂ SO ₄)	3,36		
						Всего 2-го класса	0,24	

Вид опасного отхода	Класс опасности для ОПС	Опасные свойства	Происхождение	Физико-химические свойства			Вид деятельности по обращению с опасными отходами	Количество
				Агрегатное состояние	Наименование компонентов	Содержание, %		
Аккумуляторы свинцовые, отработанные, не разобранные, со слитым электролитом	3	Токсичные	Истечение срока годности	Готовое изделие, утратившее потребительские свойства	Pb Sb Sb Пластмассы	70,2 2,1 3,7 24	Образование, сбор, хранение, транспортирование	0,20
Масла автомобильные отработанные		Пожароопасность	Истечение срока службы автомобильных масел	Жидкое	Углеводы Механические примеси Присадка	97,95 1,02 1,03	Образование, сбор, хранение, обезвреживание	1,2
Масла промышленные отработанные		"	Истечение срока службы промышленных масел	"	Углеводороды предельные, углеводороды непредельные Взвешенные вещества H ₂ O	94,3 1,74 2		
Масла трансформаторные отработанные, не содержащие галогены, полихлорированные дифенилы и терфенилы		"	Истечение срока службы трансформаторных масел	"	Углеводороды предельные, углеводороды непредельные Взвешенные вещества H ₂ O	96,6 1,4 2	Образование, сбор, хранение, транспортирование	1
Провод медный без загрязнений, потерявший потребительские свойства		Токсичные	Истечение срока службы компрессорных масел	Твердый	Cu Sb Pb S Ni	99 0,007 0,004 0,003 0,986		
Шлам шлифованный масло-содержащий		Пожароопасность	Производство участка мойки деталей	Шлам	Вода SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	70 3,15 19,2 7,65	Образование, сбор, хранение, обезвреживание	
Отходы твердых производственных металлов, загрязненных нефтяными и минеральными жировыми продуктами (отработанные промасленные фильтры)		Токсичность	Производство окрасочного участка	Твердый	Растворитель древесно-спиртовой марки А	16,44	Образование, сбор, хранение, транспортирование	0,2
					Масло легкое таловое	10,5		
	Диформаль пентаэритрита				2,52			
	Фталевый ангидрид				4,34			
				Диметил бензол (ксилол)	4,2			
				Диоксид титана	52			
Всего 3-го класса							10,16	
Окалина	4	Не установлены	Опытно-механическое производство	Твердый	Синтетический каучук Оксид железа	100 10	Образование, сбор, хранение, транспортирование	0,32
Отходы, содержащие чугун (в том числе чугунную пыль), несортированные		"	То же	"	Fe P ₂ O ₅ S C SiO ₂ Mn	93 0,02 0,08 4,5 1,4 1	То же	15

Продолжение таблицы

Вид опасного отхода	Класс опасности для ОПС	Опасные свойства	Происхождение	Физико-химические свойства			Вид деятельности по обращению с опасными отходами	Количество
				Агрегатное состояние	Наименование компонентов	Содержание, %		
Медицинские отходы	4	"	Медпункт	Готовое изделие, утратившее потребительские свойства	Никель (никель металлический) Полиэтилен Синтетический каучук Хлопок	2 55 10 33	Образование, сбор, хранение, транспортирование	0,14
Всего 4-го класса								849,39
Остатки и огарки стальных и сварочных электродов	5	"	Опытно-механическое производство	Твердый	Mn Fe Fe ₂ O ₃ C	0,42 93,48 1,5 4,9	Образование, сбор, хранение, транспортирование	0,32
Обрезки резины		"	Производство формовых резинотехнических изделий	"	Синтетический каучук	100	То же	0,86
Отходы формовочных масс (термоактивной пластмассы) затвердевшие		"	Литье прессовых изделий и пластмассы	"	Полимеры Пластификаторы Красители	97 2 1	"	0,3
Обрезки и обрывки тканей смешанных		Опасные свойства	Швейное производство	"	Хлопок Лен	35 20	"	0,99
Отходы, содержащие черные металлы (в том числе чугунную и/или стальную пыль), несортированные		Не установлены	Ремонт автотранспорта, прочих механизмов	"	Fe Fe ₂ O ₃	95 4	"	69,7
Обтирочный материал, загрязненный маслами (содержание масел менее 15 %)		Пожароопасность	Техническое обслуживание и ремонт автомобилей	"	Тряпье Углеводороды предельные и непредельные	73 12	Образование, сбор, хранение, обезвреживание	3,16
Покрышки отработанные		Не установлены	То же	Готовое изделие, утратившее потребительские свойства	Технический каучук Текстильный корд Проволока Металлкорд Каучук Сера Белая сажа Прочие	24,5 7,95 3,59 8,33 46,5 0,95 0,27 7,91	Образование, сбор, хранение, транспортирование	0,87
Металлургические шлаки, сьемы и пыль (шлак литейный)		Токсичность	Сборочно-сварочное производство	Твердый	SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ CaO MgO FeO Fe MnO	43,4 4,7 0,5 9,2 22 12,6 6,4 1,2		

Продолжение таблицы

Вид опасного отхода	Класс опасности для ОПС	Опасные свойства	Происхождение	Физико-химические свойства			Вид деятельности по обращению с опасными отходами	Количество
				Агрегатное состояние	Наименование компонентов	Содержание, %		
Мусор от бытовых помещений организации несортированный (исключая крупногабаритный)	5	Не установлены	Производство готовых к употреблению пищевых продуктов, работа бухгалтерии	"	Целлюлоза	33,7	Образование, сбор, хранение, транспортирование	54,76
					Органические вещества	30,7		
					Хлопок	80,5		
					Полимерные металлы	5		
					C	0,06		
					Fe	0,4		
					Fe ₂ O ₃	0,04		
					Медь	0,27		
					Цинк	0,18		
					Алюминий	4,05		
Стекло	5,6	3						
Камни, керамика	1,4							
Кожа, синтетический каучук	1,3							
Отсев менее 16 мм	8,8							
Мусор строительный от разборки зданий	"		"	Уборка зданий и сооружений	"	Древесина	73	
						Железо	10	
						Бетон	6	
						Стекло	4	
						Керамика	3,5	
						Полимеры	2,5	
		Ксилол				0,5		
Бутацетат	0,5							
Отходы потребления на производстве, подобные коммунальным (смет с территории)	"	"	Уборка территории, производственных помещений	"	Целлюлоза	10	7,5	
					Полиэтилен	5		
					Оксид кремния	66,5		
					Растительные остатки	15,5		
					Оксиды железа	2		
Прочие твердые минеральные отходы (земля формовочная горелая)	"	"	Сборочно-сварочное производство	Сыпучий	Песок	80	25,84	
					SiO ₂	3,8		
					Al ₂ O ₃	3,2		
					CaO	4,3		
					MgO	4,9		
FeO	3,8							
Минеральные шламы (осадок от нейтрализации кислотного электролита)	"	"	Ремонт автотранспорта	Шлам	Al(OH) ₃	31,8	0,23	
					Оксиды железа	10		
					Вода	50,95		
					Свинец	7,25		
Прочие твердые минеральные отходы (лом огнеупорных изделий)	"	"	Сборочно-сварочное производство	Твердый	Песок	80	6,46	
					SiO ₂	3,8		
					Al ₂ O ₃	3,2		
					CaO	4,3		
					MgO	4,9		
					FeO	3,8		
Отходы песка очистных и пескоструйных устройств (в металлургии)	"	"	То же	Сыпучий	Песок	80	1,5	
					Железо	15		
					Оксиды железа	5		

Продолжение таблицы

Вид опасного отхода	Класс опасности для ОПС	Опасные свойства	Происхождение	Физико-химические свойства			Вид деятельности по обращению с опасными отходами	Количество														
				Агрегатное состояние	Наименование компонентов	Содержание, %																
Отходы (осадки) от реагентной очистки сточных вод (осадок станции нейтрализации)	5	Токсичность	Очистные сооружения гальванических стоков	Пастообразный	Cr(OH) ₂ Fe(OH) ₂ Zn(OH) ₂ Ni(OH) ₂ Al(OH) ₂ Ca(OH) ₂	0,5 75 1,5 1 21,5 0,5	Образование, сбор, хранение, транспортирование	588														
Эмульсии и эмульсионные смеси для шлифовки металлов отработанные, содержащие масла и нефтепродукты в количестве менее 15 %		Пожароопасность	Сборочно-сварочное производство, в целом по предприятию	Эмульсия	Эмульсол Вода Сода Взвешенные вещества NaNO ₃	5 84,4 0,3 10 0,3			Образование, сбор, хранение, транспортирование	0,25												
Минеральные шламы (карбидный ил)		Не установлены	Сборочно-сварочное производство	Шлам	CaO Вода	60 40					Образование, сбор, хранение, транспортирование	0,48										
Песок, загрязненный маслами (содержание масел менее 15%)		Пожароопасность	Уборка производственных помещений, в целом по предприятию	Твердый	Песок Грунт Масла	70 15 15							Образование, сбор, хранение, обезвреживание	1,5								
Отходы абразивных материалов в виде пыли и порошка		Не установлены	Сборочно-сварочное производство	Пылеобразный	SiO ₂ Fe	90 10									Образование, сбор, хранение, обезвреживание	0,63						
Опилки древесные, загрязненные минеральными маслами (содержание масел менее 15 %)		Пожароопасность	Уборка производственных помещений, в целом по предприятию	Твердый	Древесные опилки Песок Масла	85 15 15											Образование, сбор, хранение, обезвреживание	6,5				
Отходы, содержащие алюминий (в том числе алюминиевую пыль), несортированные		Не установлены	Механическая обработка металла	"	Алюминий Медь Магний Кремний Шерсть Полиакрил	91 2 0,5 6,5 30 15													Образование, сбор, хранение, транспортирование	6,5		
Отходы затвердевшего полиуретана, полиуретановой пены и пленки		"	Сборочно-сварочное производство	"	Пенополиуретан	100															Образование, сбор, хранение, использование	0,05
Золошлаки от сжигания углей		"	Теплообеспечение от котельной	"	Диоксид кремния Оксид алюминия Триоксид железа Оксид железа Оксид кальция Оксид магния Диоксид титана Оксид натрия Оксид калия Серный ангидрид Оксид фосфора Оксид марганца	60,2 21 8,3 1,1 3,3 1,5 0,8 0,8 2,1 0,2 0,4 0,3																

Вид опасного отхода	Класс опасности для ОПС	Опасные свойства	Происхождение	Физико-химические свойства			Вид деятельности по обращению с опасными отходами	Количество
				Агрегатное состояние	Наименование компонентов	Содержание, %		
Бой шамотного кирпича	5	Опасные свойства отсутствуют	Ремонт котельных	„	SiO ₂ Al ₂ O ₃ CaSiO ₃ MgSiO ₃ Каолин Вода	33 36 7,5 5 9,5 9	Образование, сбор, хранение, транспортирование	0,86
Пищевые отходы кухонь и организации общественного питания несортированные		Не установлены	Производство пищевых продуктов	Не установлены	Вода Углеводы Белки Липиды Пластмасса Металлы	56 27,3 10 4 1,7 1	То же	
Прочие отходы бумаги незагрязненные		„	Сборочно-сварочное производство	Твердый	Целлюлоза	100	Образование, сбор, хранение, обезвреживание	0,75
							Всего 5-го класса	1449,94
Итого								2309,75

Отработанные шины в небольших количествах наиболее целесообразно использовать в процессе пиролиза, получая при этом практически 100 %-ную переработку на такие ценные продукты, как металлический корд, пиролизат (добавка к энергетическому топливу), сажа и газы C₁—C₅ (дополнительное газовое топливо).

