

ТЕХНОЛОГИЯ



МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:**

Гл. редактор

В. А. Казаков

Зам. гл. редактора

Н. В. Посметная

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

Редакция:

*С. В. Богус,
Л. Т. Мартыненко,
Т. П. Маслик*

Компьютерная верстка:

Е. В. Конова

Дизайн обложки:

Е. С. Благовидов

Специальные
корреспонденты:

*А. Н. Иванов, А. В. Казаков,
Ан. А. Суслов*

Редактор-переводчик

Е. О. Егорова

Корректор

Е. В. Комиссарова

**8 (74)
Август
2008**

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр

"Технология машиностроения"

Журнал издается при содействии

Министерства промышленности

и торговли РФ,

Министерства образования и науки РФ,

Российской инженерной академии,

Союза машиностроителей России,

ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»

Адрес для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 01

Контактный тел.: (495) 796 2491

Бухгалтерия: 8 910 414 9184

E-mail: tm@folium.ru

(с пометкой для журнала

"Технология машиностроения")

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

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

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-7779

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

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

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



ТЕХНОЛОГИЯ

МАШИНОСТРОЕНИЯ

REVIEW-ANALYTICAL, SCIENTIFIC-TECHNICAL
AND PRODUCTION JOURNAL

**EDITORIAL
BOARD:**

V. A. Kazakov
Editor-in-Chief

N. V. Posmetnaya
Deputy Editor-in-Chief

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

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

Computerized making-up:
E. V. Konova

Cover design:
E. S. Blagovidov

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

Editor-translator
E. O. Egorova

Proof-reader
E. V. Komissarova

**8 (74)
August
2008**

FOUNDER:

Publishing Centre

"Tekhnologiya Mashinostroeniya"

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

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

Tel.: (495) 796 2491

Book-keeping: 8 910 414 9184

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

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

Registration certificate ПИ № 77-7779

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

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

Reference to "Tekhnologiya Mashinostroeniya"
at reprint is obligatory

СОДЕРЖАНИЕ

Петров А. П., Соколов В. С. — Кафедре "Технология обработки металлов давлением" "МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского — 65 лет.	5
КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ	
Галкин В. И., Преображенский Е. В. — Перспективы получения бесшовных оболочек из волокнистых композиционных материалов	9
ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО	
Головкин П. А., Фесенко С. А. — Управление деформацией как инструмент обеспечения заданных структуры и свойств поковок из титановых сплавов.	15
ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ, ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ	
Шленский А. Г. — Исследование качества соединения при плакировании сплавов системы Al—Zn—Mg	20
Котельников В. И. — Резание металла с нагревом, совмещенное с поверхностным пластическим деформированием обработанной детали.	23
СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО	
Лукин Л. Л., Смирнов В. А. — Методика проектирования прерывистых шлифовальных кругов с упругодемпфирующими элементами	26
СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ	
Жаров М. В., Ширяев Е. В. — Рациональное применение термокомпрессионных процессов при производстве изделий из отходов, полученных при механической обработке титановых сплавов.	31
Герасимов М. В. — Многослойные никель-фосфорные покрытия для защиты стали от атмосферной коррозии. . . .	33
МЕТРОЛОГИЯ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ	
Косаревский С. В. — Интеграция внешних программных модулей с метрологическим программным обеспечением Calypso для автоматизации расчетов в процессе измерений	37
МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ	
Бигус Г. А., Попков Ю. С. — Перспективы применения метода акустической эмиссии для слежения за развитием коррозионных повреждений.	40
ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ	
Бажанов А. В., Федоров С. А., Пронин Н. С., Фролов В. А. — Изготовление узлов радиоэлектронной аппаратуры низкотемпературной пайкой с использованием сфокусированного светового луча.	44
ЭНЕРГЕТИКА	
Гриненко В. И., Роцин В. В., Хаванов В. А., Полосков С. И. — К вопросу об автоматизации сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций	48
АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ, САПР	
Петров А. П., Жаров М. В. — Программное обеспечение для автоматизации изотермической штамповки с применением термокомпрессионной установки	52
Галкин В. И., Анохин А. О. — Практический опыт модернизации автоматизированных систем технологической подготовки производства.	54
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ	
Палтиевич А. Р. — Получение изделий с заданным комплексом механических свойств в процессах обработки металлов давлением с применением методов математического моделирования	60
ЭКОНОМИКА МАШИНОСТРОЕНИЯ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА	
Гришагин В. М., Нестерук Д. Н. — Методика учета социальных факторов при определении экономической эффективности сварочных работ	64
ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ	
Потапова Г. С. — Содержание зарубежных журналов.	67
ИНФОРМАЦИЯ	
Суслов Ан. А. — 5-я Международная специализированная выставка и конференция "Покрытия и обработка поверхности — 2008".	70
Календарь выставок на IV кв. 2008 г.	77

CONTENTS

Petrov A. P., Sokolov V. S. — The "Metal forming technology" Chair of the MATI—K. E. Tsiolkovsky RGTU celebrates the 65 th anniversary	5
STRUCTURAL MATERIALS, METAL SCIENCE	
Galkin V. I., Preobrazhensky Ye. V. — Prospects for obtaining seamless envelopes from the fibrous composite materials	9
BLANK PRODUCTION	
Golovkin P. A., Fesenko S. A. — Unit strain control as an instrument to ensure specified structure and properties of the forged piece from titanium alloy	15
TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR MACHINING, PHYSICOTECHNICAL PROCESSING, NON-CUTTING SHAPING	
Shlensky A. C. — Joining quality research at cladding alloys of the Al—Zn—Mg system	20
Kotelnikov V. I. — Metal heat cutting combined with surface deformation of the machined part	23
TOOLING PRODUCTION	
Lookin L. L., Smirnov V. A. — Design procedure for the non-contiguous grinding wheels with resilient deforming elements.	26
SPECIAL TECHNOLOGIES	
Zharov M. V., Shirayayev Ye. V. — Thermocompression processes efficient application at manufacturing pieces from titanium alloy waste, obtained at machine working	31
Guerasimov M. V. — Thin multilayer nickel-phosphoric coatings to protect steel from atmospheric corrosion.	33
METROLOGY AND MEASUREMENT ASSURANCE	
Kosarevsky S. V. — Exterior programming modules integration with Calypso metrological software to computerize calculations when measuring	37
TESTING AND DIAGNOSTICS METHODS IN ENGINEERING INDUSTRY	
Bigoos C. A., Popkov Yu. S. — Application prospect for the method of acoustical emission to track the development of corrosion failure	40
INSTRUMENT-MAKING TECHNOLOGIES	
Bazhanov A. V., Fiodorov S. A., Pronin N. S., Frolov V. A. — Low-temperature soldering of the electronics units by the focused light beam	44
POWER ENGINEERING	
Grinenko V. I., Roschin V. V., Khavanov V. A., Poloskov S. I. — Automation of the conduit erection joints welding at the nuclear power plants	48
PROCESSES AND PRODUCTION AUTOMATION AND CONTROL, CAD SYSTEMS	
Petrov A. P., Zharov M. V. — Software for automatization of the isothermal pressure forming using thermocompressor.	52
Galkin V. I., Anokhin A. O. — Practical experience of updating computer-aided systems for production tooling.	54
MATHEMATICAL MODELLING, CALCULUS OF APPROXIMATIONS AND SOFTWARE SYSTEMS	
Paltiyevich A. R. — Ensuring products with predetermined complex of mechanical properties at metal forming processes by mathematical model approach	60
ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION	
Grishagin V. M., Nesterook D. N. — Social factors consideration methods at determining profitability of welding procedures.	64
FOREIGN EXPERIENCE	
Potapova G. S. — Contents of the foreign journals	67
INFORMATION	
Suslov An. A. — The 5 th International specialized exhibition and conference "ExpoCoating—2008".	70
Exhibition schedule for October—December 2008	77

Кафедра "Технология обработки металлов давлением" "МАТИ" – РГТУ им. К. Э. Циолковского – 65 лет

Кафедра "Технология обработки металлов давлением" (ТОМД) — одна из ведущих кафедр университета — основана в 1943 г. и является первой отечественной кафедрой по подготовке специалистов в области пластического деформирования авиационных материалов. Кафедру основал и стал ее первым заведующим крупный ученый, один из основоположников отечественной металлургии легких сплавов, д-р техн. наук Г. Г. Музалевский. С его именем связаны зарождение и развитие в СССР производства полуфабрикатов и легких сплавов, а также теоретическое обоснование технологических процессов плавки, литья и обработки давлением на основе достижений материаловедения и пластической деформации. Им создан и внедрен в промышленность дюралюмин — сплав Д6, разработан промышленный метод плакирования дюралюмина алюминием. Высокий авторитет Г. Г. Музалевского позволил привлечь к работе на кафедре выдающихся отечественных ученых: С. И. Губкина, А. И. Целикова, А. И. Зимина, Я. М. Охрименко, а также производственников И. Я. Штолянского, А. А. Игнатова и В. А. Шапошникова.

С 1953 по 1964 г. кафедрой руководил канд. техн. наук В. М. Аристов, который являлся одним из первых специалистов в областиковки и штамповки деталей из легких сплавов. Решающим этапом на пути промышленного применения штампованных деталей из алюминиевых сплавов стало рождение первой металлической лопасти. В. М. Аристов является соавтором разработки промышленной технологииковки и штамповки большого количества отечественных деталей — картера, поршня, крыльчаток, носков картера и др. из новых ковочных сплавов АК5, АК6 и др.

Научную тематику прокатного производства в этот период на кафедре возглавил ученик Г. Г. Музалевского — канд. техн. наук А. И. Колпашников. С его помощью решена проблема получения в промышленных условиях стабильных листов из алюминиевых сплавов без обрезки боковых кромок горячекатаных полос и холодной прокатки рулонов типа дюралюмин без применения промежуточных отжигов. Решение этой проблемы базировалось на разработке оптимальных технологических режимов гомогенизации, поперечной прокатки, плакирования боковых границ слитков, отжигов холодной прокатки. Большое внимание А. И. Колпашников и его сотрудники уделяли технологии получения листов из нового класса материалов — САП (спеченного алюминиевого порошка), который явился предтечей современных порошковых материалов. Результаты этих исследований послужили основой для первой в исто-

рии кафедры докторской диссертации, которую защитил в 1963 г. А. И. Колпашников.

А. И. Колпашников возглавлял кафедру с 1964 по 1990 г. Этот период характеризуется значительным развитием на кафедре научных исследований, организацией научной школы. Из многочисленных исследований сформировались три основных научных направления: гидропрессование жаропрочных, тугоплавких и других малопластичных металлических материалов, теория и технология процессов производства композиционных и гранулированных материалов.

Исследования по изучению влияния гидростатического давления на структуру и свойства металлических материалов начались на кафедре в 1967 г. Развитие данного направления предопределил известный факт, что пластичность не свойство, а состояние деформируемого металла. Основные технологические и конструкторские особенности, выявленные для разработки новых процессов, были реализованы на Ступинском металлургическом комбинате, в ВИЛСе и др. Кафедра завоевала авторитет и признание среди специалистов в области физики и техники высоких давлений. Этому способствовало значительное количество публикаций в периодической печати и участие во всесоюзных и отраслевых конференциях.

С 1969 г. резко возрос объем хозяйственных и государственных НИР в области гидропрессования. В это время были успешно завершены исследования гидропрессования алюминиевых сплавов.

Примерно с этого времени начинаются работы в области гидропрессования титановых жаропрочных и тугоплавких сплавов. Разработана технология гидропрессования прутков малого диаметра из сплава ЖС6-КП — основного сплава для авиационных газотурбинных двигателей. Для расчета технологических параметров гидропрессования с нагревом заготовки понадобились данные о свойствах рабочих сред, передающих давление, запасе пластичности металлов в зависимости от гидростатического давления и механике пластического течения в очаге деформации при выдавливании заготовки. Проведены соответствующие исследования, которые обобщены в монографии "Гидропрессование металлов" (А. И. Колпашников, В. А. Вялов. М.: Металлургия, 1973. 296 с.).

С этого времени работы на кафедре в области гидропрессования получили два самостоятельных направления: формирование заготовок для штамповки лопаток ГТД из титановых и жаропрочных сплавов и формирование металлических композиционных материалов. Эти направления возглавили

кандидаты техн. наук А. А. Федоров и А. П. Петров. Изготовление заготовок под штамповку лопаток потребовало серьезных предварительных исследований в различных областях. При этом были установлены закономерности поведения рабочих сред на основе стеклографитовых составов, особенности формирования структуры и получения сверхмелкого зерна, установлены принципы расчета инструмента. Этот цикл исследований позволил к 1987 г. обосновать теоретически и установить закономерности формирования титановых и жаропрочных сплавов, что послужило основой для разработки принципиально новых технологических процессов изготовления лопаток ГТД. Проекты были реализованы на МВ "Союз", ММЭ им. Е. Я. Климова и др.

Формирование металлических КМ позволило наиболее полно раскрыть преимущества гидропрессования. В этом направлении потребовалось разработать математические модели совместного пластического течения многокомпонентных сред, создать новые экспериментально-расчетные методы изучения течения КМ при горячем гидропрессовании, изучить реологию и физико-химическое взаимодействие компонент КМ.

В 1977 г. вышла в свет монография "Горячее гидропрессование металлических материалов" (А. И. Колпашников, В. А. Вялов, А. А. Федоров, А. П. Петров. М.: Машиностроение).

Оригинальность и новизна технических решений защищена более чем 40 авторскими свидетельствами на изобретения. В 1986 г. научному руководителю работ в области гидропрессования А. И. Колпашникову присвоено звание лауреата Премии Совета Министров СССР "За создание оборудования и способов производства методами гидростатической обработки при высоких давлениях изделий из труднодеформируемых материалов".

Научная работа в области гидропрессования, как и по другим направлениям кафедры, тесно связана с учебным процессом и воспитанием новых поколений ученых.

В середине 60-х годов на кафедре была разработана оригинальная технология производства особо прочной коррозионно-стойкой проволоки, построенная на оптимизации деформационных температурных условий волочения. Она обеспечивала, казалось бы, парадоксальный эффект стали аустенитного класса, которая упрочняется только легированием и холодной пластической деформацией: получена тонкая проволока с полностью завершенным в процессе деформации аустенитно-мартенситным превращением (мартенсит деформации). Это обеспечивало значительный дополнительный эффект упрочнения в результате старения. Временное сопротивление разрыву (при комнатной температуре) проволоки из стали X18H9T удалось увеличить от 1750 до 2100 МПа.

Эта разработка была выполнена В. Ф. Мануйловым под руководством А. И. Колпашникова. Результаты исследований позволили увеличить прочность проволоки (сталь 1X15H4AM3) до 3600—4000 МПа.

Сотрудники кафедры А. И. Колпашников, В. Ф. Мануйлов, Е. В. Ширяев и В. С. Соколов выполнили первый цикл исследований определения оптимальных условий получения армированных листов горячей прокаткой, результаты которых были положены в основу первого Постановления Совета Министров СССР (1970 г.) в качестве доказательных данных перспективности данного направления, инициированного отраслевым институтом ВНИИсталь.

Разработанная к этому времени технология листовой прокатки сталеалюминиевых композиционных материалов (листы и плиты) была внедрена на ряде предприятий общего машиностроения и на Заводе легких сплавов (ЗЛС). На базе расчетных данных создана и внедрена (1977 г.) в производство на ЗЛС технология прокатки бороалюминиевых листов с широкой гаммой матричных составляющих и объемных долей волокон.

Для изготовления изделий пространственных форм (профилей и др.) из композиционных материалов, в которых вместо точечных механических соединений должны быть сварные соединения, разработаны слоисто-волоконистые композиционные материалы (СВКМ) и технология пластической гибки с комбинированным жесткоэластичным подпором листовых армированных заготовок при изготовлении профилей.

В 1983 г. совместно со Специальным конструкторским бюро (СКБ) ИМЕТ АН СССР сотрудники кафедры разработали технологии компактирования бороалюминиевых труб и соединения их различными металлическими законцовочными элементами, а также конструкций бесприводных установок термокомпрессионного деформирования.

В 1980—1990 гг. разработаны математические модели процессов печного и ТЭНового нагрева термокомпрессионных установок, с помощью которых установлена взаимосвязь параметров нагрева и деформационного режима компактирования сборных заготовок. Расчетные данные послужили основой для оптимизации существующих конструкций установок и были использованы при создании нового поколения двухъярусных термокомпрессионных установок. На основе математического моделирования обоснованы схемы размещения и функциональное назначение центрального и периферийных ТЭНов, определены режимы нагрева установки и разработана концепция управления режимами компактирования.

В конце 90-х годов на кафедре разработан целый ряд новых технологических процессов производства армированных листов, труб, цилиндрических оболочек, гнутых профилей. Все процессы разработаны

на основе критериальной системы. Процессы компактирования рассматриваются как двухстадийные. На первой стадии происходит компактирование заготовки, на второй — формирование прочного соединения компонентов. Для реализации вышеназванной схемы спроектированы и изготовлены опытные деформационные установки, конструкция которых учитывает специфику ВКМ. На новые способы получения изделий и полуфабрикатов из ВКМ получены восемь патентов на изобретения РФ и поданы две заявки на изобретение.

В течение 25 лет по направлению "Теория и технология композиционных материалов" опубликованы два справочника, два учебных пособия, пять монографий, том энциклопедического справочника "Машиностроение" по технологии композиционных материалов. Кроме того, опубликованы более 170 научных статей, технологических рекомендаций, получены 47 авторских свидетельств и 8 патентов РФ на изобретения. Сотрудники кафедры принимали участие в научно-технических конференциях государственного масштаба, международных конференциях и семинарах, выставках. Ряд разработок награждены медалями ВДНХ СССР.

В 1991 г. Указом Президиума Верховного Совета РФ д-ру техн. наук В. Ф. Мануйлову — проректору института по учебной работе — присвоено звание "Заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации".

В начале 60-х годов были проведены первые эксперименты по литью гранул из алюминиевых сплавов и изготовлению из них прессованных профилей и листов. Они показали высокую эффективность гранульной технологии. Так, например, содержание железа в алюминиевых сплавах обычно ограничивается десятыми долями процента, гранульная технология позволила получить сплавы системы алюминий—железо с содержанием железа более 13 %, причем грубые интерметаллиды в структуре сплава отсутствовали, а профили и листы обладали высокими прочностью и пластичностью.

Особенность структуры гранул и наличие оксидной пленки на их поверхности способствовали разработке оптимального технологического процесса производства полуфабрикатов и изготовления из них изделий с повышенными эксплуатационными свойствами.

Аспекты металловедения и обработки металлов давлением нашли широкое отражение в работах, направленных на повышение механических свойств высокопрочных алюминиевых сплавов. Изучена кинетика расплава пересыщенного твердого раствора, образующегося при литье гранул, на основании чего предложены температурно-временные параметры дегазации гранул и прессования из них полуфабрикатов. С учетом разработанных технических условий

выпущена промышленная партия полуфабрикатов и изделий.

В 1970—1975 гг. выполнялся комплекс исследований по использованию вторичных алюминиевых сплавов. Необходимость данных исследований вызвана большими неиспользованными запасами вторичного алюминия. Полуфабрикаты, полученные из гранул вторичных литейных алюминиевых сплавов (АЛЗЧ, АЛ9Ч, АЛЗ-9В), по своим механическим свойствам не уступали полуфабрикатам из кондиционных деформируемых алюминиевых сплавов, имели высокую коррозионную стойкость и свариваемость. По результатам работ опубликована монография "Гранулированные материалы", которая явилась первым изданием, посвященным гранулированию металлических материалов.

Возможность производства прессованных полуфабрикатов из вторичных литейных алюминиевых сплавов легла в основу разработки высококремнистых сплавов, предназначенных для производства поршней форсированных двигателей. Разработана технология производства прутков и штамповки из них поршней для гоночных мотоциклов и мотоциклов сопровождения. На Красноярском алюминиевом заводе изготовлена партия (5 т) прутков, из которых изготовлены поршни, предназначенные для использования в современных танках. Предварительные стендовые испытания свидетельствовали о повышении ресурса работы поршней более чем на 25 %.

Наряду с технологическими разработками значительное внимание уделялось конструированию прессового инструмента, обеспечивающего снижение анизотропии механических свойств полуфабрикатов из гранул и порошков. Разработаны комбинированные матрицы и матрицы с винтовыми каналами, существенно улучшающими схватывание гранул и порошков за счет интенсификации сдвиговых деформаций при прессовании.

Работы по гранулированию металлических материалов не ограничивались только алюминиевыми сплавами. Была подтверждена перспективность разработки материалов из гранул сплавов на никелевой, медной и магниевой основах.

Большое количество научно-исследовательских работ (более 90), выполненных сотрудниками кафедры совместно с предприятиями авиационной и оборонной промышленности, внедрены в производство с высокой технико-экономической эффективностью. Результаты работ использовали для чтения лекций по курсу "Композиционные материалы", в лабораторном практикуме, представляли на различных конференциях и периодически освещались в печати. Получены более 150 авторских свидетельств на сплавы, способы и установки для литья гранул, инструмент, способы прессования и др.

Подготовлены и выпущены технологические рекомендации для отрасли, опубликованы более 600 научных статей, монографий, учебных пособий и учебников для вузов, четыре сотрудника кафедры награждены знаками "Изобретатель СССР", многие преподаватели, сотрудники и студенты награждены медалями ВДНХ СССР.

С 1990 г. по настоящее время кафедру возглавляет академик АТН, профессор, д-р техн. наук А. П. Петров, который в 2001 г. был избран ректором университета — первым ректором, являющимся выпускником МАТИ. За этот непростой для страны период кафедра не утратила своих лидирующих позиций. Наряду с традиционными научными направлениями сформировалось новое, посвященное изучению систем автоматизированного проектирования технологических процессов обработки металлов давлением. В работах сотрудников кафедры широкое применение нашли различные теоретические методы исследования пластического течения, основанные на формализованной теории пластичности.

Мощным толчком для дальнейшего развития этого направления явились разработка собственного пакета конечно-элементного анализа процессов ОМД, а также появление на кафедре в конце 80-х годов первых персональных компьютеров. Помимо математического моделирования с появлением современных вычислительных средств стали активно осваиваться системы геометрического моделирования, сетевые технологии и системы управления базами данных. Для успешного освоения информационных технологий важную роль сыграла кадровая политика кафедры, благодаря чему ряд ее сотрудников прошли стажировку в отечественных и зарубежных университетах и учебных центрах. Параллельно с ростом кадрового потенциала кафедра стала наращивать программно-аппаратную базу CAD/CAM/CAE/PDM-систем.

В начале 90-х годов на кафедре выполнены научно-исследовательские работы по автоматизации проектирования процессов ОМД совместно с НИАТом, Московским институтом теплотехники (МИТ), Машиностроительным заводом ОКБ им. Сухого, Институтом системного анализа РАН. Расширился круг связей с фирмами-разработчиками и дилерами программного обеспечения. Плодотворно развиваются деловые отношения с фирмой "Квантор" — разработчиком лучшей отечественной системы для конечно-элементного анализа процессов ОМД, фирмой "Тесис" — разработчиком и дилером лучших зарубежных систем автоматизированного проектирования и анализа процессов ОМД, НИЦ АСК — разработчиком отечественной системы геометрического моделирования "Кредо".

В настоящее время кафедра оснащена двумя сетевыми дисплейными классами, лицензионным программным обеспечением, среди которого пакет ко-

нечно-элементного анализа Qform (сетевой версией на 10 рабочих мест), Unigraphics (сетевой версией на 10 рабочих мест), система твердотельного геометрического моделирования SolidWorks, система поверхностного геометрического моделирования "Кредо", система технологической подготовки производства T-Flex ТехноПро, PDM-система T-Flex Докс и др. За последние годы в научных журналах "Технология машиностроения", "Цветные металлы", "Автоматизация проектирования", "Технология легких сплавов", "Авиационная промышленность" и др. опубликован ряд статей сотрудников кафедры, посвященных автоматизации проектирования и моделированию процессов ОМД. В 2000 г. сотрудники кафедры разработали автоматизированную систему технологической подготовки листоштамповочного производства в АООТ ОКБ "Сухого". В настоящее время в ГКНПЦ им. М. В. Хруничева выполняется контракт на создание автоматизированной системы технологической подготовки кузнечно-штамповочного производства. С середины 90-х годов сотрудники кафедры регулярно выигрывают гранты Министерства образования РФ, в рамках которых проводятся исследования по математическому моделированию процессов ОМД.

65-летие кафедры встречает хорошо сбалансированным коллективом, где наряду с ветеранами работает много молодежи (средний возраст преподавателей — около 47 лет). В настоящее время на кафедре работают доктора техн. наук А. П. Петров, В. И. Галкин, А. А. Федоров, А. Е. Шелест, кандидаты техн. наук А. С. Кирилянчик, В. С. Соколов, С. В. Сухов, С. С. Родченков, А. В. Ефремов, М. Б. Силин, В. А. Евсеев, А. В. Беспалов, А. В. Соколов, А. Р. Палтиевич, В. В. Еремеев, Е. Д. Вейнгерова, М. В. Жаров, Т. В. Забурдаева, канд. экон. наук В. В. Захарова, доцент С. А. Баберцан, старший преподаватель Е. В. Преображенский, аспиранты А. О. Анохин, Д. А. Карамавров, О. Ф. Великова, И. С. Казимов, учебный мастер О. Б. Каледин, лаборант Ф. А. Корчагинский.

За годы работы коллектив кафедры подготовил более 4200 инженеров по различным специализациям обработки металлов давлением, выпускники кафедры защитили более 100 кандидатских диссертаций, а десять из них — докторские. Среди выпускников крупные руководители в министерствах, научно-исследовательских и учебных институтах, на предприятиях.

Сотрудники кафедры были и остаются надежными партнерами, готовыми активно разрабатывать и внедрять новые технологии.

А. П. ПЕТРОВ, д-р техн. наук, ректор,

В. С. СОКОЛОВ, канд. техн. наук
"МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского

В. И. ГАЛКИН, д-р техн. наук, Е. В. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ, инж.
"МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского

Перспективы получения бесшовных оболочек из волокнистых композиционных материалов

В течение последних десятилетий в авиации и космонавтике для уменьшения массовых и габаритных характеристик летательных аппаратов активно используют композиты. Замена традиционных сплавов армированными материалами позволяет в несколько раз повысить удельные прочность и жесткость конструкций. Кроме того, волокнистые композиционные материалы (ВКМ) обладают повышенным сопротивлением против распространения трещин и высокой ударной вязкостью, а следовательно, способствуют существенному увеличению срока эксплуатации изделий.

Основными видами продукции, затребованными в авиакосмической промышленности, являются армированные листы, профили и трубные изделия, в том числе оболочки. Последние применяют в качестве переходных отсеков, кожухов двигателей, опор стабилизаторов и т. п. Замкнутый контур оболочки позволяет нести большую нагрузку по сравнению с профилем, поэтому еще одна сфера применения оболочек — элементы жесткости. Таким образом, оболочки из ВКМ являются деталями ответственного назначения, в связи с чем возникает задача оптимального выбора технологического процесса их изготовления.

В настоящее время существует ряд методов производства композитов. Для упрочнения металлических матриц хрупкими волокнами наиболее приемлемыми считаются твердофазные процессы: прокатка, волочение, термокомпрессия, изостатическое прессование и др. [1]. Прокатка весьма досконально изучена и широко освещена в литературных источниках [1—3]. С точки зрения производст-

ва армированных оболочек прокатка обладает рядом недостатков: требуется дополнительная операция — гибка катаных листов, которая зачастую приводит к дроблению волокон; соединение в оболочку полученных секций осуществляется с помощью клепки, причем для повышения жесткости возникает необходимость усиления конструкции (с помощью профилей), в результате чего практически полностью нивелируется главное преимущество ВКМ — низкий удельный вес, а также проявляется сложность в обеспечении герметичности. Поэтому для производства армированных оболочек целесообразно использовать такие способы, которые позволили бы получить бесшовное изделие. Рассмотрим их подробнее.

Процесс волочения (рис. 1) заключается в том, что заготовку, состоящую из слоев фольги и волокон (плазменных лент), собирают на оправке, нагревают и с заданной скоростью пропускают через волоку. Компактирование осуществляется за один проход; особенно важную роль здесь занимает точный расчет технологических параметров, препятствующих удлинению трубы (т. е. обрыву или пластической деформации волокон). Отрицательным моментом является ограничение диаметра получаемых изделий и сложность переналадки волочильной установки.

Термокомпрессия (рис. 2) — способ, основанный на разнице температурных коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) деталей оснастки. Сущность процесса заключается в следующем. Заготовку, собранную на оправке, помещают внутрь термокомпрессионной установки. При нагреве со стороны сердечника по всему внут-

реннему диаметру и за счет вкладышей с высоким ТКЛР создается необходимый подпор. Благодаря постоянному давлению и изотермическим условиям достигается хорошее качество трубных изделий. Однако переход на другой типоразмер требует переналадки оборудования. Также следует отметить, что термокомпрессией изготавливают изделия длиной, как правило, не более 1 м, что связано с конструктивными особенностями установки. Помимо этого, тех-

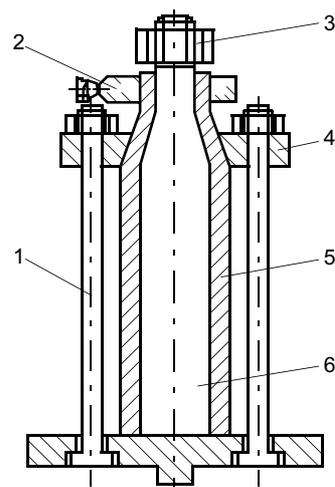


Рис. 1. Схема волочения ВКМ: 1 — стяжки; 2 — фиксатор; 3 — захват; 4 — волока; 5 — заготовка; 6 — оправка

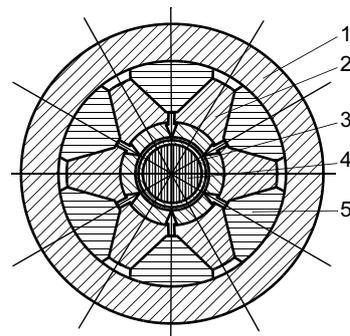


Рис. 2. Термокомпрессионная установка: 1 — обойма; 2 — подвижный клин; 3 — заготовка; 4 — сердечник; 5 — вкладыш

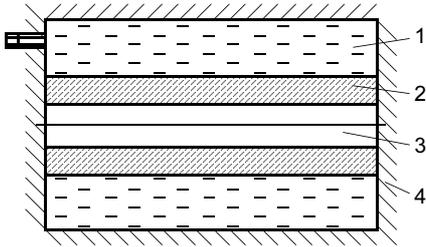


Рис. 3. Гидростатическое прессование: 1 — среда (жидкость); 2 — заготовка; 3 — оправка; 4 — контейнер

нологический цикл занимает длительный промежуток во времени.

Газо- и гидростатическое прессование (рис. 3) базируется на принципах диффузионной сварки. Контроль среды (вакуумирование), температуры, давления и времени выдержки позволяет гарантированно получать изделия из ВКМ с прочной связью между компонентами и сохранением сплошности большинства волокон. Недостатками подобных процессов являются сложность, а порой и невозможность их осуществления для производства крупных оболочек, а также низкая производительность.

Таким образом, наряду с неоспоримыми преимуществами используемые в настоящее время технологические схемы имеют недостатки. В основном это невысокая производительность и проблематичность производства оболочек большого диаметра. Поэтому представляется актуальной задача поиска новых решений изготовления бесшовных трубных изделий из ВКМ, одним из которых может стать обкатка.

Обкатку предлагается проводить в следующей последовательности. На полой оправке или непосредственно на валке намоткой размещают заготовку, представляющую собой чередующиеся слои фольги матричного материала и плазменной ленты с волокнами. При необходимости слои скрепляют точечной сваркой. Заготовку нагревают; затем в валках, сжатых с определенным усилием и вращающихся с заданной скоростью, ее компактируют за один проход.

Теоретическое обоснование разрабатываемого процесса мож-

но получить, применив критериальные выражения для пластического деформирования композитов [2]. При этом следует иметь в виду, что многие выкладки, относящиеся к однопроходной прокатке ВКМ, могут быть свободно перенесены на процесс обкатки (рис. 4).

Согласно критерию полного уплотнения, степень деформации, необходимая для достижения компактного строения заготовки и контакта соединяемых поверхностей, должна соответствовать коэффициенту неплотности заготовки $\varepsilon \geq K_{\text{нп}}$, т. е. отношению суммарного объема пустот к полному объему, рассчитанному по контуру заготовки. В этом случае требуется обеспечить практически полное отсутствие пор в ВКМ, однако необходимо учитывать, что при деформации в валках шаг укладки волокон возрастает.

При обкатке с использованием односторонних плазменных лент справедливо равенство [2]

$$K_{\text{нп}} = \frac{8h_n S \rho_m - 2d_f^2 \rho_m + [4d_f S(1 - \cos\phi_k) - \rightarrow - d_f^2(2\phi_k - \sin 2\phi_k)](1 - \rho_m)}{8(h_n + h_\phi) S}$$

где h_n , h_ϕ — толщина плазменной ленты и фольги соответственно; S — шаг укладки волокон; ρ_m — пористость ленты; d_f — диаметр волокон; ϕ_k — угол, оп-

ределяющий свободную от матрицы часть волокна.

Поскольку деформация неразрывно связана с приложенным усилием, первый критерий можно охарактеризовать следующим образом: $p \geq \sigma_{sci}^*$ (p — прикладываемое давление; σ_{sci}^* — напряжение компактирования ВКМ, т. е. среднее напряжение течения материала матрицы в композите, обеспечивающее полное уплотнение заготовки при заданных температурно-скоростных режимах технологического процесса).

Контроль прикладываемого давления вместо относительной деформации более эффективен для обработки ВКМ, поскольку постоянство зазора между валками не гарантирует получения качественного изделия. Действительно, при имеющихся погрешностях собранной заготовки (например, известно, что толщина плазменной ленты колеблется в пределах $\pm 10\%$) может произойти либо недокомпактирование, либо, наоборот, превышение допустимого усилия, которое определяется вторым критерием. То есть для учета специфики производства ВКМ оптимальным вариантом был бы прокатный стан, позволяющий управлять не расстоянием между валками, а необходимым усилием процесса.

Критерий сохранения сплошности волокон записывается в виде $p < \sigma_{f\perp}$ ($\sigma_{f\perp}$ — сопротивление волокна разрушению при поперечном сжатии).

Хрупкие упрочнители в процессе деформации подвержены разрушению. Существует понятие критической длины волокна, больше которой армирующие элементы положительно влияют на прочность композиции. Тем не менее, следует стремиться сохранить целостность всех волокон. Это позволит наиболее полно реализовать эффект армирования и избежать быстрого разрушения композита по принципу "слабого звена".

Критерий предупреждения термического разупрочнения волокон связан с предотвращением снижения прочности более чем

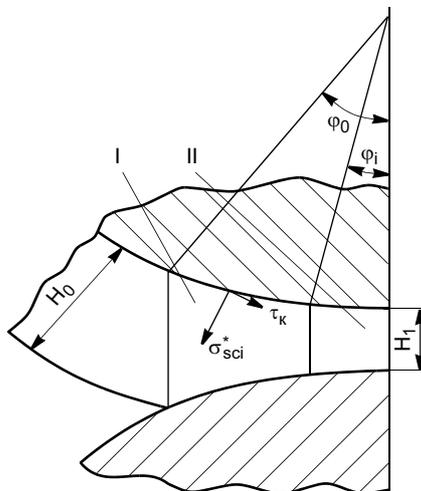


Рис. 4. Схема очага деформации: I, II — зоны полного уплотнения заготовки и дополнительного обжатия соответственно

на 5—10 % при повышенной температуре деформации: $T_d < T_{н.р}$ ($T_{н.р}$ — температура начала активного разупрочнения волокон).

Таким образом, температура должна обеспечить высокую пластичность матрицы и ускорить активацию участков соединяемых поверхностей, но в то же время не приводит к ослаблению волокон.

Критерий формирования прочного соединения определяет время, необходимое для образования связи между составляющими ВКМ:

$$t_d \geq t_{фк} + t_a + t_p,$$

где t_d — время деформирования заготовки; $t_{фк}$ — длительность образования полного физического контакта; t_a — длительность активации контактирующих поверхностей; t_p — длительность реакционного взаимодействия.

Для большинства композиций появление хрупких фаз (интерметаллидов) в результате объемного химического взаимодействия недопустимо, т. е. $t_p = 0$. Теоретический расчет параметра t_a [3] демонстрирует неудовлетворительные результаты, поэтому время деформации обычно выбирают экспериментальным путем.

Для процесса обкатки рассмотренный критерий напрямую связан со скоростью вращения валков. Разделим зону очага деформации на два участка (см. рис. 4), предположим, что на первом происходит полное уплотнение заготовки ($K_{нп} \rightarrow 0$), а на втором — образование прочной связи. Тогда скорость прохода металла через зев валков $V \leq \frac{l_2}{t_a}$ (l_2 — длина дуги второй зоны очага деформации, равная $\sqrt{R\Delta h_{доп}}$; R — радиус валков; $\Delta h_{доп}$ — дополнительное абсолютное обжатие, совершаемое в зоне II).

Учитывая, что $V = 2\pi RN$, необходимая частота вращения валков

$$N = \frac{1}{t_a} \sqrt{\frac{\Delta h_{доп}}{4\pi^2 R}}.$$

Поскольку входящие в последнее уравнение параметры трудно регулировать — $\Delta h_{доп}$ лимитируется вторым критерием, а время t_a обычно весьма велико, так как требуется, чтобы успело произойти схватывание волокон с матрицей (например для пары АД1—бор $t_a > 0,05$ с), практическая реализация процесса на стандартном прокатном стане (с высокой скоростью) затруднена. Ввиду изложенного появляется необходимость применять специализированное оборудование, которое, во-первых, позволяло бы контролировать прикладываемое усилие, а во-вторых, обеспечивало заданный температурный и скоростной режимы.

Наряду с этим анализ по критериальной системе и сведения о поведении ВКМ при компактировании ставят несколько дополнительных задач для исследования. Прежде всего, необходимо количественно определить изменение шага укладки волокон, ведущего в конечном итоге к увеличению диаметра продольно-армированной оболочки. Затем изучить возможность образования гофр, связанных с неплотной намоткой заготовки, и появление нахлеста (заката) на завершающей стадии. Наконец доказать состоятельность процесса для производства относительно крупных оболочек.

Последний пункт очень существенен, потому что, как уже отмечалось, одним из главных недостатков имеющихся процессов является ограничение размеров получаемых трубных изделий.

Обкатку оболочек большого диаметра предлагается реализовать следующим образом (рис. 5). Заготовку собирают на предварительно смазанной оправке, представляющей собой пустотелую трубу; намотку производят поочередно: слой фольги матричного материала, слой плазменной ленты. Далее оправку зажимают в валках, один из которых располагается внутри нее. В печи сопротивление заготовку нагревают до требуемой температуры, после чего через цапфы валков передается

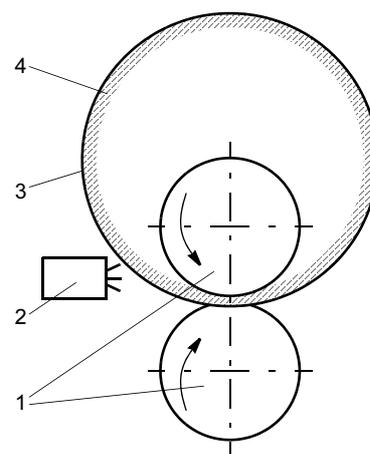


Рис. 5. Принципиальная схема обкатки: 1 — валки; 2 — нагревательное устройство; 3 — заготовка; 4 — оправка

нагрузка, равная напряжению компактирования. Обкатку производят в изотермических условиях путем вращения валков с заданной скоростью за один проход. Учитывая, что в ходе деформации увеличивается шаг укладки волокон, т. е. диаметр оболочки становится больше, готовое изделие легко снимается с оправки.

Увеличение диаметра является также и отрицательным моментом: допуск на данный размер может оказаться завышенным. В связи с этим необходимо контролировать изменение шага укладки. Очевидно, этот параметр зависит не только от свойств материала, объемной доли волокон, температуры и скорости процесса, но и от "случайных" отклонений по толщине заготовки, появляющихся в результате неточностей при сборке. Следовательно, необходимо опытным путем выявить закономерности изменения шага укладки, которые в дальнейшем позволят задавать диаметр оправки для получения точного размера оболочки.

Однако осуществление экспериментов осложнено дороговизной компонентов ВКМ, поэтому часть исследований целесообразно проводить с помощью математического моделирования, используя метод конечных элементов (МКЭ).

В работе применяли универсальный пакет анализа Ansys

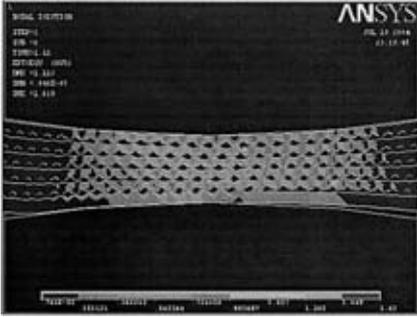


Рис. 6. Моделирование обкатки в программе Ansys

(рис. 6). Модели отличались как технологическими параметрами (прикладываемое усилие, скорость), так и геометрией (число слоев волокон, начальный шаг укладки S , диаметр валков, размерность). Температуру задавали постоянной, что соответствует изотермическим условиям. Такое приближение допустимо, поскольку скорость обкатки низка и практически не приводит к деформационному разогреву металла.