Осадки от реагентной очистки сточных вод (гидроксиды Cr, Zn, Ni, Al₃, Fe и др.) после соответствующей термической обработки могут быть переведены в оксиды металлов, имеющих спрос в качестве минеральных пигментов для красок.

Отходы абразивных материалов в виде пыли и порошка целесообразно использовать на предприятии для процессов гидроабразивного шлифования.

В настоящее время нет единого и научно обоснованного подхода к реализации процессов по утилизации твердых отходов машиностроительных предприятий. Предлагаемые отдельные решения этих проблем носят разовый и хаотический характер,

решающий лишь частные вопросы на том или ином предприятии. Для того чтобы разрешить эту непростую задачу, необходима комплексная целевая программа на местном или региональном уровне, в которой были бы рассмотрены все вопросы, начиная от объемов и источников финансирования программы, мероприятий по переработке и обезвреживанию основных отходов города и заканчивая детальной технической политикой в области внедрения малоотходных и безотходных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кацман Ю. И., Зегер К. Е. Улучшение эксплуатационных свойств жидкого котельного топлива путем его гидромеханической обработки (обзорная информация). Сер. 1. Тепловые электростанции. Теплофикация и тепловые сети. М.: Информэнерго, 1986. Вып. 11. 52 с.
2. Бутковский М. Э. Оборудование для утилизации нефтесодержащих промстоков и отходов — нефтепереработка и нефтехимия // Инф. сборник. 1997. № 7. С. 37—40.

В. В. КЛОЧКОВ, д-р экон. наук, А. А. ШКАДОВА, аспирант
(Московский физико-технический институт (государственный университет)),
А. В. ЖДАНОВСКИЙ, инж.
(Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова)

Экономические аспекты морального устаревания техники

Экономическая интерпретация понятия "моральное устаревание"

Жизненный цикл изделий (ЖЦИ) многих подотраслей машиностроения — авиастроения, судостроения, энергетического машиностроения и т. д. — обладает следующими особенностями. Во-первых, изделия этих отраслей являются весьма долговечными и на протяжении срока их службы могут происходить существенные изменения системы цен (на материалы, энергоносители и прочие ресурсы), а также могут появляться новые технологии, позволяющие существенно улучшить технико-экономические характеристики вновь выпускаемых изделий. Во-вторых, существенная, а нередко подавляющая доля стоимости жизненного цикла (СЖЦ) продукции машиностроения приходится на этап эксплуатации. Поэтому одной из самых актуальных задач разработчиков долговечной техники является повышение ее эксплуатационной экономичности.

По мере совершенствования техники ее технико-экономические характеристики улучшаются. Но в какой-то момент количество переходит в качество и можно говорить о создании нового поколения изделий (соответственно, о моральном устаревании ранее выпущенных изделий). Само по себе внедрение новых материалов, конструктивных и технологических решений не является самоцелью и не может служить объективным критерием выделения поколений техники. В работе [1] предложен следующий критерий достижения качественного превосходства нового типа изделий над старым. Новый тип изделий можно относить к качественно новому поколению, если в момент его появления на рынке эксплуатирующим организациям выгодно вывести из эксплуатации старые изделия, даже если их ресурс не выработан до конца. Именно такой, "прорывной" уровень превосходства новой техники над ранее выпущенными изделиями стимулирует ускоренное обновление парка машин и позволяет радикально повысить спрос на продукцию машиностроения. Наличие данного критерия позволяет формировать экономически обоснованные требования к целевому уровню характеристик перспективных изделий, более корректно определять приоритетные направления НИОКР.

В данной работе в качестве примера рассматривается рынок среднемагистральных пассажирских самолетов. Тем не менее, изложенные ниже подходы

и качественные выводы могут быть актуальными и для некоторых других подотраслей машиностроения. Критерием экономической эффективности пассажирских самолетов можно считать эксплуатационные затраты в расчете на летный час самолета или на пассажиро-километр [2]. Стоимость летного часа можно упрощенно представить следующим образом:

$$C_{\text{час}} = C_{\text{ам}} + C_{\text{опер}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{ам}}$ — средняя ставка амортизации в расчете на летный час, определяемая как отношение цены самолета P к его назначенному ресурсу T , выраженному в летных часах; $C_{\text{опер}}$ — текущие операционные затраты на летный час. Они складываются прежде всего из затрат на горюче-смазочные материалы (ГСМ), а также техническое обслуживание и ремонт (ТОиР):

$$C_{\text{опер}} = C_{\text{ТОиР}} + g p_{\text{ГСМ}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{ТОиР}}$ — средние затраты на ТОиР в расчете на летный час; g — удельный расход топлива, 1 т на летный час; $p_{\text{ГСМ}}$ — цена 1 т авиатоплива.

В работе [1] предполагалось, что авиакомпания может принять одно из двух альтернативных решений. Либо старое изделие эксплуатируется до полной выработки ресурса и лишь затем заменяется изделием нового типа, либо оно списывается и заменяется немедленно при появлении на рынке нового поколения авиатехники. Списывая воздушное судно в момент появления на рынке нового типа изделий, авиакомпания несет дополнительные затраты. При наличии исправного воздушного судна, которое еще можно было эксплуатировать в течение $\Delta T_{\text{стар}}$ летных часов, авиакомпания приобретает самолет нового типа, часовая ставка амортизации которого составляет $C_{\text{ам}}^{\text{нов}}$. Таким образом, дополнительные затраты на приобретение "лишней" авиатехники за указанный период составят $\Delta T_{\text{стар}} C_{\text{ам}}^{\text{нов}}$. В то же время самолет нового типа, как правило, характеризуется более низким расходом топлива, а также большей периодичностью и меньшей трудоемкостью ТОиР. Поэтому, если бы эксплуатация старого воздушного судна продолжалась до полной выработки ресурса, потери вследствие более высокого уровня операционных затрат составили бы $(C_{\text{опер}}^{\text{стар}} - C_{\text{опер}}^{\text{нов}}) \Delta T_{\text{стар}}$, где $C_{\text{опер}}^{\text{стар}}$, $C_{\text{опер}}^{\text{нов}}$ — операционные затраты самолетов соответственно старого и нового типов.

Следовательно, для принятия решения о списании старой авиатехники либо о продолжении ее

эксплуатации до полного исчерпания ресурса необходимо соотнести величины затрат и потерь в обоих случаях. Если выполняется неравенство

$$\Delta T_{\text{стар}} c_{\text{ам}}^{\text{нов}} < (c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}}) \Delta T_{\text{стар}},$$

старое воздушное судно целесообразно списать, несмотря на неполную выработку ресурса, сразу после появления возможности приобрести авиатехнику нового типа. Полученное неравенство означает, что часовая ставка амортизации изделий нового типа ниже разницы операционных затрат:

$$c_{\text{ам}}^{\text{нов}} < c_{\text{опер}}^{\text{стар}} - c_{\text{опер}}^{\text{нов}}.$$

Иначе говоря, полная стоимость летного часа нового типа изделий (включающая амортизацию) должна быть ниже операционных затрат изделий старого поколения:

$$c_{\text{час}}^{\text{нов}} < c_{\text{опер}}^{\text{стар}}. \quad (3)$$

Рассмотрим пример применения предложенного критерия. В настоящее время основу парка многих российских авиакомпаний составляют среднемагистральные пассажирские самолеты Ту-154М. В качестве альтернативы могут рассматриваться, например, самолеты А-320 производства компании Airbus Industry (ЕС). В таблице приведены технико-экономические па-

Характеристика	Ту-154М	А-320
Цена нового самолета, млн долл.	—	54
Пассажировместимость, мест	166	164
Крейсерская скорость, км/ч	820	835
Часовая производительность, тысяч пкм/ч	136,1	136,9
Назначенный ресурс самолета, летный час	45 000	60 000
Часовая ставка амортизации, долл. на летный час	—	900
Средняя трудоемкость ТОиР, человеко-часов на летный час	7	2
Средние затраты на ТОиР, долл. на летный час	700	200
Удельный расход топлива, т на летный час	4,6	2,7
Средние затраты на ГСМ, долл. на летный час	2760	1620
Операционные затраты, долл. на летный час	3460	1820
Суммарные эксплуатационные затраты, долл. на летный час	3460	2720

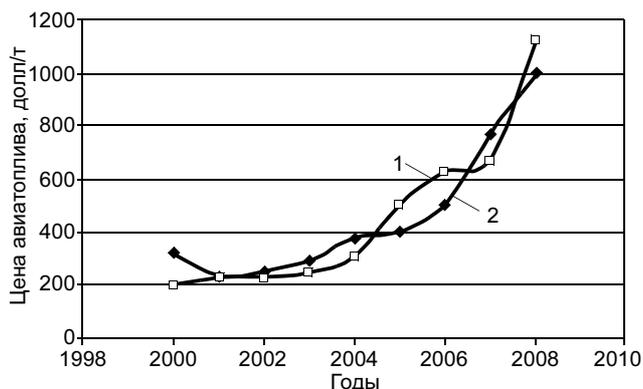


Рис. 1. Средняя цена авиатоплива в аэропортах России (1) и Западной Европы (2) в 2000-е гг.