В качестве основных материалов при математическом моделировании использовали матрицу из технического алюминия АД1 и

борные волокна. Такой выбор объясняется как доступностью данных материалов для последующей экспериментальной проверки, так и наличием обширной информации об их свойствах и поведении в ходе деформации.

Свойства задавали следующим образом. Алюминиевую составляющую описывали вязкопластической моделью Ананда [4], которая учитывает скорость деформации, наклеп, температуру и др. Для волокон бора принимали во внимание только упругую деформацию. Инструмент (валки) во всех случаях считался жестким, т. е. не подвергался деформированию.

Обкатку моделировали в два этапа. На первом валки сжимали заготовку, как следствие в очаге деформации происходило ее компактирование. Второй этап заключался собственно в обкатке, т. е. валки вращались с заданной скоростью, при этом приложенное усилие сохранялось постоянным. В результате такого подхода удалось сделать несколько существенных выводов относительно поведения составляющих ВКМ в процессе его получения.

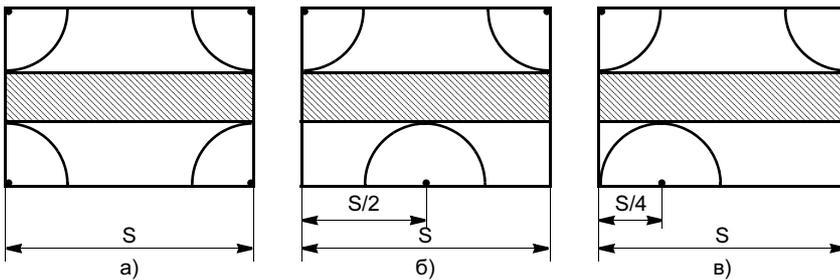


Рис. 7. Варианты взаимного расположения волокон смежных рядов: а — без смещения; б — со смещением $S/2$; в — со смещением $S/4$

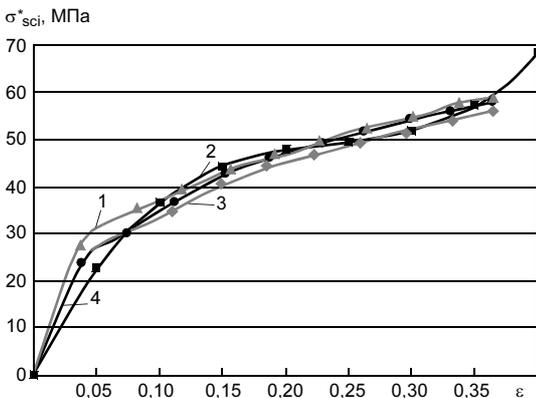


Рис. 8. Напряжение компактирования при уплотнении заготовки ВКМ: 1 — без смещения; 2 — аппроксимация; 3, 4 — смещение по шагу $S/2$ и $S/4$ соответственно

Так, стало возможным определить среднее напряжение течения матричной составляющей в ячейке композита σ_{sci}^* в зависимости от начального расположения волокон соседних рядов относительно друг друга (рис. 7).

Видно (рис. 8), что наименьшее сопротивление деформации оказывает материал, когда волокна по слоям находятся в шахматном порядке (S/2). Напротив, если армирующие элементы оказываются друг под другом (без начального смещения), потребуется большее усилие, так как осложняется течение матричного материала.

Полученные зависимости предлагается применять в виде полинома третьей степени

$$\sigma_{sci}^* = a\varepsilon + b\varepsilon^2 + c\varepsilon^3, \quad (1)$$

где a, b, c — коэффициенты аппроксимации (см. таблицу).

Указанное аппроксимирующее выражение позволяет найти σ_{sci}^* для любой точки деформируемой заготовки на дуге захвата. Однако при обкатке взаимное положение волокон соседних рядов на входе в очаг деформации будет различным, что связано с увеличением диаметра слоев заготовки от внутренних к внешним. Поэтому, вероятно, следует выбрать коэффициенты аппроксимации по самому энергоемкому варианту (без смещения). Тогда можно быть уверенным, что прикладываемое давление приведет к полному компактированию заготовки.

Для расчета необходимого усилия следует рассмотреть элементарный участок на границе заготовка—инструмент. Учитывая влияние сил трения и напряжение со-

Смещение шага укладки волокон	Коэффициенты аппроксимации для ВКМ АД1—бор при объемной доле волокон $V_f = 30\%$, МПа		
	a	b	c
Без смещения	601,5	-2515,2	3652,9
S/4	537,77	-2048,1	2805,5
S/2	536,56	-2136,9	3020,5
Сборная заготовка	558,61	-2233,4	3159,6

противления материала, можно записать

$$P = \frac{Bl}{\varphi_0} \int_0^{\varphi_0} (\sigma_{sci}^* \cos \varphi + \tau_k \sin \varphi) d\varphi, \quad (2)$$

где φ_0 — угол, соответствующий длине дуги захвата l ; B — ширина заготовки (высота оболочки); τ_k — напряжение контактного трения, равное $\mu \sigma_{sci}^*$; μ — коэффициент трения.

Подставив найденное аппроксимирующее выражение (1) в зависимость (2) и проинтегрировав его, получим полное усилие обкатки

$$P = \frac{2R}{H_0} \frac{Bl}{\varphi_0} \int_0^{\varphi_0} \left(a(\cos \varphi - \cos \varphi_0) + b \frac{2R}{H_0} (\cos \varphi - \cos \varphi_0)^2 + c \left(\frac{2R}{H_0} \right)^2 (\cos \varphi - \cos \varphi_0)^3 \right) \times (\cos \varphi + \mu \sin \varphi) d\varphi,$$

где H_0 — толщина заготовки; R — приведенный радиус, равный $\frac{2R_1R_2}{R_1+R_2}$; R_1, R_2 — радиусы оправки и вала соответственно.

Известно, что в случае прокатки в валках разного диаметра от усилия зависит направление изгиба полосы на выходе [5]. Чем значительнее увеличивается относительное обжатие, тем вероятнее, что полоса изогнется на валок большего диаметра. Однако при обкатке ВКМ (рис. 9) допустимое усилие ограничено по второму критерию поперечной прочностью волокон. Таким образом, из-за имею-

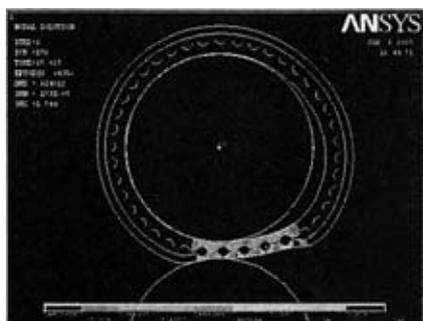


Рис. 9. Изгиб на выходе из валков

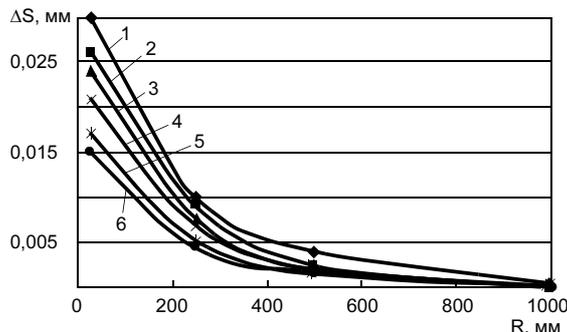


Рис. 10. Зависимость шага усадки от приведенного радиуса валков и объемной доли волокон: 1—6— V_f равна 25, 30, 35, 40 (аппроксимация), 45 и 50 % соответственно

щего место неравенства обжатий, совершаемых валком и оправкой (бóльшего диаметра), скомпактированная часть получаемой армированной оболочки будет стремиться изогнуться на валок. Поэтому возникает опасность разрыва заготовки на выходе из очага деформации. Это особенно критично в начальный момент обкатки, т. е. когда препятствовать изгибу уже уплотненной части ВКМ должны отдельные слои фольги и плазменной ленты.

Для решения поставленной задачи при анализе напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе обкатки применяли МКЭ. С его помощью удалось показать, что применение двух приводных валков снижает риск образования обратного изгиба и обрыва заготовки. На практике для избежания этого явления допустимо применять проводки, либо (по возможности) более прочный матричный материал (например в качестве внешнего слоя), либо закреплять оправку на нижнем валке для учета силы тяжести. Возможно также собирать заготовку на внутреннем диаметре оправки, хотя эта схема признана нетехнологичной.

При дальнейшем моделировании процесса обкатки найденные параметры (давление, температуру и скорость) использовали для определения изменения шага усадки. Главным образом изучали влияние радиуса оправки и объемной доли волокон. В последнем случае выбирали различную толщину матричных прослоек и начальный шаг (промышленностью налажен выпуск плазменных лент с шагом усадки волокон 200 мкм).

Первоначально можно предположить, что увеличение количества волокон в единице объема (ввиду их воздействия как "внутреннего инструмента") однозначно ведет к торможению изменения шага. Тем не менее, для компактирования в этом случае потребуется большее усилие, а значит, больше энергии будет передано на перемещение волокон. Влияние радиуса оправки более очевидно. Увеличение протяженности очага деформации, а вместе с ним и поверхностных сил трения между инструментом и заготовкой препятствуют ее удлинению.

Математическое моделирование подтвердило высказанные предположения: увеличение приведенного радиуса или объемной доли волокон ведет к снижению интенсивности изменения шага усадки (рис. 10).

Аппроксимирующее выражение выглядит следующим образом:

$$\Delta S = 0,04e^{-0,005R}(1 - V_f).$$

Зная изменение шага усадки волокон, легко определить необходимый диаметр оправки: $d_{опр} = \frac{dS}{S + \Delta S}$ (d — диаметр оболочки).

Численные решения, полученные МКЭ, позволили также определить допустимое отклонение величины прикладываемого усилия, не приводящего к большому изменению шага усадки волокон. Доказано, что превышение рабочего давления на 5 % не ведет к заметному увеличению диаметра оболочки.

Дополнительно благодаря моделированию удалось выявить зоны затрудненного течения метал-

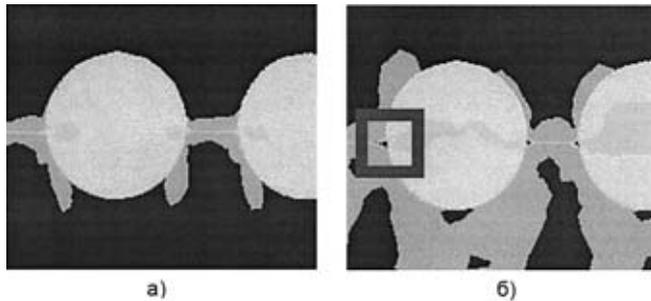


Рис. 11. Полное (а) и частичное (б) уплотнение заготовки

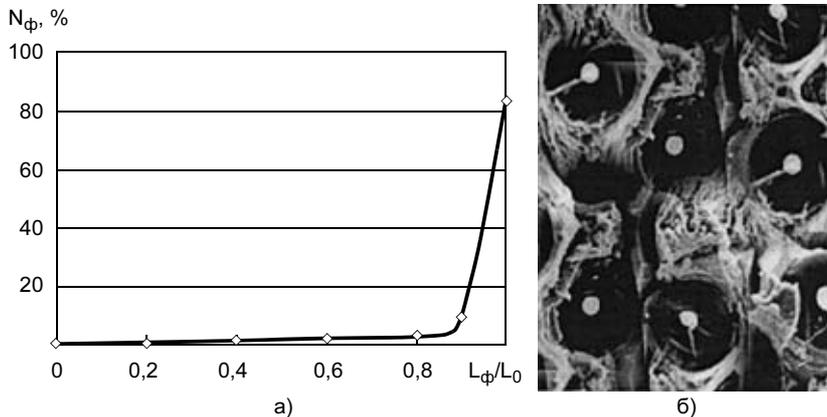


Рис. 12. Фракционный анализ (а) и фрактограмма поверхности разрушения ВКМ с прочной связью компонентов (б). $\times 100$

ла. Небольшие участки плазменных лент, находящиеся на границе волокна с напыленным материалом (в месте соединения с матричной фольгой), могут остаться незаполненными — в том числе по причине роста шага укладки (рис. 11). Согласно техническим условиям на изготовление бороалюминиевых листов, допускаются мелкие пузыри, непровары, конечная пористость. Тем не менее для улучшения прочностных свойств ВКМ коэффициенты аппроксимации напряжения компактирования определяли в данной работе для нагрузки, обеспечивающей полное уплотнение композита. В то же время информация о наличии данных зон послужила одним из критериев качества при металлографическом исследовании натуральных образцов.

Для проверки результатов математического моделирования провели серию экспериментов. За основу конструкции стана для обкатки взяли оборудование для однопроходной прокатки, которое,

не имея уравнивающих устройств, допускает регулирование прикладываемого усилия [6].

Заготовку собирали непосредственно на валке, на который предварительно наносили графитовую смазку. Температурный интервал для композиции АД1—бор составлял 480—520 °С (обкатку производили за один проход без повторного подогрева). Радиус валков $R = 27$ мм, ширина заготовки $B = 100$ мм, расчетное усилие 6,4 кН, скорость вращения валков 0,5 об/мин. Обкатку выполняли как по найденным значениям, так и с отклонением от них. Образцы исследовали на разрывной машине "Instron", оптическом микроскопе МИМ-7, для травления применяли 30 %-ный раствор NaOH.

Лабораторные испытания показали хорошее соответствие данным математического моделирования. В оболочках, полученных по расчетным параметрам, большинство волокон сохранили свою сплошность (рис. 12), на фрактограммах прослеживается стабиль-

ная связь компонентов, прочность на разрыв превышает 900 МПа ($V_f = 30 \%$). В то же время при повышенных давлениях наблюдалось частичное разрушение волокон, а при больших скоростях обкатки — плохая связь с матричной составляющей.

В ходе экспериментов изредка отмечались такие явления, как "закат" и обрыв заготовки. Их появление, по-видимому, можно объяснить неплотной намоткой, превышением удельного усилия, невозможностью поддерживать изотермические условия или низкой прочностью матричного материала (АД1). Обкатка с соблюдением технологических требований всегда обеспечивает получение качественных изделий.

Таким образом, установлена возможность применения обкатки для производства бесшовных оболочек из ВКМ¹. Несмотря на объективные отклонения, возникающие при сборке заготовки, найденные функциональные зависимости позволяют учесть многие факторы, влияющие на качество готового композита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колпашиников А. И., Арефьев Б. А., Мануйлов В. Ф. Деформирование композиционных материалов. М.: Металлургия, 1982. 248 с.
2. Композиционные материалы: Справочник / В. В. Васильев, В. Д. Протасов и др. / Под общ. ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского. М.: Машиностроение, 1990. 512 с.
3. Волокнистые композиционные материалы с металлической матрицей / М. Х. Шоршоров, А. И. Колпашиников, В. И. Костиков и др. / Под ред. М. Х. Шоршорова. М.: Машиностроение, 1981. 272 с.
4. Brown S. B., Kim K. H., Anand L. An Internal Variable Constitutive Model for Hot Working of Metals // International Journal of Plasticity. 1989. Vol. 5. P. 95—130.
5. Грудев А. П. Теория прокатки: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1988. 240 с.
6. Соколов А. В. Разработка и исследование процесса однопроходной прокатки листов из волокнистых композиционных материалов. Автореферат дис. ... канд. техн. наук. М.: МАТИ, 1999.

¹ Патент 2209131 (РФ).

П. А. ГОЛОВКИН, канд. техн. наук
(ФГУП «Государственный машиностроительный завод "Салют"»),
С. А. ФЕСЕНКО, инж.
(«МАТИ»—РГТУ им. К. Э. Циолковского)

Управление деформацией как инструмент обеспечения заданных структуры и свойств поковок из титановых сплавов

Разработка технологических процессов горячей объемной штамповки деталей из титановых сплавов по аналогии с труднодеформируемыми сталями предусматривает штамповку в черновом и чистовом ручьях (ОСТ 92-3980—76). Однако малая теплопроводность титановых сплавов часто делает такое технологическое решение неприемлемым, так как ведет к появлению дефектов типа "зажим" и застойных деформационных зон либо зон активных сдвиговых деформаций и деформационного разогрева.

Замена стальных высоконагруженных элементов изделий новой техники титановыми позволяет снизить их массу (~ в 1,73 раза), что при стоимости вывода на околоземную орбиту 1 кг груза 20 000—25 000 \$ США приносит адекватную выгоду. Однако задача получения качественных поковок из титановых сплавов осложняется их низкой теплопроводностью и узостью температурного интервала деформации, приводящих к риску несоответствия структуры и свойств получаемых деталей заданным требованиям.

Сочетание современных методов математического моделирования и традиционных металлографических методов как инструментов анализа и прогнозирования структуры и свойств готовых поковок позволяет существенно снизить расходы на освоение производства при одновременной гарантии их качества.

В данной работе исследовали процессы формообразования высоконагруженных кронштейнов Т-образной формы из сплава ВТ14 (рис. 1) на молоте м. п. ч. 3000 кг и Ш-образного кронштейна из сплава ОТ4-1 (рис. 2) на гидравлическом прессе с максимальным усилием 51,02 МН при скорости перемещения под-

вижной траверсы 30 мм/с. Исходные полуфабрикаты под штамповку — горячекатаные прутки.

Серийная технология получения Т-образного кронштейна включает нагрев до 930 °С в открытых газовых печах (допустимый температурный интервал деформации на молоте 960—800 °С (ОСТ 92-1185—78)). Штампы, разработанные в соответствии с работой [3], подогревали до 400 °С. Смазку осуществляли путем укладки стеклоткани и нанесением графитового порошка. Штамповку выполняли как в чистовой ручей, так и использованием предварительной черновой штамповки, охлаждение — на воздухе на шамотном полу.

Металлография полученных поковок выявила неприемлемо низкое качество их структуры, что не позволило получать кронштейны методом штамповки, и в течение длительного времени этот производственный вопрос оставался нерешенным. Согласно результатам проведенных с помощью программных продуктов Q-Form и DeForm-3DV5.1 расчетов и металлографического анализа поковок, в процессе их формообразования происходит неприемлемый (до 1080 °С) деформационный разогрев материала поковок (см. рис. 2), а при использовании также предварительных штамповочных ручьев возникают застойные недеформированные отожженные зоны. То есть имеет место несоответствие материала поковки по типу его структуры и/или степени деформационной проработки.

Высокопрочный ($\alpha + \beta$)-сплав ВТ14 [6] системы Ti—Al—Mo—V отличается значительной анизотропией свойств в нагартованном состоянии и повышенной чувствительностью к концентрации напряжений [1]. После закалки от температур выше $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превраще-



Рис. 1. Поковка Т-образного кронштейна

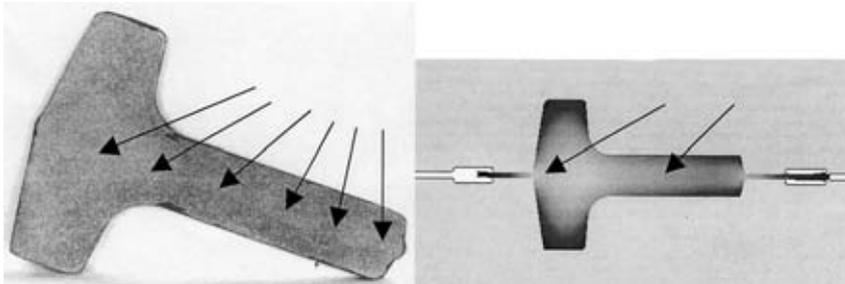


Рис. 2. Зона перегрева (показана стрелками) на поперечном темплете и в математической модели Т-образной поковки кронштейна

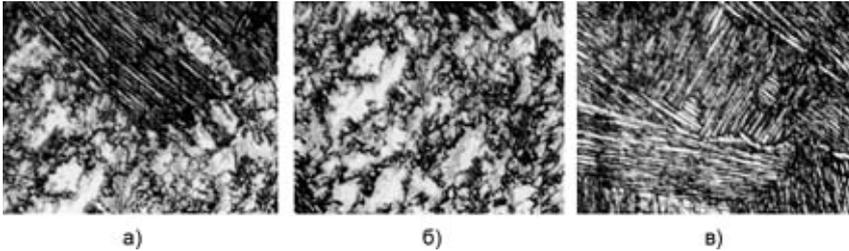


Рис. 3. Структура материала поковки: а — переходная зона; б — "перегретая корзинчатая"; в — мартенситная

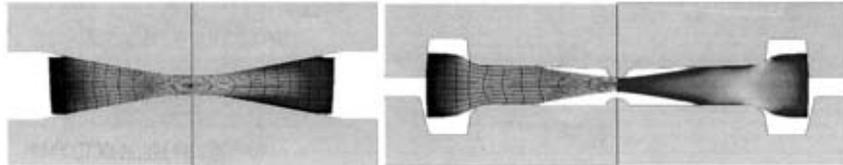


Рис. 4. Предварительное парное фасонирование исходной заготовки (слева) и последующая парная чистовая штамповка (справа) Т-образных поковок

ния (920—960 °С [1]) структура сплава представлена α -фазой (скрытая теплота превращения $\alpha \leftrightarrow \beta$ в титане составляет 2712 Дж/моль с точностью $\pm 10\%$ [2]), так что по структуре в закаленном состоянии сплав ВТ14 относится к мартенситному классу [6, 8]. Закалку на мартенсит проводили в воду с деформационного разогрева [3]. Однако превышение допустимой температуры материала поковки в зонах локализованных сдвиговых деформаций делает получение качественной мартенситной структуры поковок невозможным (рис. 3, а, б). В результате, если в зонах с допустимой температурой материала поковки структура представлена мартенситной структурой с величиной зерна 30—50 мкм (тип 7—8), то в зонах деформационного перегрева наблюдается не отвечающая надлежащим требованиям перегретая корзинчатая структура (тип 9 и ниже по инструкции ВИАМ № 685—76).

Моделирование показало, что в отличие от черновой штамповки предварительное фасонирование (плющение) исходной прутковой заготовки (рис. 4) в конических бойках является действенным методом регулирования интенсивности деформаций в процессе чистовой штамповки [3]. Однако особенности геометрии поковки, а именно большой объем основной части поковки и ее ребер, затруднили такое фасонирование исходной заготовки, рассчитанной на одну деталь: она оказалась очень короткой относительно собственного диаметра. Поэтому было принято решение использовать парную исходную заготовку.

Применение такой заготовки позволило не только качественно перераспределить материал заготовки перед штамповкой, но и взаимоуравновесить сдвиговые усилия в штампе (рис. 5), тем самым избавиться от специальных тормозящих облойных канавок и увеличить ресурс штампа [3, 4]. В результате при

штамповке с нагрева до 930 °С максимум температур в очаге деформации при прочих равных условиях снизился с 1080 до 980 °С, а распределение накопленных деформаций стало более равномерным. Понижение температуры нагрева до 900 °С позволило удержать верхний предел температуры материала поковки в допустимом интервале (960—800 °С) и дополнительно улучшить его структуру.

Таким образом, при простоте и дешевизне сочетание предварительного фасонирования и парной чистовой штамповки позволяет получать титановые поковки в разработанных для стальных поковок штампах без увеличения их штамповочных уклонов (ОСТ 92-9693—91, 92-3980—76).

Для получения Т-образных поковок ответственного назначения из сплава ВТ14 можно рекомендовать их парную штамповку из предварительно фасонированной исходной прутковой заготовки. Предварительное фасонирование в виде протяжки исходной прутковой заготовки в конических (7—10°) бойках позволяет так перераспределить материал исходной заготовки, что, с одной стороны, минимизирует величину сдвиговых деформаций, вызывающих деформационный перегрев и недопустимое огрубление структуры металла [3], а с другой — уменьшает риск образования заковов и застойных зон, характерных для использования предварительного чернового ручья [4].

Другой актуальной задачей при внедрении титановых сплавов является освоение изготовления поковок Ш-образной формы на примере кронштейна (рис. 6) из жаропрочного сплава ОТ4-1 системы

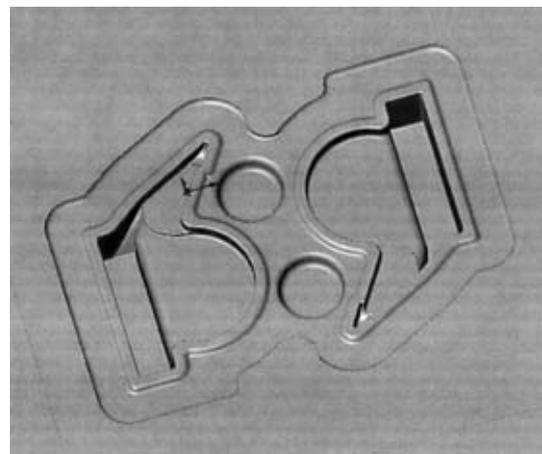


Рис. 5. Штамповый знак для парной одноручьевого штамповки Т-образных поковок



Рис. 6. Ш-образная поковка (а) после обрезки облоя (б)

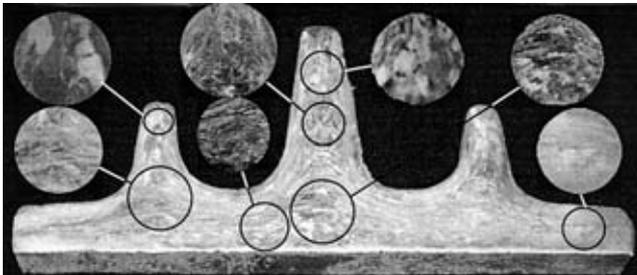


Рис. 7. Макроструктура поперечного шлифа и его фрагменты

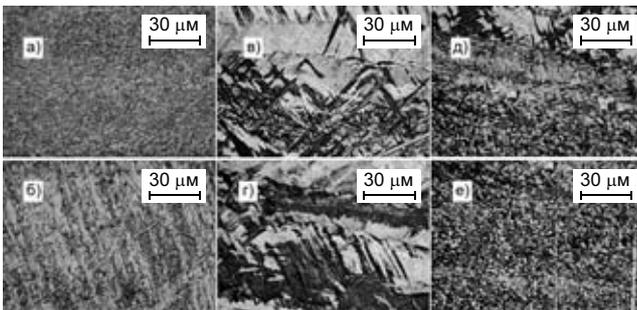


Рис. 8. Субмикроскопическая (а) и микроскопическая (б) структура (α + β)-фазы; перегретая β-фаза с крупными α-прослойками (д, е) и промежуточная (в, г) структура Ш-образной поковки

Ti—Al—Mn [1]. Технология их изготовления включает нагрев до 880 °С в открытых газовых печах (допустимый температурный интервал деформации на прессе 910—700 °С). Штампы подогревали до 400 °С. Как и в случае с Т-образной поковкой, смазку проводили путем укладки стеклоткани и нанесения графитового порошка. Штамповку выполняли в чистовой ручей, обрезку облоя (см. рис. 6) — со штамповочного нагрева, охлаждение — на воздухе на шамотном полу.

Моделирование в DeForm-3D v5.1 показало, что максимально рекристаллизованные зерна находятся в зонах активного деформационного разогрева, возникающих в зонах локализации деформационных процессов, либо в застойных зонах (рис. 7, 8).

Изучение макро- и микроstructures поволоков показало, что в зонах полотна и в центральных зонах ребер поковки имеются рекристаллизованные β-зерна протяженностью до 40 мм при максимальном диа-

метре ~2,5 мм, повторяющие направления течения материала заготовки при деформации. Такая структура не может обеспечивать соответствие требованиям, предъявляемым к деталям ответственного назначения, которая должна быть представлена мелкодисперсными β-зернами с α-включениями по ее границам, либо мелкодисперсным β-мартенситом не ниже типа 7. В то же время в периферийных и наружных объемах поковки ее материал представлен микроскопической и даже субмикроскопической (α + β)-структурой типа 1—5. Промежуточные между наружными и внутренними слоями (объемы) поковки представлены промежуточными между описанными типами структурами.

Распределение полей температур и накопленных деформаций в линиях Лагранжа в момент начала деформации ребер и полей температур в момент окончания формообразования поковки, полученные с помощью программного продукта DeForm-3DV5.1, приведены на рис. 9, 10.

В приповерхностных областях поковки, где сдвиговые деформации минимальны, структура поковки представлена оптимальной с точки зрения качества и служебных свойств (α + β)-композицией (см. рис. 8, а, б). В то же время с повышением деформационного разогрева и локализации деформационных процессов активизируется α ↔ β-превращение, вследствие чего структура поковки в зонах преобладания максимальных сдвиговых деформаций и в застойных зонах представлена перегретой β-композицией (см. рис. 8, д, е). Характерно, что в переходных зонах

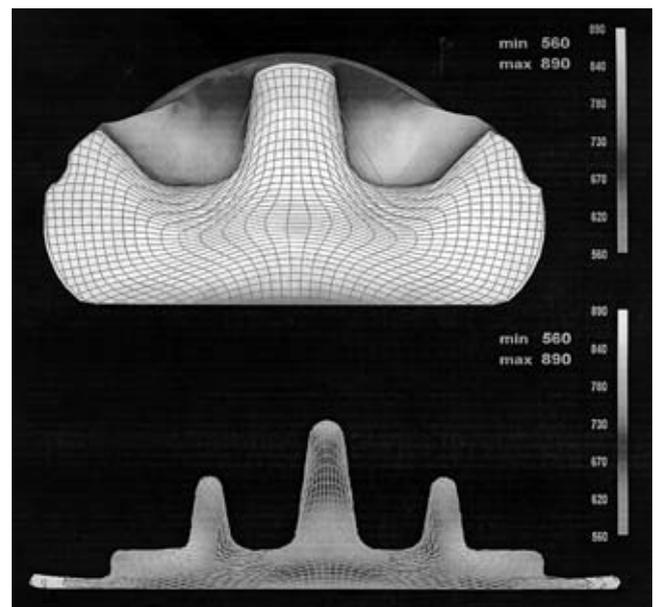


Рис. 9. Распределение температур и накопленных деформаций по сечению Ш-образной поковки в середине (вверху) и в завершении (внизу) процесса формообразования

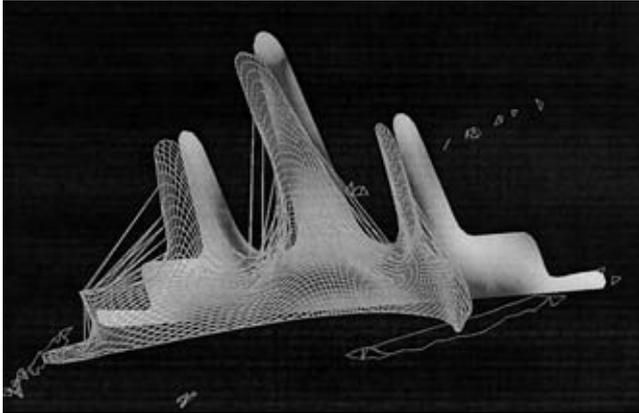


Рис. 10. Неравномерность деформации реальной поковки, полученная моделированием в программе DeForm-3D в сравнении с моделью, полученной при двухмерном моделировании

с крупными вытянутыми рекристаллизованными зернами α - и β -фаз в качестве основных механизмов структурного превращения доминируют скольжение и двойникование [5] (см. рис. 8, в, з), что подтверждает переходные условия формирования зон, когда энергии для вторичной рекристаллизации при перегреве еще недостаточно.

Помимо несоответствия по параметрам трещиностойкости и механических свойств [1] такое распределение α - и β -композиций по сечению поковки привело к появлению весьма значительных напряжений, вызванных их различными объемными коэффициентами [6]. Последнее обстоятельство хорошо иллюстрируют неровности (утяжины) поверхности поперечных шлифов на рис. 11, образовавшиеся в процессе механической резки поковок механической пилой толстого профиля с очень малой подачей. Видно, что распределение утяжин точно соответствует расположению зон максимальных сдвиговых деформаций, где деформационный разогрев материала поковки вызвал его полное перерождение в β -фазу, имеющую меньший удельный объем, чем $(\alpha + \beta)$ -композиция в периферийных и приповерхностных объемах поковки.

Высокая контрастность структуры получаемых поковок обусловлена также высокой энергией $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения в титановых сплавах, составляющей 2712 Дж/моль, что приблизительно в 5 раз превосходит теплоту полиморфного $\alpha \leftrightarrow \gamma$ -превращения в железе [2].

Методика измерений неравномерности поверхности поперечных шлифов заключалась в том, что в каждом выбранном сечении за "ноль" принимали высоту шлифа в середине ребра и измеряли высоту профиля шлифа слева и справа от нее. Затем между двумя последними значениями определяли среднее арифметическое и от него отсчитывали величину неровности профиля шлифа.

По сути, данная методика представляет упрощенный метод прямой дилатометрии [7]. После необходимой механической обработки и травления для выявления макроструктуры с целью корреляции деформационных и температурных параметров штамповки со структурой реальной поковки проводили измерение твердости в контрольных точках по методам Роквелла и Бринелля. Расположение контрольных точек приведено на рис. 12. Результаты измерений температуры в указанных точках, полученные путем математического моделирования с использованием программного пакета DeForm-3DV5.1, и показатели твердости, измеренные по методу Бринелля, приведены в таблице.

Таким образом, установлена зависимость между профилем шлифа поковки и твердостью его материала в той или иной точке. Сопоставив полученные данные с температурой и макро- и микроструктурой в контрольных точках, можно не только выявить зависимость между величиной деформационного разогрева и свойствами материала, но и примерно рассчитать величину внутренних напряжений в поковке, вызванных неоднородностью ее фазового состава.

Установлено, что глубина утяжин в зонах деформационного разогрева колеблется от 0,06 до 0,15 мм (в среднем 0,05 мм), от 0,04 до 0,16 мм (0,06 мм) в правом и левом ребрах и от 0,05 до 0,14 мм (0,10 мм) в центральном ребре, при этом разница в значениях твердости отдельных участков ребер колеблется от 27 до 35 HRC (267—331 HB).

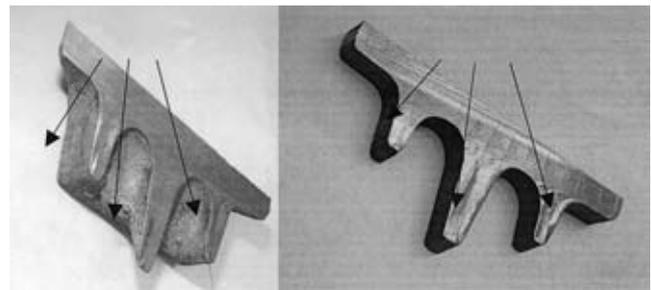


Рис. 11. Утяжины (отмечены стрелками) на поверхности поперечных шлифов Ш-образных поковок

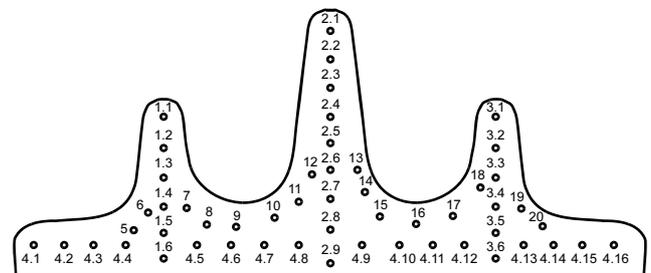


Рис. 12. Расположение контрольных точек для определения твердости по Бринеллю

Номер позиции измерения	Температура, °С	Диаметр отпечатка, мм	Твердость, НВ	Номер позиции измерения	Температура, °С	Диаметр отпечатка, мм	Твердость, НВ
1.1	553	1,75	303	4.1	764	1,81	280
1.2	571	1,78	291	4.2	737	1,83	276
1.3	573	1,80	285	4.3	664	1,80	286
1.4	624	1,80	285	4.4	704	1,84	272
1.5	643	1,84	273	4.5	715	1,85	269
1.6	699	1,81	283	4.6	652	1,82	279
2.1	772	1,78	292	4.7	700	1,83	275
2.2	763	1,78	292	4.8	703	1,82	277
2.3	722	1,77	294	4.9	706	1,85	269
2.4	598	1,81	280	4.10	705	1,84	272
2.5	545	1,79	289	4.11	724	1,86	266
2.6	627	1,76	299	4.12	702	1,79	288
2.7	627	1,72	311	4.13	718	1,84	273
2.8	682	1,85	271	4.14	746	1,84	272
2.9	700	1,88	260	4.15	769	1,84	273
3.1	598	1,76	297	4.16	776	1,84	273
3.2	573	1,80	284	11	593	1,82	278
3.3	585	1,84	271	12	566	1,82	277
3.4	641	1,82	278	13	559	1,85	270
3.5	699	1,85	269	14	604	1,85	269
3.6	718	1,84	272	15	642	1,82	279
5	770	1,81	283	16	658	1,84	273
6	620	1,82	278	17	627	1,83	276
7	614	1,85	270	18	647	1,80	284
8	639	1,85	269	19	635	1,81	283
9	666	1,87	265	20	799	1,80	285
10	635	1,87	262				

Для устранения причин перегрева было решено применить предварительно фасонированную заготовку и уменьшить температуру ее нагрева перед деформацией до 800 °С против 910 °С по применяемой технологии.

Моделирование процесса формообразования с новыми параметрами показало их эффективность в повышении качества поковки. Так, максимальная температура материала поковки не превышает 890 °С, а разброс величин накопленных эффективных деформаций в различных точках поковки снизился до 12,1 (0,7—8,5) лог. ед. против 20,7 (0,7—14,5) лог. ед. при использовании серийной технологии. Установленные зависимости между температурой деформации и величиной накопленной деформации и структурой и величиной внутренних напряжений в поковке позволяют прогнозировать, что принятые технологические решения существенно повысят качество поковки. Так, повышение равномерности деформационных процессов в объеме поковки позволит получить преобладание ($\alpha + \beta$)-композиции, снизить внутренние напряжения и качественно улучшить структуру и свойства материала поковки.

Таким образом, сочетание математического моделирования и традиционных методов исследования структуры и свойств материала поковки позволит активно управлять процессами преобразования структуры металлического материала в процессах высокотемпературных воздействий, в частности при горячей объемной штамповке. Помимо улучшения

прочностных свойств и повышения параметра трещиностойкости за счет обеспечения заданной структуры поковки возможно контролировать величину внутренних напряжений, возникающих после механической и термической обработки и нанесения покрытий на деталь. Это обеспечивает возможность комплексно прогнозировать структуру и свойства материала поковки и чистовой детали, заранее принимая технологические решения, направленные на обеспечение надлежащего качества поковки и чистовой детали с учетом возможных технологических воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колачев Б. А., Елагин В. И., Ливанов В. А. *Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов*. Изд. 3-е, пер. и доп. М.: МИСиС, 1999. 416 с.
2. Маквиллэн А. Д., Маквиллэн М. К. *Titanium* by A. D. McQuillan and M. K. McQuillan. London, Butterworths Scientific Publications, 1956: Пер. с англ. М.: Машиностроение, 1957. 459 с.
3. Дзугутов М. Я. *Напряжения и разрывы при обработке металлов давлением*. 2-е изд. М.: Металлургия, 1974. 280 с.
4. Охрименко Я. М. *Технология кузнечно-штамповочного производства*. М.: Машиностроение, 1976. 560 с.
5. Русаков Г. М., Литвинов А. В., Литвинов В. С. *Деформационное двойникование β -сплавов титана переходного класса* // *МирТМ*. 2006. № 6. С. 14—21.
6. *Формирование напряжений первого рода в полуфабрикатах из титановых сплавов при нагреве* / А. А. Ильин, М. Ю. Коллеров, В. В. Засыпкин, М. Г. Экимян // *Авиационные материалы*. 1986. № 2. С. 16—21.
7. Блантер М. Е. *Методика исследования металлов и обработка опытных данных*. М.: Государственное издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1952. 444 с.

А. Г. ШЛЕНСКИЙ, канд. техн. наук
"МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского

Исследование качества соединения при плакировании сплавов системы Al—Zn—Mg

Развитие современной техники предъявляет все более высокие требования к прочности и надежности конструкций из алюминиевых сплавов, а также повышению их эксплуатационных характеристик. При этом следует учитывать, что возможности повышения свойств алюминиевых сплавов за счет легирования и термической обработки при существующей технологии довольно ограничены. Поэтому дальнейшее улучшение свойств алюминиевых сплавов связано с совершенствованием существующих технологий и разработкой новых технологических процессов их производства. Перспективным направлением повышения механических и специальных свойств алюминиевых сплавов является разработка слоистых материалов, отличительной особенностью которых является наличие у них резерва пластических свойств.

При производстве слоистых плит из высокопрочных алюминиевых сплавов в качестве исходных заготовок часто применяют предварительно плакированные плиты, причем их исходная толщина в пакете может значительно колебаться в зависимости от конечной толщины плиты и требуемого соотношения слоев, что несомненно сказывается на качестве соединения слоев и проявляется в нестабильности свойств при статических и динамических испытаниях.

Несмотря на то, что процесс плакирования алюминиевых сплавов изучен достаточно полно и широко применяется в промышленности [1], отсутствуют данные о зависимости прочности и пластично-

сти соединения при плакировании промышленных сплавов от степени деформации. Считается, что прочность соединения при плакировании достигает высоких значений уже после первых проходов.

Наиболее чувствительной характеристикой к различного рода дефектам, и в частности остаткам оксидных плен, является ударная вязкость. Однако незначительная толщина плакирующего слоя не позволяет применять стандартные образцы для определения ударной вязкости.

В данной работе для сравнительной оценки качества соединения при плакировании высокопрочных алюминиевых сплавов системы Al—Zn—Mg ($\Sigma Mg + Zn \geq 9\%$) применили методику, сущность которой заключается в следующем.

Из поверхностных слоев плакированных плит, прокатанных в промышленных условиях с различной степенью деформации (32, 54, 4, 66, 0 и 80, 0 %), вырезали заготовки размером $30 \times 95 \times 140$ мм, которые собирали в двухслойные пакеты с внутренним расположением плакирующего слоя. Перед сборкой заготовки подвергали травлению в щелочи для повышения чистоты соединяемых поверхностей и получения плакирующего слоя равной толщины на плитах, прокатанных с различной степенью деформации.

Двухслойные пакеты прокатывали на стане ДУО "260" при температуре 400—420 °С за один проход с 60 на 43 мм, что обеспечивало качественное соединение между слоями плакирующего алюминия.

Оценку качества соединения проводили в термообработанном

состоянии с определением прочности на отрыв, ударной вязкости и анализом вида излома и микроструктуры соединения. Ударную вязкость определяли на образцах, вырезанных в высотном направлении, размером $6 \times 6 \times 43$ мм с надрезом по прослойке АД1 шириной 2,0 мм.

Анализ приведенных на рис. 1 данных позволяет заключить, что прочность соединения и ударная вязкость возрастают с увеличением относительной степени деформации при плакировании. Наблюдается наиболее интенсивный рост прочности до $\varepsilon = 30\%$ и затем более плавное увеличение до значений, равных прочности прослойки АД1.

Причем до $\varepsilon = 66\%$ наблюдается нестабильность в значениях прочности и ударной вязкости. При дальнейшем увеличении степени деформации прочность соединения практически остается постоянной на уровне прочности алюминия АД1, в то время как ударная вязкость продолжает возрастать и достигает максимальных значений при более высоких степенях деформации (когда разру-

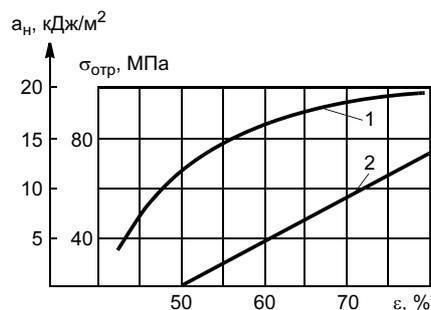


Рис. 1. Зависимость прочности соединения слоев $\sigma_{отр}$ (1) и ударной вязкости a_n (2) от степени деформации

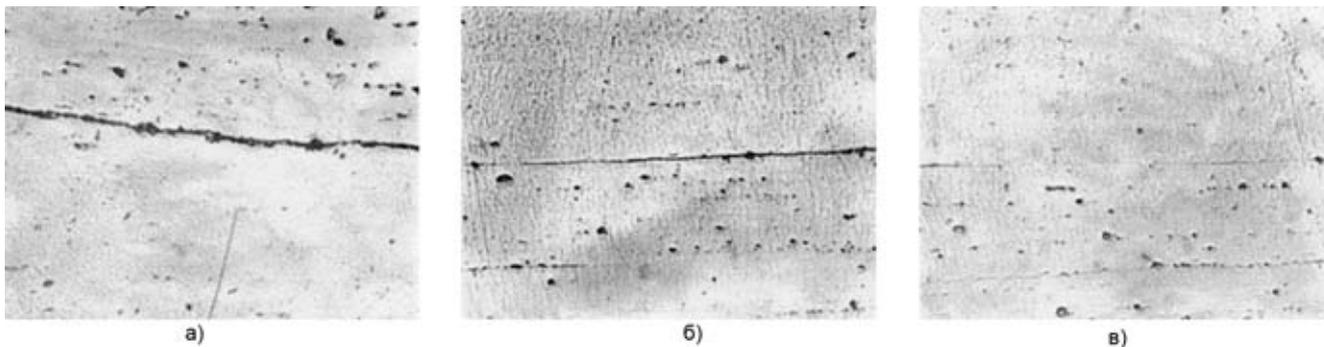


Рис. 2. Микроструктура ($\times 400$) переходной зоны при различной степени деформации: а—в — ε равна 30, 50 и 70 % соответственно

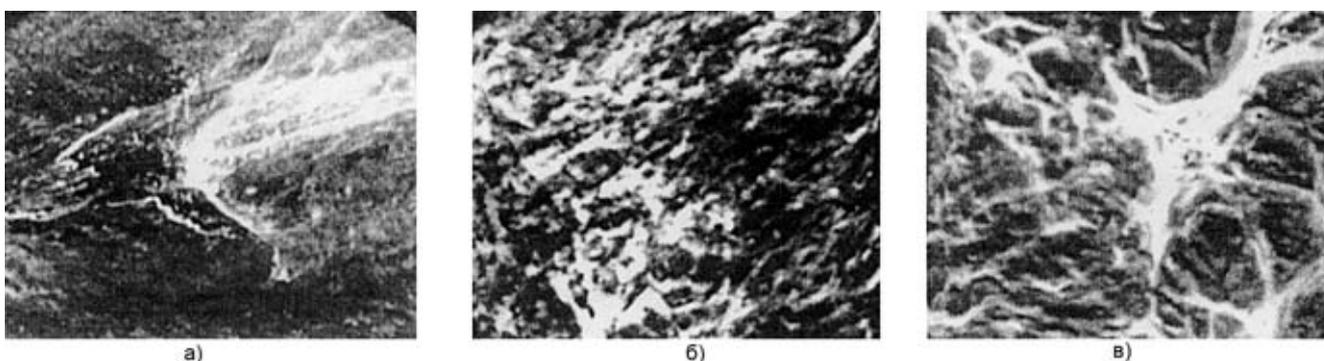


Рис. 3. Виды изломов ($\times 400$): а — хрупкий, б — смешанный с вырывами, в — вязкий

шение имеет полностью вязкий характер и происходит по плакирующему слою АД1 без вырывов).

Первоначальное повышение прочности соединения связано с образованием физического контакта (очагов взаимодействия) практически по всей площади за счет смятия микровыступов в первых проходах.

Микроструктура зоны соединения в данном случае характеризуется четкой сплошной линией по всей плоскости шлифа с довольно обширными скоплениями (утолщениями границы оксидов (рис. 2, а). Наблюдается периодичность в таких зонах, что связано с неравномерностью деформации по плоскости контакта (деформации микровыступов), которая в дальнейшем приводит к нестабильности свойств. При испытании на ударную вязкость разрушение образцов полностью происходит по плоскости соединения хрупко, без вырывов, поверхность излома окислена, золотистого цвета, ударная вязкость при этом низкая (5,6—8,8 кДж/м²) (рис. 3, а).

В дальнейшем рост прочности замедляется в силу неравномерности разрушения оксидных пленок и уменьшения скорости образования и увеличения очагов взаимодействия. В тех местах, где произошло разрушение, образуются прочные металлические связи. На микроструктуре образцов сохраняется, но более тонкая, линия начального контактирования (рис. 2, б). Разрушение образцов происходит по плоскости соединения с образованием вырывов алюминия АД1, ударная вязкость повышается до 10—15 кДж/м² (рис. 3, б).

При повышении ε до 80 % микроструктура зоны соединения прослеживается в виде мелких точек. Ударная вязкость возрастает до 20 кДж/м², разрушение происходит по алюминию, вязко с образованием утяжины (рис. 3, в).

Таким образом, из сопоставления микроструктур и изломов с ударной вязкостью следует, что соединения с низкими значениями ударной вязкости характеризуются ориентированной границей с загрязнениями оксидной пленки.

Следует отметить, что существует зависимость характера разрушения от вида растяжения при испытании образцов на отрыв. Можно выделить три характерных вида диаграмм, соответствующих хрупкому, вязкому и смешанному разрушению (рис. 4).

Косвенное определение качества схватывания по характеру кривой "напряжение—деформация" заключается в следующем.

В случае качественного схватывания в процессе нагружения наблюдается равномерный ход кривой с площадкой текучести и довольно плавным снижением нагруз-

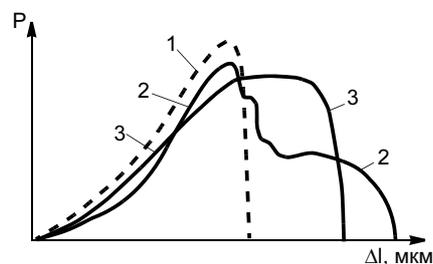


Рис. 4. Диаграмма растяжения при испытании образцов на отрыв: 1 — хрупкое разрушение; 2 — смешанное; 3 — вязкое

ки (см. рис. 4, кривая 3). В случае хрупкого разрушения при достижении напряжений, достаточных для разрушения связей, происходит резкое снижение (без площадки текучести) нагрузки (см. рис. 4, кривая 1); при смешанном разрушении на отдельных участках происходит попеременное снижение и увеличение напряжения, свидетельствующие о наличии локальных разрушений (см. рис. 4, кривая 2).

Результаты анализа испытаний образцов на отрыв показали, что высокие значения удельной работы разрушения имеет материал с вязким разрушением и высокими показателями прочности. Однако необходимо отметить, что высокие показатели прочности не всегда соответствуют высоким значениям удельной работы разрушения.

Существенное влияние на качество соединения, особенно на пластические свойства, оказывает термическая обработка (рис. 5). При повышении температуры закалки и увеличении времени выдержки ударная вязкость соединения снижается. Излом приобретает более хрупкий характер, особенно после рекристаллизационного отжига при температуре 550 °С и $\varepsilon < 66\%$. При увеличении ε это влияние уменьшается.

Результаты исследования микроструктуры переходной зоны после рекристаллизационного отжига при температуре 550 °С показали, что происходит более сильная интенсификация границы раздела при $\varepsilon < 94,7\%$, где она прослеживается в виде цепочки, проходящей по телу зерна. Рекристаллизация проходит с образованием общих зерен, причем в зоне соединения они более крупные. Протяженность общих зерен наблюдается по всей длине шлифа. При $\varepsilon = 53-82\%$ сохраняется четкая граница, причем при $\varepsilon = 53\%$ наблюдаются большие скопления оксидов на границе с утонениями и разрывами. В дальнейшем с увеличением степени деформации граница раздела становится более тонкой, происходит как бы ее рас-

сасывание. Отсутствуют уже такие большие скопления оксидов. Они более вытянуты и представляют утолщенную границу. В других местах граница в виде мелких точек. По границе с двух сторон значительные области рекристаллизационных зерен. В отдельных местах возможны прорывы границы, их миграция.

Основной причиной, приводящей к изменению свойств при нагреве, следует считать активацию диффузионных процессов, которые в зависимости от качества соединения могут значительно влиять на его прочность и пластичность.

Анализ литературных данных [1, 2], а также результаты металлографических исследований и микрорентгеноспектрального анализа зоны соединения показывают, что ориентированная граница сохраняется до высоких значений степени деформации, где она приобре-

тает очертания и размеры границ зерен с расположенными мелкодисперсными частицами оксидной фазы.

При наличии резко выраженной линии раздела пластичность и вязкость соединения низкие. При длительном нагреве, а также при повышении температуры закалки за счет барьерного действия самой границы, ее дополнительного окисления и невозможности протекания рекристаллизационных процессов возможно охрупчивание зоны соединения. Причем насыщенность магнием и цинком поверхности раздела будет особенно зависеть от исходного состояния границ, т. е. степени раздробленности оксидной пленки и самой границы. В результате диффузии эти скопления могут увеличиваться и снижать прочность сцепления. В других случаях прочность может возрастать за счет расширения очагов схватывания через оксидную пленку и достигать довольно высоких значений, но при этом теряется пластичность соединения — излом хрупкий, что может приводить к большим разрушениям при динамической нагрузке.

Таким образом, процессы диффузии не всегда желательны, так как при последующем нагреве предварительно плакированных плит под прокатку, термическую обработку, а также при проведении сварочных работ возможно охрупчивание соединения.

Несмотря на высокие значения прочности на отрыв, достигаемые при плакировании промышленных слитков сплавов системы Al—Zn—Mg ($\Sigma Al + Zn \geq 9\%$) типа 1931A, 1903, необходимо учитывать и характер разрушения образцов, который зависит от метода испытаний (на отрыв, срез, ударный изгиб), формы и размеров образцов, относительной толщины прослойки, состояния границы раздела.

При испытаниях на отрыв значения показателей прочности в меньшей степени зависят от ориентированной загрязненной границы, такие испытания часто не выявля-

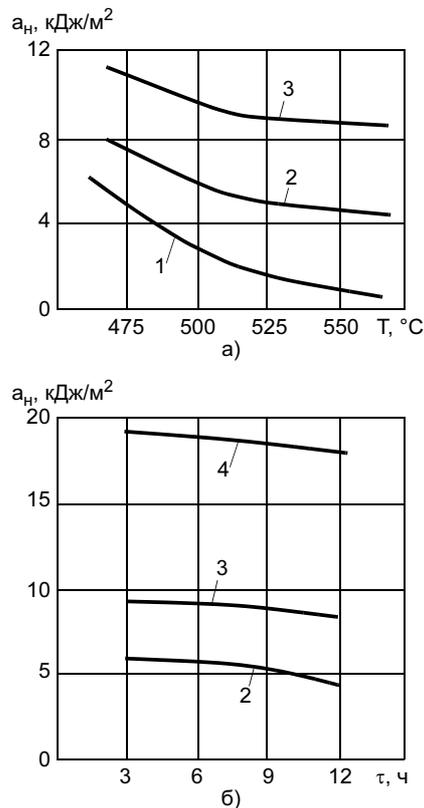


Рис. 5. Зависимость ударной вязкости соединения от температуры закалки (а) и времени выдержки (б): а — время выдержки $t = 3$ ч; б — $T = 470$ °С; 1—4 — ε равна 50, 60, 70 и 80 % соответственно

ют дефектов сварки, а следовательно, не являются удовлетворительным методом оценки качества соединений. Для количественной оценки соединения необходимы испытания на ударную вязкость—разрушение по стыку.

ВЫВОДЫ

1. Предлагаемый метод оценки прочности соединения на ударный изгиб материалов с тонким лакирующим слоем позволяет проследить кинетику процесса об-

разования соединения в зависимости от температурно-деформационных параметров процесса.

2. Установлено, что прочность соединения слоев при промышленном плакировании сплавов системы Al—Zn—Mg ($\Sigma Al + Zn \geq 9\%$) достигает значений прочности лакирующего материала при степени деформации 50 % и при ее дальнейшем увеличении незначительно повышается, оставаясь на уровне прочности алюминия АД1. Ударная вязкость достигает максимальных значений при более

высоких степенях деформации ($\varepsilon = 80\%$), являясь более чувствительной характеристикой к дефектам типа оксидных плен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колпашиников А. И. Прокатка листов из легких сплавов. М.: Металлургия, 1970. 230 с.
2. Шленский А. Г. Исследование и разработка процесса прокатки слоистых материалов из высокопрочных алюминиевых сплавов с повышенными прочностными характеристиками. Автореферат дис. ... канд. техн. наук. М.: "МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского, 2007. 140 с.

В. И. КОТЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук
Нижегородский ГТУ

Резание металла с нагревом, совмещенное с поверхностным пластическим деформированием обработанной детали

В данной работе проводили исследования процесса резания металла с нагревом, совмещенного с поверхностным пластическим деформированием (ППД) нагретой поверхности, позволяющим быстро и с меньшими затратами проводить обработку наплавленных и сварных деталей. Данный метод конкурентоспособен перед обычной обработкой резанием инструментом с пластинами из СТМ, а при их растущей стоимости может стать широко применяемым в промышленности.

Исследования проводили на лабораторном оборудовании ФАМ НГТУ с помощью метода сравнения значений микротвердости, полученных при различных вариантах обработки поверхности, а также различных температурах нагрева поверхности, давлении инструмента, числе проходов, подаче и скорости обработки. Схема эксперимента приведена на рис. 1.

Для исследования воздействия ППД на поверхность детали, получаемую в результате резания с нагревом и имеющую температуру от 300 до 500 °С, применяли следующее оснащение: токарный станок, ацетиленовый и кислородный баллоны с редукторами и шлангами, газовую горелку, роликовый накатник, микрометр (25—50 мм) и прибор для измерения твердости ПМТ-3. На заготовки, выполненные из стали 45, наплавливали три пояска, по оси в правом торце высверливали центровое отверстие (рис. 2).

Хвостовик длиной 25 мм и диаметром 25 мм зажимали на длине 10 мм в патрон станка 16К20, а второй торец заготовки поджимали центром задней бабки.

Был изготовлен роликовый накатник Г-образной формы (рис. 3). Державку накатника закрепляли в резцедержателе поперечного суппорта станка. Величину усилия, прикладываемого роликом к поверхности детали, изменяли поворотом рукоятки поперечной подачи суппорта токарного станка.

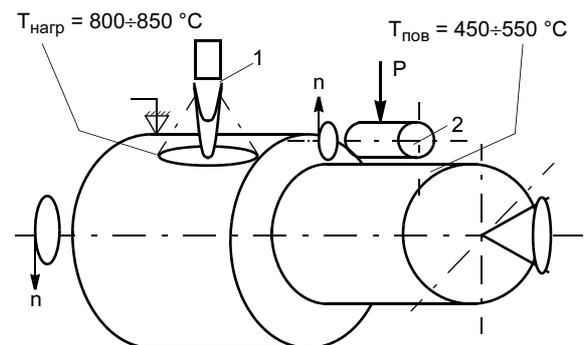


Рис. 1. Схема силового воздействия ролика при ППД шейки вала: 1 — горелка; 2 — ролик

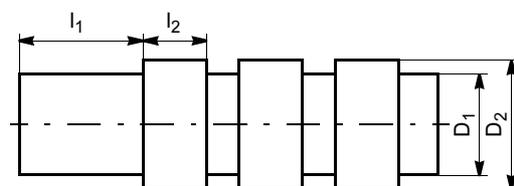


Рис. 2. Эскиз заготовки длиной $L = 80$ мм с поясками длиной $l_1 = 25$ мм и $l_2 = 10$ мм и диаметрами $D_2 = 30$ мм и $D_1 = 25$ мм

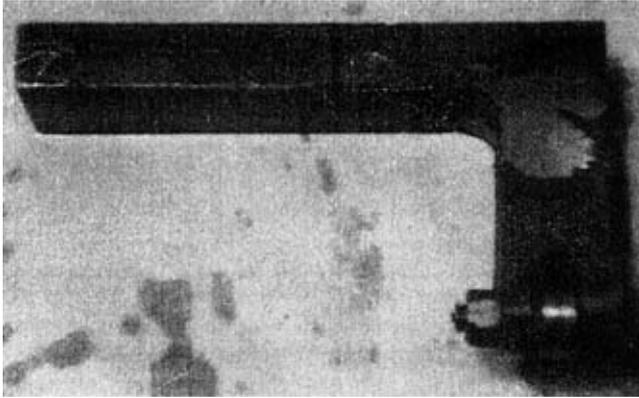


Рис. 3. Роликовый накатник для ППД нагретой детали

Первую серию экспериментов при ППД поверхности, обработанной резанием с нагревом, проводили по следующей схеме. При скорости вращения шпинделя $n = 10\text{--}20$ об/мин первый поясик нагревали пламенем горелки до температур разупрочнения $T = 500\text{--}550$ °С на глубине резания $t = 1$ мм. Затем к нагретому пояску подводили роликовый накатник, переводили шпиндель токарного станка на скорость $n = 150$ об/мин и подачу $S = 0,08$ мм/об. При ППД нагретого металла горелка продолжала синхронное с накатником движение по направлению к шпинделю, поддерживая в металле заготовки необходимую температуру.

При проведении ППД нагретой заготовки роликовым накатником без охлаждения ролика (в качестве ролика использовали подшипник диаметром $D = 15$ мм и шириной $b = 5$ мм) была зафиксирована его низкая стойкость.

Во второй серии экспериментов резание нагретой заготовки сразу же за проходом режущего инструмента совмещали с ППД не успевшей остыть после резания поверхности детали. Для этого в резцедержателе зажимали сдвоенный с накатником проходной отогнутый резец. Ролик накатника охлаждался СОЖ.

Режимы резания металла с нагревом: $n = 315$ об/мин, $S = 0,52$ мм/об, $t = 6,5$ мм. Поскольку накатник был жестко закреплен в резцедержателе и перемещался параллельно резцу на одинаковом от него расстоянии, то режимы накатывания поверхности роликом были такими же. Ролик в накатнике охлаждался струей СОЖ.

В третьей серии экспериментов для сравнения результатов совмещали резание с нагревом и ППД охлажденной поверхности. Охлаждение детали проводили непосредственно перед роликом обдувом из универсального распылителя конструкции В. С. Петрова, широко применяемого в практике механической обработки резанием. Особенностью процесса обдува нагретой поверхности является то,

что сжатая струя воздуха сдувает с поверхности горячей детали частицы парожидкой пленки и обеспечивает более интенсивное охлаждение поверхности. Данные эксперименты проводили для исследования возможных структурных изменений в поверхностном уплотненном слое.

Процесс ППД сводится к силовому воздействию на поверхностный слой с целью смятия вершин шероховатости и уплотнения металла в тонком поверхностном слое. Толщина слоя, подвергаемого силовому воздействию,

$$\delta = 0,5[(D - R_{\max}) - d],$$

где D — диаметр обрабатываемой детали; R_{\max} — высотный параметр шероховатости поверхности, подвергаемой деформированию; d — диаметр детали после ППД.

Влияние режимов ППД на качество обрабатываемой холодной поверхности исследовано в работах [1—5 и др.]. Зависимость параметра шероховатости от усилия обкатки при различных значениях подачи приведена на рис. 4.

Эффективность обработки металла при ППД зависит от силового давления на единицу площади. При ППД стальной детали давящий элемент должен вдавливать вершины шероховатости в поверхность металла, при этом должно происходить упрочнение поверхностного слоя детали на 30—45%. В научно-технической литературе особо подчеркивается эффективность обработки этим методом деталей, имеющих галтели, беговые дорожки и поверхности, работающие на износ [3].

Во всех случаях проведения ППД измеряли микротвердость обработанной поверхности. Для определения глубины наклепа поверхностного слоя из детали вырезали сегменты толщиной 5 мм. Сравнительные характеристики микротвердости поверхности после холодной обработки поверхности и резания с нагревом приведены в табл. 1.

Исследование микротвердости поверхностных слоев металла, обработанного резанием с нагревом [6], показало полное отсутствие наклепа. У образцов, вырезанных из деталей, обработанных холодным

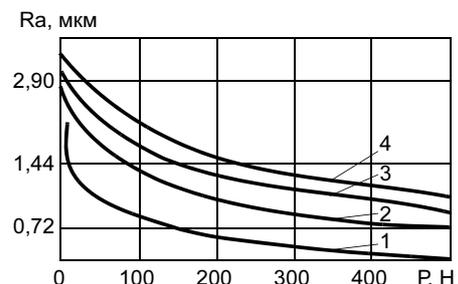


Рис. 4. Зависимость параметра шероховатости от усилия деформирования при подаче, равной 0,17 (1), 0,27 (2), 0,34 (3) и 0,47 (4) мм/об

резанием, зафиксировано наличие наклепа. Микротвердость на поверхности образцов после холодного резания сопоставима с приведенными в работе [6] значениями, а для образцов после резания с нагревом эти показатели малы и соответствуют микротвердости ненаклепанного металла [7].

Таблица 1

Микротвердость, МПа, поверхности после холодного точения		Микротвердость, МПа, поверхности после резания с нагревом	
Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 4
4549	5127	1256	1386
4196	4871	1199	1071
5438	5823	1288	1765
4006	4025	1560	1290
3899	3755	1688	1011
2750	2198	1797	1280
3111	3254	1253	1267
4786	4197	1872	1388
5987	5007	1308	1363
2786	2544	1644	2070
4255	3383	2070	1059
2111	2588	1969	1397

Таблица 2

Микротвердость, МПа, обработанной ППД нагретой поверхности		Микротвердость, МПа, поверхности после резания с нагревом и ППД с обдувом СОЖ перед роликом	
Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 4
3387	3312	5064	5030
3210	3781	5101	4876
3108	3955	4873	4128
4065	4129	4721	4601
3923	3870	4755	4651
3556	3777	4091	4120
2997	2883	3785	3508
2891	2933	3456	3007
2779	3158	3665	3200

Таблица 3

Микротвердость, МПа, обработанной ППД нагретой поверхности		Микротвердость, МПа, поверхности после резания с нагревом и ППД с обдувом СОЖ перед роликом	
Образец № 1 при $T_{пов} = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$	Образец № 2 при $T_{пов} = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$	Образец № 3 при $T_{пов} = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$	Образец № 4 при $T_{пов} = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$
3043	4126	5042	5237
3111	4812	5007	5071
3204	4550	5032	5130
3650	4773	4710	4995
3734	4870	4651	4980
4126	4741	4288	4897
3987	4863	4489	4523
3802	4339	4151	5011
3145	4587	4033	4506

Примечание. $n = 800$ об/мин, $S = 0,32$ мм/об, $t = 2$ мм.

Результаты экспериментов по ППД охлаждаемой водой нагретой поверхности при совмещении резания с нагревом и ППД приведены в табл. 2.

Изменение подачи и скорости резания незначительно повлияло на результаты накатывания поверхности (табл. 3).

Микротвердость измеряли в трех сечениях: начале, середине и конце полосы, образованной в результате резания трех поясков детали.

Как показали эксперименты, ППД нагретых деталей по своему воздействию на металл близко к горячему пластическому деформированию поверхности при горячей прокатке металла [7]. Разница заключается в степени нагрева металла и его пластичности.

Значения микротвердости поверхности, обработанной ППД с нагревом, занимают промежуточное положение между значениями для микротвердости деформированного холодного металла [8] и после резания металла с нагревом.

ВЫВОДЫ

1. Результаты проведенных экспериментов показали принципиальную возможность совмещенной обработки металла резанием с нагревом и последующей поверхностной пластической деформации (ППД) не успевшей остыть поверхности детали.

2. Микротвердость поверхности, подвергнутой ППД с нагревом, зависит от температурных режимов и почти не зависит от скорости обработки и подачи ролика во время обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Одинцов А. Г.* Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. М.: Машиностроение, 1987. 328 с.
2. *Папшев Д. Д.* Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 1978. 152 с.
3. *Смелянский В. М.* Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 2002. 300 с.
4. *Сорокин В. М.* Прогрессивные отделочно-упрочняющие способы обработки. Горький: ГПИ, 1981. 82 с.
5. *Томленов А. Д.* Теория пластического деформирования металлов. М.: Металлургия, 1972. 408 с.
6. *Исследование влияния отсутствия наклепа после резания металла с нагревом на эксплуатационные свойства машины / В. И. Котельников, Ш. Р. Абдуллаев, В. А. Милованов и др. // Прогрессивные технологии в машино- и приборостроении. Арзамас: НГТУ, 2005. С. 130—132.*
7. *Сулима А. М., Шулов В. А., Ягодкин Ю. Д.* Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. М.: Машиностроение, 1988. 240 с.
8. *Котельников В. И.* Обработка поверхности стальных деталей методом пластического деформирования // Защитные и специальные покрытия, обработка поверхности в машиностроении и приборостроении. Пенза, 2007. С. 46—49.

Л. Л. ЛУКИН, канд. техн. наук,
В. А. СМIRНОВ, аспирант
Ижевский государственный технический университет

Методика проектирования прерывистых шлифовальных кругов с упругодемпфирующими элементами

При шлифовании сплавов, склонных к тепловым дефектам, серьезной проблемой является возникновение прижогов на обработанной поверхности из-за повышения температуры в зоне резания выше предельно допустимой. Одним из наиболее эффективных способов снижения теплонапряженности процесса шлифования является применение прерывистых шлифовальных кругов (ПШК). Известным ПШК присущи некоторые недостатки, ограничивающие их технологические возможности:

- высокий износ круга из-за меньшей площади рабочей поверхности;
- более высокий уровень вибраций в технологической системе, ухудшающих качество обработки;
- множество разновидностей тепловых дефектов шлифованной поверхности, которые не могут быть устранены применением известных ПШК.

Следует отметить, что в известных методиках проектирования ПШК [1] не рассмотрено влияние динамических факторов, которые могут значительно увеличить средние и мгновенные величины сил резания:

- затупление зерен круга при его износе;
- неравномерный износ круга;
- вибрации в технологической системе;
- волнистость исходной поверхности.

Динамика процесса в значительной степени влияет на увеличение вероятности появления прижогов в поверхностном слое заготовки. Как известно, шлифовальный круг может работать в различных режимах (затупления, засаливания или самозатачивания).

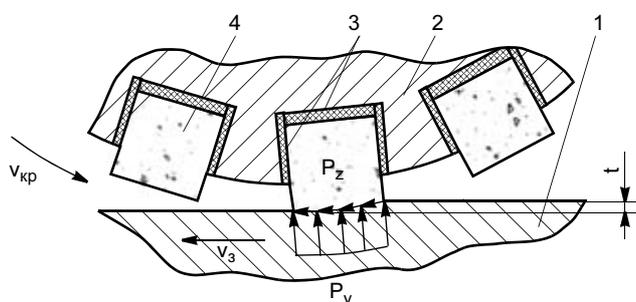


Рис. 1. Шлифовальный круг с УДЭ: 1 — заготовка; 2 — корпус шлифовального круга; 3 — УДЭ; 4 — абразивный брусок

При работе круга в режиме преимущественного затупления силы резания и контактная температура в зоне резания увеличиваются при увеличении времени шлифования, что приводит к росту вероятности возникновения шлифовочных дефектов. В случае, когда шлифовальный круг работает в режиме преимущественного самозатачивания, его степень затупления остается постоянной во времени, однако с увеличением продолжительности шлифования наблюдается неравномерный износ круга, что приводит к появлению автоколебаний в технологической системе. Увеличение амплитуды колебаний приводит к росту мгновенных сил резания и вероятности появления дефектов шлифованной поверхности.

Управление процессами силообразования и теплообразования при плоском шлифовании периферией круга сплавов, склонных к возникновению тепловых дефектов, за счет применения ПШК с упругодемпфирующими элементами (УДЭ), по мнению авторов, является наиболее эффективным способом снижения образования прижогов (рис. 1).

ПШК с УДЭ использует достоинства упругого шлифования. За счет деформации УДЭ снижается отрицательное влияние рассмотренных факторов динамики процесса при любом режиме работы круга на силы резания и температуру в зоне резания.

Изменение жесткости УДЭ позволяет управлять величинами тангенциальной и радиальной сил резания в процессе шлифования, следовательно, способствует созданию оптимальных условий взаимодействия шлифовального круга и заготовки в зоне обработки, что улучшает режущую способность шлифовального круга, увеличивает его стойкость за счет уменьшения износа, улучшает качество обработанных поверхностей за счет исключения опасности возникновения прижогов. Показатели качества шлифованной поверхности при схеме упругого шлифования постоянны во времени.

Необходимо разработать методику проектирования ПШК с УДЭ. Для этого введем условия-ограничения и определим критерии эффективности обработки.

Избежание резонансных частот при определении числа выступов и жесткости УДЭ

Число режущих выступов ПШК необходимо назначать исходя из минимума амплитуды вынужденных колебаний, создаваемых ударами выступов о поверхность заготовки. Выбирать число режущих выступов ПШК следует из соображений, чтобы частота ударов режущих секторов о заготовку была в 1,1 раза больше резонансной частоты колебаний шпиндельного узла. Число выступов ПШК n_b , равное 11—17, обеспечивает минимальную амплитуду радиальных колебаний.

Отсутствие прижогов на обработанной поверхности при затуплении круга и влияние динамических факторов

Возможность появления прижогов шлифованной поверхности определяет контактная температура, зависящая от плотности теплового потока q , поступающего в заготовку. Работа тангенциальной силы шлифования практически полностью переходит в тепловую энергию, лишь десятые доли процента переходят в скрытую энергию изменений кристаллической решетки обрабатываемого материала [2]. Необходимо определить влияние динамических факторов на образование прижогов. При прерывистом шлифовании периферией круга сила резания P_z за время прохода режущего сектора ПШК изменяется по следующему закону (рис. 2).

На рис. 2 τ_1 — врезание торца режущего сектора; τ_2 — работа режущего сектора; τ_3 — выход режущего сектора из зоны резания:

$$\tau_1 = \tau_3 = \frac{R}{v_{кр}} \arccos\left(\frac{R-t}{R}\right); \quad (1)$$

$$\tau_2 = \frac{R}{v_{кр}} \left(l_1 - R \arccos\left(\frac{R-t}{R}\right) \right), \quad (2)$$

где R — радиус шлифовального круга; $v_{кр}$ — окружная скорость вращения круга; t — глубина резания; l_1 — длина режущего сегмента ПШК.

Согласно рис. 2, работы силы резания P_z за время прохода режущего сектора через зону резания

$$A_{рез} = v_{кр} \int_0^{\tau} P_z d\tau \approx v_{кр} \left(\frac{1}{2} P_z^T \tau_1 + P_z^C \tau_2 + \frac{1}{2} P_z^C \tau_3 \right), \quad (3)$$

где P_z^C , P_z^T — соответственно сила резания при работе режущего сектора и его торца.

Определим силы резания при работе режущего сектора с УДЭ. За время прохода режущего сектора через зону резания выполняется следующее условие:

$$P_y = F_{сж} + F_{ин}, \quad (4)$$

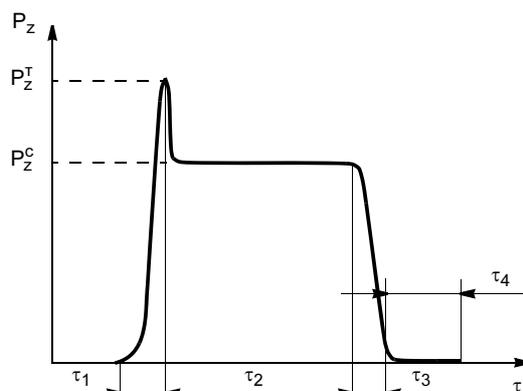


Рис. 2. Изменение силы резания P_z при прерывистом шлифовании

где P_y — радиальная составляющая силы резания; $F_{сж}$ — сила, необходимая для сжатия УДЭ, равная ch (c — жесткость УДЭ, h — деформация УДЭ в радиальном направлении); $F_{ин}$ — сила инерции режущего сектора, равная $m_c \frac{d^2 h}{d\tau^2}$ (m_c — масса режущего сектора, τ — время).

Радиальная сила резания P_y уменьшается пропорционально деформации УДЭ, поскольку уменьшается фактическая глубина резания:

$$P_y(h) = P_{y\max} \left(\frac{t-h}{t} \right)^{0,5}, \quad (5)$$

где $P_{y\max}$ — пиковое значение радиальной силы резания (рассматриваем наихудший случай, когда действие динамических факторов складывается), равное $k_d^y k_n^y P_y$ [3]; коэффициент "0,5" введен для учета нелинейности зависимости $P_{y\max}(t)$.

После преобразования формулы (4) получим дифференциальное уравнение второго порядка:

$$m_c \frac{d^2 h}{d\tau^2} = P_{y\max} \left(\frac{t-h}{t} \right)^{0,5} - ch. \quad (6)$$

С учетом начальных условий ($h_{\tau=0} = 0$ и $\frac{d^2 h}{d\tau^2} = 0$) получим решение уравнения (6):

$$h(\tau) = \frac{-\frac{1}{t} + \sqrt{\left(\frac{1}{t}\right)^2 + 4 \left(\frac{2m_c + c\tau^2}{P_{y\max}\tau^2} \right)^2}}{2 \left(\frac{2m_c + c\tau^2}{P_{y\max}\tau^2} \right)^2}. \quad (7)$$

Последнее уравнение описывает деформацию УДЭ за время прохождения режущего сектора через зону резания (рис. 3).

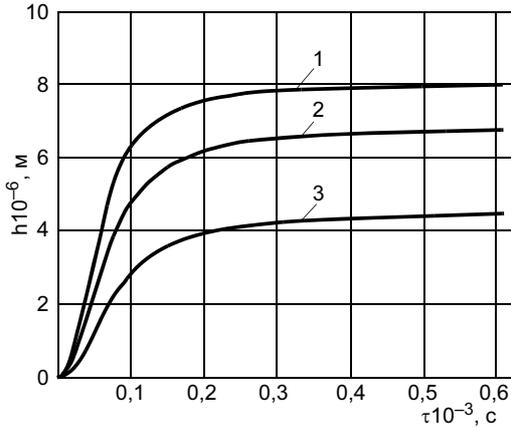


Рис. 3. Зависимость деформации УДЭ от времени прохождения режущего сектора через зону резания ($t = 0,01 \cdot 10^{-3}$ м, $c = 5 \cdot 10^6$ Н/м): 1—3 — $P_{y\max}$ равна 90, 60 и 30 Н соответственно

На рис. 3 отчетливо виден переходный процесс, продолжающийся $0,1 \cdot 10^{-3}$ — $0,2 \cdot 10^{-3}$ с в зависимости от массы режущего сектора и жесткости УДЭ. Поскольку время прохода торца режущего сектора через зону резания (см. рис. 2) меньше, чем время переходного процесса, то при работе торца сектора деформации УДЭ не успевают произойти из-за инерционности массы абразивных брусков, а при работе самого сектора ($\tau_2 + \tau_3$) деформация УДЭ уже произойдет. Исходя из этого, составляющие сил резания P_z в формуле (3):

$$P_{z\max}^T = k_n^z k_d^z k_h^z P_z(t); \quad (8)$$

$$P_{z\max}^C = (k_n^{z'}) (k_h^{z'}) P_z(t - h), \quad (9)$$

где $P_z(t)$, $P_z(t - h)$ — сила резания без учета и с учетом деформации УДЭ соответственно [3]; k_n^z , k_d^z , k_h^z , $k_n^{z'}$, $k_h^{z'}$ — коэффициенты динамичности, учитывающие увеличение силы резания при врезании торца режущего сектора, вследствие вибраций в технологической системе, с учетом эффекта демпфирования, вследствие геометрической неточности исходной поверхности и с учетом эффекта демпфирования соответственно.

Коэффициенты $k_d^{z'}$ и $k_h^{z'}$ в формуле (9) зависят не только от значений динамических факторов, но и жесткости технологической системы c . Используя формулу (7), составим математическую модель для определения коэффициентов динамичности в зависимости от жесткости технологической системы:

$$(k_{d,h}^z)' - k_{d,h}^z \left(1 - \frac{h}{t}\right) + \frac{h}{t}. \quad (10)$$

Интенсивность теплового потока в заготовку за время прохождения режущего сектора через зону

резания определяется как мощность тепловыделения, приходящаяся на единицу площади контакта шлифовального круга и заготовки:

$$q = \frac{\chi A_{\text{рез}}}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3} \frac{1}{B R \arccos\left(\frac{R-t+h}{R}\right)}, \quad (11)$$

где χ — коэффициент, определяющий долю общего теплового потока, переходящего в заготовку, равный 0,8 [4] и зависящий от состояния рабочей поверхности круга, режимов обработки и теплофизических свойств обрабатываемого и абразивного материалов [5].

Условие отсутствия тепловых дефектов шлифованной поверхности при обработке ПШК следующее. Время прохода режущего сектора через зону резания $\tau_1 + \tau_2 + \tau_3$ меньше времени $\tau_{\text{пр}}$, за которое контактная температура единицы площади обрабатываемой поверхности повышается до предельно допустимого значения:

$$\tau_{\text{пр}} \geq \tau_1 + \tau_2 + \tau_3, \quad (12)$$

$$\text{где } \tau_{\text{пр}} = \frac{\lambda^2 (\Theta_{\text{пр}} - \Theta_{\text{min}})^2 \pi}{q^2 a}.$$

Здесь λ — коэффициент удельной теплопроводности обрабатываемого материала; $\Theta_{\text{пр}}$ — температура возникновения прижогов для обрабатываемого материала; Θ_{min} — температура, до которой успевает остыть поверхность заготовки за время прохождения впадины ПШК, может быть рассчитана по методике работы [6]; a — коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала.

Жесткость УДЭ выбирают таким образом, чтобы выполнялось условие (12) для максимально допустимой величины затупления шлифовального круга.

При использовании УДЭ максимальная величина силы P_z приближается к некоторой предельной величине, а без использования УДЭ сила P_z продолжает неуклонно возрастать при увеличении затупления шлифовального круга. Применение УДЭ с выбором жесткости позволяет управлять значениями сил резания при затуплении шлифовального круга. При этом возможна обработка с максимально эффективной глубиной резания, соответствующей текущей режущей способности шлифовального круга, и отсутствуют прижоги шлифованной поверхности. Если шлифовальный круг работает в режиме самозатачивания, то применение УДЭ позволяет управлять пиковой величиной сил резания, поскольку при работе в режиме самозатачивания наблюдается неравномерный износ круга и увеличение амплитуд вибраций в технологической системе. Применение УДЭ позволяет частично изолировать зону

резания от колебаний в технологической системе и снизить пиковые величины сил резания.

Применение УДЭ позволяет использовать более твердые шлифовальные круги при шлифовании сплавов, склонных к возникновению тепловых дефектов, что увеличивает размерную стойкость ПШК.

Обеспечение требуемой точности шлифованной поверхности

Шлифовальный инструмент низкой жесткости не обеспечивает требуемую точность шлифованной поверхности, поскольку происходит копирование погрешностей формы исходной поверхности (неплоскостность, волнистость, непараллельность), что недопустимо при чистовом шлифовании. Условие-ограничение можно записать следующим образом:

$$h_B \leq [h_B], \quad (13)$$

где h_B — высота волнистости шлифованной поверхности; $[h_B]$ — допустимое отклонение плоскостности по чертежу детали.