раметры указанных типов самолетов. Стоимость нормо-часа ТОиР принята равной 100 долл.; цена 1 т авиатоплива — 600 долл. Поскольку эти типы воздушных судов обладают практически одинаковыми пассажировместимостью и крейсерской скоростью, их часовая производительность идентична. Поэтому в качестве критерия экономической эффективности при сравнении этих изделий можно использовать как стоимость пассажиро-километра, так и стоимость летного часа.

По состоянию на начало 2008 г. цена авиатоплива в ряде аэропортов России превысила 1000 долл. за 1 т [3] (рис. 1)¹.

В то же время, пользуясь формулами (1), (2) и данными таблицы, можно определить, что уже при цене авиатоплива, равной 220 долл. за 1 т, операционные затраты Ту-154М превысят стоимость летного часа самолета А-320. Таким образом, согласно критерию, предложенному в работе [1], российские авиакомпании действительно заинтересованы в ускоренном списании авиатехники советского производства (даже при наличии значительного остатка ресурса) и ее замене на импортные самолеты. И хотя уже в 2007 г. воздушные суда зарубежного производства обеспечивали около 35 % пассажирооборота гражданской авиации РФ [3], к началу 2008 г. еще не произошло тотального вывода советской авиатехники из эксплуатации. Это может объясняться следующими факторами, не учтенными в предлагаемых упрощенных моделях:

- ввод в эксплуатацию нового типа воздушных судов, тем более зарубежного производства, может потребовать от авиакомпании значительных единовременных затрат (на переподготовку персонала, лицензирование и сертификацию, приобретение оборудования, необходимого для эксплуатации, и др.);
- знак неравенства (3) может меняться за счет импортных пошлин, существенно увеличивающих ставку амортизации зарубежной авиатехники²;
- при наличии массового спроса на более эффективные воздушные суда может возникнуть их дефицит, затрудняющий обновление парка. Ведущие мировые производители авиатехники загружены заказами на несколько лет вперед. При этом они не заинтересованы существенно наращивать выпуск и мощности, поскольку, если спрос на новые изделия будет быстро насыщен, период пиковой загрузки мощностей сменится периодом стагнации, угрожающей разрушением потенциала предприятий. В свою очередь дефицит новой авиатехники ограничивает и предложение воздушных судов на вторичном рынке.

Самолеты А-320, впервые представленные на рынке в 1988 г., и семейство Ту-154, разработанное

¹ По данным Центрального института авиационного моторостроения им. П. И. Баранова.

² Впрочем при нынешних ценах авиатоплива сдерживающее влияние импортных пошлин уже ослабло, в чем можно убедиться, пользуясь данными таблицы, рис. 1 и формулами (1)—(3).



Рис. 2. Характерная динамика развития новых технологий: 1—3 — $(i - 1)$ -, i - и $(i + 1)$ -я технологии соответственно

в конце 1960-х гг.,³ относятся, согласно общепринятой классификации, к двум разным поколениям реактивных гражданских самолетов. В данном случае поколения авиатехники качественно отличаются, согласно предлагаемому критерию, и с экономической точки зрения. Однако примеры достижения качественного превосходства новых типов изделий над старыми в прошлом еще не гарантируют, что такие возможности сохранятся и в будущем. Формирование перспективной стратегии развития авиастроения требует обоснованного прогноза морального устаревания гражданской авиатехники в будущем.

Как правило, динамику развития технологий можно описать так называемой S-образной кривой (рис. 2). Разумеется, S-образные кривые являются лишь простейшей моделью процесса развития технологий. В реальности этот процесс является ступенчатым, а не непрерывным, как на рис. 1. На начальном этапе развития новой технологии ее эффективность невелика (нередко даже по сравнению с существующими технологиями) и повышается медленно. Затем по мере накопления знаний и опыта начинается бурное развитие данной технологии, в ходе которого ее эффективность радикально возрастает. И, наконец, эффективность технологии приближается к пределам, обусловленным законами природы. При этом повышение эффективности требует все больших затрат.

Большинство традиционных технологий в области гражданского авиастроения в настоящее время близки к исчерпанию пределов своего совершенствования, что подтверждается данными о динамике основных показателей технико-экономического совершенства гражданских самолетов и авиадвигателей в период с 1960 по 2000 гг. На рис. 3 приведены значения удельного расхода топлива и амортизационных затрат (в расчете на пассажиро-километр) среднемагистральных пассажирских самолетов семейства Boeing-737 (США), разработанных на протяжении нескольких последних десятилетий. Несмотря на общее наименование, в это семейство входят фактически изделия трех поколений. Наиболее раннее, введенное в эксплуатацию в начале 1970-х гг., представлено модификацией Boeing-737-200 Advanced. Следующее поколение (737 Classic), представленное модификациями 737-300, -400 и -500, появилось на мировом рынке

в середине—конце 1980-х гг. И, наконец, наиболее современное поколение (737 Next Generation), включающее в себя модификации 737-700, -800 и -900, предлагается заказчикам с конца 1990-х гг.

Поскольку амортизационные затраты рассчитываются на основе цены изделия, при сопоставлении современных модификаций с наиболее ранними возникает следующая проблема. Естественно, изделия ранних модификаций уже не выпускаются, поэтому их нынешние цены не поддаются непосредственному наблюдению. Восстановить необходимую для расчетов информацию принципиально возможно двумя способами. Во-первых, можно попытаться привести цены старых изделий, существовавшие в период их продажи, к сегодняшнему уровню цен, пользуясь индексами цен на продукцию машиностроения. Во-вторых, если изделия старых поколений еще эксплуатируются, можно взять за основу лизинговые ставки. Именно такой способ применялся для восстановления значений амортизационных отчислений на летный час и пассажиро-километр для самолетов Boeing-737-200 Advanced и Boeing-737 Classic (см. рис. 3, б).

Как видно на рис. 3, сокращение удельного расхода топлива на протяжении указанного периода происходило, но все более медленно. При этом повышение топливной экономичности сопровождалось прогрессирующим удорожанием самих изделий. Следовательно, сложившаяся ситуация в сфере совершенствования гражданской авиатехники соответствует верхнему участку S-образной кривой.

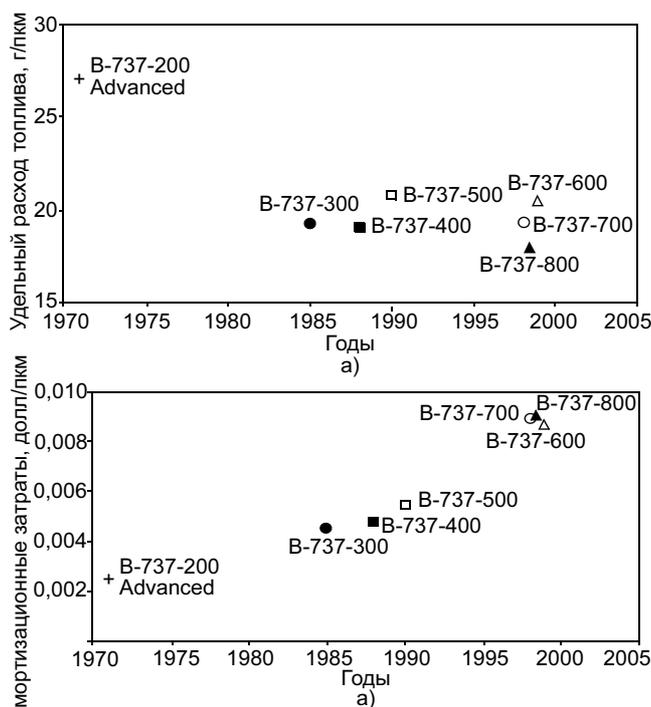


Рис. 3. Динамика изменения удельного расхода топлива (а) и ставки амортизационных затрат (б) самолетов семейства Boeing-737

³ Последняя модификация Ту-154М была введена в эксплуатацию в 1985 г.

Влияние роста цен ресурсов и научно-технического прогресса на процессы морального устаревания техники

Как показано выше, на данном этапе достижение существенного улучшения технико-экономических характеристик новых изделий все менее вероятно (как в гражданском авиастроении, так и в ряде других отраслей). На этом основании в работе [1] сделан вывод о том, что в обозримом будущем создание принципиально новых поколений авиатехники (т. е. "прорывных" изделий, удовлетворяющих условию (3)) практически невозможно, и авиакомпания будут стремиться эксплуатировать имеющуюся у них технику до полной выработки ресурса, лишь после этого приобретая новые, более экономичные изделия. Единственным побудительным мотивом для досрочного вывода изделий из эксплуатации при этом может быть лишь ужесточение различных экологических стандартов, норм безопасности полета, требований пассажиров к уровню комфорта и др. Тем не менее, в условиях постоянного роста цен ресурсов, используемых при эксплуатации машин, прежде всего энергоносителей (см. рис. 1), условие добровольного досрочного списания изделий прежних поколений может выполняться даже при относительно небольшом сокращении расхода топлива. Следовательно, принципиальная возможность создания "прорывных" изделий сохраняется, несмотря на замедление темпов совершенствования изделий и их удорожание. Рост цен энергоносителей является (наряду с ужесточением экологических стандартов, норм безопасности и требований к комфорту) одной из главных движущих сил процессов смены поколений гражданской авиатехники. Его влияние на развитие авиационной промышленности противоречиво. С одной стороны, рост цены авиатоплива вызывает рост эксплуатационных затрат авиакомпаний и тарифов, что негативно сказывается на объеме авиаперевозок и потребной численности парка воздушных судов. Но, с другой стороны, при более высокой цене топлива даже небольшое превосходство новых изделий может стать "прорывным", что вызовет ускоренное списание старой авиатехники и массовый спрос на новую.

В качестве примера рассмотрим рынок пассажирских самолетов. Предположим, что цена авиатоплива растет со временем по закону $p_{ГСМ}(t)$, а параметры новых изделий, предлагаемых на рынке в году t , принимают следующие значения: средний удельный расход топлива $g(t)$, затраты на ТОиР $c_{ТОиР}(t)$, амортизационные расходы на летный час $c_{ам}(t)$. Тогда в году t операционные затраты (в расчете на летный час) изделий, выпущенных в году $\tau < t$, определяются следующей формулой:

$$c_{опер}(t, \tau) = c_{ТОиР}(\tau) + g(\tau)p_{ГСМ}(t). \quad (4)$$

Полные эксплуатационные затраты (в расчете на летный час) новых изделий, выпускаемых в году t ,

$$c_{час}^{нов}(t) = c_{час}(t, t) = c_{ам}(t) + c_{ТОиР}(t) + g(t)p_{ГСМ}(t). \quad (5)$$

Сопоставляя эти величины, эксплуатирующая организация, согласно данной модели, принимает решение о продолжении эксплуатации изделий, выпущенных в году τ , или об их немедленной замене на новые изделия. Если одновременно выполняются следующие неравенства:

$$\begin{cases} c_{час}^{нов}(t-1) > c_{опер}(t-1, \tau); \\ c_{час}^{нов}(t) < c_{опер}(t, \tau), \end{cases} \quad (6)$$

самолеты, выпущенные в году τ , становятся морально устаревшими в году t , и даже если их ресурс не выработан до конца, авиакомпания будут стремиться заменить их на новые. Таким образом, срок морального устаревания самолетов, выпущенных в году τ , составит $\Delta t(\tau) = t - \tau$. В то же время эксплуатация авиатехники должна быть обязательно прекращена в момент полной выработки ресурса. Обозначим среднегодовой налет на одно воздушное судно μ (летных часов в год). Если интенсивность эксплуатации воздушных судов в течение периода моделирования существенно не меняется, ресурс будет полностью выработан через $\frac{T}{\mu}$ лет (T — назначенный ресурс) и самолет будет списан. Таким образом, фактический срок службы определяется по следующему правилу:

$$\Delta t_{факт}(\tau) = \min \left\{ t - \tau; \frac{T}{\mu} \right\}. \quad (7)$$

Если условия (6) выполняются длительное время, может возникнуть режим цепной смены поколений, когда существующие изделия досрочно списываются и заменяются новыми, более экономичными, которые в свою очередь также будут досрочно списаны спустя несколько лет при появлении еще более экономичных изделий и т. д. Поскольку при цепной смене поколений новые изделия, приобретенные для замены морально устаревших, сами в свою очередь морально устаревают спустя несколько лет и выводятся из эксплуатации до полной выработки ресурса, их фактический срок службы ниже ожидаемого в момент покупки. Не влияет ли это на корректность принимаемого решения о покупке изделий нового поколения? Ведь их приобретение и немедленный вывод из эксплуатации старых изделий целесообразны лишь при условии

$$c_{ам}^{нов} = \frac{P^{нов}}{T^{нов}} < c_{опер}^{стар} - c_{опер}^{нов},$$

но ресурс новых изделий $T^{нов}$ не будет выработан полностью. На рис. 4 наглядно показано, что воз-

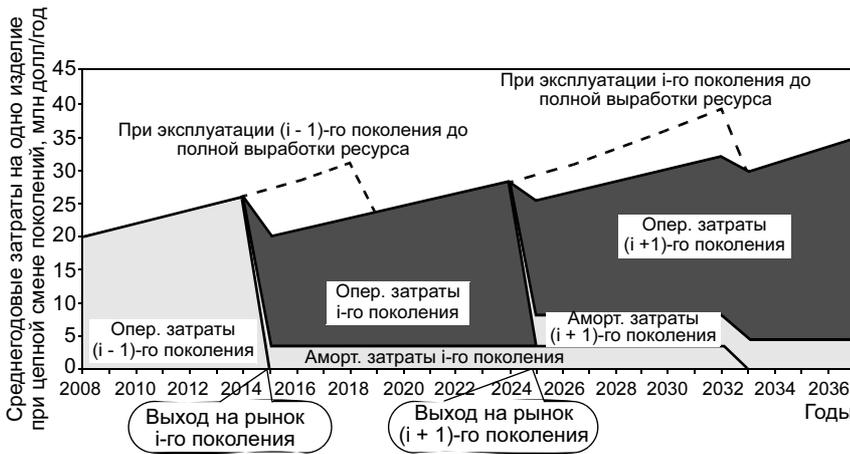


Рис. 4. Динамика эксплуатационных затрат при цепной смене поколений изделий

возможность досрочного списания изделий нового поколения не снижает заинтересованности авиакомпаний в их покупке при выполнении условий (6).

Когда $(i - 1)$ -е поколение изделий списывалось досрочно и заменялось на i -е, суммарные затраты на эксплуатацию изделий i -го поколения были ниже, чем операционные затраты при продолжении эксплуатации изделий $(i - 1)$ -го поколения:

$$c_{\text{час}}^{(i)}(t^{(i)}) < c_{\text{опер}}^{(i-1)}(t^{(i)}),$$

где $t^{(i)}$ — момент выхода на рынки изделий i -го поколения.

В то же время i -е поколение изделий будет списано досрочно, если суммарные затраты на эксплуатацию очередного $(i + 1)$ -го поколения будут ниже, чем операционные затраты при продолжении эксплуатации изделий i -го поколения:

$$c_{\text{час}}^{(i+1)}(t^{(i+1)}) < c_{\text{опер}}^{(i)}(t^{(i+1)}),$$

где $t^{(i+1)}$ — момент выхода на рынки изделий i -го поколения.

Однако в период с момента $t^{(i)}$ до $t^{(i+1)}$ эксплуатация изделий i -го поколения была наиболее предпочтительной альтернативой, поскольку $c_{\text{час}}^{(i)}(t) < c_{\text{опер}}^{(i-1)}(t)$ при $t \in [t^{(i)}; t^{(i+1)}]$. Таким образом, даже перспектива неполной выработки ресурса изделий i -го поколения не снижает заинтересованности в их приобретении, когда эти изделия появляются на рынке.

Для иллюстрации применения предлагаемого инструментария рассмотрим процесс морального устаревания среднемагистральных пассажирских самолетов семейства Boeing-737. В 1971 г. на рынке была представлена модификация 737-200 Advanced, в 1985 г. — модификация 737-300 Classic, а в 1998 г. — модификация 737-600 Next Generation (перечисленные модификации сопоставимы по пассажироместности). Значения удельного расхода топлива на час крейсерского полета прием равными соответственно 3,3, 2,6 и 2,3 т/л. ч. Пусть часовые

ставки амортизации двух последних модификаций составляют соответственно 660 и 1000 долл/л. ч. Для упрощения расчетов пренебрежем сокращением трудоемкости и стоимости ТОиР при переходе к новым поколениям самолетов. Согласно формулам (4)—(6), самолеты модификации 737-200 Advanced будут выведены из эксплуатации по экономическим соображениям, когда цена авиатоплива превысит

$$P'_{\text{ГСМ}} = \frac{660 \text{ долл/л. ч}}{(3,3 - 2,6) \text{ т/л. ч}} = 1100 \text{ долл/т.}$$

Заметим, что цена авиатоплива как в России, так и за рубежом достигла этого уровня лишь сравнительно недавно (см. рис. 4).

Если назначенный ресурс самолетов Boeing-737 составляет (вне зависимости от модификации) около 50 000 летных часов, а производство модификации 737-200 Advanced было прекращено в 1984 г., при среднегодовом налете на уровне 3000 л. ч/год практически все самолеты данной модификации к началу 2000-х гг. уже должны быть списаны по причине выработки ресурса, что и наблюдается на самом деле. Тем не менее, немногие экземпляры модификации 737-200 Advanced, оставшиеся в ряде авиакомпаний мира (вероятно, по причине менее интенсивной эксплуатации), действительно были выведены из эксплуатации в последние годы, когда цена авиатоплива вплотную подошла к отметке 1000 долл/т.

Если производство самолетов Boeing-737 Classic прекратилось в 1998 г. (с началом выпуска модификаций Next Generation), последние выпущенные изделия поколения Classic выработают свой ресурс приблизительно к 2015 г. В то же время, согласно предлагаемому критерию, самолеты модификации 737-300 Classic могут быть выведены из эксплуатации и полностью заменены более современными изделиями 737-600 Next Generation по экономическим соображениям, когда цена авиатоплива превысит следующий уровень:

$$P''_{\text{ГСМ}} = \frac{1000 \text{ долл/л. ч}}{(2,6 - 2,3) \text{ т/л. ч}} = 3330 \text{ долл/т.}$$

Если до 2015 г. цена авиатоплива не достигнет столь высокого уровня, самолеты Boeing 737 Classic будут выведены из эксплуатации по причине физического, а не морального старения. Что касается ныне выпускаемых самолетов Boeing 737 Next Generation, их досрочное списание по экономическим соображениям возможно лишь при появлении принципиально новых изделий, обладающих существенно более низким удельным расходом топлива. На рис. 5 приведены верхние границы значений

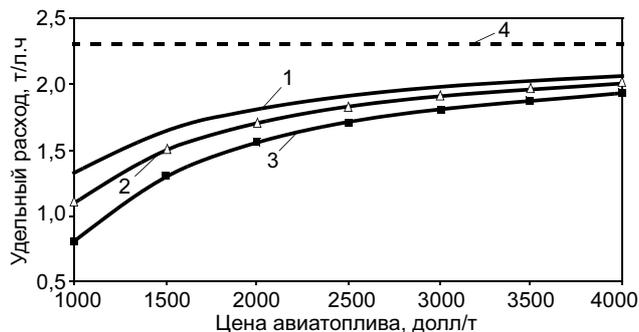


Рис. 5. Максимальные значения удельного расхода топлива самолетов нового типа, при которых морально устаревают самолеты Boeing 737 Next Generation: 1 — без удорожания нового типа ВС; 2, 3 — удорожание ВС на 20 и 50 % соответственно; 4 — Boeing-737 NG

удельного расхода топлива самолетов нового типа, при которых выполняется условие (3). Рассмотрены следующие случаи: воздушные суда нового типа не подорожали по сравнению с Boeing 737 Next Generation; сокращение удельного расхода топлива повлекло за собой удорожание самолетов нового типа на 20 и 50 %. Горизонтальная штриховая линия соответствует параметрам самолетов Boeing 737 Next Generation, которые и должны быть превзойдены изделиями нового типа.

В обозримом будущем маловероятно достижение столь высокого уровня цены авиатоплива либо столь значительного сокращения удельного расхода топлива, как показано на рис. 5. Следовательно, и самолеты модификаций Next Generation, вероятно всего, быстрее устареют физически, чем морально.

При каких условиях моральное старение техники будет опережать физическое и изделия, не выработавшие до конца свой ресурс, будут списываться досрочно? Срок морального устаревания изделий будет сокращаться со временем, если амортизационные затраты новых изделий $c_{ам}(t)$ возрастают медленнее, чем сокращение операционных затрат при замене изделий на более экономичные $[c_{опер}(t, \tau) - c_{опер}^{нов}(t)]$. Как правило, указанное условие выполнимо на среднем участке S-образной кривой. На ее завершающем участке условия (6) также могут выполняться, пока значение амортизационных затрат новых изделий не превысит сокращение затрат на ГСМ. Но при этом срок морального устаревания изделий возрастает, пока не превысит срок полной выработки ресурса.