Высота волнистости поверхности, полученной при шлифовании ПШК с УДЭ,

$$h_B = \sqrt{(h'_B)^2 + (h_{\text{пер}})^2 + (h_{\text{дин}})^2}, \quad (14)$$

где h'_B — высота волнистости шлифованной поверхности, обусловленная волнистостью исходной поверхности h_0 ; $h_{\text{пер}}$ — высота волнистости шлифованной поверхности, обусловленная прерывистостью шлифовального круга [1]. Расчеты показывают, что величиной $h_{\text{пер}}$ в дальнейшем можно пренебречь, поскольку она на два порядка меньше других составляющих формулы (14); $h_{\text{дин}}$ — высота волнистости шлифованной поверхности, обусловленная относительными колебаниями шлифовального круга и заготовки [7].

Расчетная схема для определения высоты волнистости шлифованной поверхности, обусловленной волнистостью исходной поверхности h_0 , приведена на рис. 4.

Предположим, что заготовка является абсолютно жесткой. Волнистость шлифованной поверхности будет равна разности максимальной и минимальной деформаций УДЭ под действием силы P_y на последнем проходе: $h'_B = h_{\text{max}} - h_{\text{min}}$. Определим максимальную и минимальную деформацию УДЭ за один проход по формуле (7) без учета переходного процесса ($m_c = 0$). Значение P_y определим согласно работе [3]. Подставляя в формулу (7) вместо глубины резания t фактическую глубину резания $t_{\text{ф}}$ с учетом волнистости исходной поверхности, получим

$$t_{\text{ф}} = t \pm \frac{h_0}{2}. \quad (15)$$

Для оценки влияния жесткости УДЭ на высоту волнистости шлифованной поверхности введем величину $\delta_B = \frac{h'_B}{h_0}$ — доля, которую составляет волнистость шлифованной поверхности по отношению к волнистости исходной поверхности за один проход шлифовального круга. Результаты исследований показали, что δ_B зависит от жесткости УДЭ и износа шлифовального круга (рис. 5).

Математическая модель для определения h'_B имеет следующий вид:

$$h'_B = h_0 \delta_B^{N_{\text{пр}}}, \quad (16)$$

где $N_{\text{пр}}$ — число проходов шлифовального круга по поверхности заготовки.

Требуемое число проходов, после которого достигается заданная чертежом детали точность обработки,

$$N_{\text{пр}} = \frac{1}{2} \log_{\delta_B} \left(\frac{[h_B]^2 - h_{\text{дин}}^2}{h_0^2} \right). \quad (17)$$

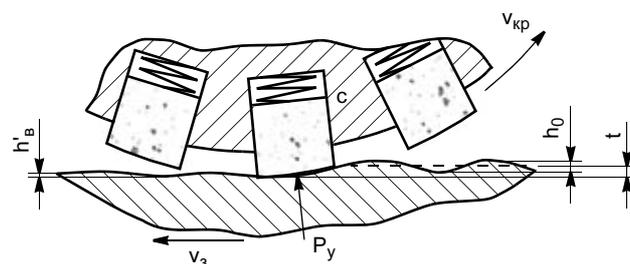


Рис. 4. Формирование волнистости шлифованной поверхности

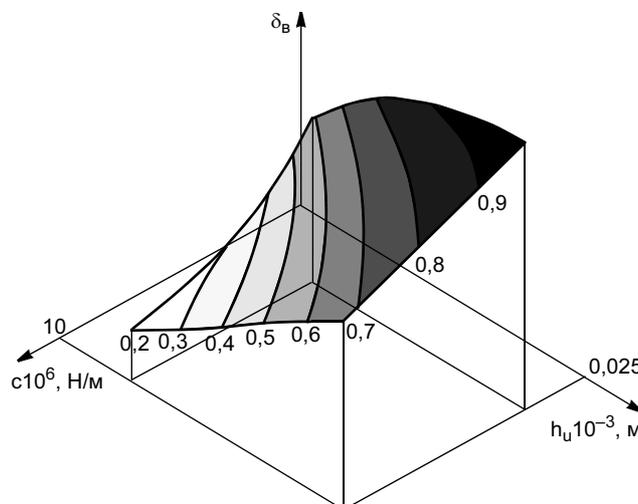


Рис. 5. Зависимость δ_B от жесткости УДЭ и величины износа круга ($v_з = 0,05$ м/с; $v_{\text{кр}} = 19,6$ м/с; $c = 6$, $N = 16$, $t = 0,01$ мм)

Обеспечение максимальной производительности или стойкости ПШК с УДЭ

Производительность с учетом упругой деформации УДЭ

$$\Pi_1 = \frac{v_3 B(t - h_{cp})}{N_{пр}}, \quad (18)$$

где h_{cp} — средняя величина деформации УДЭ.

Определяем h_{cp} по формуле (7) без учета переходного процесса, вместо силы резания $P_{y\max}$ подставляем силу резания, определенную при отсутствии влияния динамических факторов [3]:

$$h_{cp} = \frac{-\frac{1}{t} + \sqrt{\left(\frac{1}{t}\right)^2 + 4\left(\frac{c}{P_y^{об}}\right)^2}}{2\left(\frac{c}{P_y^{об}}\right)^2}. \quad (19)$$

Номинальная производительность без учета упругой деформации УДЭ

$$\Pi_0 = v_3 B t.$$

Введем безразмерный критерий, характеризующий производительность обработки,

$$K_n = \frac{\Pi_1}{\Pi_0} = \frac{t - h_{cp}}{N_{пр} t} \rightarrow \max. \quad (20)$$

Безразмерный критерий, характеризующий размерный износ ПШК — отношение протяженности выступов к общей протяженности периферии шлифовального круга, а также максимальная величина затупления круга, при которой не возникает прижогов:

$$K_c = \frac{l_1}{l_1 + l_2} \frac{h_{и\max}}{0,05} \rightarrow \max, \quad (21)$$

где $h_{и\max}$ — максимальная величина износа круга, при которой не возникает прижогов. Если круг работает в режиме самозатачивания, то $h_{и}$ постоянна на протяжении всего периода стойкости круга и в формуле (21) $h_{и\max} = h_{и} = \text{const}$.

Таким образом, проектирование ПШК с УДЭ состоит из следующих этапов.

1. Назначаем число выступов ПШК.
2. Исходя из требуемой шероховатости обработанной поверхности и обрабатываемого материала назначаем характеристики инструмента (зернистость, номер структуры), геометрические параметры инструмента (B, R), кинематические соотношения $v_3, v_{кр}, t$.
3. По методике работы [3] находим составляющие сил резания и коэффициенты, характеризую-

щие динамику процесса при предельно допустимом затуплении круга.

4. Назначаем длину выступа ПШК с УДЭ.
5. Находим требуемую жесткость УДЭ, обеспечивающую отсутствие прижогов при предельном затуплении круга.
6. Определяем требуемое число проходов для достижения заданной точности шлифованной поверхности и значения критериев эффективности обработки.
7. Повторяем п. 4—6 для различных значений l_1 .

ВЫВОД

Разработанная методика позволяет получить несколько вариантов прерывистых шлифовальных кругов с различной протяженностью режущих секторов и впадин и различной жесткостью упругодемпфирующих элементов (УДЭ). Большой длине режущего сектора будет соответствовать меньшая жесткость УДЭ и наоборот. Далее необходимо сделать выбор. Для черновых операций целесообразно использовать шлифовальный круг большей жесткости, но с меньшей длиной выступов, такой круг обеспечит большую производительность. Для чистовых операций целесообразно применять шлифовальный круг с большой протяженностью режущих секторов и малой протяженностью впадин, но меньшей жесткости, так как такой круг, несмотря на меньшую производительность, будет обеспечивать меньший размерный износ и большую продолжительность бесприжогового шлифования, что особенно важно при чистовом шлифовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якимов А. В. Прерывистое шлифование. Киев: Вища школа, 1986. 176 с.
2. Яцерицын П. И., Еременко М. Л., Фельдштейн Е. Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: Учебник для вузов. Минск: Высшая школа, 1990. 512 с.
3. Смирнов В. А. Динамика сил резания с учетом износа прерывистого шлифовального круга прямого профиля и вибраций в технологической системе // Экономика и производство. 2008. № 1. С. 72—75.
4. Теория шлифования материалов / Под ред. Е. Н. Маслова. М.: Машиностроение, 1974. 320 с.
5. Старшев Д. В. Совершенствование процесса шлифования титановых сплавов прерывистыми дугами на базе математического моделирования механики и теплофизики процесса. Дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, 2006. 147 с.
6. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования. М.: Машиностроение, 1975. 176 с.
7. Точность обработки при шлифовании / Э. Ф. Капанец, К. К. Кузьмин, В. И. Прибыльский, Г. В. Тилигузов / Под ред. П. И. Яцерицына. Минск: Наука и техника, 1987. 152 с.

М. В. ЖАРОВ, канд. техн. наук, Е. В. ШИРЯЕВ, канд. техн. наук
"МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского

Рациональное применение термокомпрессионных процессов при производстве изделий из отходов, полученных при механической обработке титановых сплавов

На современном этапе, когда стоимость материалов, применяемых в авиационной и космической промышленности, значительно возросла, цены на алюминиевые, титановые, магниевые сплавы сравнялись с мировыми ценами, а стоимость стали иногда превышает мировую цену, то одним из важнейших вопросов, стоящих перед современными металлургическими и машиностроительными предприятиями, является наиболее рациональное использование отходов, образующихся в процессе производства.

Важной проблемой современной металлообрабатывающей промышленности является утилизация стружечных отходов, получаемых в процессе механической обработки металлов и сплавов. Эти отходы по их размерным параметрам не могут быть использованы в качестве какого-либо вторичного сырья. Значительные объемы механической обработки деталей обеспечивают большое количество отходов материалов в виде стружки. В последнее время, когда стоимость материалов значительно возросла, большое значение приобретает вопрос рационального использования отходов.

Наиболее распространенный способ утилизации стружечных отходов — их переплав. Однако данный процесс переработки достаточно энергоемкий и дорогостоящий, а в ряде случаев, например при переработке отходов разнородных материалов, практически и не применим.

Перспективным способом утилизации стружки титановых сплавов является ее непосредственная переработка в полуфабрикаты, пригодные в качестве заготовок при производстве ряда изделий. При этом должно обеспечиваться формирование твердофазного соединения между фрагментами стружки, что связано со значительными трудностями, вызванными как природой материала, так и ограниченностью возможных схем процесса [1, 2].

В большинстве случаев образование соединения без расплавления происходит в результате деформационного воздействия на соединяемые материалы. Существующие гипотезы по-разному объясняют процесс образования соединения в твердой фазе. Однако, согласно этим гипотезам, схватывание юве-

нильно чистых поверхностей происходит в том случае, когда поверхности оказываются активированными и величина энергии активации поверхности превышает некоторое критическое значение. Процесс схватывания металлов в твердой фазе можно представить как химическую реакцию, в результате которой между атомами соединяемых поверхностей образуются энергетически устойчивые конфигурации электронов. В связи с этим под активированным состоянием атомов соединяемых поверхностей при схватывании в твердом состоянии понимают неравновесное электронное динамическое состояние поверхности, без которого не может быть осуществлено схватывание в твердом состоянии между двумя стационарными системами. Активирование поверхности стружки в случае спекания производится совместным деформированием и воздействием высокой температуры, а в случае прессования — в основном интенсивным совместным деформированием. Причем, если в случае термокомпрессии влияние температуры и деформации на интенсивность образования твердофазного соединения сравнимо, то при горячем прессовании влияние пластической деформации на образование твердофазного соединения несоизмеримо выше, чем влияние температуры.

По сравнению с процессами, происходящими при твердофазном соединении двух объемов металлов, образование твердофазного соединения при производстве изделий из стружки титановых сплавов имеет ряд особенностей, связанных с тем, что совместная пластическая деформация происходит в тонких пластинах металла. Кроме того, получение изделий из стружки титановых сплавов сопряжено с определенными технологическими трудностями. Одним из наиболее перспективных путей решения этой проблемы представляется использование водородной пластификации. Это позволяет создать условия, благоприятствующие образованию соединения в твердой фазе при умеренных удельных усилиях компактирования и температурах [3].

Предлагается новый процесс переработки стружечных отходов титановых сплавов, включающий очистку поверхности перерабатываемых отходов,

легирование титановой стружки водородом, компактирование ее при комнатной (18—20 °С) температуре, термокомпрессионную обработку брикета и последующее горячее экструдирование. На начальной стадии переработки стружки — очистке поверхности — происходит очищение последней от остатков смазочно-охлаждающих жидкостей путем промывки в воде и щелочном растворе. Очистка стружки от различных металлических включений производится магнитным методом. Далее на первой стадии деформационной обработки происходит уплотнение исходного материала, и создаются предпосылки для образования твердофазного соединения. На второй стадии изотермическая обработка с длительным воздействием повышенных температуры и давления обеспечивает увеличение плотности брикета и интенсифицирует образование твердофазного соединения частиц стружки [4, 5]. Окончательные свойства полуфабриката и его размеры обеспечиваются последующим горячим экструдированием заготовок-брикетов.

Предложенная схема процесса реализована на титановых сплавах ВТЗ-1, ВТ6, легированных 0,2 % водорода. Легирование водородом позволило значительно увеличить пластичность материала и создать условия, благоприятствующие образованию соединения между фрагментами стружки. Предварительно материал компактировался при комнатной температуре и усилнии 900—1000 МПа. Полученные брикеты подвергали термокомпрессионной обработке в специально изготовленной установке в условиях вакуума (0,133 Па) при различной темпе-

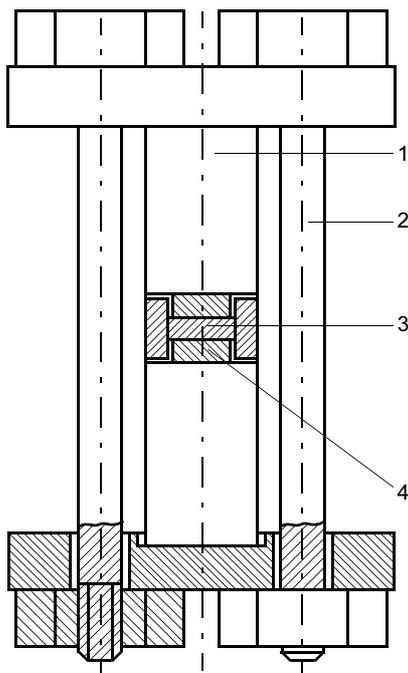


Рис. 1. Схема термокомпрессионной установки

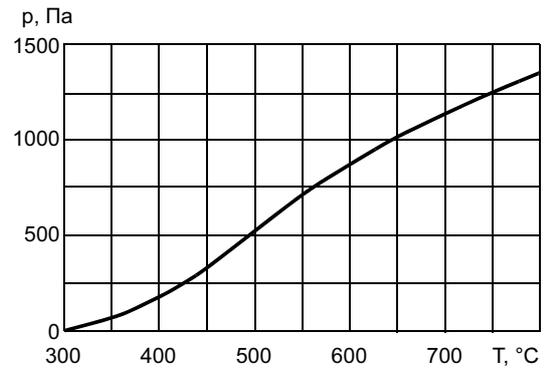


Рис. 2. Зависимость давления, создаваемого термокомпрессионной установкой, от температуры нагрева

ратуре в течение 4 ч. На рис. 1 приведена термокомпрессионная установка, применяемая при обработке предварительно сбрикетированной стружки титановых сплавов. Установка работает следующим образом. При нагреве внутренние рабочие вставки 1, изготовленные из стали 70ГНДХ, имеющие значительный температурный коэффициент линейного расширения, расширяются более интенсивно, чем стягивающие болты 2. В результате неравномерного расширения происходит сжатие брикета стружки 3, находящегося внутри сборного контейнера 4. Причем, чем больше температура нагрева установки, тем больше ее ход, и соответственно больше создаваемое усилие сжатия. На рис. 2 приведена зависимость давления термокомпрессионной установки от температуры нагрева. Расчет создаваемого установкой давления на обрабатываемый материал проводили на основе решения системы уравнений термического расширения отдельных элементов установки и упругого сжатия последних. Создаваемое установкой долговременное воздействие давления и температуры позволяет не только увеличить плотность компактируемого материала, но и интенсифицирует образование твердофазного соединения между элементами стружки.

Результаты исследования структуры полученных заготовок с помощью метода металлографии после каждой операции деформационной обработки и соответствующего диффузионного отжига показали наличие очагов образования твердофазного соединения уже после компактирования. Последующая термокомпрессионная обработка обеспечила интенсивное распространение областей твердофазного соединения между элементами стружки по всему объему брикета и повысила удельную плотность материала от 90 до 97—98 %.

При поэтапном анализе воздействия пластической деформации и температуры на интенсивность образования твердофазного соединения установили зависимость интенсивности образования твердофаз-

ного соединения между элементами стружки от величины сдвигающих деформаций. Применение водородной пластификации титановых сплавов позволило получить образование областей твердофазного соединения уже на этапе предварительного компактирования брикетов, что составило для сплава BT3-1 7—8 % по протяженности границ, а для сплава BT16 — 6—7 %. Соответственно для непластифицированных материалов при аналогичных условиях обработки объем областей твердофазного соединения составил 2—3 и 1—2 %. Последующее экструдирование в оболочке с коэффициентом вытяжки 4,5 при 400 °С позволило получить готовое компактное изделие с удельной плотностью материала 99 % и высокими прочностными характеристиками. Использование подобного материала возможно в качестве полуфабрикатов при дальнейшем производстве или в качестве готового изделия неотвественного назначения.

Горячая обработка стружки титановых сплавов затруднена тем, что этот процесс сопровождается активным образованием оксидной пленки на по-

верхности стружки, что делает невозможным соединение ее элементов. Наиболее целесообразным представляется проведение всех процессов, связанных с повышенными температурами, в защитной среде инертных газов, которая позволяет защитить поверхностные слои материала от окисления и предотвратить исход атомов водорода из альфированного слоя металла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красулин Ю. Л., Назаров Г. В. Микросварка давлением. М.: Металлургия, 1976. 160 с.
2. Каракозов Э. С. Сварка металлов давлением. М.: Машиностроение, 1986. 276 с.
3. Носов В. К., Колачев Б. А. Водородное пластифицирование при горячей деформации титановых сплавов. М.: Металлургия, 1986. 120 с.
4. Галкин В. И. Новые эффективные методы производства изделий из волокнистых композиционных материалов. М.: "МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского, 1997. 67 с.
5. Технологии заготовительных производств / И. Л. Акаро, Р. А. Андриевский, А. Ф. Аржанов и др.; под общ. ред. В. Ф. Мануйлова // Машиностроение: Энциклопедия / Ред. совет: К. В. Фролов и др. М.: Машиностроение, 1996. Т. III-2. 736 с.

М. В. ГЕРАСИМОВ, канд. техн. наук

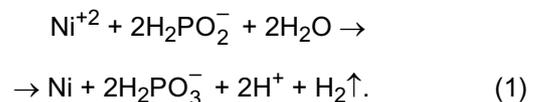
Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН

Многослойные никель-фосфорные покрытия для защиты стали от атмосферной коррозии

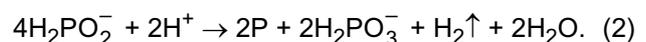
Покрытия никель—фосфор, получаемые методом химического осаждения (восстановления), получили практическое применение из-за относительной простоты способа получения и ряда высоких эксплуатационных свойств. Такие свойства покрытий, как коррозионная стойкость, износостойкость и микротвердость позволяют использовать их в машиностроении, приборостроении, судостроении, самолетостроении, а также в нефтяной, газовой, химической, текстильной промышленности. Покрытия наносят на внутренние детали реакционных аппаратов (запорная арматура, барбатыры, мешалки), емкости для хранения химически чистых продуктов, детали нефтегазового оборудования, например для защиты от сероводородного растрескивания, детали двигателей (коленчатые валы, инжекторы, поршни цилиндров), насосы, изделия метизного производства (проволока, лист, крепежные детали), пресс-формы, штампы, режущий инструмент. Широкое применение получили также покрытия при изготовлении элементов электронной техники, печатных плат, конденсаторов, высокочастотных резонаторов.

Суть способа состоит в осаждении никеля на поверхность металла из водного раствора хлорида

или сульфата никеля при помощи гипофосфита в присутствии стабилизирующих добавок, например буферной, при 88—95 °С. Суммарную реакцию восстановления катионов никеля гипофосфитом можно представить в виде [1]



В процессе химического никелирования в покрытии всегда осаждается фосфор по реакции



Высокие механические свойства никель-фосфорного покрытия обусловлены большим содержанием фосфора в покрытии, которое зависит от концентрации гипофосфита. Повышение концентрации гипофосфита в растворе приводит к увеличению содержания фосфора в покрытии. Покрытия имеют кристаллическую структуру при содержании фосфора менее 4—5 % и аморфную — при более 8—9 %. После отжига покрытия состоят из кристаллическо-

го никеля и фосфида Ni_3P , отличающегося прочными межатомными связями.

Химически осажденные покрытия никель—фосфор имеют ряд существенных преимуществ, например перед гальваническими покрытиями, что ставит их на первый план по отношению к другим покрытиям. Так, осаждение покрытий методом химического никелирования не требует внешнего источника тока и не связано с процессом электролиза, а следовательно, с рассеивающей способностью электролита. Это позволяет получать равномерное по толщине покрытие на деталях сложной формы, имеющих узкие глухие отверстия, а также резьбу. Процесс осуществляется там, куда попадает электролит. Скорость процесса постоянная на любом участке поверхности, что позволяет наносить покрытия калиброванной толщины с жесткими допусками на детали любой формы.

Никель-фосфорные покрытия имеют высокие механические свойства, которые можно дополнительно повысить путем отжига. Микротвердость никель-фосфорных покрытий в 1,5—3,0 раза больше, чем электролитических никелевых и составляет 4,5—7,5 ГПа непосредственно после осаждения. После термической обработки микротвердость может достигать 12—15 ГПа и превышать таковую для электролитического хрома (самого твердого из применяемых электролитических покрытий), что дает возможность использовать никель-фосфорные покрытия как износостойкие. Микротвердость композитных покрытий никель—фосфор с соосажденными дисперсными материалами (корундом, алмазным порошком, карборундом) может составлять 30 ГПа.

Химические никелевые покрытия сохраняют высокую твердость при нагреве до высоких температур и последующем охлаждении. После отпуска при 800 °С твердость никель-фосфорного покрытия составляет 4 ГПа против 0,85 ГПа для электролитического никеля.

Сцепление (адгезия) химических никелевых покрытий с поверхностью покрываемого металла является наилучшим среди известных в настоящее время классов покрытий. Так, прочность сцепления покрытия со сталью составляет 450 МПа против 200 МПа для гальванического хрома.

Никель-фосфорные покрытия деформируются без растрескивания при изгибе подложки на 180° и обратно при толщине покрытия до 10 мкм.

Данные покрытия снижают усталостную прочность основного металла незначительно (не более чем на 5 %), в то время как другие — на 20—40 %. Обладают низким коэффициентом трения (не более 0,02), который может быть снижен путем соосаждения твердых смазок (графита и дисульфида молибдена), а также защищают пары трения от схва-

тывания и заедания при разрушении смазочной системы (нагрузка схватывания не менее 4000 МПа против 165 МПа для стали 30ХГСА).

Износостойкость покрытия такая же, как у электролитических хромовых, но сопряженную поверхность они изнашивают в 2—3 раза меньше, так как отличаются высокой прирабатываемостью. Дополнительно износостойкость можно повысить за счет соосаждения твердых смазок, частиц корунда или карбидов металлов (не менее чем в 5 раз). Отличительной особенностью никель-фосфорных покрытий является возможность соосаждения упрочняющих порошков с высокой объемной концентрацией (до 50 % против 0,5—1,0 % для хромовых гальванических покрытий), и, соответственно, получение высокой износостойкости. Покрытия с содержанием частиц второй фазы (алмаза, корунда, боразона) может быть использовано для защиты инструмента, метчиков, сверл и т. д.

Термостойкость покрытия может достигать 1200 °С. Покрытие $Ni-P-Si-C$ может кратковременно работать при температуре до 2600 °С и выдерживать 2000 циклов охлаждения от 1000 до 20 °С.

Никель-фосфорные покрытия обладают высокой коррозионной стойкостью, что обусловлено отсутствием сквозной пористости при толщине покрытий более 15 мкм и содержанием фосфора в покрытии. Если для стали X20H20 скорость коррозии в серной кислоте возрастает при увеличении содержания фосфора от 0,002 до 0,025 % [2], то для никель-фосфорного покрытия — снижается. Так, в 15 %-ной соляной кислоте покрытия с содержанием фосфора 2 % корродируют со скоростью 1,9 мм в год, а с содержанием 14 % — 0,003 мм в год. Скорость коррозии никель-фосфорного покрытия с содержанием фосфора 12 % в концентрированной соляной кислоте при 20 °С составляет не более 0,015 мм в год. Покрытия с высоким содержанием фосфора (20—30 %) по коррозионной стойкости приближаются к благородным металлам. Так, никель-фосфорное покрытие, содержащее 25 % фосфора, заметно растворяется лишь в горячей концентрированной азотной кислоте. В сернокислых средах данное покрытие стойко при концентрации до 70 % и температуре до 100 °С.

При отмеченных преимуществах получаемых покрытий следует отметить некоторые особенности процесса химического никелирования. Во избежание выпадения в растворе твердых частиц химического никеля необходимо поддерживать температуру с точностью до 1 °С, а также анализировать и корректировать раствор по основным компонентам в процессе химического осаждения, особенно при высоких плотностях загрузки [3].

В настоящее время для защиты изделий (например метизов) из черных металлов и сталей от кор-

розии в основном применяют цинковые или другие покрытия, получаемые гальваническим способом. Как показано, никель-фосфорное покрытие, получаемое химическим осаждением, имеет ряд существенных преимуществ перед гальваническими покрытиями. Однако высокая стоимость химических реактивов ограничивает использование покрытий на основе химического никеля в массовом производстве. Толщина 20—50 мкм соответствует беспористому покрытию, но делает его нерентабельным и увеличивает его стоимость по сравнению с гальваническими покрытиями, например цинковыми. В связи с этим цель работы состояла в получении нового сверхтонкого покрытия, включающего химически осажденные никель-фосфорные слои, для защиты черных металлов от атмосферной коррозии.

Образцы представляли собой болты, выполненные из черной стали, класс прочности 4.8 и имели гладкую и резьбовую поверхность. Болты находились в вертикальном положении резьбой вниз. Статистические данные по коррозии были получены для 30 болтов и покрытия одного вида. Степень коррозионных поражений оценивали по количеству точек ржавого цвета, локализованных на сквозных порах покрытия, шляпке и резьбе болтов. Следует отметить, что гладкая поверхность болта (шляпка и нижняя часть до резьбы) подвержена коррозионным поражениям в меньшей степени, чем резьбовая.

Коррозионную среду моделировали в закрытой камере при относительной влажности 100 % в течение 60 циклов. Каждый цикл — это выдержка образцов с покрытием в течение 8 ч при 90 °С и охлаждение (конденсация) в течение 16 ч до 22 °С.

Химическое никелирование, химическое меднение и пассивирование проведены в стандартных электролитах [4]. После каждой операции выполняли промывку в дистиллированной воде.

Покрытия различных составов были подвергнуты отжигу при 400 °С. Влияние отжига на коррозионные свойства покрытий обнаружено не было.

Покрытия никель—фосфор, получаемые химическим осаждением, несмотря на низкую сквозную пористость, являются катодными по отношению к основному металлу (стали) и поэтому защищают его лишь механически, но не электрохимически [5]. В паре основной металл—покрытие будет растворяться основной металл и процесс коррозии будет локализоваться преимущественно в сквозных порах покрытия. При малых толщинах покрытия обязательно имеются сквозные поры. С другой стороны, химически осажденные никель-фосфорные покрытия имеют слоистую структуру. Толщина одного слоя составляет 1—3 мкм. Для уменьшения сквозной пористости и сведения ее к нулю при малых толщинах многослойного покрытия (общая толщина всех слоев 8—10 мкм) была использована концепция увеличения числа слоев покрытия для уменьшения их морфологической наследственности и увеличения вероятности перекрытия сквозных пор одного слоя покрытия следующим слоем. Была использована также дополнительная обработка покрытия в растворе бихромата калия и пропитка покрытия кремнийорганической жидкостью путем окунания.

Коррозионные поражения носили локальный характер и представляли собой точки ржавого цвета. Катодный характер покрытия по отношению к основному металлу способствует наиболее полному проявлению локальной коррозии в точках сквозной пористости. Однако данная локальная коррозия не нарушает функциональных свойств никель-фосфорного покрытия, а лишь ухудшает его внешний вид. Рост коррозионных поражений в ширину и их углубление не наблюдались.

Для решения поставленной задачи были получены около тридцати вариантов покрытия с различными по составу слоями и различной последующей обработкой. Наиболее интересные варианты многослойных покрытий приведены в таблице. Для увеличения прочности сцепления покрытия с основным металлом, увеличения числа слоев разного состава

Номер по порядку	Состав покрытия	Характер коррозионных поражений	Состояние гладкой/резьбовой поверхностей, балл*
1	Cu—NiP	Ржавчина по резьбе, средние и сильные точки	2/0
2	Cu—NiP с пропиткой	1—2 точки на болт	3—4/3—4
3	Cu—NiP с пассивацией	Слабые точки	6—7/2
4	Cu—NiP—Cu—NiP	Сильная ржавчина по резьбе	8/2
5	CuP—Cu—NiP с пассивацией	Отдельные точки по гладкой поверхности	8—9/2—3
6	Cu—NiP—Cu—NiP с пропиткой	Отдельные точки по резьбе	10/7—8
7	Cu—NiP с пассивацией и пропиткой	1—2 точки по всей поверхности	9/7
8	Cu—NiP—NiP с пассивацией	Отдельные точки по резьбе	8/4
9	Cu—NiP—NiP с пропиткой	1—2 точки по резьбе	10/6—7
10	Cu—NiP—NiP с пассивацией и пропиткой	Отсутствует	10/10

* Отсутствие ржавчины — 10 баллов, более 50 % поверхности — ржавчина — 0.

и уменьшения стоимости покрытия использовали медь, полученную химическим осаждением. Как видно из таблицы (позиция 1), двухслойное покрытие медь—никель—фосфор обладает низкой коррозионной стойкостью и даже обработка кремнийорганической жидкостью или пассивирование в бихромате повышают стойкость незначительно (см. таблицу, позиции 2, 3). Увеличение числа слоев до четырех и введение слоя меди между слоями никель—фосфор существенно повышает коррозионную стойкость (см. таблицу, позиция 4), особенно для гладкой поверхности, но не дает стопроцентного результата. Имеются точки коррозии по резьбе. При обработке данного состава покрытия в пассивирующем растворе коррозионные повреждения уменьшаются (позиция 5). Особенно хорошо показал себя данный состав после обработки кремнийорганической жидкостью (позиция 6). Однако имеются отдельные точки коррозии по резьбе. Двухслойное покрытие медь—никель—фосфор после последовательной обработки в пассивирующем растворе и кремнийорганической жидкости (позиция 7) имеет неплохую коррозионную стойкость.

Трехслойные покрытия медь—два слоя никеля—фосфор (см. таблицу, позиции 8 и 9) отличаются коррозионными свойствами, близкими к четырехслойным покрытиям (позиции 5 и 6) после аналогичной обработки либо в пассивирующем растворе, либо кремнийорганической жидкостью. Лишь последовательная обработка составов покрытия в пассивирующем растворе и кремнийорганической жидкости дают максимальный эффект (позиции 7 и 10). Наилучшей коррозионной стойкостью в данных условиях обладает трехслойное покрытие после пассивации и пропитки в кремнийорганической жидкости (позиция 10).

Пассивирование покрытия приводит к образованию качественного оксидного слоя на поверхности основного металла (в сквозных порах). Катионы железа при применении раствора гексациано-феррата калия не обнаружены, что свидетельствует об отсутствии сквозной пористости. Последующая обработка в кремнийорганической жидкости способ-

ствует гидрофобизации поверхности покрытия и заполнению пор полимерным материалом.

Таким образом, получен состав покрытия на никель-фосфорной основе, который после соответствующей обработки хорошо защищает нелегированную сталь от атмосферной коррозии. Данное покрытие может быть использовано для защиты метизных изделий (болтов, гаек), а также других крепежных деталей в условиях повышенной влажности или промышленной атмосферы. Предложенное покрытие может существенно снизить скорость коррозии деталей, находящихся в непосредственном соприкосновении, например, болта и гайки в области резьбы. С одной стороны, покрытие защищает от контактной коррозии, возникающей в результате разности потенциалов двух деталей в пленке влаги. С другой стороны, известно, что в закрытых (застойных) зонах, где испарение воды затруднено, скорость коррозии выше. Покрытие защищает поверхность и от данного вида коррозии. Нанесение покрытия позволяет повысить коррозионную стойкость изделий на несколько порядков. Многослойное покрытие на никель-фосфорной основе способствует как сохранению товарного вида изделий, так и легкому разъединению деталей — например, отворачиванию гайки по резьбе.

Малая толщина покрытия и, соответственно, низкая стоимость используемых для его нанесения химических реактивов, а также высокие эксплуатационные свойства (коррозионная стойкость, хороший товарный вид) делают данное многослойное покрытие вполне конкурентоспособным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбунова К. М., Никифорова А. А. Физико-химические основы процесса химического никелирования. М.: Изд-во АН СССР, 1960. С. 207.
2. Влияние фосфора на коррозионно-электрохимическое поведение стали X20H20 в серной кислоте / О. В. Каспарова, Я. М. Колотыркин, В. М. Мильман и др. // Защита металлов. 1984. Т. XX. № 4. С. 545—551.
3. Гилене О. Д. Оборудование для химического осаждения покрытий // Защита металлов. 1992. Т. 28. № 3. С. 476—478.
4. Ажогин Ф. Ф., Беленький М. А. Гальванотехника: Справочник. М.: Металлургия, 1987. 736 с.
5. Багоцкий В. С. Основы электрохимии. М.: Химия, 1988. 400 с.

С. В. КОСАРЕВСКИЙ, инж.
ОАО "Ижорские заводы"

Интеграция внешних программных модулей с метрологическим программным обеспечением Calypso для автоматизации расчетов в процессе измерений

Для локального обмена данными между приложениями в операционной системе Windows существует множество способов [1]. Среди них сообщения, сокет, технология COM, разделяемая память, файлы на диске и др. С точки зрения языка программирования Calypso PCM наиболее доступным способом межпроцессорного взаимодействия являются файлы на диске, так как язык PCM содержит целый ряд команд для работы с файлами, позволяющих как записывать текстовые файлы, так и читать из них значения переменных.

Для работы с файлами в языке программирования Calypso PCM имеется следующий набор функций (рис. 1):

- `deleteFile` (<имя файла>) — удаляет указанный файл с диска;
- `addToFile` (<имя файла>, <строка>) — добавляет строку к текстовому файлу на диске; если файл не существует, то создает его и записывает в него строку;
- `copyFile` (<имя исходного файла>, <имя целевого файла>) — копирует указанный файл;
- `renameFile` (<старое имя файла>, <новое имя файла>) — переименовывает указанный файл;
- `readPCMFile` (<имя файла>) — загружает текстовый файл с диска и использует его как PCM-программу;
- `getActualInspectionDir`() — возвращает имя папки, в которой находится текущий план контроля;
- `getWD`() — возвращает путь к текущей папке;
- `writeActualsToVDA` ([имя характеристики, ...] <имя файла>) — записывает значения характеристик в VDA-файл.

Кроме того, существует набор функций для запуска внешних приложений непосредственно из

PCM-программы, которые относятся к системным командам (рис. 2):

- `systemCall` (<имя исполняемого файла приложения>) — запускает внешнее приложение и, не дожидаясь его завершения, продолжает работу PCM-программы;
- `systemCallForResultAccess` (<имя исполняемого файла приложения>) — запускает внешнее приложение для доступа к результатам измерения;
- `systemCallWithWait` (<имя исполняемого файла приложения>) — запускает внешнее приложение и останавливает работу PCM-программы до завершения работы приложения.

Идеология взаимодействия Calypso с внешним приложением через текстовый файл заключается в том, что из Calypso при помощи языка PCM создается текстовый файл, в который записываются все входные данные, необходимые для внешней программы. После этого с помощью одной из трех вышеприведенных функций запускается внешняя программа, которая считывает содержимое файла и вы-

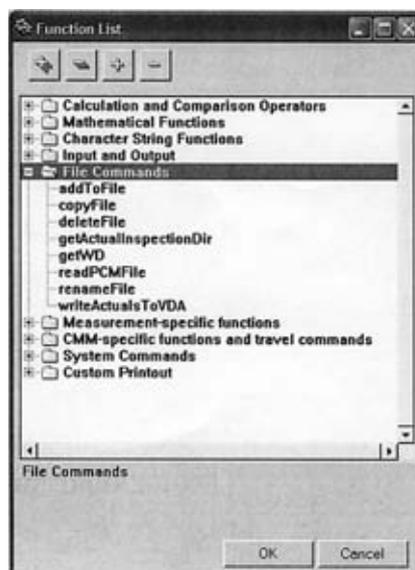


Рис. 1. Команды работы с файлами

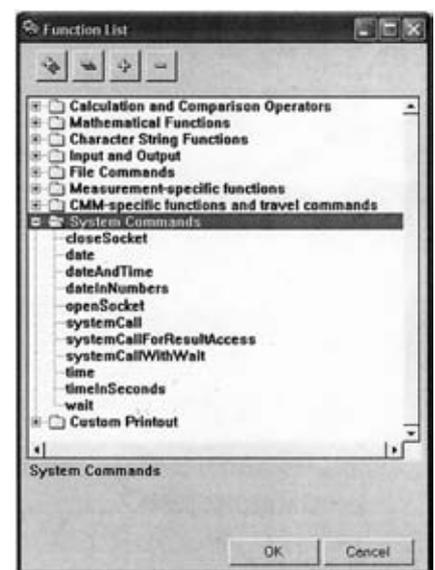


Рис. 2. Системные команды

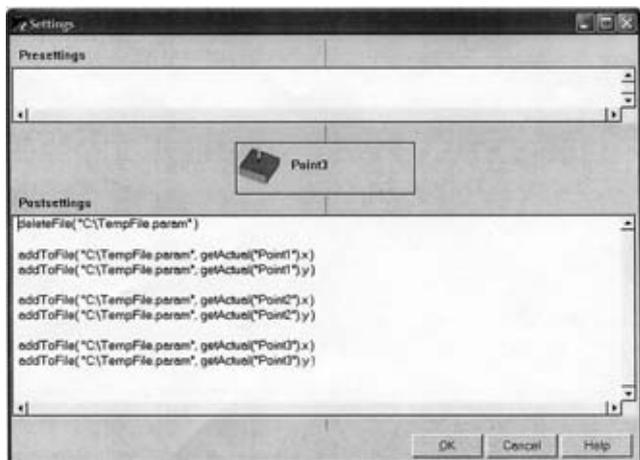


Рис. 3. Ввод РСМ кода для записи результатов в файл

полняет необходимые вычисления. Далее внешняя программа записывает результаты своей работы в выходной файл, который считывается Calypso при помощи РСМ.

Пример реализации взаимодействия через файл

Предположим, что требуется вычислить координаты теоретической точки на плоскости, являющиеся суммой координат трех измеренных точек¹. Для этого необходимо записать в файл координаты трех измеренных точек, написать внешнюю программу, выполняющую расчет и сохраняющую результаты расчета в файл, вызвать ее из Calypso, а затем прочитать результаты расчета из Calypso и вывести их в окончательный отчет. Запись координат трех точек в файл приведена на рис. 3.

После выполнения этого РСМ-кода в файле C:\TempFile.param построчно будут записаны координаты точек в следующем виде (числа взяты для примера):

```
1.0
1.0
2.0
2.0
3.0
3.0
```

Внешняя программа, выполняющая считывание этого файла и расчет средней точки, написанная на языке программирования Паскаль [2], выглядит следующим образом:

¹ Читатели, владеющие РСМ-программированием, заметят, что эту задачу можно легко решить и в Calypso, не прибегая к написанию внешнего приложения, однако на данном простом примере удобно показать суть метода, не прибегая к описанию какой-либо сложной метрологической задачи.

```
Var InFile:Text;
    OutFile:Text;
    I:Longint;
    X,Y:Real;
    Xc,Yc:Real;
Begin
    Xc := 0;
    Yc := 0;

    Assign(InFile, 'C:\TempFile.param');
    Assign(OutFile, 'C:\Result.param');

    Reset(InFile);
    ReWrite(OutFile);

    For I := 1 To 3 Do Begin
        ReadLn(InFile, X);
        ReadLn(InFile, Y);

        Xc := Xc + X;
        Yc := Yc + Y;

    WriteLn(I);
    End;

    WriteLn(OutFile, 'Xc = ', Xc:6:4);
    WriteLn(OutFile, 'Yc = ', Yc:6:4);

    Close(InFile);
    Close(OutFile);

End.
```

Откомпилированный исполнимый модуль² программы поместим в файл C:\Sum.exe и напишем следующий РСМ-код для его выполнения и загрузки результатов:

```
SystemCallWithWait("C:\Sum.exe")
readPCMFile("C:\Result.param").
```

В результате выполнения внешней программы файл C:\Result.param будет содержать (для вышеприведенных исходных данных) следующие строки:

```
Xc = 6.0000
Yc = 6.0000.
```

После выполнения команды readPCMFile("C:\Result.param") в Calypso появятся переменные Xc и Yc, значения которых будут прочитаны из этого файла. Эти переменные можно использовать в качестве координат созданного теоретического элемента (используя возможность Formula) вывода в отчет.

Описанным образом можно выполнять любые необходимые вычисления, используя результаты измерения в качестве входных данных.

² Автор использовал компилятор Free Pascal Compiler [3], <http://www.freepascal.org>.

Считывание значений характеристик из табличного файла Calypso

При включенной опции "Table File" (рис. 4, 5) после выполнения прогона измерений Calypso создаст файл с расширением .txt, в котором содержатся значения всех измеренных характеристик из плана контроля.

В этом файле после первой строки, содержащей заголовок, идут характеристики. Под каждую характеристику выделена отдельная строка. Различные поля в строке отделены между собой символами табуляции. Назначение полей следующее (в порядке слева направо): PlanID — название плана контроля; PartNB — номер детали; ID — имя характеристики; Type — тип характеристики; IDSymbol — код символа для обозначения характеристики в Calypso; Actual — действительное значение характеристики; Nominal — номинальное значение характеристики; UpperTol, LowerTol — величина верхнего и нижнего полей допуска соответственно; Deviation — отклонение от номинального значения; Exceed — величина выхода за поле допуска; FeatureID — название геометрического элемента, к которому относится характеристика; FeatureSigma — среднеквадратичное отклонение формы геометрического элемента; Comment — текстовый комментарий; Link — связь; LinkMode — режим связи; MMC — режим зависимых допусков; UserUpperTol, UserLowerTol — пользовательская величина верхнего и нижнего полей допуска соответственно; FFTPhi, FFTPhiUnit — для внутреннего использования Calypso; GroupName — имя группы, в которую входит характеристика.

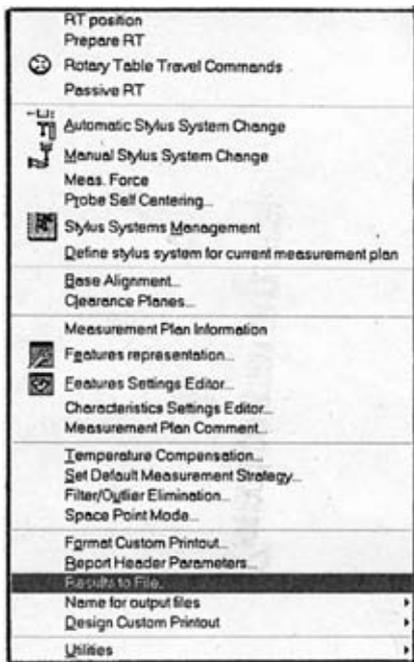


Рис. 4. Меню "Resources"

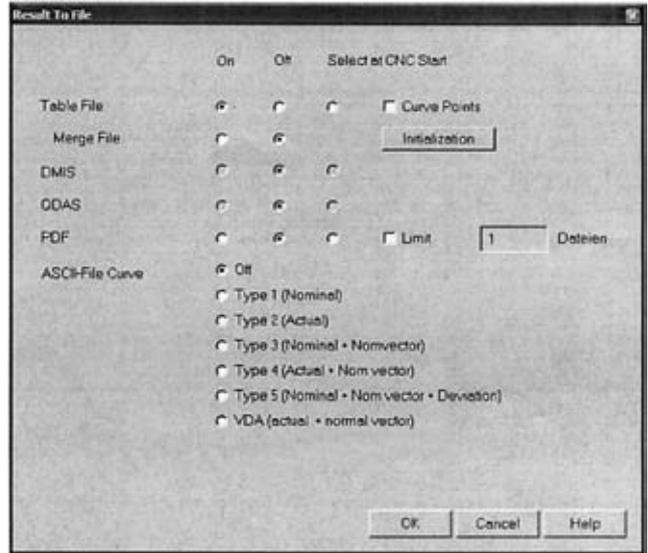


Рис. 5. Включение опции "Table File"

Для считывания этого файла можно воспользоваться небольшим модулем автора на языке Паскаль (http://www.linderdaum.com/art_CMM/CalypsoIO.pas — написан для компилятора Free Pascal [3]).

Использование табличного файла полезно при необходимости оформления многочисленных однообразных сложных отчетов на основе результатов измерений. Например, автор решил задачу заполнения отчетов по результатам измерения. Было необходимо для каждой из более чем тридцати измеряемых деталей вставить в заранее разработанную форму отчета все результаты измерений. Для этого была написана внешняя программа, которая считывала из файла характеристик все необходимые значения. Далее она генерировала заполненный отчет в формате TeX [4], который с помощью системы MiKTeX (<http://www.miktex.org>) переводился в формат документов PDF. От ручного заполнения отчетов удалось полностью отказаться.

Подробно ознакомиться с программным обеспечением Calypso можно в руководстве пользователя [5], а с функциями и различными методами использования параметрического программирования Calypso PCM — в методических указаниях по обучению [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таненбаум Э. Современные операционные системы. С.-Петербург: Питер, 2007. 1040 с.
2. Фаронов В. Turbo Pascal 7. Практика программирования. 7-е изд. М.: Нолидж, 2001. 416 с.
3. Косаревский С. В. Обзор компилятора Free Pascal Compiler // Программист. 2001. № 8. С. 68—71.
4. Кнут Д. Все про TeX. С.-Петербург: Питер, 2003. 560 с.
5. Calypso Metrology Software. User Guide. Rev. 4.0. Carl Zeiss IMT GmbH, 2004.
6. Schulungsunterlage Calypso PCM 3.8. Carl Zeiss 3D Metrology Services GmbH, 2003.

Г. А. БИГУС, д-р техн. наук
(ФГУ НУЦ "Сварка и контроль" при МГТУ им. Н. Э. Баумана "СертиНК"),
Ю. С. ПОПКОВ, инж.
(ООО "ИНТЕРЮНИС")

Перспективы применения метода акустической эмиссии для слежения за развитием коррозионных повреждений

В современных экономических условиях одним из основных способов повышения рентабельности предприятий нефтегазовой, нефтехимической и химической отраслей промышленности с непрерывным производственным циклом является снижение издержек на эксплуатацию технологического оборудования и ликвидацию последствий аварий. Более 80 % всего парка технологического оборудования этих предприятий выходит из строя вследствие коррозионного изнашивания. Следует также отметить, что наибольший процент коррозионной повреждаемости объектов приходится на сварные швы и зоны термического влияния (ЗТВ).

В настоящее время существует ряд методов, позволяющих производить оценку интенсивности и определять характер коррозионных повреждений. К наиболее применяемым относятся весовой метод, метод электрического сопротивления и метод линейной поляризации. Главный недостаток данных методов состоит в том, что определение параметров коррозии на объекте осуществляется косвенным путем по специальным образцам и датчикам коррозии различных типов. Для установления действительных значений скорости коррозии и характера коррозионных разрушений на производственных объектах большое значение имеет корректность выбора метода оценки скорости коррозии и типа датчика коррозии, а также позиционирования датчи-

ка (образца) на объекте. Ввиду большого количества возможных механизмов коррозии необходима детальная проработка условий эксплуатации объектов и учет максимального количества факторов коррозионной повреждаемости. Малейшее несоблюдение какого-либо условия при использовании перечисленных методов может привести к значительному расхождению между показаниями датчиков и реальной коррозионной обстановкой на объекте. Разработка новых методов исследования развития коррозионных повреждений также в основном базируется на получении косвенных результатов с последующей экстраполяцией их на реальный объект.

В этой связи перспективным является применение метода акустической эмиссии (АЭ), позволяющего производить прямую оценку коррозионного состояния материала объекта, основанную на регистрации упругих волн от зон коррозионного разрушения. Преимущество метода АЭ состоит в осуществлении измерений без задержки во времени и простоте использования, что значительно облегчает использование его в составе систем коррозионного мониторинга промышленных объектов.

В настоящее время компания "ИНТЕРЮНИС" активно проводит работы по исследованию развития коррозионных повреждений с применением метода АЭ. Физико-химические процессы, сопровождающие коррозию, исследуют как возможные источники АЭ. Уста-

новлено, что обнаруживаемую эмиссию генерируют такие явления, как растрескивание пленки, газовыделение, микрорастрескивание, вызываемое водородом, рост пластической зоны, дискретный рост трещины в коррозионном растрескивании и за счет водорода. Зная акустико-эмиссионные особенности этих процессов, коррозию можно обнаруживать непосредственно во время ее развития.

Таким образом, можно выделить два перспективных направления практического применения метода АЭ — быструю оценку склонности материала к коррозии и непрерывное слежение за развитием коррозионного разрушения (мониторинг) [1].

В данной работе исследовали коррозионные повреждения, наиболее распространенные в производственной практике, представляющие серьезную опасность для технологического оборудования, которые можно обнаружить с помощью метода АЭ.

При проведении экспериментов исследовали процессы общей и локальной (питтинговой, язвенной) электрохимической коррозии и определяли возможность их обнаружения с помощью метода АЭ для дальнейшего анализа.

Как показывает практика, технологическое оборудование, изготовленное из сталей 10, 20, 09Г2С, 10Г2, 17ГС, удовлетворительно эксплуатируется в некоррозионно-активных средах (чистых нефти и газе). В то же время эти стали наиболее часто применяют для

изготовления оборудования, работающего в прямом контакте с коррозионно-активными средами (обводненной нефти и др.), что неизбежно приводит к значительной повреждаемости от внутренней коррозии [2].

При проведении исследований из стали 20 были изготовлены экспериментальные образцы — полосы размером $500 \times 50 \times 5$ мм. В качестве коррозионно-активной среды использовали растворы серной кислоты различной концентрации. Серная кислота позволяет значительно ускорить коррозионные разрушения, что удобно для проведения экспериментов. Реакция с серной кислотой сопровождается всеми основными процессами, характерными для коррозии:

- газообразованием (образование пузырька газа, отрыв пузырька газа от поверхности металла, разрушение пузырька после всплытия);
- растрескиванием металлургической окалины, образованной при производстве проката;
- разъеданием верхнего слоя основного металла;
- разъеданием подповерхностного основного металла (центральной части).

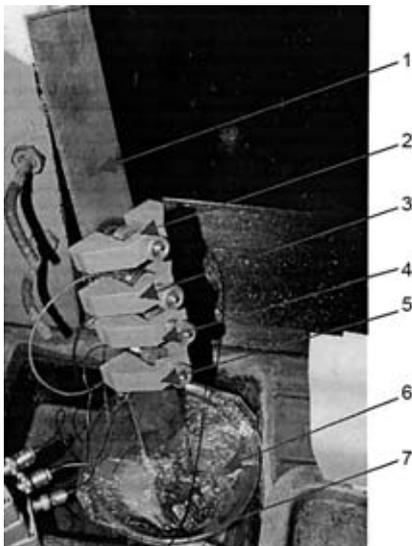


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 — образец; 2 — ПАЗ GT200; 3 — ПАЗ GT205; 4 — ПАЗЭП 30-300; 5 — ПАЗ GT300; 6 — раствор серной кислоты; 7 — стеклянная емкость

На образец устанавливали (рис. 1) преобразователи АЭ GT200, GT205, GT300 с различной чувствительностью и амплитудно-частотными характеристиками (АЧХ) производства компании "ГлобалТест" и ПАЗЭП 30-300 производства компании "Донские измерительные системы". Преобразователь GT-200 — полосовой, с основной частотной полосой преобразования 100—200 кГц; GT205 — полосовой (40—80 кГц); GT300 — широкополосный (100—800 кГц); ПАЗЭП 30-300 — полосовой (30—300 кГц). АЧХ преобразователей представлены на рис. 2. Преобразователи присоединяли к многоканальной АЭ системе РС1-8 производства компании "ИНТЕРЮНИС". Затем образец устанавливали в стеклянную емкость, в которую заливался раствор серной кислоты. Наблюдение за образцом производили в течение 10 сут.

Для анализа коррозионного повреждения использовали осциллограммы АЭ сигналов и их частотные спектры.

При проведении экспериментов визуально и при помощи АЭ аппаратуры зафиксировали выделение водорода, растрескивание и осыпание металлургической окалины и похожие на язвы коррозионные повреждения центральной торцовой части образца (рис. 3), значительно отличающиеся по степени разрушения от внешней поверхности исходного прокатного листа.

Выделение водорода и фиксация АЭ сигналов низкой частоты от 30 до 100 кГц (рис. 4) позволяют сделать предварительный вывод о возможности установления закономерности между общим счетом сигналов АЭ и количеством выделившегося водорода.

В лабораторных условиях с высокой степенью точности можно производить измерения количества выделившегося при коррозии водорода, по которому можно определить массу потери металла при коррозии.

На начальном этапе эксперимента (первые часы) растрескивание металлургической окалины и ее отслоение от основного металла соответствуют более высокочастотным сигналам АЭ от 30 до 200 кГц

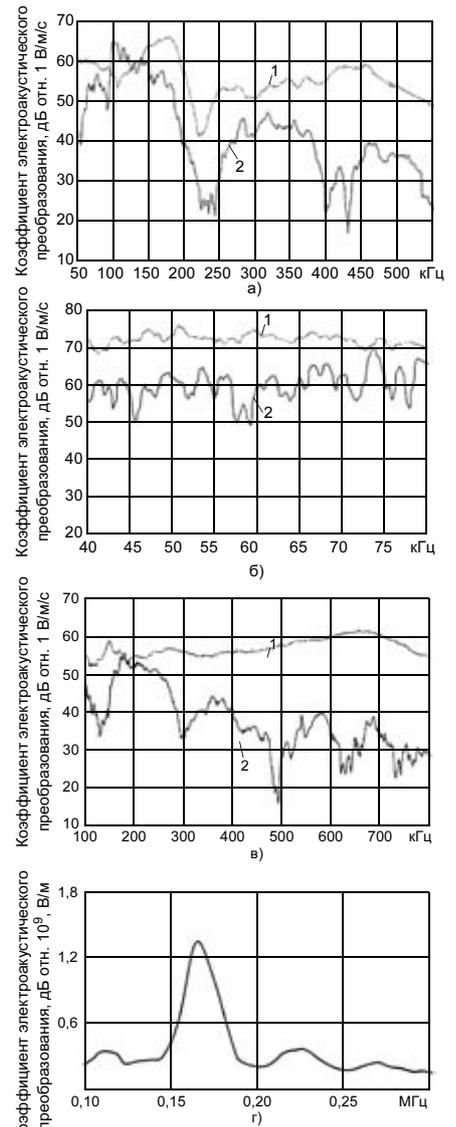


Рис. 2. АЧХ преобразователя GT200 (а), GT205 (б), GT300 (в) и ПАЗЭП 30-300 (г): 1 — продольные волны; 2 — волны Рэлея

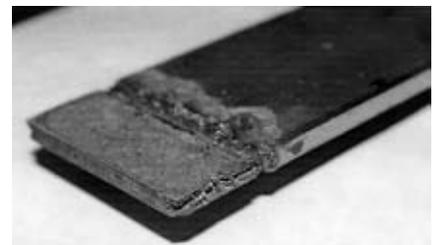


Рис. 3. Образец с коррозионным повреждением

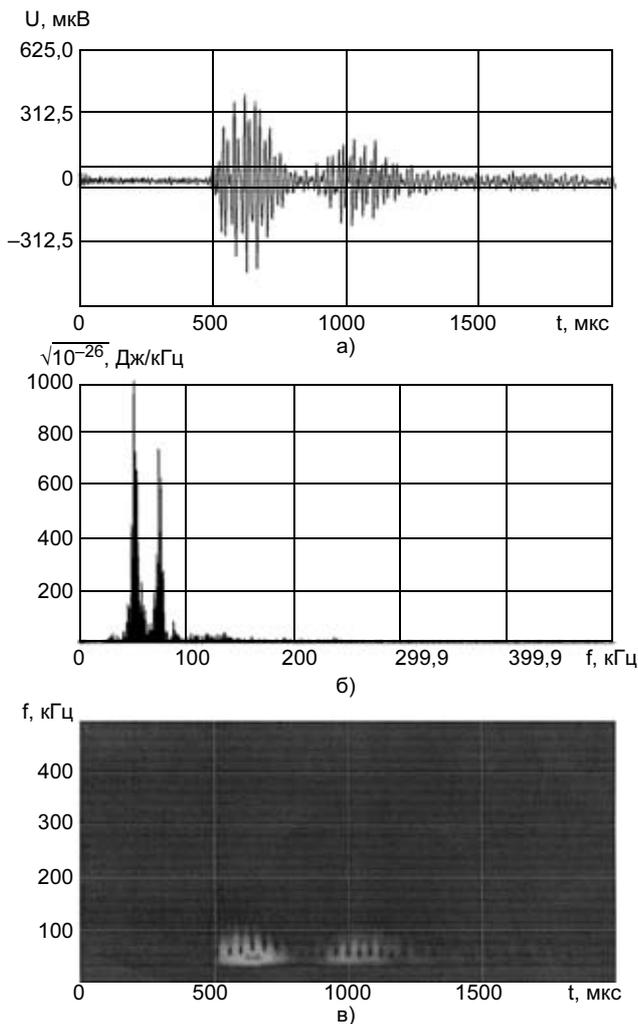


Рис. 4. Низкочастотный сигнал от газообразования: а — форма АЭ сигнала; б — частотный спектр; в — вейвлет-преобразование АЭ сигнала

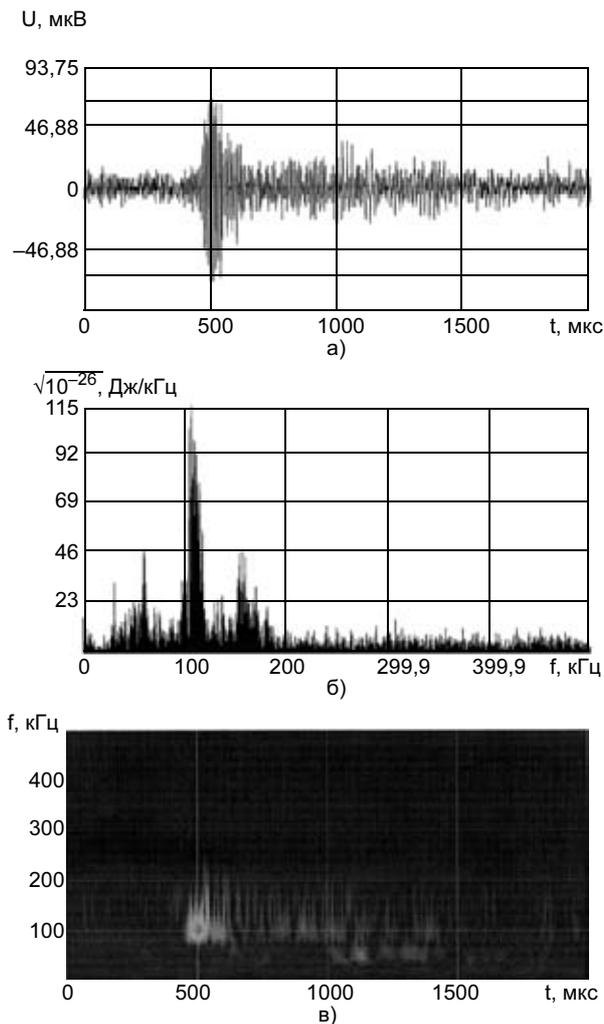


Рис. 5. Сигнал от растрескивания: а—в — см. рис. 4

трещиноподобного вида (рис. 5) по сравнению с пузырькообразованием. Растрескивание металлургической окалины подтверждается визуальным наблюдением. Это может быть использовано на практике для наблюдения за ростом коррозионного слоя, его растрескиванием и отслоением.

При производстве проката различного типа внешние слои прокатных изделий подвергаются упрочнению, в результате чего и имеют более плотную структуру по сравнению с внутренними слоями.

Большая часть сигналов находилась в диапазоне от 30 до 200 кГц (см. рис. 2, в), а примерно 5 % сигналов были высокочастотными — от 330 до 450 кГц (рис. 6). Их доля

совпадает с процентным соотношением площади центральной торцовой части к общей площади, подверженной коррозии. Известно [4], что в тонкостенных конструкциях излучаемый дефектом акустический сигнал представляет комбинацию симметричной и антисимметричной мод волны Лэмба (рис. 7). Все это позволяет сформулировать гипотезу о том, что с увеличением глубины залегания источника увеличивается доля (энергия) симметричной моды и уменьшается доля антисимметричной. Эту гипотезу подтверждает следующий факт: трещина, находящаяся в центре пластины, в силу симметрии должна излучать симметричную моду, а трещина,

расположенная близко к поверхности, — антисимметричную. Эти предположения и экспериментальные данные подтверждают исследования работы [3], в которых также зафиксировано, что различным модам соответствуют различные частотные максимумы энергии.

На рис. 8 приведены теоретически рассчитанные частотные зависимости групповой скорости v (дисперсионные кривые) для мод A_0 и S_0 в пластине [4]. Для анализа мод сигнала удобно применять вейвлет-преобразование, которое позволяет наблюдать различные частотные составляющие сигнала в любой момент времени, и соответственно, приход разных мод. На рис. 9 приведен увеличенный

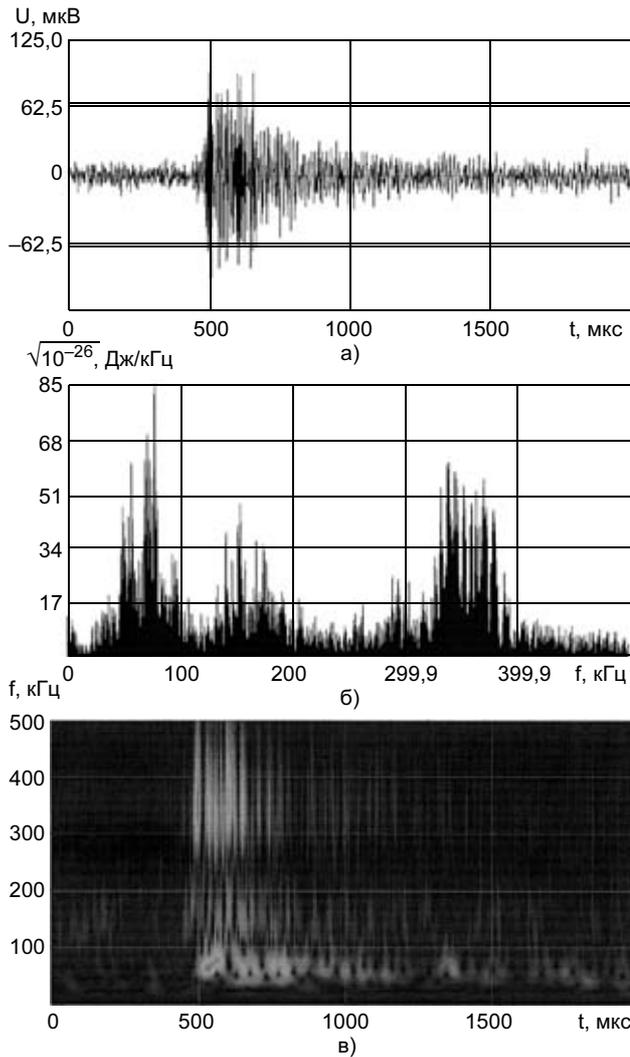


Рис. 6. Сигнал с высокочастотной составляющей: а—в — см. рис. 4

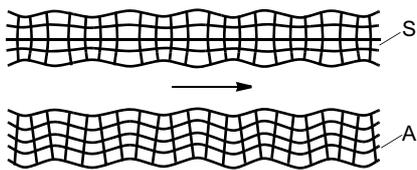


Рис. 7. Деформация пластины при распространении в ней симметричных S и антисимметричных A волн Лэмба [4]

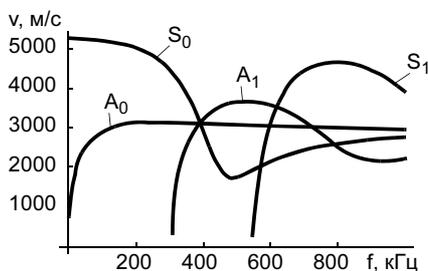


Рис. 8. Дисперсионные кривые для мод A_0 , S_0 и A_1 , S_1 при толщине пластины 5 мм

фрагмент вейвлет-преобразования экспериментального сигнала от источника коррозии с наложенными на него дисперсионными кривыми в координатах частота—время прихода. Видно, что этот источник вызвал появление как высокочастотных, так и низкочастотных составляющих сигнала. Высокая степень совпадения вейвлет-преобразования сигнала и наложенных на него дисперсионных кривых может служить подтверждением правильности предложенной гипотезы.

Таким образом, в результате проведенной экспериментальной работы определены перспективные направления применения метода АЭ для исследования коррозионных процессов, в частности для

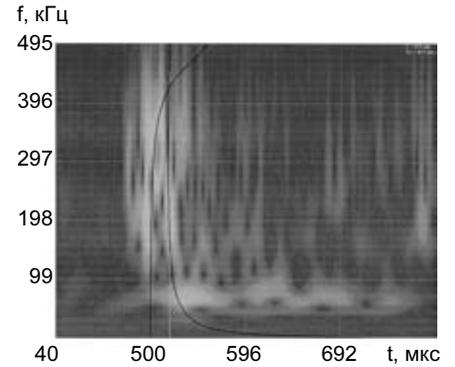


Рис. 9. Фрагмент вейвлет-спектрограммы с наложенными на нее дисперсионными кривыми мод A_0 и S_0

быстрой оценки склонности материала к равномерной коррозии и определения скорости ее развития.

Второе направление имеет большую практическую ценность. В настоящее время отсутствуют методы, позволяющие следить в режиме реального времени за развитием локальных коррозионных повреждений, а именно: питтинговой и язвенной коррозии. Результаты экспериментов показывают, что метод АЭ помимо своей основной функции — определения координат дефекта на протяженных объектах — позволяет фиксировать глубину проникновения локальной коррозии и производить оценку скорости ее развития.

Все это определяет перспективу применения метода АЭ в системах комплексного коррозионно-диагностического мониторинга потенциально опасных производственных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pollok A. A. Acoustic Emission Capabilities and Applications in Monitoring Corrosion. ASTM. Philadelphia, 1986.
2. Завьялов В. В. Оценка факторов, влияющих на развитие локальной коррозии в нефтепромысловых трубопроводах // Тр. Всероссийской конференции по коррозии и электрохимии. М., 2003. С. 198—211.
3. Hamstad M. A., Gallagher A. O. Effects of noise on Lamb-mode acoustic-emission arrival times determined by wavelet transform // Journal of Acoustic Emission. 2005. Vol. 23. P. 1—23.
4. Викторов И. А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике. М.: Наука, 1966. 169 с.

А. В. БАЖАНОВ, инж., С. А. ФЕДОРОВ, канд. техн. наук,
Н. С. ПРОНИН, канд. техн. наук, В. А. ФРОЛОВ, д-р техн. наук
"МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского

Изготовление узлов радиоэлектронной аппаратуры низкотемпературной пайкой с использованием сфокусированного светового луча

Для современного производства радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) характерно большое разнообразие конструкций, методов монтажа и способов получения неразъемных соединений. Наибольший удельный вес в монтажно-сборочных операциях имеет низкотемпературная пайка с применением оловянно-свинцовистых припоев и спиртоканифольных флюсов. Паяные соединения в наибольшей степени удовлетворяют специфическим требованиям РЭА. Эффективность пайки обусловлена конструктивными особенностями паяемых компонентов и технологическими возможностями источников нагрева.

Применение в конструкции РЭА новых электроизоляционных материалов, многослойных печатных плат и гибких печатных кабелей, миниатюризация навесных электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и коммутирующих устройств, высокая плотность монтажа и чувствительность паяемых элементов к тепловому воздействию, повышение требований к качеству и надежности изделий и производительности процесса вызывают необходимость внедрения в производство механизированных и автоматизированных групповых технологических методов пайки и бесконтактных лучевых источников нагрева. К числу таких источников относят лазерный, инфракрасный и световой лучи.

Недостатки лазерного луча обусловлены сложностью технологического оборудования и низкой энергетической эффективностью процесса, а возможности инфракрасного излучения ограничены недостаточной мощностью и локальностью лучистого потока [1, 2].

Широкие технологические возможности регулирования и контроля параметров режима нагрева, универсальность и маневренность светового луча вызывают интерес к нему разработчиков РЭА. Благодаря использованию излучателей различной мощности и комбинированных фокусирующих оптических систем можно решать различные технологические задачи, в частности реализовать процесс низкотемпературной пайки [3, 4].

Цель данной работы — обобщение результатов исследований и разработок в области низкотемпературной пайки РЭА с использованием светового луча.

Конструктивные особенности паяемых узлов и требования к паяным соединениям

Исходя из конструктивных особенностей паяемых узлов при получении соединений используют методы объемного и поверхностного монтажа.

При объемном монтаже паяемые узлы представляют соединения монтажных проводов с наконечниками и разъемами, монтажными стойками и клеммными платами (рис. 1, а). К особенностям объемного монтажа следует отнести расположение паяемых контактов на различных уровнях и сборку паяемых элементов с предварительным механическим закреплением. Весь комплекс сборочно-монтажных операций, включая пайку, как правило, выполняется вручную и поэтому трудно механизмуется.

К поверхностному монтажу относят пайку навесных ЭРЭ или гибкого кабеля к печатной плате. В отличие от объемного монтажа соединение печатных проводников с выводами навесных ЭРЭ осуществляется непосредственно на контактных площадках или в металлизированных отверстиях печатных плат, располагающихся в одной плоскости. Печатные проводники, контактные площадки и металлизированные отверстия печатных плат выполняют, как правило, из медной фольги толщиной 20—50 мкм.

Навесные ЭРЭ штырькового типа (рис. 1, б) устанавливают в металлизированные отверстия печатных плат, а ЭРЭ планарного типа (рис. 1, в) — на контактные площадки. Пайка последних в отличие от ЭРЭ штырькового типа или соединений монтажных проводов с коммутирующими элементами не вызывает принципиальных трудностей, так как сопрягаемые компоненты не имеют большой разницы в толщине. В этом случае обеспечиваются условия для равномерного и одновременного нагрева паяемых элементов и применения механизированных и автоматизированных групповых методов пайки.

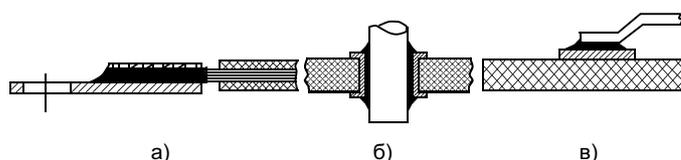


Рис. 1. Схемы конструкции электромонтажных соединений: а — соединение провода с клеммой; б, в — штырьковый и планарный выводы ЭРЭ соответственно

Лампа	Мощность, Вт	Напряжение, В	Световой поток, кЛм	Яркость в центре разряда, Мкд/м ²	Расстояние между электродами, мм	Диаметр колбы, мм	Полная длина лампы, мм	Средняя продолжительность работы, ч
ДКСШ-120	20	13	1,0	700	0,4	13	104	200
ДКСШ-150	50	17	2,3	400	1,0	13	104	500
ДКСШ-200	200	20	3,0	90	2,2	26	149	500
ДКСШ-200-2	200	18	3,0	90	2,2	26	149	500
ДКСШ-300	300	20	6,0	100	2,2	26	149	750
ДКСШ-500	500	20	12,0	200	2,5	31	200	500
ДКСШ-1000-2	1000	22	30,0	250	3,4	43	260	750

Учитывая разнотолщинность и различие в теплофизических свойствах материалов соединяемых выводов навесных ЭРЭ штырькового типа и металлизированных отверстий в печатных платах, нагрев паяемых элементов световым лучом должен осуществляться за счет теплоотдачи от более массивных штырьковых выводов.

В условиях локального нагрева различия в геометрических размерах площади лучевоспринимающей поверхности и поглощательной способности паяемых элементов вызывают неравномерность температурного поля. Возникающий градиент температур обуславливают особенности течения жидкого припоя по поверхности паяемых деталей и в зазоре между ними [4].

Управляя фокусировкой светового луча, можно уменьшить вероятность образования непропаев в паяном шве, не допустить снижения электропроводности и непостоянства переходного контактного электрического сопротивления паяных соединений, исключить изменение цвета, термодеструкцию печатных плат и отслаивание контактных площадок, а также сохранить работоспособность термочувствительных ЭРЭ.

При пайке монтажных проводов с коммутирующими элементами нельзя допускать затекания припоя в жгут провода, чтобы обеспечить соответствующую механическую прочность паяного соединения в условиях действия вибрационных нагрузок.

Источники излучения и фокусирующие оптические системы

В качестве источников излучения применяют дуговые ксеноновые лампы сверхвысокого давления, спектр излучения которых находится в пределах $\lambda_{\text{в}} = 0,2 \div 2,4$ мкм. Около 50 % лучистого потока, излучаемого лампой, приходится на ультрафиолетовую и видимую части спектра, что эффективно для нагрева металлических материалов [2].

Дуговые ксеноновые лампы сверхвысокого давления эксплуатируют в непрерывном и импульсном режимах. Для обеспечения их работы применяют источники электрического тока с падающей вольт-амперной характеристикой и напряжением холостого хода не менее 80 В. Типы и характеристики ламп сверхвысокого давления приведены в таблице.

На основании опыта, накопленного при исследовании светолучевого оборудования, для низкотемпературной пайки узлов и элементов РЭА наиболее эффективно применение короткодуговых ламп мощностью до 1 кВт, обеспечивающих необходимые светотехнические характеристики.

Для фокусирования излучения ламп применяют оптические системы на основе двухфокусных эллипсоидных отражателей, выполняемых обычно из алюминиевых сплавов. В ближнем фокусе отражателя помещают лампу, излучение которой направляют в дальний (рабочий) фокус, где располагают объект нагрева [2, 6—8].

Типы фокусирующих оптических систем, применяемых при пайке ЭРЭ, приведены на рис. 2.

Излучатель и отражатель конструктивно представляют светолучевую головку, называемую модулем лучистого нагрева (МЛН). Помимо отражателя и лампы в конструкцию модуля входят юстировочное устройство, узел подвески лампы и система охлаждения колбы, лампы и отражателя. Системой кабелей модуль соединен с источником питания и аппаратурой управления [2, 6].

Разработаны МЛН с лампами различной мощности (рис. 3). Модули можно монтировать на стандартных стойках, колоннах или кронштейнах и устанавливать в механизированные и автоматизированные линии.

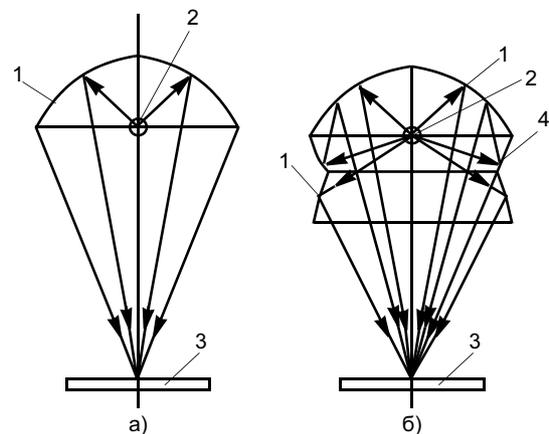


Рис. 2. Оптические системы, применяемые в установках для сварки и пайки световым лучом: а — моноэллипсоидная; б — комбинированная; 1 — отражатель; 2 — источник излучения; 3 — объект нагрева; 4 — контроллятор

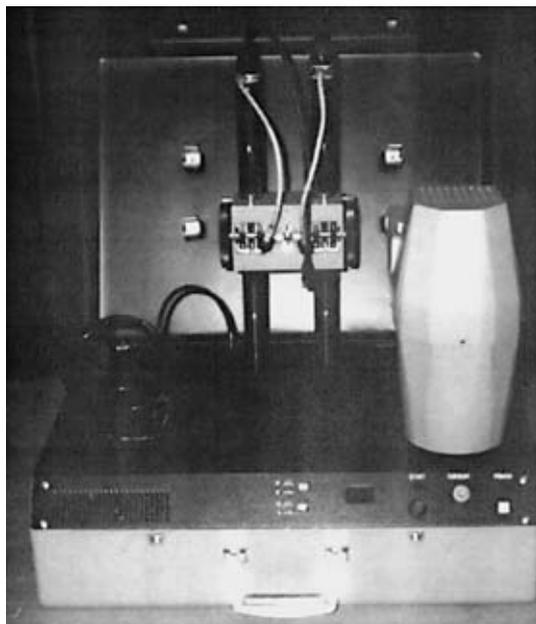


Рис. 3. Светолучевая установка "Луч-2"

Помимо традиционной схемы нагрева, основанной на фокусировании излучения в одну точку, разработана конструкция модуля, использующая расщепление светового потока на два луча. Отражатель, состоящий из двух поворотных секторов, позволяет раздвинуть рабочие фокусы на расстояние до нескольких десятков миллиметров¹.

Реализация схемы нагрева навесных ЭРЭ с симметрично расположенными выводами за счет использования пространственно-трансформированного светового луча позволяет осуществить одновременный нагрев двух рядов соединений при перемещении печатной платы.

¹ Патент 2092288 (РФ).

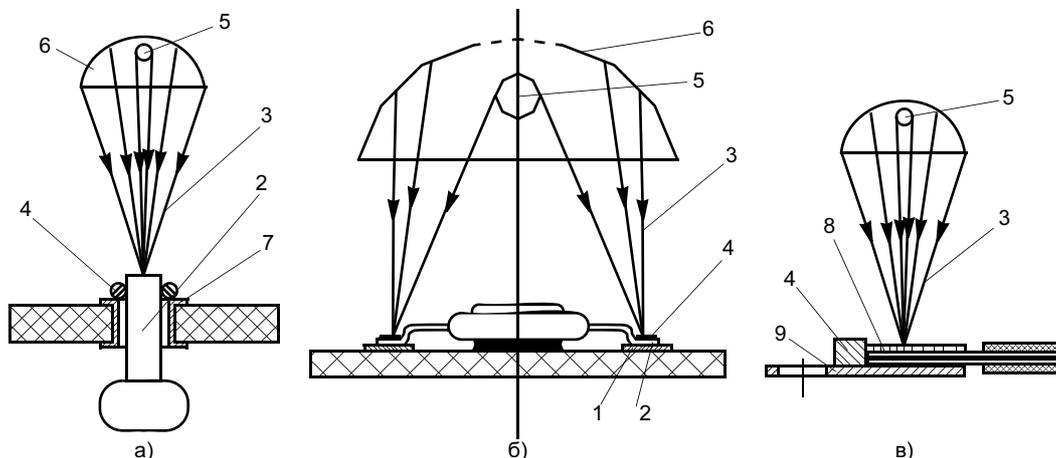


Рис. 4. Схемы размещения припоя при светолучевой пайке ЭРЭ: а — традиционная схема поверхностного монтажа; б — схема нагрева с расщеплением светового потока при поверхностном монтаже; в — схема объемного монтажа; 1 — контактная площадка; 2 — вывод навесного элемента; 3 — лучистый поток; 4 — навеска припоя; 5 — источник излучения; 6 — отражатель; 7 — металлическая втулка; 8 — гибкий токоподвод; 9 — клемма

Технологические особенности пайки узлов РЭА

Принципиальным при светолучевой монтажной пайке узлов РЭА является выбор формы и способа закладки припоя и определение условий фокусирования лучистого потока на паяемых деталях. Схемы размещения припоя приведены на рис. 4.

Как показали исследования [4], при пайке отдельных контактов сопрягаемых элементов необходимо предусматривать фокусировку светового луча на более массивном элементе паяемого узла.

В условиях мелкосерийного производства при пайке монтажных проводов сечением 0,35—2,50 мм² с выводами разъемов навеску припоя выполняют в форме кольца и напрессовывают на участок монтажного провода, с которого удалена изоляция. При пайке с наконечниками навеску припоя в форме шайбы устанавливают на плоский участок наконечника у торца провода. При выполнении этих условий обеспечиваются условия направленного течения жидкого припоя в зазор сопрягаемых элементов с образованием галтели по всему периметру соединения.

В крупносерийном производстве целесообразна автоматизированная подача проволоки припоя в зону соединения за счет импульсного дозатора. Масса припоя, необходимая для образования соединения, определяемая скоростью подачи проволоки, зависит от площади сечения проволоки и площади спаиваемой поверхности.

При пайке навесных ЭРЭ штырькового типа навеску припоя кольцевой формы напрессовывают на каждый вывод ЭРЭ. При одновременной пайке нескольких планарных выводов микросхемы навеску припоя выполняют в форме проволоки, которую напрессовывают на всю группу паяемых выводов микросхемы. При перемещении светового луча происходит расплавление и разрыв проволоки на капли, обеспечивающие пропаивание отдельных контактов.

Чтобы избежать перегрева печатной платы, пайку навесных элементов РЭА осуществляют с использованием защитных масок, выполняемых в виде диафрагмы и прижима, а также импульсного нагрева [4]. При пайке штырьковых элементов импульс излучения подают на каждый контакт ЭРЭ при остановке платы. Пайку планарных выводов микросхем проводят при непрерывном перемещении плат и подаче импульса в период прохождения луча вдоль ряда выводов одной микросхемы. В период пауз, когда пайка не производится, лампа работает в дежурном режиме при минимальной мощности.

Этапы разработки технологии низкотемпературной пайки

Разработка технологии является распределенным по времени процессом, этапы которого могут быть детализированы. Анализ конструктивного подобия узлов РЭА, технологической общности используемых операций и приемов, а также параметры режима пайки позволяют все этапы разработки технологии светолучевой пайки свести к определенной блок-схеме (рис. 5).