Прогнозы сроков морального устаревания изделий необходимы для определения экономически обоснованного уровня ресурса. Как известно, во многих случаях повышение ресурса конструкций сопряжено с опережающим ростом их стоимости [4]. Возрастает как переменные затраты (поскольку приходится увеличивать размеры и массу изделий, применять более прочные и дорогие материалы), так и постоянные издержки (поскольку повышение ресур-

са требует значительного объема НИОКР, испытаний и т. п.). Если перспективное изделие, вероятнее всего, морально устареет до полной выработки ресурса, можно избежать неоправданных затрат на его повышение. Напротив, если моральное устаревание изделий в обозримом будущем маловероятно, целесообразно увеличение их ресурса. В реальности вряд ли возможно получить точный прогноз сроков морального устаревания машин, поскольку многие факторы, использованные в модели (4)—(7), плохо поддаются прогнозированию. Развитие технологий идет неравномерно, а динамика цен энергоресурсов практически непредсказуема⁴. Поэтому расчеты по модели (4)—(7) необходимо проводить для различных сценариев изменения цен и развития технологий. Для снижения рисков, связанных с неопределенностью темпов морального устаревания, целесообразно закладывать в конструкцию перспективных изделий возможности глубокой модернизации, увеличивая их модернизационный потенциал.

ВЫВОДЫ

1. Предлагается считать изделие морально устаревшим с экономической точки зрения, если его целесообразно списать и заменить изделием нового типа, несмотря на наличие остатка ресурса. Показано, что для этого разница текущих эксплуатационных затрат старого и нового изделий должна превышать ставку амортизации нового изделия.

2. Несмотря на исчерпание возможностей совершенствования технологий, даже малое преимущество новых изделий перед изделиями, эксплуатируемыми в настоящее время, может стать "прорывным" в силу удорожания топлива. В условиях устойчивого роста цены энергоресурсов, может наблюдаться процесс цепной смены поколений техники, характеризующийся ускоренным списанием изделий при последовательном появлении на рынке все более экономичных аналогов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ключков В. В., Гусманов Т. М. Проблемы прогнозирования спроса на перспективные гражданские самолеты российского производства // Проблемы прогнозирования. 2007. № 2. С. 16—31.
2. Костромина Е. В. Экономика авиакомпаний в условиях рынка. М.: НОУ ВКШ "Авиабизнес", 2002. 304 с.
3. www.mintrans.ru
4. Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1984. 312 с.

⁴ В данной работе предполагается, что цена авиатоплива со временем только возрастает. В случае открытия новых источников энергоресурсов, приводящего к их существенному удешевлению, более экономичные воздушные суда будут эксплуатироваться до полной выработки ресурса, поскольку их досрочное списание заведомо не приведет к снижению эксплуатационных затрат. Для их замены будут приобретаться более дешевые изделия с большим расходом топлива, обеспечивающие меньший уровень эксплуатационных затрат согласно уравнениям (1), (2).

В. К. НОСОВ, В. Н. УВАРОВ, С. А. МАМОНОВ

"МАТИ" – РГТУ К. Э. Циолковского

Повышение профессиональной подготовки выпускников вузов и содействие их трудоустройству

Государственный образовательный стандарт и соответствующий ему учебный план специальности подготовки инженера наряду с фундаментальной и теоретической специальной подготовкой предполагают получение обучающимися необходимых практических профессиональных навыков в ходе выполнения практических занятий, лабораторных работ, курсового и дипломного проектирования, а также в период прохождения технологических и преддипломной практик.

Однако, как свидетельствует опыт, в сложившихся условиях рынка труда именно отсутствие требуемых работодателем практических навыков и опыта работы по специальности вызывает у молодого специалиста трудности с трудоустройством, вообще, и в осознанном выборе будущего места работы, в частности. Молодой специалист, закончив вузовское обучение и получив диплом инженера, не всегда объективно оценивает свои наклонности и возможности, не готов в жесткие сроки освоить в полном объеме деятельность, соответствующую должностным обязанностям мастера, технолога, конструктора, исследователя. Иногда это приводит к случайному выбору предприятия, должности и, как следствие, вызывает моральную и материальную неудовлетворенность, желание сменить место работы.

После апробации (с 1997 г.) Ступинским филиалом "МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского и ОАО "Ступинская металлургическая компания" с целью повышения практической профессиональной подготовки и объективизации отбора студентов для будущей работы внедрена система стажировки студентов старших курсов по предполагаемому после окончания института месту работы. Заинтересованность филиала и ОАО "СМК" в подготовке кадров закрепляется ежегодно двухсторонним договором, в соответствии с которым в начале каждого учебного года руководители подразделений ОАО "СМК" проводят собеседование со студентами 4- и 5-го курсов, желающими пройти стажировку. Предварительно отдел кадров ОАО "СМК" совместно

с ответственным за стажировку от филиала института готовят "Прогноз потребности ОАО "СМК" в специалистах с высшим образованием". По сложившейся практике этот прогноз составляется на три года и в случае необходимости корректируется на последующий календарный год.

Филиал МАТИ со своей стороны формирует базу данных на студентов старших курсов, которая содержит личный листок студента и результаты тестирования по системе MMPI.

Личный листок студента с фотографией составляется на 4-м курсе, когда студенты уже получили базовые знания и начинают формироваться как специалисты, и включает следующие данные: фамилию, имя, отчество; дату рождения; домашний адрес; дату поступления в институт; средний балл успеваемости по естественно-научным, гуманитарным и техническим (общепрофессиональным и специальным) дисциплинам, в том числе за каждый курс обучения; сведения "кое-что о себе" — собственное мнение студента о своих наклонностях, увлечениях, чертах характера, отношении к учебе, планах на будущее и т. д.; сведения "мнение преподавателей" — краткая характеристика студента куратором группы.

Тестовая система MMPI позволяет получить более объективные данные о чертах характера, склонностях студента и склонностях к тому или иному виду деятельности: административное руководство, производство, научные исследования, деятельность формального характера и т. д. В последние два года представители предприятия в наибольшей степени обращают внимание на такие черты характера, как работоспособность, коммуникабельность, терпимость и уравновешенность. Как показала практика стажировок, сходимость результатов по виду профессиональной деятельности будущих специалистов составляет от 87 до 93 %.

Имея личный листок студента, результаты тестирования и прогноз потребности специалистов, руководители подразделений по итогам собеседо-

вания предлагают студентам места стажировки на вакантные или вновь открываемые должности с оплатой по фактически отработанному времени. На время стажировки студент получает от заводского руководителя задание, согласованное с ответственным за стажировку от филиала МАТИ. График прохождения стажировки устанавливается по взаимной договоренности между предприятием, филиалом МАТИ и студентом в свободное от учебы время.

В процессе стажировки студент получает практические навыки в конкретной области деятельности, определяет для себя будущее место работы. Предприятие со своей стороны знакомится со специалистом на более ранней стадии, определяет его возможности, корректирует подготовку.

По итогам стажировки за установленный контрольный срок (6—10 мес.), совпадающий либо с началом занятий на пятом курсе, либо с началом преддипломной практики, студенту, успешно прошедшему стажировку, предлагается должность в соответствии со штатным расписанием.

Повышенные требования предприятия к стажеру, содержание и результаты стажировки налагают высокую ответственность за качество подготовки и вызывают необходимость пересмотреть содержание довузовской подготовки абитуриентов и вузовской подготовки специалистов.

Довузовскую подготовку совершенствовали в части более тщательного (с использованием тестовой системы ММРІ) конкурентного отбора учащихся в спецклассы комплекса "школа—вуз" и включения в еженедельные шестичасовые занятия таких дисциплин, как "Информатика", "Черчение" и "История профессии".

Совершенствование инженерного образования предполагает прежде всего внедрение компьютерных технологий на базе комплексных систем проектирования и подготовки производства (CAD/CAM/CAE системы) и усиление экономической подготовки.

Овладение основами CAD/CAM/CAE систем осуществляется путем включения в учебный план помимо дисциплин, установленных ГОС, таких курсов,

как "Компьютерная графика", "Организация инженерного труда", "Организация баз данных", "Системы автоматизированного проектирования технологических процессов", "Автоматизированные системы управления технологическими процессами" и оснащения класса информационных технологий лицензионным программным обеспечением, в том числе:

- чертежно-графической программой Auto CAD с использованием в дисциплинах "Инженерная графика", "Компьютерная графика", в курсовом и дипломном проектировании;
- системой автоматизированного расчета и проектирования машин, механизмов и конструкций APM Win Machine с использованием в дисциплинах общепрофессиональной подготовки: "Теория машин и механизмов", "Сопротивление материалов", "Детали машин и основы конструирования", а также в специальных дисциплинах в расчетах узлов и агрегатов технологического оборудования;
- программой технологического моделирования, анализа и оптимального проектирования QForm с использованием в специальных дисциплинах, курсовом и дипломном проектировании. В целях повышения уровня организаторских и экономических знаний дополнительно к ГОС в учебный план включены такие дисциплины, как "Культура делового общения", "Делопроизводство", "Управление качеством", "Экономика предприятия", "Автоматизированные системы управления производством".

Такой комплексный подход к совершенствованию инженерной подготовки со сквозным использованием информационных технологий, углубленной экономической и организаторской подготовки в сочетании с наличием практических профессиональных навыков выражается в конечном счете в повышении конкурентоспособности молодых специалистов на рынке труда, престижа инженерной специальности и получении предприятием после окончания института сформировавшегося и проверенного специалиста.

Содержание зарубежных журналов¹

MAN (Modern Application News) (N 8, Vol. 41, 2007, США)

Токарные центры зеркальной компоновки, с. 36, ил. 1.

Вертикально-токарный центр Yoy Ji YV-600A американской фирмы Absolute Machine Tools Inc. выпускается в зеркальном исполнении. Он эффективен при обработке изделий средних размеров в аэрокосмической, нефтедобывающей и других отраслях. Правая и левая модификации могут устанавливаться рядом, образуя двухшпиндельную ячейку, которая занимает площадь одного горизонтального токарного центра. Используется шестипозиционная револьверная головка. Привод обеспечивает линейные перемещения со скоростью 20 м/мин. Шпиндель развивает крутящий момент 415 Н·м, что позволяет резать на тяжелых режимах.