В каждом конкретном случае реализуемое техническое решение построено на сочетании тех или иных этапов разработки технологии. Представленная последовательность этапов облегчает задачу разработки типового технологического процесса и является методической основой инженерного поиска и создания более совершенных образцов светолучевого оборудования.

Перспективы совершенствования светолучевого оборудования связаны не только с модернизацией имеющегося МЛН, но и с разработкой ручного инструмента и безламповых светолучевых устройств.

Разработано ручное светолучевое устройство по подобию инфракрасного паяльника [9], источником излучения в котором является дуговая ксеноновая лампа ДКсШ мощностью до 1000 Вт, а фокусирующим элементом — комбинированный эллипсоидный отражатель. Светолучевой паяльник может быть успешно применен при ремонте паяных соединений².

В безламповых светолучевых устройствах в качестве источника излучения используют разряд между двумя вольфрамовыми электродами, помещенными внутрь герметичной камеры, заполненной ксеноном³.

Представленные варианты светолучевых устройств существенно расширяют технологические возможности процесса светолучевой пайки.

² Патент 2082569 (РФ).

³ Патент 2092289 (РФ).



Рис. 5. Блок-схема этапов разработки технологии светолучевой пайки

Следует отметить, что предлагаемые в данной работе материалы являются результатом анализа изобретений и достижений технической мысли и практики в этой области. Внедрение накопленного опыта в сфере светолучевых технологий должно способствовать дальнейшему развитию отечественного приборостроения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория сварочных процессов / Под ред. В. В. Фролова. М.: Высшая школа, 1988. 558 с.
2. Никифоров Г. Д., Опарин М. И., Федоров С. А. Сварка и пайка световым лучом. М.: Машиностроение, 1979. 41 с.
3. Использование энергии светового луча в технологических целях / В. А. Фролов, В. С. Мамаев, Н. С. Пронин, Н. А. Коробко // Сварочное производство. 1993. № 4. С. 12—15.
4. Коробко Н. А. Поверхностный монтаж радиоэлементов на печатные платы световым лучом дуговых ксеноновых ламп // Приборы и системы управления. 1991. № 8. С. 41—42.
5. Карякин Н. А. Световые приборы прожекторного и проекционного типов. М.: Высшая школа, 1966. 411 с.
6. Использование сфокусированной лучистой энергии мощных ксеноновых ламп для сварки и пайки металлов / Г. Д. Никифоров, В. В. Дьяченко, М. И. Опарин, Г. Г. Лопатина // Сварочное производство. 1969. № 9. С. 1—3.
7. Никифоров Г. Д., Опарин М. И., Федоров С. А. Использование лучистого нагрева для сварки пайки и термообработки // Сварочное производство. 1974. № 12. С. 18—21.
8. Овчинников В. В., Федоров С. А. Пайка световым лучом дуговых ксеноновых ламп токоведущих элементов силовой электроаппаратуры // Сварочное производство. 1988. № 6. С. 1—2.
9. Белов А. А. Лучевой высокотемпературный паяльник с кварцевой лампой накаливания // Сварочное производство. 1983. № 7. С. 40.

В. И. ГРИНЕНКО, канд. техн. наук, В. В. РОЩИН, канд. техн. наук,
В. А. ХАВАНОВ, канд. техн. наук, С. И. ПОЛОСКОВ, д-р техн. наук
НИКИМТ

К вопросу об автоматизации сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций

В соответствии с директивными документами "Энергетическая стратегия России на период до 2020 г." и "Стратегия развития атомной энергетики России в первой половине XXI века" планируется ввести в строй не менее 26 энергоблоков с реакторами типа ВВЭР и БН. В связи с этим необходимо совершенствование технического и качественного уровня их изготовления, монтажа, технического обслуживания и ремонта, а также дальнейшее повышение ядерной безопасности этих объектов.

Трубопроводы являются базовыми элементами в технологических цепочках атомных электростанций. Правилами и нормами в атомной энергетике (ПНАЭГ) они выделены в отдельную группу технических устройств по влиянию на надежность и безопасность АЭС. Сложные условия эксплуатации трубопроводов, ограниченная доступность к месту выполнения работ, требования промышленной безопасности обуславливают необходимость обеспечения высокого качества сварки, прочности и коррозионной стойкости сварных соединений. По трудозатратам монтаж трубопроводов занимает порядка 40 % всех затрат на монтаж станций. В основном трубопроводы реакторной установки АЭС соединяют между собой реактор, парогенераторы, главные циркуляционные насосы, арматуру и другое оборудование. В настоящее время в атомной энергетике разрешена к применению для сварки стыков таких трубопроводов технология автоматической или ручной аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом. Основной объем стыков сваривают в неповоротном положении орбитальной сваркой. Такая технология относится к высоким сварочным технологиям, наиболее сложным в реализации.

Определенный интерес представляет история развития автоматической орбитальной сварки в атомной отрасли.

На стадии проектирования головного реактора РБМК для Ленинградской АЭС (ЛАЭС) — первой станции с реакторами этого типа, отличающегося разветвленными трубопроводами, — было принято решение максимально автоматизировать сварку более чем 240 000 трубных соединений, выполняемых на монтаже. Одновременно с этим также было принято решение о создании сварочных технологий и автоматического оборудования для ремонта реакторов РБМК, в том числе с заменой технологических каналов. Задача автоматизации процесса сварки этих соединений была поставлена перед НИКИМТом

(ныне филиал ФГУП "ИСК "Росатомстрой" — НИКИМТ), имевшим к тому времени большой опыт в области автоматизации сварки труб.

Характерным примером могут служить работы организованного НИКИМТом монтажно-сварочного участка на заводе № 35 комбината "Маяк". В 1958—1959 гг. на этом монтажно-сварочном участке под руководством специалистов НИКИМТа было сварено около 10 тыс. неповоротных стыков труб из коррозионно-стойких сталей автоматами АТВ (конструкции НИАТ Минавиапром), изготовленных опытным производством НИКИМТа. По-видимому, это первый в мировой практике случай 100 %-ной автоматизации сварки такого количества трубных соединений.

Однако для сварки трубопроводов АЭС в монтажных условиях автоматы АТВ были неприемлемы в первую очередь из-за больших габаритных размеров и массы. Ко времени проектирования ЛАЭС НИКИМТ имел уже сложившийся коллектив конструкторов сварочных автоматов и значительное количество моделей орбитальных трубосварочных автоматов, применявшихся в атомной отрасли, энергетическом строительстве, атомном судостроении и др.

Для монтажа и ремонта трубопроводов реакторов РБМК был разработан ряд специальных автоматов для сварки конкретных соединений: трактов технологических каналов, сильфонных компенсаторов, торцевых и угловых швов, приварки верхних обойм, "калачей", пароводяных коммуникаций и др. Были доработаны и некоторые модели ранее разработанных автоматов общего назначения серии ОДА, наиболее популярных в СССР, годовая потребность которых во всех отраслях страны составляла более 500 единиц.

В общей сложности при монтаже и ремонте одного блока реактора РБМК были задействованы около 100 автоматов более 20 моделей, разработанных и изготавливаемых НИКИМТом. В том числе только для монтажа были поставлены 48 автоматов.

В результате применения орбитальной автоматической сварки значительный объем сварочных работ был проведен качественно и в сжатые сроки. Автоматическая орбитальная сварка при надлежащей организации производства позволила довести уровень автоматизации до 60 %, что обеспечило повышение производительности труда в среднем в 4 раза по сравнению с ручной аргонодуговой

сваркой. Следует отметить, что при этом были существенно снижены требования к квалификации сварщиков: выпускника ПТУ обучали на оператора автоматической сварки за один месяц.

В НИКИМТе постоянно модернизировали орбитальные автоматы, заменяли новыми моделями и поставляли на монтаж и ремонт всех последующих АЭС с 17 реакторами РБМК. Главный конструктор реактора акад. Н. А. Доллежал на одном из совещаний подчеркнул, что без сварочного оборудования НИКИМТа невозможно было бы разработать и эксплуатировать реакторы РБМК.

Несколько иначе обстояло дело с автоматизацией сварки трубопроводов АЭС с реакторами типа ВВЭР, основных на ближайшую перспективу. Это объясняется рядом причин. Одна из главных заключалась в том, что Минэнерго СССР, строившее наряду с РБМК станции с реакторами ВВЭР, не имело специализированных конструкторских коллективов, а также возможности приобретения дефицитных комплектующих и производственных возможностей, таких как атомная отрасль. Минэнерго приобретало у НИКИМТа трубосварочное оборудование общего назначения, в основном автоматы серии ОДА. Однако этого было недостаточно. В небольшом количестве на непрофильных предприятиях производили упрощенные автоматы для сварки без присадочной проволоки, разработанные институтом "Энергомонтажпроект", и спроектированные ВНИИЭСО автоматы серии АДГ. Последние не были доведены до массового производственного внедрения и требовали существенной доработки. Не разрабатывались для ВВЭР и специализированные сварочные автоматы.

При поставленной задаче существенного развития атомной энергетики за счет строительства АЭС

с реакторами типа ВВЭР автоматизация орбитальной сварки более чем 120 000 монтажных стыков трубопроводов в каждом блоке АЭС становится актуальной. Для этого в первую очередь необходимо оснастить монтажные организации аттестованными в соответствии с требованиями отрасли современными орбитальными трубосварочными автоматами.

В настоящее время на рынке сварочного оборудования имеется большое количество орбитальных трубосварочных автоматов различных, в основном зарубежных, фирм. Однако все представленные модели далеко не в полной мере удовлетворяют требованиям монтажа объектов атомной энергетики, где в связи с большим количеством сварных соединений требуется достаточно высокий ресурс машинного времени автоматов и реальная производительность. Все орбитальные автоматы зарубежных фирм для сварки труб малых диаметров в отличие от отечественных требуют жидкостного охлаждения, что снижает их мобильность — увеличивается время передислокации от стыка к стыку, что существенно снижает производительность сварки. Существенно уступают они отечественным автоматам и по ресурсу. Так, автоматы серии ОДА конструкции НИКИМТа для сварки труб малых диаметров имеют ресурс машинного времени 600 ч, что в разы превышает ресурс лучших зарубежных автоматов. Существенным фактором является то, что эти специально разрабатываемые для атомной отрасли автоматы подразделяют на типоразмеры с учетом диаметров труб, применяемых в конструкциях отечественных реакторов. Не менее существенно и то, что они имеют самые малые технологические размеры, определяющие вписываемость головок автомата в стесненных условиях монтажа.

Модель	Диаметр свариваемых труб $D_{тр}$, мм	Конструктивное исполнение	Максимальная толщина стенки труб, мм	Радиус вращающихся частей, мм	Установочная длина, мм	Масса головки, кг	Подача присадочной проволоки ¹	Регулировка длины дуги	Колебания электрода ¹	ТВ система ¹	Протоколирование процесса ¹	Примечание
ОДА—26М	8—26	Корпусные	3,5	40	77	2,5	—	—	—	—	—	
ОДА—42М	20—42		3,5	53	82	2,8	—	—	—	—	—	
ОДА—3М	42—76		3,5	85	85	3,9	—	Ручная	—	—	—	
ОДА—20-42П	20—42		6,0	73	80	3,8	+	"	—	—	—	
ОДА—42-76П	42—76		6,0	95	85	4,6	+	"	—	—	—	
ОДА—76-133П	76—133		8,0	160	105	9,5	+	АРНД	+	—	—	
"Минора-1"	≥30	Тракторные	12,0	$D_{тр}/2 + 66$	195	4,0	+		+	—	+	
СА-673	325		16,0	263	260	10,0	+		+	+	+	Могут быть изготовлены на другие диаметры
СА-675	442—476		20,0	342	260	10,6	+		+	+	+	
СА-670	828		20,0	546	260	12,0	+	+	+	+		

¹ "+" — имеется, "—" — отсутствует.

Реализуемые зарубежными автоматами режимы сварки не в полной мере обеспечивают процессы сварки, применяемые в отрасли, в частности широко применяемый способ сварки с автопрессовкой, до настоящего времени практически не освоенный за рубежом.

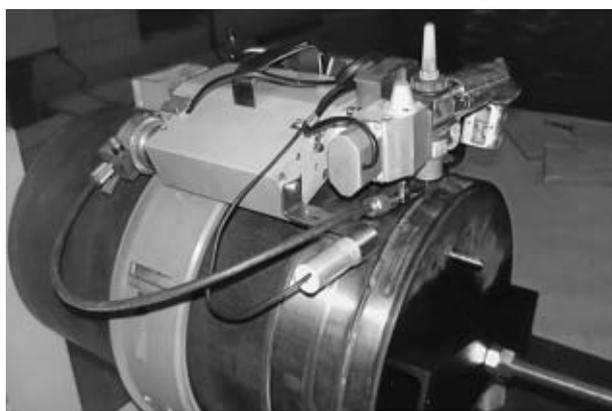
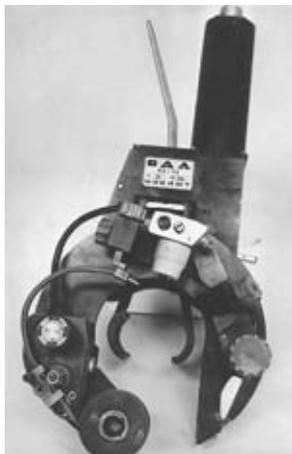
В свое время в СССР специальная комиссия, организованная Всесоюзным координационным советом по сварке при ИЭС им. Е. О. Патона, на основании сравнительного анализа всех известных орбитальных автоматов (включая зарубежные) признала

лучшими автоматы конструкции НИКИМТа. Это преимущество сохранилось и до настоящего времени. Работы по совершенствованию существующих и разработка новых моделей современных орбитальных автоматов ведутся в НИКИМТе постоянно. В том числе в последние годы применительно к атомной отрасли разработаны так называемые полнофункциональные автоматы с самой высокой степенью автоматизации процесса сварки и современной микропроцессорной аппаратурой. Большим преимуществом НИКИМТа в области автоматизации орбитальной сварки является то, что ни одна отечественная или зарубежная фирма не обладает столь высокой квалификацией в области технологических процессов орбитальной аргодуговой сварки. Большинство технологических процессов, регламентируемых ПНАЭГ, разработаны в НИКИМТе, и практически все выпускаемые НИКИМТом орбитальные трубосварочные автоматы разрабатывались и разрабатываются применительно к способам сварки, также разработанным в институте. К ним относятся сварка с автопрессовкой, последовательным проплавлением, сварка торцевых трубных соединений. НИКИМТ первым в СССР применил сварку с колебаниями вольфрамового электрода и ступенчатую разделку кромок стыковых соединений.

НИКИМТ разрабатывает и поставляет орбитальные трубосварочные автоматы различных типов в зависимости от реализуемых вариантов технологии аргодуговой сварки неплавящимся электродом — с подачей и без подачи присадочной проволоки и по степени автоматизации — с наличием или отсутствием систем колебания электрода, автоматического поддержания длины дуги, телевизионных систем наблюдения, систем программирования и памяти режимов и других устройств. Автоматы — от простейших, так называемых одномоторных, до самых сложных — полнофункциональных.

Конструктивно головки автоматов выполняются либо корпусными, когда корпус головки неподвижно фиксируется на трубе, а планшайба с горелкой и другими устройствами вращается вокруг свариваемого стыка, либо тракторными — автомат с горелкой и другими устройствами перемещается по закрепленным на трубе кольцевым направляющим. Типоразмеры корпусных головок позволяют без перенастройки сваривать трубы разных диаметров. Корпусные головки имеют небольшую установочную длину, но при диаметре свариваемых труб более 100—150 мм уступают по весовым показателям тракторным. Последние легче корпусных, но на каждый диаметр труб необходимо изготовлять отдельные кольцевые направляющие.

В настоящее время опытным производством НИКИМТа освоены и могут поставляться в необходимом количестве орбитальные трубосварочные автоматы (см. таблицу).



Оборудование для орбитальной аргодуговой сварки, выпускаемое филиалом ФГУП "Росатомстрой" — НИКИМТ: а—в — головка автомата ОДА-26М, ОДА-42-76П и СА-673 соответственно; г — аппаратура автомата СА-673 (источник, блок управления, ручной пульт, мониторы телевизионной системы)

На базе накопленного опыта НИКИМТ в достаточно короткие сроки может разработать и поставлять орбитальные, в том числе и специализированные, автоматы в соответствии с требованием заказчика (см. рисунок).

Существенным аспектом не всегда успешной автоматизации орбитальной и других вариантов сварки в атомной отрасли является отсутствие регламентации использования сварочного оборудования при изготовлении, строительстве и ремонте изделий атомной техники. Применяется оборудование, не аттестованное в соответствии с требованиями отрасли, в частности оборудование, в том числе и импортное, не в полной мере отвечающее этим требованиям, и даже иногда самодельные устройства, что снижает надежность сварных соединений.

Причиной этого является отсутствие в настоящее время в отрасли системы аттестации оборудования, применяемого при сварке на объектах использования атомной энергии. Существующий РД 03-614-03 "Порядок применения сварочного оборудования при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов" "Ростехнадзора" целесообразно применять и в атомной отрасли при условии доработки данного РД с учетом отраслевых требований.

Чрезвычайно важны для успешного внедрения автоматизированной орбитальной сварки рациональная организация труда, оптимальная структу-

ра подразделений в монтажных организациях, подготовка сварщиков и специалистов. Опыт автоматизации сварки при монтаже показывает, что успех достигается при функционировании в службе главного сварщика специальной группы или лаборатории, занимающейся только автоматической сваркой. Эта группа должна включать сварщиков-операторов, звено наладчиков и ремонтников сварочного оборудования. При этом автоматизация наиболее рациональна при существенном количестве автоматического оборудования в подразделении.

НИКИМТ проводит подготовку и аттестацию сварщиков и ИТР по автоматической сварке, используя наработанный цикл лекций для сварщиков, электриков, ремонтников и ИТР применительно к монтажу и отдельно к ремонту объектов атомной техники с выдачей соответственных документов.

Оснащение монтажных организаций отрасли качественным аттестованным сварочным оборудованием, рациональная организация производства и комплектование сварочных служб квалифицированным аттестованным персоналом позволят обеспечить гарантированную надежность сварных соединений трубопроводов новых строящихся атомных станций.

Гарантией надежности автоматической орбитальной сварки является многолетняя успешная эксплуатация объектов атомной энергетики и промышленности с сотнями тысяч сварных соединений труб, выполненных данным способом.

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

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

Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:

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

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

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

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ, САПР

А. П. ПЕТРОВ, д-р техн. наук, М. В. ЖАРОВ, канд. техн. наук
"МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского

Программное обеспечение для автоматизации изотермической штамповки с применением термокомпрессионной установки

При создании автоматизированной системы управления термокомпрессионной установкой разработана прикладная программа для определения отклонения в нагреве ТЭНов от заданного режима и выработки управляющего сигнала, подаваемого на блок управления для увеличения или уменьшения их интенсивности нагрева.

Прикладная программа (рис. 1) должна решать следующие задачи:

- обеспечивать возможность ведения заданного режима нагрева в понятной для пользователя форме;

- определять отклонение температуры в реальном процессе нагрева ТЭНов термокомпрессионной установки от заданного режима;
- на основе оценки отклонения реальной температуры от заданной выработать управляющий сигнал для компенсации выявленных отклонений;
- обеспечивать передачу выработанного сигнала на плату ЦАП/АЦП [1].

Первоначально для работы системы требуется ввести в программу необходимые данные, такие как рабочая температура и время процесса. Ввод информации осуществляется после нажатия кнопки "Plan" (рис. 2). На экране монитора появляется дополнительное окно для ввода информации, имеющее табличную форму с двумя столбцами и неограниченным количеством строк. В один столбец ("Time") вводится временная характеристика процесса $\tau_{\text{треб}}$, а в другой столбец ("Temp") — соответствующая заданному в первом столбце временному значению требуемая температура нагрева $T_{\text{треб}}$ клиновидных сегментов рабочего блока термокомпрессионной установки, в которые установлены ТЭНы. Сущность работы программы заключается в определении фактической температуры нагрева клиновидных сегментов $T_{\text{факт}}$ в режиме реального времени $\tau_{\text{факт}}$, сравнении этой температуры с требуемой

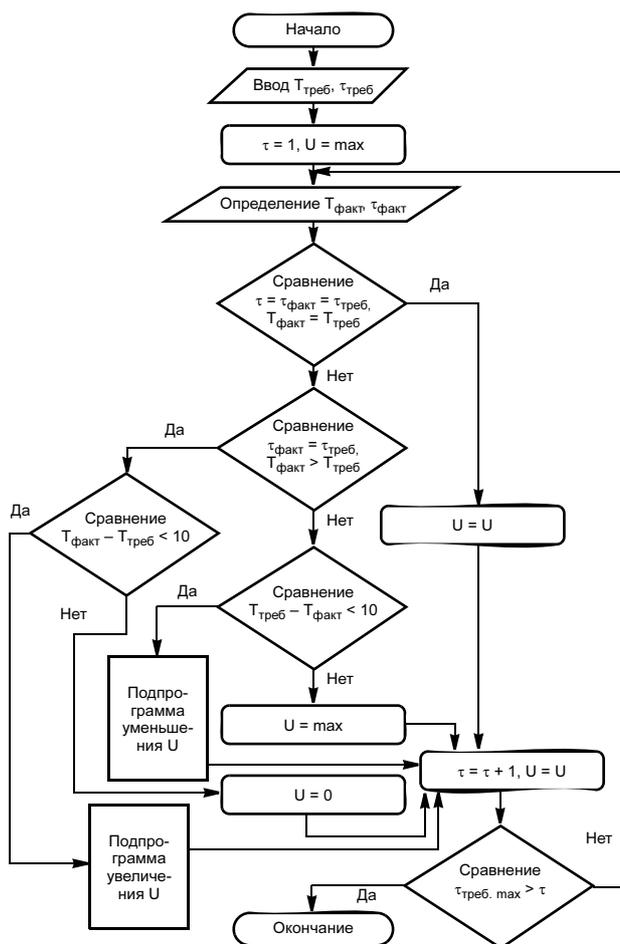


Рис. 1. Блок-схема прикладной программы ThermoControl 0.1 Alpha

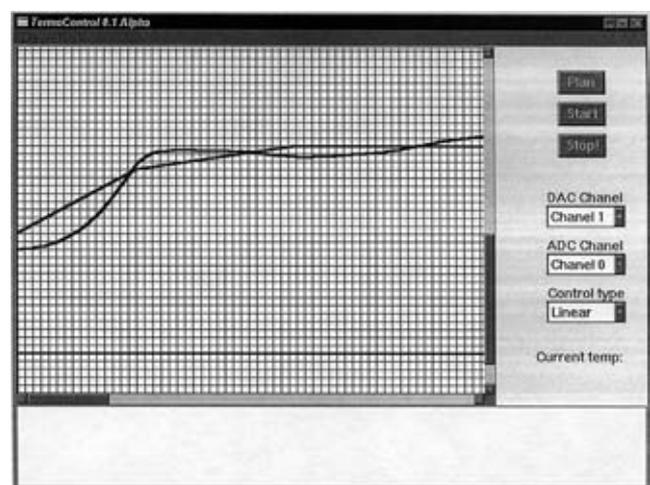


Рис. 2. Внешний вид контрольного интерфейса программы ThermoControl 0.1 Alpha

мым значением температуры $T_{\text{треб}}$ в анализируемый момент времени $\tau_{\text{треб}}$ и выработки управляющего сигнала напряжением U в зависимости от результатов сравнения (см. рис. 1).

После нажатия кнопки "Start" выполняется команда на включение нагревательных элементов установки и программа переводится в режим контроля. Контроль и управление осуществляются следующим образом. Сигнал, поступающий на ЭВМ с блока автоматизированного управления и преобразованный из аналогового вида в цифровой код на плате ЦАП/АЦП, несет в себе информацию о температуре нагрева рабочих элементов термокомпрессионной установки. Программа анализирует температуру нагрева, сравнивает ее с требуемой. Если заданная температура еще не достигнута, то программа генерирует сигнал на продолжение нагрева в максимальном режиме, в противном случае генерируется команда на отключение нагревательных элементов установки или их замедленное нагревание путем подачи меньшего напряжения на ТЭНы от трансформатора. Она поступает в блок управления через плату ЦАП/АЦП уже в аналоговом виде. После отключения нагрева программа аналогичным образом следит за понижением температуры, и когда она будет ниже требуемой, немедленно генерирует команду на включение нагревательной системы. Для наглядности контроля программа на экране монитора строит график температур (см. рис. 2). По оси OY откладываются значения температур, а по оси OX — время процесса. Одна кривая — заданная оператором температурно-временная зависимость, а другая — результат работы контролирующей системы в реальном масштабе времени [2, 3].

Кроме этого необходимо учитывать, что наиболее существенным недостатком изотермической штамповки на термокомпрессионных установках после малой производительности процесса является малая величина хода рабочей оснастки термокомпрессионной установки. Именно для того, чтобы получить большую величину хода термокомпрессионной установки для получения высоких ребер авиационных панелей и обечаек, в ряде случаев предполагается использовать усовершенствованную конструкцию классической термокомпрессионной установки. Предлагаемая установка характеризуется наличием двух ярусов клиньев рабочего блока [1], перемещение каждого из которых вносит свой вклад в суммарную величину рабочего хода установки. Причем, первый ярус парных клиньев скрыт во внутреннем кольце рабочего блока, а второй ярус клиньев примыкает к рабочей зоне центральной части.

Еще одной важной проблемой при работе на термокомпрессионной установке является применение двухступенчатой системы нагрева. Необходимость в этой системе заключается в том, что помимо обеспечения заданной скорости перемещения рабочей оснастки требуется создать заданные температур-

ные условия деформирования в центральной рабочей зоне. В том случае, если одновременно нагревать оба яруса клиньев, то деформирование начинается при недостаточной температуре заготовки и деформирующего инструмента. Поэтому система должна поддерживать поэтапный режим нагрева. Сначала при наличии двухъярусной системы клиньев нагревается до заданной температуры внутренний ярус клиньев. В связи с конструктивными особенностями рабочей штамповой оснастки кроме нагрева внутреннего яруса клиньев может нагреваться и центральный ТЭН термокомпрессионной установки. Температурный режим в области рабочей зоны в том случае, если применяется термокомпрессионная установка с одноярусной системой клиньев и конструктивно возможно применение центрального ТЭНа, обеспечивает только первоначально включаемый центральный ТЭН.

Температура нагрева внутреннего радиуса клиньев и рабочей штамповой оснастки должна быть равна расчетной температуре изотермической штамповки для выбранного материала заготовки. После достижения заданной температуры в рабочей зоне включается нагрев внешнего радиуса клиньев, отвечающих за деформирующий ход термокомпрессионной установки. К ЭВМ как к одному из элементов автоматизированной системы управления термокомпрессионной установкой никаких специфических требований не предъявляется. Подходит любой IBM совместимый персональный компьютер с операционной системой Windows 3.1/95/98/NT и выше [4].

Программное обеспечение опробовано на реальном деформационном процессе с применением автоматизированной системы управления (АСУ) термокомпрессионной установки (рис. 3).

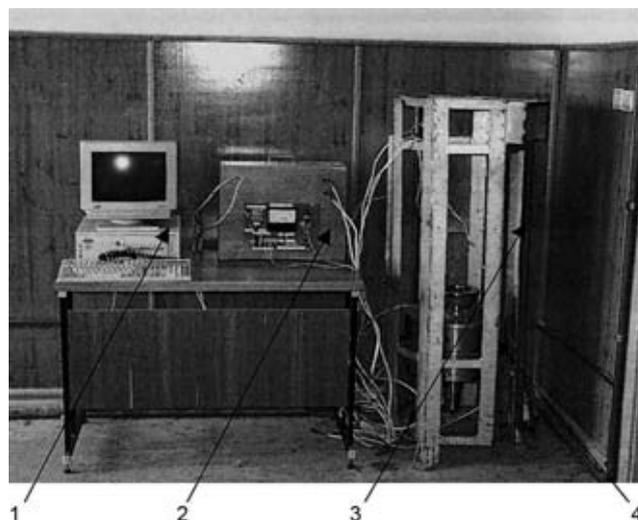


Рис. 3. Внешний вид АСУ термокомпрессионной установки: 1 — персональный компьютер; 2 — блок управления режимом нагрева термокомпрессионной установки; 3 — станина термокомпрессионной установки; 4 — рабочие блоки термокомпрессионной установки

В процессе изотермической штамповки элементарных ячеек оребренных панелей из алюминиевых и титановых сплавов при нагреве и выдержке в температурном интервале от 20 до 460 °С установили, что прикладная программа TermoControl 0.1 Alpha обеспечивает точность нагрева ТЭНов ± 1 °С от заданной температуры. При нагреве в температурном интервале от 500 до 800 °С при штамповке элементарных ячеек оребренных панелей и обечаек из титановых сплавов отклонение температуры нагрева ТЭНов от заданной увеличивается в некоторых случаях до ± 2 °С.

Таким образом, разработанное программное обеспечение позволяет задавать режим работы установки любой степени сложности, включающей режимы контролируемого нагрева и штамповки, выдержки, охлаждения и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галкин В. И. Закономерности компактирования и технология производства полых изделий из волокнистых композиционных материалов на металлической основе: Дис. ... д-ра техн. наук. М.: "МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского, 1996. 410 с.
2. Паршиков А. Н., Звердлов Б. В., Жаров М. В. Разработка системы автоматизированного управления режимами изотермической штамповки // Технология легких сплавов. 2003. № 2—3. С. 58—61.
3. Жаров М. В., Палтиевич А. Р., Хлысталова Е. Н. Разработка автоматизированной системы управления режимами изотермической штамповки // Сб. тр. М.: "МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского, 2004. Вып. 7(79). С. 93—97.
4. Алиев Ч. А., Тетерин Г. П. Система автоматизированного проектирования технологии горячей объемной штамповки. М.: Машиностроение, 1987. 224 с.

В. И. ГАЛКИН, д-р техн. наук, А. О. АНОХИН, аспирант "МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского

Практический опыт модернизации автоматизированных систем технологической подготовки производства

Одной из важнейших характеристик современных промышленных предприятий является применение автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП).

Любая АСТПП как программный продукт представляет собой базу данных (БД) и определенную методику ее обработки для получения технологических решений. АСТПП появились в конце 70-х—начале 80-х годов, когда были созданы первые системы управления базами данных (СУБД). В связи с этим стало возможным структурировать, систематизировать и организовывать данные для их компьютерного хранения и обработки.

Вычислительные системы тех лет не могли быстро обрабатывать таблицы с избыточной информацией, т. е. таблицы, значения полей в которых из записи в запись имели множество повторений. Для решения данной задачи применяли поточную БД, построенную по системе триггеров. Особенностью такого построения БД являлось отсутствие повторяющихся данных, что приводило к значительному ускорению обработки таблиц [1]. На примере табл. 1 видно, что БД, построенная по системе триггеров, не имеет повторяющихся данных. Эта особенность архитектуры не позволяет проводить выборку или сортировку БД в отличие от БД классической структуры.

Необходимо также отметить, что в те годы формулы, которые применяли для вычислений каких-либо технологических параметров, записывали в рас-

четный файл в виде обратной польской записи (ОПЗ), что приводило к значительному ускорению вычислений.

Отличительной особенностью ОПЗ является то, что все аргументы (или операнды) расположены перед операцией. Это позволяет избавиться от необходимости использования скобок. Например, выражение $3 \times (4 + 7)$ будет выглядеть как $3\ 4\ 7\ +\ \times$ (можно записать в более наглядной форме: $4\ 7\ +\ 3\ \times$). Вычисления в ОПЗ основаны на стеке, это означает, что операнды достаются из стека и результат вычисления возвращается обратно в стек. На первый

Таблица 1

БД, построенная по системе триггеров				Классическая БД			
Поле 1	Поле 2	Поле 3	Поле 4	Поле 1	Поле 2	Поле 3	Поле 4
35	76—89	12	Отрезать	35	76—89	12	Отрезать
—	—	13	—	35	76—89	13	"
—	—	14	—	35	79—89	14	"
36	90—102	15	—	36	90—102	15	"
—	—	16	Пилить	36	90—102	16	Пилить
—	—	17	—	36	90—102	17	"
37	103—157	18	Шлифовать	37	103—157	18	Шлифовать

взгляд это может выглядеть неудобно, однако обратная польская нотация имеет важное преимущество — она проста для разбора, поэтому ее реализация на компьютере требует мало ресурсов и быстро выполняется. Кроме того, ОПЗ явным образом задает порядок вычислений, избегая неоднозначностей, связанных с неассоциативностью операций [2].

Таким образом, отличительной особенностью АСТПП того времени является применение БД, записанных с помощью системы триггеров, и применение вычислительных формульных массивов в формате ОПЗ. Подобные системы, созданные еще в 80—90-е годы, до сих пор используют на машиностроительных предприятиях России. За годы эксплуатации этих АСТПП накоплены огромные базы технологических решений, потеря которых приведет к существенным проблемам в работе предприятий. С каждым годом эксплуатация подобных систем осложняется моральным старением программно-аппаратных средств, на которые они были ориентированы.

Разработка современных АСТПП базируется на хорошо формализованных методах, основанных на CASE-технологиях. Процесс имеет несколько стадий, главными из которых являются создание функциональной модели, инжиниринг, реинжиниринг и создание информационной модели.

Однако данная методология не может быть применена для модернизации устаревших АСТПП, так как это приведет к потере накопленных в них данных. Для реализации данной задачи необходимо разработать новую методику, которая позволит восстанавливать существующую информационную модель и преобразовывать ее на основе современных реляционных БД.

В связи с этим важной задачей является разработка методики перевода старых АСТПП на современные программно-аппаратные платформы. Задача экспорта и модернизации подобных систем в новую среду крайне осложняется отсутствием разработчиков этих систем, потерей программного кода, алгоритмов, описания структур массивов данных и т. д. Поэтому для сохранения технологических баз знаний и решений требуется особый подход, который должен позволить расшифровать информационную структуру модернизируемых систем, а также построить модель движения данных при решении технологических задач.

Подобная задача решена на базе одного из предприятий аэрокосмической отрасли. Решение потребовало выполнения следующих этапов:

- изучение характеристик подразделений предприятия, эксплуатирующего АСТПП;
- изучение обобщенной структуры рассматриваемой АСТПП;
- декомпиляция программных модулей;
- исследование структуры технологических банков данных и справочных баз данных;

- разработка методики воссоздания расчетной модели АСТПП;
- разработка методики реконструкции расчетной модели АСТПП;
- создание АСТПП на современной программно-аппаратной платформе.

Этап № 1. Изучение характеристики подразделений предприятия, эксплуатирующего АСТПП. В зависимости от того, где применяют АСТПП, на первом этапе требуется проанализировать предприятие или его структурное подразделение по следующим критериям.

1. "Организационная структура подразделения" — предполагает построение двух схем: древовидную — для выявления иерархии работников и структурную — для выявления внутренних взаимосвязей объекта исследования. Следует обратить внимание на то, что в большинстве случаев существующую АСТПП заполняют и редактируют по настоящий момент. Следует выяснить, кто из сотрудников подразделения выполняет данную функцию.

2. "Документооборот" — анализ схемы движения и образования документов с помощью руководства и сотрудников цеха. Схема должна обязательно включать позиции, отражающие движение документов в цех из других структурных подразделений предприятия, внутри него, а также движение документов из цеха.

3. "Производственная среда" — предполагает построение структуры цеха с расположением оборудования и производственных линий.

4. "Применяемое оборудование" — подразумевает составление перечня применяемого оборудования с указанием среднемесячной загруженности.

5. "Применяемые материалы" — необходимо составить перечень применяемых в производстве материалов, а также соотнести их по группам.

6. "Серийность производства" — чем меньше серийность производства, тем больше изменений периодически вносится в АСТПП. Для примера в нашем случае АСТПП применяется для мелкосерийного и единичного производства, в связи с этим пополнение системы новыми данными производится часто, что необходимо учесть при ее переносе на новую платформу и не допустить потери вновь полученных технологических решений.

7. "Типы разрабатываемых технологических процессов" — необходимо соотнести типы разрабатываемых технологических процессов по группам. Данная информация необходима для определения и унификации сегментов баз знаний и технологических решений в существующей АСТПП для расчета ТП каждой группы.

8. "Виды разрабатываемой документации" — составить перечень выпускаемой технологической документации, а также определить их шаблоны.

9. "Объект производства цеха" — необходимо составить перечень выпускаемой продукции.

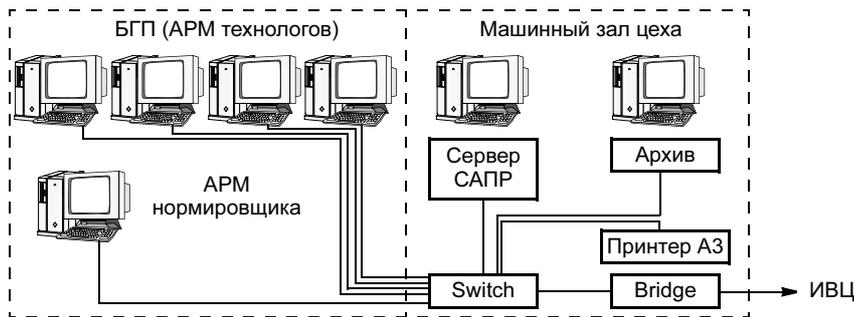


Рис. 1. Структурная схема комплекса технических средств

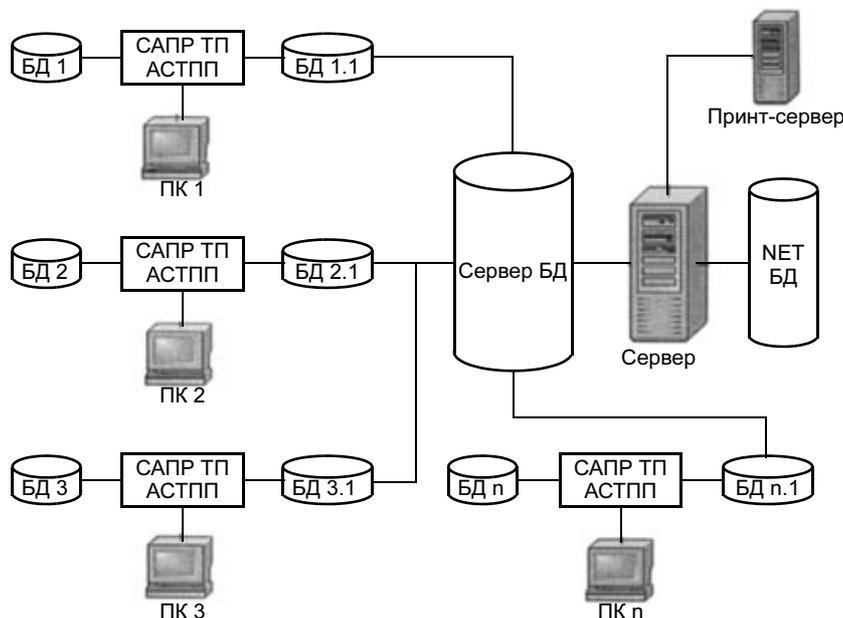


Рис. 2. Схема связей внутри системы САПР ТП

В результате выполнения этапа № 1 полученную информацию применяют для оценки производственной среды и изучения информационной структуры существующей АСТПП.

Этап № 2. Изучение обобщенной структуры рассматриваемой АСТПП. Первичное изучение структуры АСТПП происходит по принципу "черного ящика" — известны только входные данные (необходимые для разработки ТП) и выходные параметры, на основании которых формируются итоговые технологические документы.

Подобные системы, даже тех лет, работают по принципу "клиент—сервер", реализованному с помощью локальной сети и командных файлов. Поэтому на данном этапе в первую очередь необходимо определить общую структурную схему работы системы, которая включает в себя анализ сегмента локальной сети, принцип работы системы и ее файловую структуру. Как правило, локальная сеть подобных АСТПП структурно включает в себя центральный сервер, где хранятся все БД системы и проводятся расчеты техпроцессов, и подсоединенные

к ней терминалы технологов. В рассматриваемом примере составлена структурная схема локальной сети и комплекса технических средств, приведенная на рис. 1.

Принцип работы системы изучали на основании частично сохранившейся документации, опроса сотрудников предприятия, работающих и, как правило, администрирующих данную систему. Далее следует проанализировать файловую структуру. В нашем случае, например, выявили следующие файлы БД технологических решений, относящиеся к следующим типам ТП: резка металлов; ковка металлов; штамповка металлов.

Изучение командных файлов позволяет выявить схему связей "клиент—сервер" изучаемой системы. В данном случае схема связей имеет вид, приведенный на рис. 2.

Этап № 3. Декомпиляция программных модулей. Следующим важным этапом является декомпиляция программных модулей. Как правило, в АСТПП тех лет применяли всего три базовых исполняемых файла, отвечающих за работу системы: ввода и редактирования входящих параметров; просмотра БД вводимых параметров; расчета ТП.

Далее для исследования внутренней структуры файлов необходимо определить, на каком языке программирования они были написаны. Для решения данной задачи в нашем примере применили свободно распространяемое программное средство "PEiD" (рис. 3), позволившее выяснить язык программирования — C++/C. Как правило, большинство АСТПП того времени написаны именно на этом языке. Это связано с тем, что C++ — язык программирования, максимально ориентированный на работу с БД и текстовой информацией.