Маркировочная головка с индентором для фрезерного станка, с. 37.

Американская компания Dapra Marking Systems поставляет головку DMwriter, которая осуществляет маркировку индентором на фрезерных станках с ЧПУ. Операция выполняется на скоростях до 3000 мм/мин. Используется стандартное ПО для гравировальных работ. Наносятся знаки на материалах твердостью до 62 HRC без напряжений на детали, которая остается неподвижной.

Охлаждающие устройства для стоек с ЧПУ, с. 37, ил. 1.

Американская компания EXAIR Corp. выпускает устройства серии Cabinet Cooler, с помощью которых охлаждаются термочувствительные электронные элементы и электронные пульта управления. В стойки ЧПУ подается сжатый воздух при температуре -7 °С. Изготавливают устройства 12 моделей с термостатным регулированием, что позволяет минимизировать потребление сжатого воздуха.

Наладка станков с ЧПУ, с. 38, 39, ил. 2.

Описаны принципы наладки станка с ЧПУ. Указывается, что нулевыми точками могут быть положе-

ния вершины стандартного инструмента (например сверла) или точка на столе станка, расположенная на оси Z. Рассматриваются коррекции на инструменты и даются критерии выбора коррекций. Коррекции на положение нулевой точки вводятся в систему ЧПУ командой G54. Приведены два примера определения нулевых точек.

MAN (Modern Application News) (N 11, Vol. 40, 2007, США)

Установка для очистки охлаждающей жидкости, с. 34, ил. 1.

Фирма Ebbco предлагает установку для очистки масла или охлаждающей жидкости производительностью до 370 л/мин. Она снабжена пятью фильтрующими картриджами с общей рабочей поверхностью 19 м². Картриджи установлены в специальных емкостях и содержат до 60 кг активированного угля. Система охлаждения установки поддерживает заданную рабочую температуру с помощью соответствующего контроллера температуры.

Устройство для очистки СОЖ, с. 42, ил. 1.

Фирма Eriez Manufacturing предлагает магнитное устройство для очистки СОЖ от шлифовального шлама и твердых частиц размером до 3 мкм. Устройство предназначено для различных шлифовальных станков, включая зубошлифовальные, а также для хонинговальных, притирочных и протяжных станков. Очистка СОЖ осуществляется с помощью постоянных магнитных материалов на основе керамики (базовая модель) или с помощью магнитных валков из редкоземельных материалов.

Maschinenmarkt (N 31/32, 2007, Германия)

Совершенствование моечных установок, с. 3, ил. 1.

Фирма Maschinenfabrik Rosink (Германия) выпускает установки серии ITS для мойки промышленных деталей и реализует комплекс мероприятий по их совершенствованию. В него входят, в частности,

¹ Раздел подготовлен инж. Г. С. Потаповой (по вопросам получения материалов обращаться по тел./факсу: (495) 611 21 37, e-mail: stankoinform@mail.ru).

оснащение установок устройством для сушки чистых деталей сухим теплым воздухом с низким энергопотреблением, применение биологически разлагающихся детергентов и др. Все это позволяет рассчитывать на увеличение доли этих установок в очистном оборудовании.

Гибкий обрабатывающий центр HPC Flex-V200, с. 5, ил. 1.

Центр HPC Flex-V200 выпускается фирмой Wema Voltland. Он имеет два шпинделя и системы спутников. Ускорение по оси Z составляет 1,5g, скорость ускоренного хода по осям Y и Z — 80 м/мин. Центр можно использовать как автономно, так и в составе поточных линий в крупносерийном производстве.

Способ притирки, с. 12, ил. 1.

Фирма Okamoto, изготовитель шлифовальных станков, оптимизировала автоматический процесс притирки для обеспечения постоянства воспроизводимости результатов обработки в условиях серийного производства. Новый станок для притирки мелких деталей за счет увеличения срока службы рабочей среды (смазка и абразивные зерна) устраняет разброс результатов обработки. Это потребовало модернизации технологии обработки, а именно, использования алмазного порошка с различными размерами режущих зерен.

(N 36, 2007, Германия)

Фрезерный станок с подвижной стойкой типа Supra, с. 31, ил. 1.

Фрезерный станок фирмы Nicolas Corre с. А. (Испания) предназначен для черновой и чистовой обработки деталей машиностроения, режущего и формирующего инструмента. Высокая жесткость станка и хорошая динамическая уравновешенность позволяют без вибраций воспринимать высокие усилия, возникающие при подаче 30 м/мин.

Универсальные токарные станки серии СТХ, с. 54, ил. 1.

Новая серия фирмы Gildemeister, состоящая из 24 моделей в 24 вариантах комплектации, отличается новым дизайном, улучшенной эргономикой, ориентированным на инструмент программированием, привлекательным соотношением между свойствами и ценой, повышенной на 25 % производительностью. Диаметр патронов в станках 160—700 мм, длина точения 300—2000 мм, крутящий момент 127—2400 Н·м.

Прецизионная обработка высокотвердых материалов, с. 58, ил. 1.

Обработка деталей из материалов высокой твердости может быть осуществлена с высокими точностью и производительностью на многоцелевом станке S242, позволяющем осуществлять как круглое шлифование, так и точение высокотвердых деталей. Обработка может осуществляться одновременно двумя или тремя обрабатывающими установками.

Трехсторонняя обработка профилей, с. 64, ил. 1.

Сообщается о возможности высокоэффективной трехсторонней обработки деталей длиной до 12 м на многоцелевом профилеобрабатывающем станке конструктивного ряда ВZ. Обработка осуществляется с использованием инструментов двух шпинделей, вращающихся с частотой до 2500 мин⁻¹. При обработке гарантируется высокая стабильность процесса.

Совершенствование технологии изготовления изделий малой массы, с. 70, ил. 2.

На состоявшемся симпозиуме по случаю выставки ЕМО 2007 рассматривали проблемы обработки легких (по массе) деталей из алюминия, стали и других новых материалов, используемых в разных отраслях промышленности, например в производстве двигателей в общем машиностроении. Основное внимание было уделено обработке листовых материалов. Проанализированы различные аспекты технологий обработки тонких материалов, основные тенденции.

Wiedemann V. Эффективность ленточного шлифования, с. 130—132, ил. 4.

Проанализированы эксплуатационные возможности ленточного шлифования, рациональные области применения данного технологического процесса и его преимущества, состоящие в высоком качестве обработанной поверхности. Эти возможности и эффективность ленточного шлифования, как показано на примерах, значительно возрастают при осуществлении его на новых станках модульной конструкции, позволяющих оптимизировать процессы обработки.

Deutges D. Комплексная обработка сложных деталей, с. 144—146, ил. 3.

Описана технология комплексной обработки, в том числе лазерной, деталей сложных форм на одном токарно-фрезерном многоцелевом станке, обеспечивающем высокую производительность и экономичность обработки ротационно-симметричных деталей. Возможна обработка деталей из мягких и твердых материалов, а также деталей с покрытиями. Наряду

с точением и фрезерованием на станке применяется лазерная обработка, расширяющая технологические возможности оборудования. Все выполняемые процессы характеризуются высокой степенью автоматизации.

Kuttkat B. Токарные автоматы для прецизионной обработки, с. 152, 154.

Рассматривается эффективность использования токарных автоматов серии Speedline C100 фирмы Index-Werke GmbH & Co. KG. Станки содержат несколько шпиндельных узлов, способных производить перемещения по двум взаимно перпендикулярным осям и револьверные головки для автоматической замены инструмента. За счет использования высокоточных механизмов линейных перемещений достигается широкий диапазон подач при обработке.

Hufschmied R. Совершенствование технологии изготовления графитовых электродов, с. 156, 158, 159, ил. 5.

Фирма Hans-Hermann Bosch (Германия) специализируется на изготовлении литевых и литейных форм с использованием электроэрозионных станков и графитовых электродов. Изготовление последних было связано с большими затратами, что послужило причиной обращения к фирме Hufschmied Zerspanungssysteme (Германия), которая и разработала усовершенствованную технологию с применением оригинальных фрез. В итоге время изготовления одного электрода сократилось на 55 мин, что снизило затраты на 30 %.

Повышение производительности обработки, с. 184, 186, ил. 2.

Проанализированы проблемы повышения производительности и экономичности обработки коррозионно-стойких сталей и особенности обработки, обусловленные свойствами данных сталей. Приведены примеры фрезерования подобных сталей с обеспечением высокой производительности.

Прецизионное затачивание режущих инструментов, с. 196, 197, ил. 1.

Для высокоэффективного процесса фрезерования необходимы прецизионные фрезы. Только точная заточка режущих кромок фрез и высококачественные поверхности резания обеспечивают прецизионную обработку деталей, высокие производительность обработки и стойкость фрез. Большое значение имеет также выдерживание точной геометрии резания фрез. Описаны новые заточные станки с ЧПУ типа CNC по пяти осям с точной (до 5 мкм) системой позиционирования и программным обеспечением CAD/CAM типа GUTS.

Schenk L. Шлифование и заточка инструментов, с. 258—260, ил. 4.

Проанализированы на конкретных примерах проблемы изготовления инструментов с точной геометрией и учетом материалов инструментов. Существующие технологические процессы шлифования инструментов сложных геометрических форм связаны со значительными расходами. Решением этих проблем является применение новейших шлифовальных станков с усовершенствованными системами ЧПУ типа CNC, обладающих широкой технологической гибкостью. Кроме того, высокая эффективность достигается при роботизации технологических процессов.

Удаление заусенцев и зачистка кромок деталей, с. 299, ил. 1.

Детали из композиционных материалов, используемые в авиационной промышленности, должны быть особенно тщательно зачищены от заусенцев и иметь чистые кромки. Зачистка от заусенцев затруднена абразивными свойствами материалов деталей. Применение для обработки специальных фрез, предложенных Группой LMT, обеспечивает хорошие результаты и позволяет оптимизировать процесс зачистки кромок.

Modern Machine Shop (N 11, Vol. 79, 2007, США)

Korn D. Обработка пресс-форм, с. 14, ил. 1.

Описана технология обработки пресс-форм на фирме Ameritech Die & Mold. Отмечено изменение подхода к процессу точного фрезерования, заключающегося не в сокращении штучного времени, а в обеспечении высокого качества обработки, исключающего последующие ручные операции. Указано на повышение качества пресс-форм при сокращении времени их поставки заказчикам, в том числе по системе "точно в срок".

Мониторинг производства в реальном времени, с. 152.

Описана система Proficy Plant Applications фирмы GE Fanuc Automation (США), предназначенная для оцифровывания информации с производственного объекта в "виртуальное производство", которая позволяет руководству понимать в реальном времени происходящее в цехе. Отмечается возросший уровень новой версии, позволяющей повысить скорость и расширить возможности существующих систем с учетом стандартов, использования капитала, качества продукции и быстроты выхода на рынок.

Werkstatt und Betrieb
(N 4, 2008, Германия)

Современные проблемы шлифования, с. 14, 15, ил. 4.

На конференции (Германия, 19—20 февраля 2008 г.) рассматривались актуальные проблемы чистовой обработки деталей, новации в области технологии шлифования и хонингования, в частности хонингования кулачковых валов и различных зубчатых колес, а также конструкция современных шлифовальных кругов для отрезки и обработки поверхностей высокого качества.

Прецизионная обработка, с. 20—23, ил. 6.

Описывается пятисторонняя обработка с одной установки деталей крупных дизельных двигателей на обрабатывающих центрах HEC 1250 Athletic фирмы StarragHeckert. Обрабатываются корпуса блока цилиндров из поковок массой до 1,2 т, с которых в процессе обработки удаляется в виде стружки 100—150 кг металла, и элементы шатуна. Высокая эффективность обеспечивается за счет большой скорости холостого хода (до 60 м/мин) и стола для установки обрабатываемых деталей, вращающегося с частотой до 80 мин⁻¹.

Schur S. Обработка пульсирующим инструментом, с. 24, 26, 28, ил. 2, табл. 2.

Обработка глубоких отверстий в пластичных материалах инструментом с прямыми стружечными канавками представляет определенную проблему. Фирма Botek Präzisionsbohrtechnik разработала устройство Axial-Pulsator, которое легко устанавливается в шпинделе станка и обеспечивает эффективное дробление стружки за счет продольной пульсации инструмента диаметром от 4 до 12 мм. Предлагаются две модели устройства — малая и большая со следующими параметрами: корпус диаметром 50 и 70 мм, длиной 140 и 160 мм, масса 1,3 и 4,4 кг, частота вращения шпинделя 11 000 и 6000 мин⁻¹.

Новые метчики, с. 29, ил. 1.

Фирма Nachreiner выпускает метчики разной конструкции, включая метчики с внутренними каналами для СОЖ, метчики для нарезания резьбы в сквозных и глухих отверстиях и цельнотвердосплавные микрометчики. Специфическая геометрия режущей части позволяет нарезать резьбу в труднообрабатываемых материалах, например в сплаве CuAlMgPb, при частоте вращения 800 мин⁻¹.

Сверление пересекающихся отверстий, с. 30, 31, 33, 34, ил. 5.

Для достоверности анализа процесс сверления разбивается на семь этапов: засверливание, полное резание, контакт с поперечным отверстием (вход, проход и выход), полное резание и отвод инструмента. Наиболее критическими этапами являются этапы работы в зоне поперечного отверстия, когда инструмент испытывает наибольшие нагрузки. Приведены графики изменения силы подачи, вращающего момента и радиальных сил для критических этапов работы инструмента.

Обработка колес и осей, с. 35, ил. 2.

Описывается опыт фирмы Bonatrans Group по обработке колесной пары и осей железнодорожных вагонов с использованием режущих пластин фирмы Kennametal с новой геометрией стружкоформирующих элементов, изготовляемых из новых твердых сплавов.

Обработка кулачковых валов, с. 44, 45, ил. 4.

Описываются операции обработки кулачковых валов из улучшенной стали 38MnVs6 на станках фирмы Emag Salach Maschinenfabrik и технологии токарной обработки на вертикально-токарном станке VTC 250 Duo ED, фрезерования дисковыми фрезами шатунных шеек и щек кулачковой вала на вертикальном фрезерном станке VTC 250 F и шлифования соосных и эксцентричных поверхностей на станке VTC 250.

Оптимизация механической обработки, с. 48, 50, ил. 3.

Описывается опыт фирмы Heinrich Kipp Werk AG по повышению производительности обработки резанием за счет сокращения вспомогательного времени на смену режущих инструментов. Этого удалось достичь применением зажимных устройств GWS фирмы Göltenbodt Präzisionswerkzeugfabrik для закрепления режущих инструментов с воспроизводимой точностью 0,01 мм. Зажимные устройства имеют внутренние каналы для подвода СОЖ под давлением 3,5 МПа (стандартное исполнение) или 10 МПа (специальное исполнение).

Laqua I. Производительность обработки резанием, с. 52—54, ил. 4.

Не только большая интенсивность съема обрабатываемого материала гарантирует высокую производительность обработки резанием. Предлагается совокупный критерий эффективности обработки (Overall Equipment Efficiency — OEE), оценивающий имеющееся оборудование, производительность и качество обработанных деталей, а также рассматривающий факторы всей производственной системы, влияющие на производительность обработки.

Technische Rundschau
(N 17, Vol. 99, 2007, Швейцария)

Grundlar E. Шлифовальные станки из Северной Италии, с. 24—26, ил. 2.

Фирма Gildemeister Italiana, входящая в состав группы Gildemeister, специализируется на создании и производстве стандартных и специальных шлифовальных станков четырех серий, отличающихся высоким качеством, имеющих хороший спрос на рынке. Около 80 % станков поставляется с зажимными устройствами, инструментом, программным обеспечением. Собственными силами фирма изготавливает около 10 % деталей, остальные получает от 125 поставщиков.

Mühlemann P. R. Усовершенствованные технологии обработки инструментов и деталей штампов, с. 28, 30, 32, ил. 7.

Приведены сведения о новых технологиях фрезерования и электроэрозионной обработки в области производства инструментов и штампов. Изложены технологические возможности нового оборудования для фрезерования и электроэрозионной обработки.

Повышение эффективности технологических процессов резки, с. 34, 35, ил. 2.

Изложены новые программы по повышению эффективности процессов резки пилами листовых материалов и процессов складирования листов с использованием нового высокопроизводительного оборудования. Приведены примеры оборудования, предназначенного для осуществления таких программ.

(N 20, Vol. 99, 2007, Швейцария)

Повышение эффективности технологических процессов обработки, с. 28, 29, ил. 3.

Изложены сведения о новых ПО и системах САМ, позволяющих расширить технологические возможности процессов обработки. К ним относятся обработка сложных деталей с одного станка с высокой скоростью резания, использование цифровой технологии, легкость программирования процессов обработки и анализ планируемого процесса об-

работки на станках с ЧПУ. Применение этих технологий обеспечивает высокое качество продукции и производительность, надежность производимых процессов обработки.

(N 21, Vol. 99, 2007, Швейцария)

Прецизионная обработка деталей из титановых сплавов, с. 26, 28, 29, ил. 4.

Приведены сведения о новых технологических возможностях фрезерования деталей из титана, титановых сплавов и комбинированных материалов с высокой точностью, производительностью и экономичностью при высокой стабильности процессов обработки, размерах обрабатываемых деталей и применяемых инструментах. Процессы обработки осуществляются с применением ПО.

Технологии прецизионной обработки компонентов текстильных машин, с. 34, 35, ил. 2.

Описана прецизионная обработка шлифованием некоторых компонентов текстильных машин, в частности валов катушечных устройств, изготавливаемых из специальной стали 20MnV6 и имеющих длину до 1500 мм. Приведены оборудование, на котором производится такая обработка, системы управления ЧПУ типа CNC, сведения о режимах шлифования и применяемых материалах, обрабатываемых различными технологическими процессами (алюминий, чугун, латунь) при изготовлении компонентов текстильных машин.

(N 23, Vol. 99, 2007, Швейцария)

Grundler E. Комплексная обработка сложных деталей вращения с одного станка, с. 34—36, 38, ил. 6.

Описаны технологические возможности обработки на многоцелевых станках, позволяющих осуществлять точение, сверление, растачивание, нарезание резьбы и фрезерование. Приведены примеры обработки конкретных деталей.

Инновационные продукты, современные материалы, технологии и инструменты зарубежных фирм

27 февраля—1 марта 2008 г. в Москве в МВЦ "Крокус Экспо" в рамках 2-го Международного автомобильного салона—2008 были представлены два уникальных технологических проекта: 5-я Международная специализированная выставка "Автомобильные технологии, автокомпоненты и материалы" (АТиМ—2008) и 7-й Конгресс технологов автомобилестроения. Среди участников мероприятий — известные автомобильные производители автокомпонентов и автомобильной техники России, предприятия смежных отраслей. В работе выставки и деловой программы приняли также участие представители многих специализированных зарубежных и совместных фирм.

Представленный на конгрессе компанией ООО "Русхенк" доклад "Инновационные продукты, технологии и материалы "Henkel" для российского автомобилестроения" вызвал повышенный интерес своими прогрессивными решениями в области окрасочного производства автомобилей и автокомпонентов.

Компания Henkel (Германия) является лидером в области материалов и технологий для обработки черных кузовов, шовных и днищевых мастик, клеев и др. Объем продаж компании составляет более 3 млрд евро в год. На российском рынке продукция Henkel успешно применяется такими автопроизводителями, как "АвтоВАЗ", "ГАЗ", "УАЗ", "ЛИАЗ", а также автозаводами и совместными предприятиями, выпускающими автомобили KIA, Ford, General Motors, Renault.

Одна из последних разработок компании Henkel в области обработки поверхности — технология Bonderite, которая призвана заменить фосфатирование для обработки кузовов перед нанесением катодозащитного грунта. С применением технологии Bonderite на поверхности металла формируется плотное неорганическое покрытие из прочно связанных наночастиц толщиной всего 20—30 нм, что значительно тоньше фосфатных слоев. Bonderite может применяться при 18—20 °С как струйным, так и погружным методами, время обработки составляет всего 20 с, при этом покрытие не требует дальнейшей пассивации.

Еще одной инновационной технологией является нанесение покрытий автофоретическим методом (АСС), что позволяет получать черные, прочно сцепленные с основой покрытия, обладающие высокой коррозионной стойкостью и стойкостью против истирания. Процесс протекает при 18—20 °С без наложения внешней поляризации, при этом покрытие образуется только на стальной подложке.

Такие покрытия призваны заменить системы фосфатирования с последующей окраской электрофрезом или порошковыми красками, применяемые на различных компонентах автомобилей (автомобильных стойках, амортизаторах, рамах, салазках крепления сидений и др.).