Следующая задача, требующая решения, связана с декомпиляцией исполняемых файлов. В нашем примере использован декомпилятор DeClipper, с по-

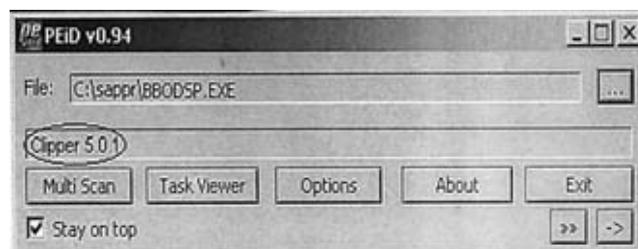


Рис. 3. Программа идентификации языка программирования

Таблица 2

вх_X. А. Б	вх_Y. В. Г.	вх_Z. Д. Е.	вых_N. 4. 0	вых_N. 4. 1	вых_N. 5. 0
AAAAA ??????	BBBBB—BBBBB ??????	GGGG, DDDDD, EEEEE ??????	ЖОЖОЖ ??????	ЗЗЗЗЗ ??????	ККККК ??????

мощью которого получены исходные коды исполняемых файлов.

Изучение исходного кода приложения ввода и редактирования входящих параметров позволило определить порядок подготовки исходных данных для их передачи в расчетную модель АСТПП.

Этап № 4. Исследование структуры технологических банков данных и справочных баз данных. Детальное изучение исходных кодов программных модулей позволяет понять структуру технологических банков знаний и справочных БД. В результате в нашем примере собрана следующая информация.

Изучение исходного кода программы, отвечающей за расчет ТП, показало, что она функционирует как однопроходный расчетный интерпретатор. Расчет проводится последовательной обработкой таблиц баз знаний без итераций и циклических ссылок. Как и предполагалось, программа содержит файлы принятия решений, построенные по принципу "алгоритмических таблиц решений, таблиц соответствий и логических таблиц соответствий", записанных с помощью системы триггеров, а также файл формульных массивов в формате ОПЗ. Последовательность обработки указанных файлов указана в "файле — списке". Завершающим этапом работы программы является обработка "файла шаблона ТП" и вывод его на печать.

При исследовании АСТПП того времени необходимо помнить, что, как и сейчас, решение задачи сводится к формированию исходных данных и определению расчетных параметров. Исходные данные, как отмечалось, формируются с помощью файла "ввода и редактирования входящих параметров" и вводятся в расчетную модель АСТПП. В дальнейшем эти параметры служат ключами для расчетных таблиц. Эти данные называются постоянными, так как не изменяются в процессе расчета.

Расчетными параметрами являются результаты вычислений по формулам либо определенные из таблиц в соответствии с исходными данными. Каждая таблица или формульный массив записывается в отдельный файл и представляет собой отдельную программу, по которой осуществляется расчет или поиск параметров. Особенностью старых АСТПП является то, что все неизвестные параметры, применяемые в обрабатываемом файле, должны быть определены ранее.

Это обеспечивает организацию алгоритма расчета искомых параметров в последовательном порядке обработки таблиц. Такой подход связан с применением однопроходного расчетного интерпретатора.

В нашем примере изучение структуры файлов-таблиц принятия решений, записанных с помощью системы триггеров, позволило выявить следующий формат записи данных (рис. 4).

Подобный метод чтения таблиц неудобен, поэтому разработали методику преобразования БД, записанных с помощью системы триггеров, в классическую реляционную БД. Результат применения методики представлен в табл. 2.

В нашем случае для анализа структуры и содержания таблиц и формульных блоков, а также их конвертации в классический вид разработано вспомогательное программное средство. На рис. 5, 6 представлены интерфейсы разработанной программы.

```

: N : X. А. Б : Y. В. Г : Z. Д. Е - - -
K
  AAAAA
Л
  BBBBБ
  BBBBВ
М
  GGGGГ
  DDDDDД
  EEEEEЕ
Н
: ЖОЖОЖ
: ЗЗЗЗЗ
О
: ККККК
К
: ??????
Л
: ??????
М
: ??????
Н
: ??????
О
: ??????
: К
    
```

Рис. 4. Формат таблицы принятия решения



Рис. 5. Интерфейс преобразования таблиц и расшифровки параметров

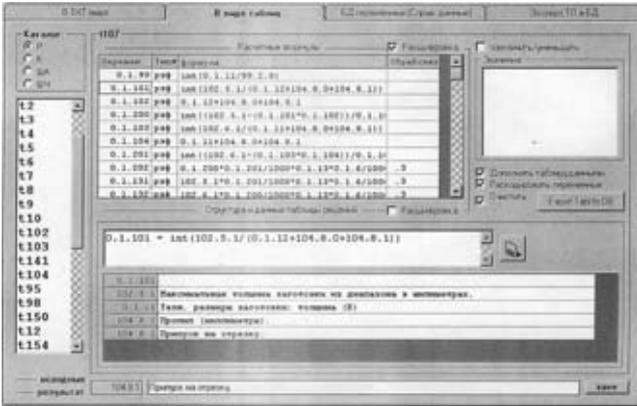


Рис. 6. Интерфейс преобразования формул и расшифровки параметров

Этап № 5. Разработка методики воссоздания расчетной модели АСТПП. Следующий этап посвящен расшифровке и построению общей информационной модели движения данных в системе, которая должна соответствовать выявленным входящим и выходящим параметрам таблиц. Отмечалось, что информационную модель АСТПП можно представить в виде "черного ящика", алгоритм работы которого заранее неизвестен, а определены только входящие в него и выходящие из него параметры. Входная информация для АСТПП формируется с помощью исполняемого файла "ввода и редактирования входящих параметров", перечень выходных параметров можно определить при анализе информации, представленной в итоговой технологической документации, которая формируется при разработке "файла шаблона ТП".

В соответствии с этим общая структура информационной модели может быть представлена в ви-

де схемы, приведенной на рис. 7. Левый и правый столбцы соответствуют входящим и выходящим (формируемым системой) параметрам. В центральной части схемы отображена взаимосвязь расчетных таблиц и формульных блоков, которую и следует определить. Каждая расчетная таблица и формульный блок, как и вся информационная модель в целом, также могут быть представлены в виде "черных ящиков". На рис. 7 в расчетных таблицах и формульных блоках левая часть отражает входящие параметры, правая — выходящие.

Расшифровку структуры информационной модели проводили с помощью исследования заголовков таблиц выбора и формульных блоков. Учитывая огромный объем базы данных АСТПП и сложность ее структуры, процесс расшифровки информационной модели требуется автоматизировать. Для отображения таблиц выбора и формульных блоков в классическом представлении необходимо разработать специализированное программное средство. В нашем примере его интерфейсы приведены на рис. 5, 6. Визуальное отображение схемы движения данных внутри информационной модели рекомендуется строить с помощью программного продукта MS Visio.

Этап № 6. Разработка методики реконструкции расчетной модели АСТПП. Далее реконструкция АСТПП предполагает две стадии: анализ информационной модели и удаление из нее "рудиментарных веток" алгоритма, образовавшихся за счет многолетней эксплуатации системы, а также разработку методики нового расчетного ядра системы, позволяющей значительно ускорить процесс принятия решений по таблицам выбора.

На первой стадии вычисляют неиспользуемые параметры в таблицах выбора и неиспользуемые расчетные зависимости в формульных блоках, что позволяет значительно упростить читаемость структурной модели.

Схема рационализации базируется на ключевых пунктах, основанных на правилах построения расчетной модели АСТПП. Каждая исходящая переменная из таблиц выбора или результат расчета по формуле проверяются на использование при расчете техпроцесса по следующим критериям. Параметр не является лишним, если используется при формировании результирующих документов; входит в последующую таблицу выбора или в тела формул; применяется при формировании каких-либо фраз или выражений, используемых в итоговых документах.



Рис. 7. Пример фрагмента структуры информационной модели движения данных

0.1.3	П23086	Б174	Б167	П85023702	П85023702	П85023702	П85023702	П85023702
0.1.13	Д0-100	Б5	Д0-10	Д0-5,99	Д0-5,99	Д0-5,99	Д6,0-120	Д6,0-120
0.1.12	Д0-700	Д0-1500	Д0-2000	Д0-1000	Д0-1000	Д1001-150	Д0-350	Д0-350
0.1.11	Д0-1420	Д0-3500	Д0-7000	Д0-2000	Д2001-500	Д0-5000	Д0-4500	Д0-500
0.1.5	Блок	Блок	Блок	Б4:0.1.54	Б4:0.1.54	Б4:0.1.54	Б4:0.1.54	Б4:0.1.54
102.5.0	0,7	1,5	2,0	1,0	1,5	1,5	1,4	1,4
102.5.1	700	1500	2000	1000	1500	1500	1400	1400
102.6.0	1,42	3,5	7,0	2,0	5,0	5,0	4,5	4,5
Кол-во.	32	2	567	3	520	10256	54	0

Рис. 8. Таблица выбора технологического решения

В нашем примере в результате рационализации расчетной модели по предложенной методике удалось удалить 1040 неиспользуемых параметров (из 6340), из которых 70 переменных — из формульных блоков, 970 — из таблиц выбора. Рационализацию информационных моделей рекомендуется производить автоматически, для этих целей необходимо разработать специализированное программное средство.

На второй стадии рационализации необходимо проанализировать алгоритм обработки таблиц принятия решения. Как правило, выбор технологического решения осуществляют по трехмерной таблице. Составляющая третьего измерения — перечисление вариантов заданного входящего параметра в текущей записи и текущей ячейке таблицы.

Для примера, номера входящих/исходящих параметров таблицы представлены в самом левом столбце (рис. 8). Первые пять параметров сверху являются входящими, остальные три (с первичным префиксом — номером таблицы "102") — исходящими.

Таблица читается расчетным интерпретатором по колонкам до тех пор, пока входящие параметры не удовлетворяют условиям выбора (система триггеров удовлетворена). Затем вторую часть колонки записывают в исходящие параметры и интерпретатор переходит на следующую таблицу выбора.

Для ускорения работы АСТПП, построенной на реляционных БД, рекомендуется рассчитывать рейтинг каждого варианта принятия решений для каждой таблицы. Таким образом, в каждую таблицу необходимо добавить еще одно поле, которое содержит счетчик принятия данного решения. Вариант наиболее часто выбираемого решения может находиться в самом конце таблицы, поэтому по окончании каждого рабочего дня программа должна автоматически упорядочивать записи таблицы по их рейтингу, т. е. часто выбираемые решения встают в начало таблицы, менее выбираемые — в конец.

Этап № 7. Создание АСТПП на современной программно-аппаратной платформе. На завершающем этапе требуется создать модернизированное расчетное ядро АСТПП на базе современной программно-аппаратной платформы и конвертировать в него все банки данных и справочные базы данных старой системы. Например, на рис. 9 приведено окно разработанной программы для ввода исходных данных и расчета технологических процессов. В левой части приведен список всех изделий, для которых разработаны ТП, в правой — параметры текущего изделия, вводимые технологом для расчета, включая общий вид поковки.

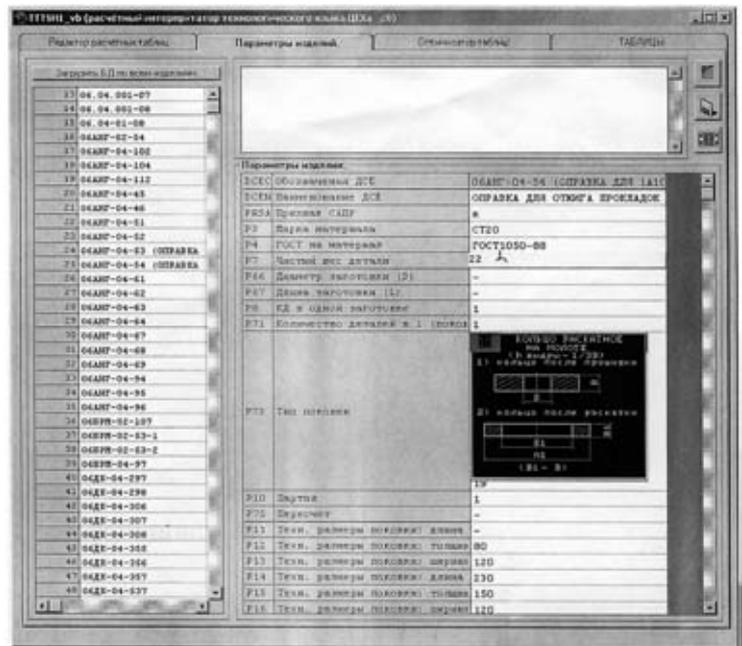


Рис. 9. Окно ввода данных для расчета нового ТП

Верхнее белое поле содержит комментарий к текущему вводимому параметру. После ввода всех исходных параметров проводят расчет и сохранение новых параметров изделия в банк данных и подготовку системы к расчету. На рис. 9 приведен интерфейс программы, отвечающий за ввод и просмотр параметров изделий.

Решение задачи, описанной в данной работе, характерно не только для преобразования АСТПП, но и для других автоматизированных систем, работающих на основе нереляционных БД. Разработанная методика модернизации подобных систем имеет более широкую область применения, так как позволяет получать универсальные решения.

Данный пример показывает, что предприятия, разрабатывающие собственные АСТПП и АСУ, должны заранее планировать дальнейшую возможность конвертации баз данных в системы следующих поколений. Более того, необходимо применять варианты хранения информации, позволяющие легко использовать ее в других программных продуктах. Одним из таких решений является хранение информации в формате STEP ISO 10303, являющимся нейтральным стандартом хранения данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюрри Т., Фрай Дж. Проектирование структур баз данных. М., 1985.
2. Лебедев В. Н. Введение в системы программирования. М.: Статистика, 1975.

А. Р. ПАЛТИЕВИЧ, канд. техн. наук
"МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского

Получение изделий с заданным комплексом механических свойств в процессах обработки металлов давлением с применением методов математического моделирования

Методы обработки металлов давлением (ОМД) широко применяются в современном металлургическом производстве. Для процессов ОМД характерна значительная проработка структуры материала и получение изделий с высокими механическими и эксплуатационными свойствами.

В деформационных процессах в качестве материалов используют как традиционные гомогенные материалы на основе металлов и их сплавов, так и гетерогенные материалы, состоящие из связанных между собой нескольких компонентов с различными механическими свойствами. Одними из наиболее перспективных конструкционных материалов являются гетерогенные материалы со строго определенными функциональными свойствами. При меньших по сравнению с гомогенными материалами весовых параметрах они обладают повышенной прочностью и жесткостью, что определяет их широкое применение в случаях, когда масса изделия строго лимитирована. Наиболее перспективными гетерогенными материалами следует считать волокнистые (ВКМ) и слоистые (СКМ) композиционные материалы.

Проектирование процессов ОМД связано с решением задач конструирования технологической оснастки, выбором температурно-скоростных и энергетических режимов формоизменения и оценки их влияния на структуру и свойства получаемого изделия. Несмотря на стремление технологов к равномерному распределению напряженно-деформированного состояния (НДС) по всему объему пластически деформируемого тела, в реальных процессах ОМД возможна значительная неоднородность НДС, что в свою очередь приводит к неравномерности проработки структуры материала, его разнородности и анизотропии механических свойств.

В то время как пластическое течение гомогенных материалов за последние годы достаточно широко изучено, деформационные процессы, проходящие внутри гетерогенного материала, требуют проведения комплексных исследований. А механизмы управ-

ления структурой и свойствами получаемых изделий как из гетеро- так и гомогенных материалов практически не изучены. Поэтому современные исследования в области процессов ОМД необходимо проводить в направлении определения путей управления структурой и свойствами материала в получаемом изделии на разных этапах деформации.

Наиболее перспективное направление исследований процессов формоизменения металла при ОМД — использование средств математического моделирования. Это позволяет, во-первых, проводить детальный и многофакторный анализ влияния НДС и температурно-скоростных параметров на свойства изделия и, во-вторых, значительно снижает затраты и время на проведение исследований. В настоящее время в качестве средств математического моделирования технологических процессов широко применяют САЕ-системы, основанные на методе конечных элементов (МКЭ). Данный метод позволяет с большой точностью исследовать динамику и кинематику деформационных процессов в любой части исследуемой области с учетом реологических особенностей деформируемых материалов как гомогенного, так и гетерогенного строения. С применением МКЭ можно строить более совершенные математические модели, в том числе и объемные, основанные на значительно меньшем количестве допущений и ограничений. Поэтому результаты исследований, полученные с его помощью, более объективны. МКЭ — универсальный метод, имеющий простую физическую основу и математическую форму, которая реализуется с помощью гибкого алгоритма, хорошо приспособленного для решения на ЭВМ.

Активные исследования пластического формоизменения гомогенных материалов в процессах ОМД ведутся уже ~15 лет. За этот период появились мощные программные комплексы, такие как DeForm и QForm, позволяющие моделировать основные процессы ОМД — прокатку, прессование, объемную

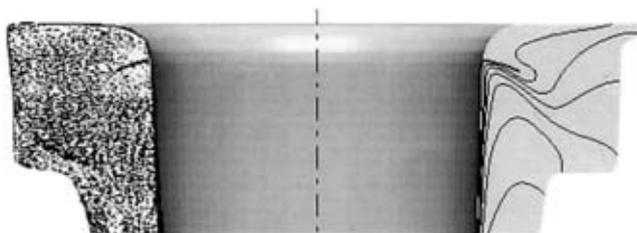


Рис. 1. Образование зажима при моделировании детали (правая часть) и его подтверждение металлографическими исследованиями (левая)

штамповку, высадку и др. Технологиами накоплен большой опыт в разработке геометрических моделей оснасток и заготовок, определении действующих параметров НДС, температур и полей скоростей в деформируемом материале, энергосиловых параметров оборудования. В последние годы с помощью САЕ-систем определяют как видимые дефекты — недоштаповка и задиры, так и скрытые — прострелы и зажимы (рис. 1), рассчитывают деформацию и напряжения в инструменте. Полученный опыт использования средств математического моделирования позволил вывести проектирование технологических процессов ОМД на новый научный уровень, в частности, появилась актуальная задача — изменяя параметры НДС, температуры и скоростей, прогнозировать и управлять свойствами в получаемом изделии.

Несмотря на то, что МКЭ учитывает реологические свойства материала, они являются усредненными для всего объема, а для реализации управления свойствами материала необходимо вводить соответствующие реологические характеристики для каждой из входящих в его состав фаз. Кроме того, необходимо учитывать процесс рекристаллизации, характерный для процессов горячей ОМД. Отсутствие численных закономерностей влияния НДС и температурно-скоростных режимов на наличие определенной фазы в материале, предопределяет проведение большого комплекса исследований и экспериментов, разработку новых методик. Данный подход, безусловно, интересен и перспективен, но вряд ли осуществим в настоящее время.

В данной работе предлагается применять метод обратного проектирования технологического процесса. Основа метода заключается в определении количественных закономерностей, связывающих наличие той или иной структуры в материале при его охлаждении после горячей пластической деформации либо в процессе термической обработки, в зависимости от имевшегося НДС при деформации. В качестве исходных данных в этом случае требуются результаты расчета НДС и температурно-скоростные условия последующих после ОМД термических процессов. Хотя в этом случае также

не учитывается начальное состояние структуры обрабатываемого материала, тем не менее расчеты позволяют оценить его фазовый состав в готовом изделии.

Для реализации данного метода необходимо получить функциональные зависимости, связывающие параметры процессов термической обработки и НДС со структурой и свойствами материала. Для получения подобных зависимостей требуется проведение большого объема экспериментальных исследований. Кроме того, найденные зависимости будут справедливы только для каждой отдельной группы исследуемых материалов.

В настоящее время уже появляются САЕ-системы (DeForm), имеющие программные модули, позволяющие проводить подобный анализ, и несмотря на то, что в качестве исходных параметров фигурируют усредненные характеристики для используемого материала и не учитывается состояние его начальной структуры, видимо, именно данное направление получит широкое развитие.

Исследование взаимосвязи деформационных и температурно-скоростных параметров технологического процесса, структуры и механических свойств в получаемом изделии проводят на клиновидных образцах (рис. 2), деформируемых продольной прокаткой. Клиновидная структура образцов позволит сочетать различные степени деформации в одном эксперименте, что позволяет экономить материал и снизить количество проводимых экспериментов. Различие исходных механических свойств материалов обеспечивается проведением собирательной рекристаллизации в течение определенных периодов времени. А структура после деформации обеспечивается режимами закалки: на воздухе, в воду и в масло.

На следующей стадии исследования проводят металлографические исследования, связывающие полученную микроструктуру и действовавшие температурно-скоростные и напряженно-деформационные режимы в процессе эксперимента. Это по-

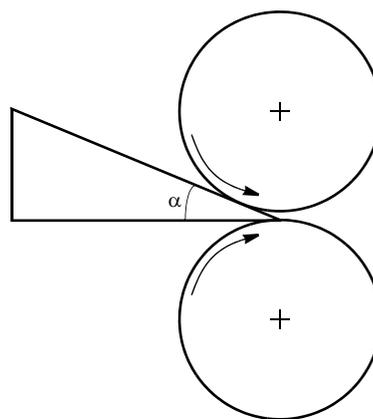


Рис. 2. Схема прокатки клиновидных образцов

звolyет, зная количественные параметры деформационного процесса, определять наличие той или иной микроструктуры в материале. Распространяя полученный опыт на средства математического моделирования, можно определить при расчете еще одного параметра — распределение микроструктуры в объеме деформируемого изделия.

Таким образом, предложенный метод позволит, во-первых, связать наличие той или иной микроструктуры с действующими параметрами процесса деформирования и, во-вторых, заранее "программировать" заданные свойства изделия еще на стадии математического моделирования.

Другой важной задачей является исследование процессов получения изделий из гетерогенных материалов.

В настоящее время значительно возросла потребность в конструкционных силовых элементах большой прочности и малой массы. Этим целям в полной мере отвечают изделия из гетерогенных материалов, таких как ВКМ системы АI—В. Типичными силовыми элементами, получаемыми из этих ВКМ, являются трубы, гнутые профили и оболочки.

Особенностью данных материалов является сочетание материалов с различными физическими и механическими свойствами. ВКМ системы АI—В состоит из пластичной матричной составляющей и жесткого упрочняющего волокна. Металлическая матрица обеспечивает работоспособность изделия в широком диапазоне температур и дополнительно упрочняет сборную композицию. Применение в композиционных материалах компонентов с различными физико-механическими свойствами создает проблему их физической и химической совместимости как на этапе изготовления изделий из ВКМ, так и в процессе их эксплуатации. Для армированных материалов с металлической матрицей проблема физической совместимости обусловлена в основном различием в температурных коэффициентах линейного расширения при одинаковых давлениях и температурах. В ряде случаев при производстве и эксплуатации композиционных материалов возникает проблема химической совместимости компонентов.

Такая структура ВКМ требует совершенно иного подхода к моделированию процессов изготовления изделий из них. Высокие механические свойства материала в первую очередь зависят от прочности борного волокна и от качественной связи между ним и матричной основой. Получение качественного изделия из гетерогенных материалов в наибольшей степени связано с процессом компактирования заготовки. При формировании композиционного материала происходят различного рода взаимодействия разнородных компонентов.

Взаимосвязь основных параметров технологического процесса описывает система критериальных выражений, основанная на требованиях, предъявляемых к получаемому изделию. Критериальные выражения позволяют оценить оптимальные и предельно допустимые параметры технологического процесса.

В настоящее время сформулированы следующие критерии: компактности, формирования прочного соединения компонентов, сохранения сплошности и прочности волокон.

Определение требуемых критериальных параметров для различных процессов получения изделий из ВКМ эффективно проводить с помощью математического моделирования.

Моделирование технологических процессов изготовления изделий из ВКМ принципиально отличается от моделирования формоизменения однородных материалов. Стандартные САЕ-системы для моделирования технологических процессов ОМД в этом случае мало применимы, так как материал в случае с ВКМ пористый, т. е. не является сплошной дискретной средой.

В ряде случаев, например, при исследовании процесса компактирования в элементарной ячейке ВКМ системы АI—В, программа QForm позволяет определить по слоям действующие НДС (рис. 3) и температурно-скоростные параметры.

Однако, если рассматривать процесс компактирования и заготовку ВКМ в целом, то необходимо либо применять очень большие допущения, что обязательно скажется на точности результатов, либо использовать универсальные конечно-элементные программы, например ANSYS-DYNA.

Основная задача при проектировании процесса изготовления изделий из ВКМ — определение уси-

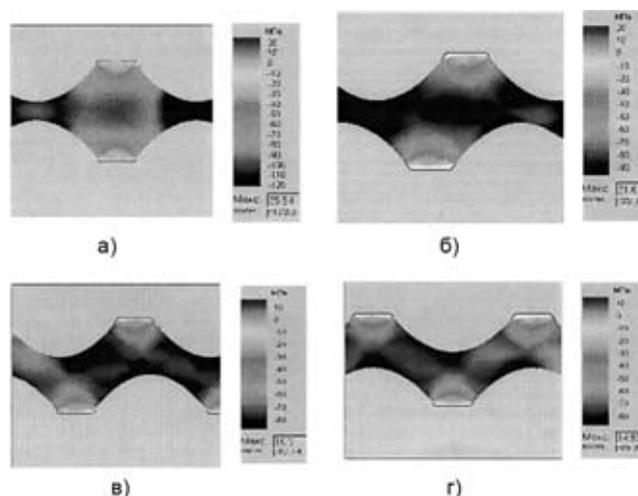


Рис. 3. Распределение напряжений внутри элементарной ячейки при различных смещениях шага укладки волокон S_{cm} по слоям (материал матрицы — АД1): а—г — S_{cm} равно 0, 0,2, 0,4 и 0,5 соответственно

ля компактирования в зависимости от параметров сборной заготовки и температуры. При этом параметры технологического процесса должны соответствовать требованиям критериальной системы, что обеспечит получение изделия требуемого качества.

Исследование процессов гибки и обкатки, выполненное в среде ANSYS-DYNA, позволило для процесса гибки профилей из ВКМ определить такие управляющие параметры, как минимально допустимый относительный радиусгиба, максимальные растягивающие напряжения (рис. 4), а также сформулировать основные функциональные зависимости.

Исследование процесса обкатки (рис. 5) позволило определить требуемые усилия и скорости, описать параметры очага деформации и в результате сформулировать функциональную зависимость усилия компактирования от параметров заготовки при заданных скорости, температуре и среде.

Таким образом, современное проектирование технологических процессов ОМД из гомо- и гетерогенных материалов с помощью математического моделирования является перспективным и востребованным. Многолетний опыт в исследовании процессов формоизменения материалов методами КЭ позволил создать профессиональные САЕ-системы, способные определять в динамике основные параметры деформационных процессов. Дальнейшее развитие исследований заключается в разработке

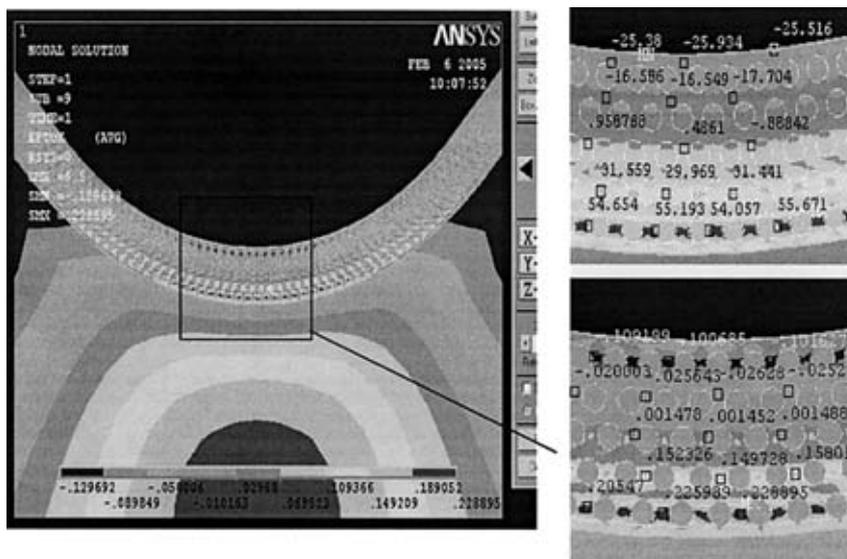


Рис. 4. Распределение напряжений в очаге деформации при гибке

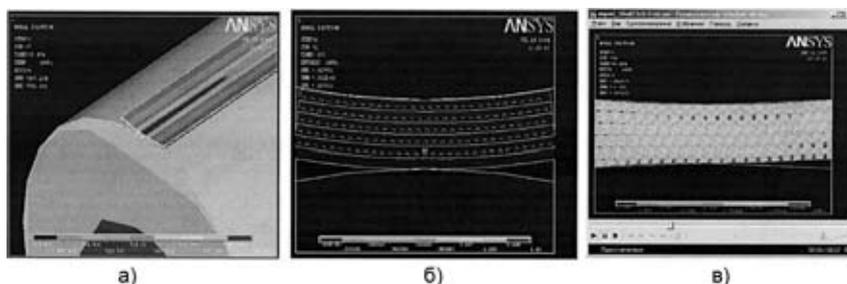


Рис. 5. Моделирование обкатки оболочек из ВКМ: а — определение усилия прижима вала; б — моделирование распространения напряжения при движении вала; в — напряжения компактирования в очаге деформации

методик, позволяющих прогнозировать и управлять структурой и свойствами получаемых изделий. Наибольшие перспективы в этом плане связаны с объединением механического подхода, заложенного в МКЭ, с физико-химическими основами пластической деформации.

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.

В. М. ГРИШАГИН, канд. техн. наук, Д. Н. НЕСТЕРУК, инж.
Юргинский технологический институт (филиал)
Томского политехнического университета

Методика учета социальных факторов при определении экономической эффективности сварочных работ

В настоящее время большинство рекомендаций по оценке эффективности сварочных работ основаны на расчете снижения себестоимости работ в связи с сокращением затрат времени и количества используемых сварочных материалов. При этом не учитывается социальный фактор, определяющий качество выполненных работ в условиях конкретного производства. В большинстве случаев учет социальных факторов сводится к определению влияния опасных и вредных производственных факторов на производительность труда. Обоснованность этого подтверждена статистикой.

В целом по промышленности, а также в большинстве ее отраслей, наиболее распространенными вредными производственными факторами за последние 20 лет являлись сварочные аэрозоли. За период 1997—2001 гг. 25 % профессиональной заболеваемости в машиностроительной и металлообрабатывающей промышленности составляют профессиональные заболевания от воздействия сварочных аэрозолей (пневмокониозы, неосложненный силикоз, силикотуберкулез, силикатозы, хронический бронхит, тотальные дистрофические заболевания верхних дыхательных путей).

Согласно ГОСТ 12.3.003—86, к наиболее существенным вредным производственным факторам относятся:

- химические (сварочные аэрозоли);
- физические (запыленность, загазованность, повышенная температура воздуха рабочей зоны, уровень шума на рабочем месте, опасный уровень напряжения в электрической цепи, уровень электромагнитных излучений, повышенная яркость света, повышенный уровень инфракрасной радиации);
- психофизиологические (физические и нервные перегрузки).

Для учета этих факторов в дополнение к традиционной методике¹ предлагается использовать ин-

тегральный коэффициент потерь рабочего времени по причине неблагоприятных условий $K_{\text{Н}}^{\text{ИНТ}}$.

Согласно стандарту, наиболее опасной с точки зрения количества возможных неблагоприятных факторов является дуговая сварка в защитных газах. Ниже приведена методика расчета годового экономического эффекта от использования дуговой сварки в защитных газах с применением защитных покрытий.

Годовой экономический эффект от применения защитных покрытий можно определить, используя известную формулу для расчета экономической эффективности нового технологического процесса

$$\mathcal{E} = (C_1 + E_{\text{Н}}K_1) - (C_2 + E_{\text{Н}}K_2), \quad (1)$$

где C_1, C_2 — затраты на производство годового объема сварочных работ по зачистке поверхности изделий от налипания брызг расплавленного металла соответственно по сравниваемым вариантам на один сварочный пост в год, руб.; $E_{\text{Н}}$ — нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности; K_1, K_2 — капитальные вложения на производство годового объема сварочных работ по зачистке изделий от брызг соответственно по сравниваемым вариантам, руб.

Затраты на производство годового объема сварочных работ по зачистке изделий от брызг расплавленного металла по сравниваемым вариантам с учетом применения защитных покрытий

$$C = \sum_{i=1}^m C_i l_i n_i, \quad (2)$$

где C_i — себестоимость зачистки 1 м шва i -го типоразмера, руб.; l_i — протяженность шва i -го типоразмера, м; n_i — количество швов i -го типоразмера.

Себестоимость зачистки сварного шва определяется по калькуляционным статьям затрат по каждому из сравниваемых вариантов сварочного производства. Затраты на материалы, применяемые при зачистке изделий от сцепления брызг, складываются из затрат на основные и вспомогательные

¹ Федько В. Т. Технология, теоретические основы и средства снижения трудоемкости при сварке в углекислом газе: Учебник. Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2004. 398 с.

материалы (сырье, полуфабрикаты, электроэнергию, виброинструмент и сжатый воздух):

$$C_M = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{Mij} C_{ij}, \quad (3)$$

где m — количество типоразмеров сварных швов; n — количество видов основных и вспомогательных материалов; P_{Mij} — расход основных и вспомогательных материалов, г; C_{ij} — стоимость единицы i -го вида основных и вспомогательных материалов, руб.

Расход основных и вспомогательных материалов P_{Mij} производят по установленным нормам и фактическому расходу, при этом необходимо учитывать уменьшение потерь материалов в результате внедрения новых технологий. Стоимость покупных, основных и вспомогательных материалов C_{ij} определяется на основе действующих оптовых цен с учетом транспортно-заготовительных расходов, а стоимость основных материалов собственного производства — исходя из плановой или фактической себестоимости.

Расход сварочной проволоки на сварную конструкцию (изделие) в общем виде определяется по формуле

$$P_{пр} = \sum_{i=1}^n H_{pi} L_i K_{pi}, \quad (4)$$

где H_{pi} — норматив расхода проволоки на 1 м шва i -го типа при данной толщине свариваемого металла, кг; L_i — длина шва i -го типа, м; K_{pi} — коэффициент расхода сварочной проволоки данного вида на 1 кг наплавленного металла, установленный экспериментально с применением и без применения покрытий для защиты поверхности свариваемых изделий от налипания брызг. Этот коэффициент учитывает потери на угар, испарение, окисление и разбрызгивание.

Стоимость проволоки

$$C_{пр} = P_{пр} C_{пр}, \quad (5)$$

где $C_{пр}$ — стоимость 1 кг проволоки, руб.

Стоимость израсходованного газа на один сварочный пост в год

$$C_{газ} = F_{CO_2} C_{газ} = P_{пр} K_{CO_2} C_{газ}, \quad (6)$$

где F_{CO_2} — расход газа на один сварочный пост в год, кг; $C_{газ}$ — стоимость 1 кг CO_2 , руб.; K_{CO_2} — коэффициент расхода CO_2 на 1 кг сварочной проволоки.

Затраты на защитные покрытия

$$C_{пок} = R_{пок} C_{пок} = r_{пок} L C_{пок}, \quad (7)$$

где $R_{пок}$ — расход защитных покрытий на один сварочный пост в год, кг; $r_{пок}$ — расход покрытий на 1 м шва, кг; L — протяженность сварных швов, м; $C_{пок}$ — стоимость покрытий на 1 м шва, руб.

Зачистку сварных швов и ОШЗ производят виброинструментом (пневмомолотком, зубилом), следовательно, необходимо определить также затраты на используемый виброинструмент:

$$C_{ин} = \frac{\tau}{\delta_M} C_M + \frac{\tau}{\delta_3} C_3, \quad (8)$$

где τ — трудоемкость зачистки поверхности изделий на один сварочный пост в год, ч; δ_M — средняя стойкость пневмомолотка, ч (по данным ЮМЗ, 190 ч); δ_3 — средняя стойкость зубила (ЮМЗ — 8 ч); C_M — стоимость пневмомолотка, руб.; C_3 — стоимость зубила, руб.

Трудоемкость τ определяется с учетом трудоемкости τ' на зачистку 1 м шва без применения защитного покрытия и длины сварного шва $L_{ш}$.

Трудоемкость в результате снижения набрызгивания в зависимости от применяемых защитных покрытий

$$\tau_0 = \frac{K_3 \tau}{K}, \quad (9)$$

где K_3 — коэффициент набрызгивания в зависимости от применяемого защитного покрытия, %; K — коэффициент набрызгивания без применения защитного покрытия, %.

Общая трудоемкость зачистки поверхности изделия от налипших брызг после сварки с учетом применения защитных покрытий на один сварочный пост

$$\tau' = \tau_0 + \tau_H + \tau_{сн}, \quad (10)$$

где τ_H — трудоемкость нанесения защитных покрытий, ч, равная $\tau_H'' L/60$ (τ_H'' — трудоемкость нанесения защитных покрытий на 1 м, мин); $\tau_{сн}$ — трудоемкость снятия защитных покрытий перед нанесением лакокрасочных покрытий, ч, равная $\tau_{сн}'' L/60$ ($\tau_{сн}''$ — трудоемкость снятия защитных покрытий перед нанесением лакокрасочных покрытий на 1 м, мин).

Трудоемкость сварки на один сварочный пост в год

$$\tau_{св} = K_{п} \tau, \quad (11)$$

где $K_{п}$ — коэффициент расхода сварочной проволоки с учетом применения защитного покрытия.

Затраты на сжатый воздух C_B определяют исходя из трудоемкости на зачистку изделий от налипших брызг, т. е. время работы виброинструмента

$$C_B = P_B C_B = \tau \gamma_B C_B,$$

где P_B — расход сжатого воздуха при работе виброинструмента, м³/ч; C_B — стоимость 1000 м³ сжатого воздуха, руб.

Заработная плата рабочих, занятых на зачистке поверхности свариваемых изделий от налипших брызг,

$$C_{з.п} = \tau_{св} C_p + \frac{\tau_{св} C_p (H_{з.д} + H_{с.ст} + H_p)}{100}, \quad (12)$$

где C_p — средняя часовая тарифная ставка соответствующего разряда, руб.; $H_{з.д}$ — процент дополнительной заработной платы за отчетный период, %; H_p — процент отчислений на социальное страхование, %; H_p — районный коэффициент, %.

Заработная плата сварщика в пересчете на один сварочный пост в год

$$C_{з.п} = \tau_{св} C_{ср} + \frac{\tau_{св} C_{ср} (H_{з.д} + H_{с.ст} + H_p)}{100}, \quad (13)$$

где $C_{ср}$ — средняя тарифная ставка соответствующего разряда на сварку, руб.

Годовой экономический эффект на один сварочный пост зачистки поверхности изделий от брызг с применением защитных покрытий

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & (C_{з.п} + C_{св} + C_{пр} + C_{газ} + C_{ин} + C_{эл} + C_B + \\ & + C_{пок} + E_H K_1) - (C'_{з.п} + C'_{св} + C'_{пр} + C'_{газ} + \\ & + C'_{ин} + C'_{эл} + C'_B + C'_{пок} + E_H K_2). \end{aligned} \quad (14)$$

Воздействие социально-экономических факторов (социально-экономические условия на предприятии или касающиеся комфортных условий работников) на производительность труда рассчитываются следующим образом.

Потери рабочего времени

$$\mathcal{E}_{рв}^6 = \Phi_6 C_p U N_{вр}, \quad (15)$$

где Φ_6 — среднее число дней, пропущенных рабочим по болезни (за период); C_p — численность рабочих; U — удельный вес рабочих в общей численности ПП; $N_{вр}$ — среднесуточная норма времени работы, нормо-ч.

Для учета неблагоприятных условий работы вводят коэффициент $K_H^{инт}$.

Потери рабочего времени по причине неблагоприятных условий работы

$$\mathcal{E}_{рв}^{нб} = \mathcal{E}_{рв}^6 (1 + K_H^{инт}), \quad (16)$$

где $K_H^{инт} = (1 + \alpha_1)K_{ох} + (1 + \alpha_2)K_{оф} + (1 + \alpha_3)K_{оп}$.

Здесь $K_{ох}$, $K_{оф}$, $K_{оп}$ — показатели значимости опасных и вредных производственных факторов в зоне пребывания рабочего в зависимости от при-

Таблица 1

Сварка	$K_{ох}$	$K_{оф}$	$K_{оп}$
Ручная дуговая:			
с подогревом	1	0,7	0,5
без подогрева	1	0,9	1,0
Дуговая под флюсом:			
механизированная	1	0,4	1,0
автоматическая	1	0,2	0,5
с подогревом или многопроходная	1	0,5	0,5
Дуговая в защитных газах:			
с подогревом	1	0,9	1,0
без подогрева	1	0,9	1,0
механизированная	1	0,9	1,0
механизированная с подогревом	1	0,9	1,0
автоматическая	1	0,7	0,5
Электрошлаковая	1	0,7	0,5
Контактная:			
точечная	1	0,5	0,5
шовная	1	0,5	0,5
стыковая	1	0,8	0
рельефная	1	0,5	0

Таблица 2

Значение α_i	Характер вредного воздействия
0	Не превышает допустимого значения
0,1	Превышает не более чем на 10 %
0,2	То же, на 20 %
0,3	То же, на 30 %
0,4	То же, на 40 %
0,5	То же, на 50 %
0,6	То же, на 60 %
0,7	То же, на 70 %
0,8	То же, на 80 %
0,9	То же, на 90 %
1,0	То же, на 100 %
2,0	Превышение допустимого значения более чем в 2 раза

меняемого вида сварки (химических, физических и психофизиологических соответственно) (табл. 1); $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_i$ — весовые коэффициенты, учитывающие характеристики технологического процесса на предприятии, определяются в зависимости от превышения соответствующего показателя предельно допустимого значения (табл. 2).