В области классического фосфатирования кузовов автомобилей в агрегатах подготовки поверхности разработаны принципиально новые обезжиривающие составы, которые обеспечивают эффективное обезжиривание при содержании масла до 5 г/л, новые рецептуры, которые позволяют значительно увеличить срок службы активирующих растворов с целью экономии деминерализованной воды и химикатов для очистки сточных вод, а также составы для низкотемпературного фосфатирования.

Все более широкое применение находят технологии герметизации сварных швов с применением двухкомпонентных систем. Процесс отверждения продукта начинается только при смешивании двух компонентов, которое происходит непосредственно при нанесении. Отверждение длится несколько минут при 18—20 °С, что позволяет перенести эту операцию в цех сварки без риска смывания продукта в ваннах агрегата подготовки поверхности.

Компания Henkel разработала ряд материалов для клейки лобовых стекол автомобилей без предварительной обработки склеиваемых поверхностей грунтовками, что снижает трудоемкость операции. Такие продукты обладают высокой вязкостью и малым временем отверждения. Это позволяет избежать сползания стекла после клейки, что особенно важно и при работе в условиях низкой влажности окружающей среды.

Ведущие мировые автопроизводители повсеместно используют технологии структурного упрочнения кузовов автомобилей, разработанные компанией Henkel. Продукты на основе эпоксидных смол вводятся непосредственно в полости стоек, порогов, лонжеронов. При этом продукт своей пористой структурой полностью заполняет все пространство, обеспечивая значительное упрочнение кузова без значительного утяжеления конструкции. Данные технологии позволяют построить максимально безопасный автомобиль при существенном снижении массы металла в конструкции кузова автомобиля.

В настоящее время компания наладила производство ряда продуктов в России: клеевые материалы (Сызрань), днищевые и шовные мастики (г. Энгельс). Запущена вторая очередь завода в г. Энгельсе, где осваивается производство широкой номенклатуры

продуктов, в том числе для подготовки поверхностей кузовов автомобилей.

Компания Arkema (Франция) представила доклад "Порошковые покрытия Rilsan в автомобильной промышленности". В частности, фирма Arkema сообщила об уникальных свойствах порошковых покрытий Rilsan. Покрытие Rilsan, нанесенное на сталь, эффективно заменяет полиэфирно-эпоксидные краски, термическую обработку (закалку), пластическое формование и химическую обработку (хромирование, никелирование) и др. Области применения покрытия:

- элементы механической системы передач (шлицевые втулки карданных валов, рулевые колонки, вилки коробки передач);
- детали открывающих устройств (направляющие салазки дверей, стеклоподъемники, детали механизма подъема люков крыши);
- внутренние детали (элементы фиксации сидений, трубы для подачи жидкости, держатели капота, щупы для определения уровня масла, крепления ремней безопасности, рессоры, поручни в автобусах и др.);
- внешние детали (багажники на крыше, "кенгурятники", хомуты топливных баков грузового автотранспорта, грузила для балансировки колес, противоугонные замки).

Важным преимуществом покрытий Rilsan является их ударная прочность — около 3 Дж, что почти в 2 раза превышает этот показатель для стандартных эпоксидных покрытий и на 50 % выше, чем стандартных покрытий.

Другим отличительным свойством покрытий Rilsan является высокая устойчивость к истиранию: потеря массы при 1000 циклах истирания стандартным методом при помощи абразивной машины Taber составляет менее 15 мг по сравнению с 40 мг для эпоксидного покрытия и 60 мг для полиэфирного. Поэтому покрытия Rilsan используют для трущихся стальных деталей автомобиля, подвергающихся большому износу, таких как шлицевые втулки карданных валов. Покрытие Rilsan позволяет в 5—10 раз продлить срок службы втулок по сравнению с углеродистой сталью.

Порошки Rilsan широко применяют на мировом автомобильном рынке, по своим отдельным физическим и химическим свойствам они превосходят эпоксидные и полиэфирные покрытия и полиолефины.

В докладе "Вырубные прессы фирмы CHIESA (Италия) для изготовления заготовок автомобильных сидений, обшивки салона, фасонных прокладок и уплотнений", представленном на российском рынке фирмой LISOW, дана подробная характеристика каждому сегменту производственной программы фирмы CHIESA.

В частности, все выпускаемые фирмой прессы относятся к нескольким группам:

- с верхней вырубной плитой, поворачивающейся вокруг вертикальной оси;
- с верхней вырубной плитой, движущейся возвратно-поступательно относительно оператора и совершающей в рабочем положении перемещение в вертикальной плоскости;
- с верхней вырубной плитой, совершающей перемещение только в вертикальной плоскости и высекающей плитой в виде толстого широкого ремня;
- с верхней вырубной плитой, движущейся возвратно-поступательно поперек прессы и совершающей в рабочем положении перемещение в вертикальной плоскости;
- ротационного принципа действия.

Продукция фирмы CHIESA была представлена и на экспозиции выставки "АТiМ—2008" с показом большой гаммы заготовок деталей для автомобильной промышленности.

На сессии "Системы обеспечения качества производства и CALS-технологии" был представлен доклад "Применение современных CAE комплексов в технологиях проектирования и испытания автомобилей". Программный продукт разработан фирмой ANSYS, Virtual. Lab и позволяет проводить различные расчеты для решения задач автомобильной отрасли. Среди них:

- расчет нагрузок, действующих на отдельные элементы подвески при движении автомобиля;
- расчет действующих виброн нагрузок внутри автомобиля от работающего двигателя и при возбуждении подвески от полотна дороги;
- расчет уровня структурного шума внутри салона автомобиля при заданных параметрах возбуждения в ответных точках подвески и местах крепления двигателя;
- расчет долговечности и ресурса деталей подвески при наличии данных натурных испытаний и многие другие задачи.

В докладе рассмотрены специфичные для автомобильной отрасли методики расчета и работы с результатами натурных экспериментов, опыт использования и подтверждения данными натурных испытаний на ряде ведущих западных предприятий.

Компания "Атлас Копко" (Швеция) представила на конгрессе доклад "Новые тенденции в автомобильной сборке". Особое внимание было уделено проблеме обеспечения качества на сборочных операциях, а также снижению эксплуатационных затрат и повышению производительности с использованием широкой гаммы промышленного механизированного сборочного инструмента: гайковертов, шлифовальных машинок, шуруповертов, механизированных

средств подъема грузов и другого инновационного инструмента.

В России официальным дистрибьютором компании "Атлас Копко" является ЗАО "АДВ инжиниринг", которая на конгрессе также представила доклад "Оборудование и методы обеспечения высокого качества сборочных операций в автомобилестроении". В докладе рассмотрены проекты комплексного решения высококачественной промышленной сборки в автомобилестроении на основе современного сборочного оборудования компании "Атлас Копко".

Каждый пост линии сборки связан с сервером, где аккумулируются данные со всей линии: с каждого гайковерта, производящего сборку, и каждого ключа, с помощью которого производится контроль момента затяжки. Специальное программное обеспечение позволяет корректировать программу выполнения сборки соединений в зависимости от анализа данных, полученных с каждой операции. База данных по инструменту позволяет автоматизировать все работы, связанные с обслуживанием, ремонтом, заменой инструмента на линии, исключив простой линии по вине сборочного инструмента. Каждый пост сборки, оснащенный электронным инструментом, может быть связан с контроллером управления конвейером, системой контроля качества и оповещения ANDON. Это позволяет блокировать неправильно собранный автомобиль, оповестив об этом соответствующие службы и отправить его на участок доводки. Сквозная привязка к VIN номеру автомобиля всех сборочных операций исключает сборку разных моделей или комплектаций по неверно выбранной программе. Электронное досье на автомобиль содержит данные всех сборочных операций и хранится на сервере в течение нескольких лет. Получить доступ к базе данных или контролировать сборку автомобилей можно посредством сети Internet из любой точки мира.

Актуальный доклад в связи с возросшим появлением на рынке контрафактной продукции автокомпонентов был сделан на тему "Маркировка и идентификация продукции в условиях промышленного производства". ЗАО "Юнит Марк Про" были представлены совершенные технологии и специальное

оборудование лидеров отрасли: компании BRADY (США) и SIC-Marking (Франция). В частности, компания BRADY производит самоклеющиеся полимерные этикетки из более чем 200 различных видов материалов. Наиболее востребованными на рынке являются:

- этикетки из полиэстера с адгезивом МондоБондо, который позволяет наклеивать этикетки на грубые, шероховатые и даже замасленные поверхности. Текст устойчив к агрессивному воздействию внешней среды: бензину, маслам, растворителям, грязи, истиранию, температуре от -65 до 130 °С, влажности и УФ;

- контрольные материалы (пломбы) — этикетки невозможно снять или приклеить без повреждения самой этикетки. При попытке снятия материалы могут расслаиваться, ломаться, оставлять шахматный след либо надпись "VOID".

Другой производитель — компания "SIS-Marking" (Франция) специализируется на разработке технологии и оборудования ударно-механической маркировки. Маркировка производится с помощью двух типов технологий:

- ударно-точечная: электромагнитный модуль, внутри которого движется вольфрамо-карбидная игла. Работа от электросети (без пневмомагистрали);
- прочерчивание: быстрая и бесшумная маркировка, самое высокое качество маркировки (четкая непрерывная линия).

Многие российские предприятия (Группа "ГАЗ", Челябинский трубопрокатный завод, Выксунский металлургический завод, АК "Озно" и др.), а также зарубежные и совместные предприятия ("Автофрамос", "GM-АвтоВАЗ" и др.) уже широко применяют ударно-механическую маркировку своей продукции с использованием оборудования SIS-Marking.

Более подробную информацию можно получить в Департаменте консалтинговой, выставочной и издательской деятельности ОАО "АСМ-холдинг" (www.asm-holding.ru).

Е. С. ДОБРинский, канд. техн. наук,
В. А. Сеин, инж.

Издательский центр "Технология машиностроения"

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 26.09.2008. Подписано в печать 17.10.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 10,44. Заказ 11/08.

Отпечатано в типографии издательства "Фолиум", 127238, Москва, Дмитровское ш., 58, тел./факс: (495) 482 5590.

Подписные индексы журнала "Технология машиностроения":

79494 в каталоге Агентства "Роспечать" 27869 в Объединенном каталоге "Пресса России" 60190 в каталоге "Почта России"