Влияние неблагоприятных производственных факторов на финансовый результат (убыток) по причине неблагоприятных условий работы

$$y^{нб} = \Phi^6 C_p U N_B^{ср} K_H C_{ед}, \quad (17)$$

где $N_B^{ср}$ — среднесуточная норма выработки рабочего, ед.; $C_{ед}$ — стоимость единицы продукции (1 м сварного шва).

Содержание зарубежных журналов¹

American Machinist
(N 2, 2008, США)

Limper H. et al. Об охлаждающей жидкости, с. 8—12, ил. 1.

Существует несколько жестких правил относительно типов СОЖ и их применения, функцией которых является не только охлаждение и уменьшение трения в зоне резания, но и отвод стружки и защита от коррозии. СОЖ должна одновременно обладать биостабильностью, не оказывать вредного воздействия на оператора и отвечать требованиям экологической безопасности. Наилучшими смазывающими свойствами обладают чистые масла, а наилучшее охлаждение обеспечивают синтетические СОЖ. Приведены свойства и область применения наиболее часто применяемых СОЖ.

Vernyi B. Оптимизация времени настройки оборудования, с. 36—39.

Оптимизация настройки — это процесс, учитывающий индивидуальные особенности конкретного производства. Однако существует целый ряд стандартных мероприятий, обеспечивающих максимальную эффективность настройки оборудования. На примере ряда фирм рассматриваются пути оптимизации настройки оборудования.

Обработка с увеличенной подачей, с. 56—57, ил. 1.

Описывается опыт фирмы Fontal Controls по повышению производительности при черновой обработке алюминиевых деталей за счет увеличения глубины резания и при обработке закаленных стальных деталей твердостью 47—48 HRC при увеличении скорости подачи. Приведен пример обработки крупных деталей аэрокосмического назначения на вертикальном многоцелевом станке VMC 3016FX фирмы MAG Fadal при частоте вращения шпинделя 7000 мин⁻¹ и скорости подачи 2,5 м/мин.

Fletcher G. Обработка по пяти осям, с. 60.

Рассматриваются критерии выбора станков для обработки по пяти осям и преимущества этих станков по сравнению со станками для обработки по трем осям.

Минимизация времени смены инструментов, с. 61, ил. 1.

Описывается автоматизированный стеллаж-магазин с ЧПУ для размещения 500 (обычное исполнение) или 184 (компактное исполнение) режущих инструментов длиной до 550 мм, диаметром до 250 мм и массой до 24,5 кг.

DIMA (Die Maschine)
(N 5, Vol. 61, 2007, Германия)

Klingauf von W. Прецизионная токарная обработка, с. 58—61, ил. 7.

Описана технология высокоэффективной прецизионной обработки деталей сложного профиля на новом станке Index GU800. На этом станке деталь полностью обрабатывается с одного установа. Эффективность технологического процесса обусловлена применением новой системы управления типа 21i-TV фирмы GE Fanuc, которая обеспечивает возможность быстрого программирования процесса обработки.

(N 7, Vol. 61, 2007, Германия)

Обработка зубчатых колес, с. 36, ил. 1.

Шевинговальный станок Genesis 130 SVC разработан фирмой Gleason-Hurth и предназначен для обработки прямо- и косозубых колес диаметром до 150 мм из незакаленных сталей. Достоинство станка — одновременное удаление грата и снятие фасок. Для перемещений обрабатываемых колес используется быстросходный двойной схват, для управления станком — система Sinumerik 840D фирмы Siemens.

Cutting Tool Engineering
(N 7, Vol. 59, 2007, США)

Заточный станок для режущих пластин, имеющий ЧПУ, с. 18, ил. 1.

Описан станок для заточки режущих пластин Platemat фирмы Erwin Junker Machinery Inc. (США). Отмечается повышение его производительности при существенном улучшении качества заточки. Режущая кромка создается за счет одноразового зажима в патроне при четырех интерполируемых осях наружного контура, угла поднутрения и возможности создания различных радиусов на круглых, трехгранных, квадратных и восьмигранных пластинах.

Токарный обрабатывающий центр, с. 69, ил. 1.

Токарный центр NZ200T3Y3 фирмы Mori Seiki USA Inc. оснащен тремя револьверными головками со встроенными двигателями для фрезерования и перемещениями по оси Y. Станок предназначен для массового производства: обработки прутков, валов, фланцев и прецизионных деталей вращения.

European Tool and Mould making
(N 2 (март), Vol. 9, 2007, Германия)

Автоматизация загрузки круглошлифовального станка с ЧПУ, с. 42, ил. 1.

Универсальный круглошлифовальный станок S33 с ЧПУ типа CNC фирмы Fritz Studer AG (Швейцария) предназначен для наружного и внутреннего шлифования малых и средних деталей с одного установа как экономичное решение для условий единичного и серийного производства. Станок оснащен порталным загрузчиком "SmartLoad". С помощью простого захватного устройства в станок загружаются валы и патронные детали длиной 20—300 мм, диаметром 6—100 мм и массой до 4 кг.

Технология обработки карбида вольфрама, с. 50.

Из карбидов самое широкое применение в промышленности получил монокарбид вольфрама. Он характеризуется стойкостью при высоких температурах, которые имеют место в металлургических процессах, поэтому предпочтительно его спекание. После спекания сформированный блок высокой плотности может быть еще более уплотнен горячим изостатическим прессованием. Обычно твердосплавные детали спекаются до окончательной формы и не подвергаются механической обработке.

Использование антикоррозионных аэрозолей на электроэрозионных станках, с. 55, ил. 1.

Фирма Buchem Chemie Technik GmbH & Co. KG (Германия) специализируется на изготовлении химикатов для электроэрозионной вырезки и инъекционной формовки пластиков. Для электроэрозионных станков наиболее популярна

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

антикоррозионная аэрозоль Antikor RS Extra, которая защищает изделие от коррозии на станке и при дальнейшем использовании, в том числе при хранении на складе. Кроме того, аэрозоль эффективна как смазочный материал для эжекторов, применяемых при инъекционной формовке пластиков; получаются чистые изделия без остаточных загрязнителей на поверхностях. Аэрозоль Antikor RS Extra является полностью синтетическим продуктом без примесей масла и кремния, она не имеет запаха.

Запчасти и материалы электроэрозионных станков, с. 57, ил. 1.

Компания Intech EDM (одно из предприятий корпорации Agie Charmilles UK) поставляет материалы и запчасти, расходные при эксплуатации станков, в том числе электроды-проволоки, фильтры и полимеры. Указывается, что проволочки ViperCut A (с покрытием) и XP (латунная) позволяют повысить характеристики обработки так же, как и трехслойные фильтры. К числу поставляемых деталей и компонентов относятся направляющие, сопла, контакты и ремни.

(N 5 (июнь), Vol. 9, 2007, междунар.)

Крупногабаритный фрезерный станок с ЧПУ, с. 30, ил. 1.

Описан пятикоординатный станок FZ25 фирмы F. Zimmermann GmbH (Германия), имеющий подвижный портал, на котором осуществляется высокоскоростное резание. Выполняется сухое фрезерование крупногабаритных заготовок из легких композиционных материалов, таких как углеродные пластики, пластики, армированные стекловолокном, уретол, полиуретан, полистирол. Перемещение по осям Y, Z соответственно составляет 5000 и 2000 мм. Перемещения по оси X осуществляются с помощью зубчато-реечных передач и могут быть удлинены до 40 000 мм.

Высокоточный электроэрозионный копировально-прошивочный станок, с. 45, ил. 1.

Фирма Makino выпускает электроэрозионные станки микронной точности, имеющие ЧПУ типа CNC для обработки деталей электроники и различных миниатюрных компонентов. На станке EDAC1 μ Sinker EDM выдерживаются прямолинейность и перпендикулярность в пределах ± 2 мкм на всей длине хода. Отклонение при сочленении обработанных компонентов не превышает ± 1 мкм, шероховатость поверхностей $Ry = 0,5$ мкм ($Ra \approx 0,06$ мкм), радиусы в уголках форм и штампов обрабатываются с точностью до 5 мкм.

Копировально-прошивочный электроэрозионный станок с ЧПУ, с. 53.

Станок Sodick AQ35L компании Sodi-Tech EDM Ltd (Великобритания) обеспечивает получение поверхностей такого качества, что в последующем отсутствует необходимость полирования. В приводе подачи используется линейный двигатель. Эвакуация отходов осуществляется без прокачки. С помощью сервосистемы поддерживается постоянный межэлектродный промежуток. Керамические салазки минимизируют тепловые деформации. При черновой и чистовой обработке применяется ЧПУ одновременно по трем осям.

MAN (Modern Application News)
(N 3, Vol. 41, 2007, США)

Sterling D. Выбор режущего инструмента, с. 12, ил. 2.

Приведены рекомендации по выбору режущего инструмента для выполнения конкретных работ металлообработки. Рассмотрен пример обработки подшипниковых колец на

вертикальном токарном станке расточными резцами марки Sandvik Bear-Paw с обеспечением внутренней подачи СОЖ.

Новые обрабатывающие центры, с. 21, ил. 2.

Описаны вертикальные обрабатывающие центры фирмы Fadal Machining Centers (США). Центр VMC 6535HTX отличается высоким крутящим моментом при мощности 36 кВт, имеет жесткую чугунную конструкцию, большие шариковые винты, систему ЧПУ GE Fanuc 18i-MB. Центр VMC 4020FX имеет жесткие коробчатые направляющие, верхний предел частоты вращения шпинделя 8000 мин⁻¹, шариковые винты Steinmeier ETA. Рабочая зона составляет 1016 × 508 мм, скорость быстрых перемещений 25,4 м/мин.

Вращающиеся центры, с. 41, ил. 1.

Описаны вращающиеся центры Perfetta фирмы Dorian Tool International (США), предназначенные для обработки деталей нефтяного оборудования. Использование в них взаимозаменяемых конических головок для крепления деталей диаметром 98—600 мм и высокоточного роликового конического подшипника в закругленной носовой части позволяет удерживать детали массой до 8910 кг с усилием прижима 29,7 кН. Центры изготовлены из хромомолибденовой стали с закалкой поверхности до твердости 62 HRC и последующим шлифованием для обеспечения прочности и долговечности.

(N 6, Vol. 41, 2007, США)

Зубофрезерный станок с ЧПУ для мелких зубчатых колес, с. 43, ил. 1.

Описан зубофрезерный восьмикоординатный станок W100 фирмы Lambert-Wahli (США). Мелкий модуль нарезаемых колес при диаметре до 40 (ручная загрузка) и 20 мм (автоматическая) и частота вращения червячной фрезы до 15 000 мин⁻¹ определяют области его применения в часовой, моторостроительной и микротехнической промышленности. Высокий уровень автоматизации и гибкость переналадки станка осуществляется за счет использования синхронных высокоскоростных прямых приводов и прогрессивной системы ЧПУ Bosch Rexroth IdrMotion MTX CNC с удобным программным пакетом диалогового типа.

(N 7, Vol. 41, 2007, США)

Комбинированная водоструйно-плазменная установка, с. 9, ил. 3.

Описана комбинированная установка водоструйно-плазменной резки Hydrocut фирмы ESAB Welding & Cutting Products (США). Отмечается уникальность конструкций установки с совмещением плазмы и водяной струи на едином портале, обеспечивающих высокую скорость и гибкость резания при снижении допусков с расширением номенклатуры деталей и марок материалов. Производительность резки листов из гальванизированной стали с поливиниловым покрытием на этой установке повысилась на 50 % по сравнению с ручной.

Круглошлифовальные станки с ЧПУ, с. 13, ил. 1.

Фирма Studer (Швейцария) выпустила круглошлифовальные станки Sensitron™ и Monomatic со станинами из гранитана. Первый обеспечивает использование суперразвивных кругов, во втором установлены цифровые измерительные головки. Предусмотрена пристройка загрузочного устройства и других средств автоматизации. Преобразователь частоты позволяет поддерживать постоянную скорость шлифования. Повороты бабки изделия относи-

тельно оси С обеспечивают выполнение контурной обработки и шлифование резьб, а при поворотах стола можно шлифовать конические поверхности.

Удаление мелкой чугунной стружки из отработанной СОЖ, с. 20, 21, ил. 2.

Рассматривается технология очистки отработанной СОЖ от мелкой стружки, образующейся при резании чугуна, применяемая на фирме Paul Precision Machine, Inc. Последняя специализируется на производстве нефтегазовой аппаратуры. Обработка чугуна представляет для нее постоянно повторяющуюся и дорогостоящую проблему в результате образования мелких частиц, которые невозможно удалить с помощью типовой фильтровальной системы. Очистка СОЖ приводила к приостановке процесса резания на 8—12 ч с соответствующим простоем станков. Решение было получено в результате приобретения фильтровальной системы Cast Iron Chip Diso Filtration System компании Henning Inc. с магнитным диском, позволившей удалить частицы чугуна размером до 25 мкм и возвращать полностью очищенную СОЖ в станок. Окупаемость фильтровальной системы составила 14—16 месяцев за счет полного использования обрабатывающего центра.

Один хороший станок увеличит производительность, с. 22, 23, ил. 3.

Описан опыт работы на токарном станке Emcoturn 345-11 фирмы Emco Mayer, оснащенный системой ЧПУ Sinumerik 810D CNC с ПО ShopTurn. Станок установлен на заводе корпорации CEJN, занимающейся производством высокоточных пневматических и гидравлических агрегатов, а также быстро соединяемых муфт. Отмечается повышение производительности на 15 % в результате установки этого станка.

Универсальный станок с ЧПУ фирмы Studer, с. 42—44, ил. 1.

Описаны шлифовальный станок 540 фирмы Studer (Швейцария), который эксплуатируется на предприятии фирмы Complete Grinding Solutions (США), и технология обработки на нем. На этом станке возможно шлифование разнообразных материалов, в том числе керамики, карбидов, экзотических материалов, стекла и резины. Станок характеризуется гибкостью переналадки: после шлифования вала на следующей неделе обрабатывается изделие аэрокосмической отрасли, на этой же неделе шлифуется шпиндель для станкостроительной компании; после этого обрабатываются инструментальные оправки. Станок оснащен устройством правки кругов вращающимся диском. Возможна правка суперабразивных кругов, например алмазных и нитридных. Отмечается, что длительность наладки может быть уменьшена на 90 % с помощью ПО Studer Quickset, которое контролирует характеристики инструмента, детали и правящего устройства.

Зубофрезерный станок с ЧПУ, с. 50, ил. 1.

Описан зубофрезерный станок 300 фирмы Koenig America, предназначенный для нарезания зубчатых колес червячной фрезой наибольших размеров среди всех аналогичных станков фирмы. Максимальный модуль 4 мм, диаметр детали до 195 мм, длина до 500 мм при ручной загрузке и 300 мм — при автоматической. Станок оснащен девятикоординатной системой ЧПУ и портальной системой загрузки.

Высокоскоростной вертикальный обрабатывающий центр, с. 52, ил. 1.

Описан вертикальный обрабатывающий центр среднего размера NV6000 DCG фирмы Mori Seiki, предназначенный для удовлетворения растущего спроса производителей штампов и пресс-форм для автомобилестроения и производств жидкокристаллических дисплеев. Отмечается высокая скорость резания при исключении вибраций вершины режущей кромки инструмента за счет технологии "направления усилия подачи к центру тяжести" (DCG), что повышает чистоту поверхности, контурную точность и стойкость инструмента. Станок имеет пять шариковинтовых пар: две на осях Y и Z и одну на оси X.

Maschinenmarkt
(N 19, 2007, Германия)

Fladerer F. Высокоскоростной обрабатывающий центр, с. 34, ил. 2.

Фирма Deckel Maho Seebach выпустила обрабатывающий центр DMU 70 Evolinear, сочетающий достоинства универсального фрезерного станка и вертикального центра. Скорости перемещений по оси X достигают 50 м/мин, по осям Y и Z — 80 м/мин; величина перемещений — соответственно 750, 600 и 520 мм. Частота вращения шпинделя составляет 18 000—42 000 мин⁻¹ при мощности 25—35 кВт и крутящем моменте 87—130 Н·м.

(N 23, 2007, Германия)

Kuttkat B. Технология изготовления литейных форм, с. 24, 25, ил. 2.

Технология разработана фирмой Innovaris (Германия) и состоит из операций наплавки металлического порошка и последующего фрезерования. Такое сочетание позволяет, в частности, получать в матрице из инструментальной стали каналы охлаждения из медного сплава, расположенные вплотную к оформляющей полости. Для осуществления этой технологии используется модернизированный обрабатывающий центр C 40 Alchemy, имеющий систему управления Heidenhain iTNC 530.

Горизонтальный обрабатывающий центр, с. 72.

Фирма Haas Automation Europe N. V. (Бельгия) выпустила самый большой в своей программе обрабатывающий центр EC 630 с перемещениями по осям 1015, 840 и 890 мм, частотой вращения шпинделя до 6000 мин⁻¹ при крутящем моменте 610 Н·м. Он комплектуется устройством для смены спутников типоразмера 630 мм, каждый из которых выдерживает нагрузку 12 кН, и имеет магазин на 50 инструментов.

Большой обрабатывающий центр, с. 72, ил. 1.

Фирма Hurco GmbH (Германия) выпустила вертикальный центр VMX 84 с перемещениями по осям 2130, 865 и 760 мм, позволяющий обрабатывать большие детали массой до 2000 кг. Крутящий момент на шпинделе 237 Н·м, частота вращения до 12 000 мин⁻¹. Достоинство центра: поперечное перемещение до 865 мм, что особенно важно при изготовлении формующего инструмента.

Токарный станок с вертикальной станиной Miiga XP 4-42, с. 72, ил. 1.

Станок выпущен фирмой Miiga Werkzeugmaschinen GmbH (Германия) и предназначен для изготовления деталей сложной геометрии из прутков диаметром до 42 мм при длине точения 100 мм и частоте вращения основного шпинделя и протившпинделя 4000 мин⁻¹. Линейный магазин вмещает 27 инструментов.

5-я Международная специализированная выставка и конференция "Покрyтия и обработка поверхности – 2008"

С 9 по 11 апреля 2008 г. в Москве в конгресс-центре ЦМТ прошли Международная специализированная выставка и конференция "Покрyтия и обработка поверхности — 2008", организованные компаниями "Примэкспо" (Санкт-Петербург) и ITE GROUP PLC (Великобритания) при поддержке Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, Комитета Совета Федерации Федерального собрания РФ по промышленной политике, Российского союза промышленников и предпринимателей, Российского химического общества им. Д. И. Менделеева, Российского Союза химиков. Свою продукцию представили более 110 компаний из России, Германии, Чехии, Италии, Франции, США, Швеции, Тайваня и Польши.

Ниже приведены отечественные и зарубежные организации, компании и фирмы, и экспонируемые ими научно-технические разработки и инновационные проекты в области производства оборудования и материалов для покрyтия и обработки поверхности, а также экологии и неразрушающего контроля.

Группа компаний "Гальвано Групп" в составе Технопарка РХТУ им. Д. И. Менделеева (Москва):

- поставка гальванических линий различной производительности, конфигурации и степени автоматизации;
- модернизация и автоматизация действующего гальванического оборудования;

- уникальное оборудование для анодирования алюминия, нанесения гальванических покрyтий на проволоку, ленту, автомобильные диски, гальвано-химической обработки основных элементов авиационных двигателей;

- оборудование для процессов химического никелирования;

- специальные установки для обработки мелких деталей;

- системы очистки промышленных стоков "ВИОН" от ионов хрома, никеля, меди, цинка, кадмия, свинца и других тяжелых металлов и их соединений;

- очистные сооружения гальванических производств.

На рис. 1 приведено гальваническое оборудование для нанесения покрyтий.

ООО "Гранит-М" (г. Уварово Тамбовской обл.):

- емкостное оборудование (цилиндрические емкости объемом до 30 м³), гальванические ванны из полимерных материалов (материал корпуса — полипропилен, полиэтилен, дополнительная футеровка листовым фторопластом для особо агрессивных сред), системы вентиляции, барабаны гальванические;



а)



б)

Рис. 1. Гальваническое оборудование для нанесения покрyтий: а — гальваническая линия; б — очистное сооружение для гальванических производств



Рис. 2. Гальваническая линия барабанно-подвесочного типа для покрyтий любых видов

- автоматизированные, механизированные (автооператорные) и ручного обслуживания гальванические линии барабанно-подвесочного типа для любых покрyтий (рис. 2);

- комплексы по очистке сточных вод гальванических производств (используют два метода очистки: очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов реагентным способом и очистка сточных вод с замкнутым водооборотом на базе вакуум-выпарных установок).

ООО "ГальваноХром" (Санкт-Петербург):

- технология твердого размерного хромирования с неполным погружением и вращением детали наружных и внутренних поверхностей. Основная номенклатура деталей: крупногабаритные штоки диаметром до 0,8 м и длиной до 18 м, пробки шаровых кранов диаметром до 2,2 м, наружное и внутреннее хромирование цилиндров диаметром до 0,6 м и длиной до 15 м;

- технология скоростного размерного хромирования в протоке электролита наружных и внутренних поверхностей (основное отличие от других технологий хромирования — полное отсутствие открытого зеркала электролита, а также возможность применения повышенных плотностей тока). Основная номенклатура деталей: цилиндры штанговых насосов, поршневые кольца, трубы специального назначения (внутренний диаметр более 5 мм);

- технология размерной электрохимической обработки (ЭХО) в протоке электролита внутренней поверхности каналов труб;

- технология обработки цилиндрических и конических наружных и внутренних поверхностей тел вращения, например, каналов труб, с использованием электрохимического травления образца и одновременной механической обработкой притиранием (электрохимическое хонингование).

На рис. 3 приведено оборудование для хромирования при неполном погружении детали в электролит и ее вращения.

ООО "ЛВ-Инжиниринг" (Москва):

- изделия из полипропилена (ванны, футеровки, воздухопроводы, фильтры, автооператоры, системы управления);

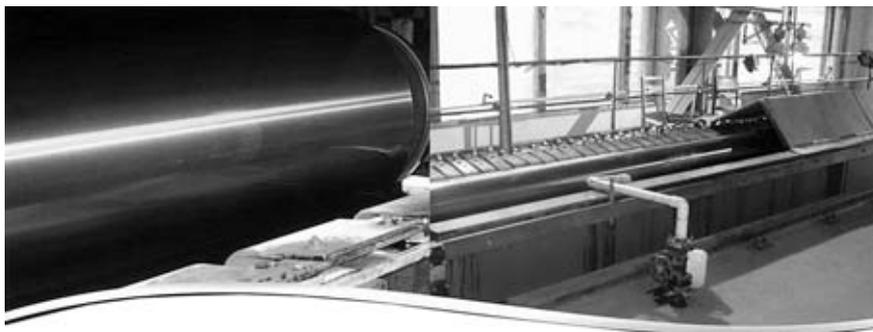


Рис. 3. Оборудование для хромирования при неполном погружении детали в электролит и ее вращении

- оборудование для сточных вод;
- очистные сооружения производительностью от 3 до 10 м³/ч;
- гальванические линии и гальванические установки (цинкование, меднение, никелирование, хромирование, оксидирование, анодирование, травление и др.);
- системы управления технологическими режимами и распределением электропитания гальванических линий (поставка только в комплекте с гальваническими линиями и гальваническими установками).

ООО "Полипласт" (Псков):

- автоматические и механизированные гальванические линии, ванны и емкости из коррозионно-стойких материалов, полипропиленовые гальванические барабаны. Конструкция барабана защищена патентом РФ на изобретение, имеет одно из лучших среди применяемых в Европе аналогов оборудования соотношений собственной массы к полезной нагрузке. Применяется для гальванической обработки поверхности мелких деталей в автоматических линиях (рис. 4);
- установки глубокой биологической очистки сточных вод, а также бассейны из полипропилена.

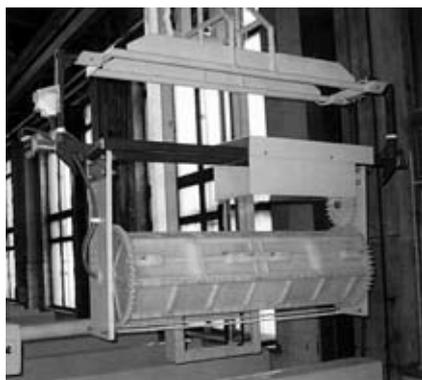


Рис. 4. Каретка вместе с барабаном перемещается по механизированной гальванической линии (фрагмент)

НТК "Процесс" (Санкт-Петербург) — разработка и реализация комплексных проектов по созданию и реконструкции действующих гальванических производств с очистными сооружениями. Проекты и оборудование разрабатывают для всех процессов, применяемых в гальванических производствах (от блоков покрытия драгметаллами до линий подготовки цехов горячего цинкования с ваннами объемом более 50 м³). Предприятие ведет разработку специальных разделов, в том числе "Охрана окружающей среды". Имеет соответствующие сертификаты, лицензии и разрешения на применение оборудования.

Компания "Рейнгольд" (Москва):

- механические и автоматические установки и линии гальванической обработки поверхностей;
- автоматические линии для гальванической обработки деталей, в том числе крупногабаритных, размером до 24 м;
- автоматические линии с замкнутой системой водооборота;
- установки для гальванообработки проволоки, прутка;
- линии металлизации печатных плат.

Компания "Сигма Аква Технолджис" (Москва):

- обследование, проектирование, изготовление, поставка, монтаж и пусконаладка оборудования по гальванике, очистке стоков и водоподготовке — единый комплекс взаимосвязанных процессов: водоподготовки, обработки поверхности, очистки сточных вод и вредных примесей выбросов производства;
- модернизация и автоматизация существующих гальванических производств, очистных сооружений и систем вентиляции.

ОАО "Тамбовгальванотехника" им. С. И. Лившица:

- проектирование и изготовление автоматических и механизированных

- линий, а также другого оборудования для нанесения покрытий анодированием, гальваническим и химическим методами, в том числе многопроцессные линии с компьютерной системой управления для химической и электрохимической обработки поверхности и нанесения покрытий (линии кареточные оваловые подвесочные, линии автооператорные автоматические и механизированные);

- средства малой механизации для гальванотехники (ванны колокольные серии ВК для нанесения электрохимических покрытий на мелкие детали, ванны для подготовки поверхности и нанесения покрытий с ручным обслуживанием, установка барабанная УПН-3, установки хромирования длинномерных штоков УГ-4Э, хромирования поршневых колец (модель УП-7), барабан переносной БП-2, титановые корзины для анодов и др.) (рис. 5);

- оборудование для очистки сточных вод гальванических производств (установки фильтровальные, насосы химически стойкие, установка очистки стоков УОС-5, фильтрационная установка).

Следует отметить компании, выпускающие химическую продукцию для гальванических процессов: **ООО "Арбат"** (Тольятти) — специальные добавки для химико-механического цинкования, добавка к электролиту — катализатор хромирования, композиция для пропитывания и смазывания фосфатированных заготовок деталей и др.; **ООО "Плазма К"** (Москва) — блескообразующие добавки для гальваники "Импульс", совместимые практически со всеми аналогичными добавками; **ООО "Сонис"** (Москва) — специальные химические составы, блескообразующие и другие добавки для химико-гальванических процессов; **предприятие "Химсинтез"** (Дзержинск Новгородской обл.) — блескообразующие до-



Рис. 5. Колокольная ванна серии ВК для нанесения электрохимических покрытий на мелкие детали



Рис. 6. Типовой участок для порошковой окраски

бавки для гальваники и реагенты для бумажной промышленности, химические продукты для гальванического цинкования, никелерования, нанесения покрытий из сплавов цинка, а также конверсионные покрытия, не содержащие опасных веществ, в частности ионов фтора и хрома.

Центр порошковых красок "Магистр" (Москва):

- окраска изделий из металла, оцинкованной стали, алюминиевого профиля, металлических дверей (более 200 наименований порошковых материалов ведущих российских и европейских производителей, в т. ч. с различными цветовыми эффектами). Качество и долговечность порошковых покрытий обеспечиваются фосфатированием поверхности алюминиевых и стальных изделий, а также нанесением порошкового полиамидного покрытия;

- оборудование для порошковой окраски (краскораспылители, окрасочные манипуляторы, камеры, циклоны и рекуператоры, печи полимеризации).

ЗАО "Р. П. Е." (Санкт-Петербург):

- оснащение предприятий качественными современными окрасочными комплексами (участки и линии порошковой и жидкостной окраски, окрасочно-сушильные камеры промышленного назначения, электрофорез);

- вспомогательное оборудование (дробеструйное оборудование, мобильные платформы, транспортные системы, системы очистки стоков);

- техническая поддержка (гарантийное и послепродажное обслуживание, модернизация устаревшего оборудования, поставка и продажа расходных материалов и комплектующих и др.).

На рис. 6 приведен типовой участок порошковой окраски.

ЗАО "Интеркраска" (Санкт-Петербург—Москва) — порошковые краски (полиэфирные, эпоксидные, эпоксидно-полиэфирные, специальные добавки к порошковым краскам) производства фирмы INVER (Италия).

Группа "Технополис", ООО "Технологические покрытия" (Москва) — комплексное восстановление металлорежущего инструмента и нанесение износостойких покрытий на различные штампы, пуансоны, матрицы, пресс- и литьевые формы и др. Центр восстановления инструмента производит удаление изношенного покрытия, переточку металлорежущего инструмента, специальную подготовку и финишную обработку режущих кромок, контроль качества переточки, нанесение износостойкого покрытия, контроль качества покрытия, лазерную маркировку, упаковку. Оборудование для нанесения износостойких покрытий включает установку для нанесения покрытий PLATIT Pi80, размер рабочей зоны 400×300×520 мм (Швейцария). Основные виды покрытий: общего назначения, специальные высокопроизводительные нанокompозитные (нанокристаллические "зерна" внедрены в аморфную матрицу) и др.

ФГУП "Приборостроительный завод" (г. Трехгорный Челябинской обл.):

- высокоточная лазерная резка листового и трубного проката, газовая и плазменная резка листов, ковка, горячая и холодная штамповка, механообработка, гибка деталей, сварка, термическая обработка, литье по выплавляемым моделям;

- нанесение гальванических, химических и ионно-плазменных покрытий.

Ионно-плазменное нанесение покрытий нитрида бора на детали различного назначения осуществляется на установках "Булат-6" с камерой диаметром 400 мм, высотой 700 мм.

ООО "Промышленная Группа" (Санкт-Петербург):

- нанесение функциональных нанокompозитных покрытий на режущий инструмент, пресс-формы, штампы, литьевые формы и др.;

- технологическое обслуживание металлообрабатывающего инструмента (заточка, восстановление, нанесение упрочняющих покрытий);

- подбор и постановка высококачественного оборудования, инструмента и инструментальной оснастки.

Обнинский Центр порошкового напыления (ОЦПН) — разработка и производство профессионального оборудования серии "ДИМЕТ" для нанесения металлических покрытий газодинамическим методом с использованием порошковых материалов различного назначения (рис. 7). Оборудование позволяет наносить алюминиевые, медные, цинковые, никелевые, оловянные, свинцовые и баббитовые покрытия при производстве изделий и выполнении ремонтно-восстановительных работ; может использоваться автономно, а также встраиваться в автоматизированные рабочие посты и конвейерные линии. Предприятие выпускает три модели (412, 405 и 404) оборудования серии "ДИМЕТ" для различных условий работы.

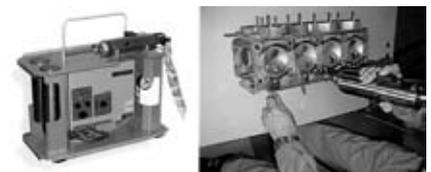


Рис. 7. Оборудование серии "ДИМЕТ" для нанесения металлических покрытий

ЗАО "ПСБ-Галс" (Москва):

- ультразвуковое оборудование серии ПСБ (8 моделей) для очистки деталей различной конфигурации из стали, сплавов и неметаллических материалов, а также деталей точной механики, различного инструмента, медицинской техники и др. (в том числе и в труднодоступных местах, где обычные методы очистки невозможны, либо малоэффективны);

- технические мощные средства для очистки деталей: галс-электроникс (печатные платы, электронные компоненты), галс-авто (форсунки двигателей

внутреннего сгорания, карбюраторы, свечи зажигания), галс-ювелир (ювелирные изделия), галс-универсал (детали различной конфигурации);

— антикоррозионные химически-стойкие покрытия;

— нестандартное ультразвуковое оборудование (технические характеристики определяет заказчик в техническом задании).

Группа компаний "РЭЛТЕК" (Екатеринбург):

— ультразвуковое технологическое оборудование для очистки, обезжиривания, интенсификации химических процессов, дегазации и др., в том числе:

— пьезокерамические и магнито-стрикционные ультразвуковые преобразователи (излучатели);

— ультразвуковые генераторы;

— ультразвуковые ванны на базе пьезокерамических и магнито-стрикционных излучателей с объемом от 1 до 200 л;

— ультразвуковые установки для очистки стоматологического инструмента, форсунок инжекторных автомобильных двигателей, проволоки;

— автоматизированные ультразвуковые линии очистки в водорастворимых щелочных моющих растворах с последующим ополаскиванием и сушкой различных изделий (рис. 8).

ООО "РусДорф" (Санкт-Петербург) — современная технология очи-



а)



б)

Рис. 8. Ультразвуковое оборудование: а — ультразвуковая система очистки форсунок двигателей внутреннего сгорания серии УЗООФ; б — форсунки двигателя внутреннего сгорания (до и после очистки)



Рис. 9. Очистка поверхности сухим льдом

стки сухим льдом. Осуществляется нагнетанием гранул сухого льда (твердой фракции CO_2) под давлением воздушной струи на очищаемую поверхность. В процессе очистки гранулы сухого льда, движущиеся с ускорением в воздушной струе, подаются с помощью шланга и сопла непосредственно на очищаемую поверхность. Скорость такой воздушной струи на выходе из сопла близка к сверхзвуковой. При ударе гранул происходит очищение поверхности (масложировые загрязнения, остатки вулканизации резины, старая краска и др.). Очистку и подготовку поверхности изделий производят без использования песка, дроби, воды, органических растворителей, демонтажа производственного оборудования. Процесс очистки сухим льдом экологически чистый (после очистки гранулы сухого льда испаряются в окружающую среду) (рис. 9).

Технологическая компания "ПУЛЬСАР-инжиниринг" (Москва):

— кавитационно-вихревая обработка жидкости. Технология предназначена для очистки сточных вод, переработки нефти, производства строительных материалов, для использования в сельском хозяйстве;

— гомогенизатор — принципиально новый тип мелющего устройства, позволяющий снизить себестоимость производственных процессов одновременно с повышением их качества. Установка производит измельчение, активацию, растворение, гомогенизацию и термостабилизацию веществ практически любой твердости, а также пластичных материалов. Получен патент на изобретение;

— высокоэффективная очистка поверхностей от загрязнений на установке "Градобой". В качестве абразивного материала применяются гранулы льда, разгоняемые до высоких скоростей охлажденным сжатым воздухом.

ООО "Термал-Спрей-Тек" (Москва):

— струйно-абразивное оборудование (ручные эжекторные струйно-абразивные камеры — модификации серии АК-200), ручные напорные струйно-абразивные камеры — модификации серии АКН-200, автоматизированное струйно-абразивное оборудование, струйно-абразивные камеры с использованием напорных схем подачи и разгона абразива по шлангам длиной от 10 до 40 м);

— струйно-абразивное беспылевое оборудование Problast (Германия). Установки беспылевой струйно-абразивной обработки имеют замкнутый оборот абразива (отработанный абразив отсасывается и готовится к повторному использованию). Процесс экологически чистый. Установки Problast предназначены для обработки круглых (например валцов) и плоских деталей (рис. 10). В качестве абразивной дробы используются все известные материалы с размером зерна от 0,1 до 1,5 мм;

— оборудование для электродуговой металлизации (защитные и износостойкие покрытия для машиностроения).

ООО "Эколайн" (Москва) — оборудование для обезжиривания деталей без промывки водой, негорючим растворителем по замкнутому циклу. В качестве растворителя используется перхлорэтилен (ПХЭ), что позволя-



а)



б)

Рис. 10. Оборудование для струйно-абразивной обработки: а — ручная обработка сварного шва; б — автоматическая струйно-абразивная обработка валцов прокатного стана



Рис. 11. Комплексы для обезжиривания деталей "Эколайн" (модель МР-500)

ет защитить окружающую среду путем уменьшения (в сотни раз) выбросов загрязняющих веществ в воду и атмосферу (рис. 11). Оборудование универсальное, широкой области применения.

ЗАО "Квант минерал" (Санкт-Петербург) — очистка промышленных, гальванических, ливневых и других стоков от ионов тяжелых металлов, взвешенных веществ, нефтепродуктов, красителей и других загрязняющих примесей до норм ПДК с помощью активированного алюмосиликатного адсорбента "ГЛИНТ". Уникальные свойства данного адсорбента в зависимости от вида загрязнений обеспечивают одновременное протекание процессов ионного обмена, контактной коагуляции и физической сорбции. Это гарантирует высокоэффективную очистку природной воды и промышленных стоков до нормативных показателей от различных загрязнений. Имеется сертификат на соответствие государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам.

Научно-производственный кооператив "Регенератор" (Москва) — бессточная технология гальванических процессов. Основана на принципе очистки воды по замкнутому циклу с использованием фильтрующего элемента (минерально-углеродного сорбента). Установка регенерации промывочных вод (УРПВ) осуществляет трехступенчатую промывку для возврата уловленного электролита в рабочий технологический процесс. При этом степень очистки соответствует технологическим нормам для промывочной воды в гальванических процессах нанесения покрытия.

Оборудование и приборы неразрушающего контроля представили следующие фирмы: **ЗАО "Константа"** (Санкт-Петербург) — приборы для комплексного контроля защитных покрытий всех типов и подготовки лакокрасочных материалов (малогабаритный многофункциональный прибор для измерения толщины покрытий всех типов серии "Константа", дефектоскопы электроискровые "Корона", дефектоскоп электролитический "Константа-ЭД", адгезиметры "Константа-СА2", прибор для определения прочности пленок при ударе "Константа У-1А", вискозиметры и др.); **НПЦ "Кропус"** (Ногинск Московской обл.) — новые приборы и системы неразрушающего контроля (промышленный ультразвуковой дефектоскоп УСД-60, ультразвуковой толщиномер с А-сканом УДТ-40, автоматизированная система неразрушающего контроля валов авиационных двигателей АСНК-ВАЛ.АВИА, автоматизированная вихревая установка УКСТ-11), приборы механического контроля лакокрасочных материалов и покрытий, оборудование для магнитопорошкового контроля, рентгеновские аппараты РАП-XX и др. (рис. 12). НПЦ "Кропус" осуществляет поставки оборудования неразрушающего контроля ряда ведущих зарубежных фирм: Elcometer, Pandmetrics NDT, Magnaflux и др.

Компания "АСК-Рентген" (Санкт-Петербург) — измерительная техника компании Helmut Fischer GmbH (Германия):

— приборы для определения свойств и толщины покрытий:

— универсальная измерительная система для контроля практически любых сочетаний "покрытие/подложка". Система может быть укомплектована различными датчиками, что позволяет применять различные методы контроля

для измерения толщины покрытия, электрической проводимости, температуры и содержания феррита в аустенитных сталях;

— приборы для измерения толщины и анализа состава гальванических покрытий, а также точного элементного анализа материалов;

— прибор для измерения микротвердости в соответствии со стандартом DIN EN ISO 14577—1;

— приборы для измерения электрической проводимости алюминия, особенно для аэрокосмической промышленности;

— приборы для измерения содержания феррита в сварных соединениях аустенитных сталей.

Среди зарубежных фирм и компаний, отражающих прогрессивные тенденции в области развития технологий обработки поверхности и покрытий, можно отметить следующие.

Фирма AQUACOMP HARD s. r. o. (Чешская Республика):

— оборудование для химической и электрохимической обработки поверхностей перед полировкой, холодной обработкой, гальваникой, горячей оцинковкой и лакированием (камеры обезжиривания, травление сталей, цветных металлов и сплавов, автоматические линии для фосфатирования);

— оборудование для гальванической и электрохимической обработки поверхности (автоматические линии оцинковки, автоматические комбинированные линии для цинко-никелевого покрытия, компактные линии для подвесных и барабанных изделий и др.);

— оборудование для обезвреживания сточных вод от различных загрязнений (автоматическая станция обезвреживания сточных вод, дозировочные и приготовительные узлы химикатов, рабочие ванны, накопительные баки, сепараторы, системы управления).

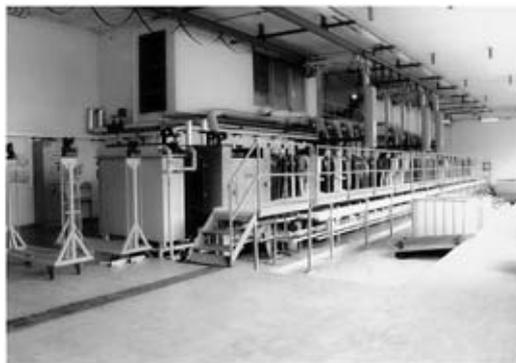


Рис. 12. Оборудование и приборы неразрушающего контроля (НК): а — ультразвуковой толщиномер с А-сканом УДТ-40; б — автоматизированная система НК валов авиационных двигателей АСНК-ВАЛ.АВИА



а)

Рис. 13. Оборудование для гальванотехники: а — травление крупноъемных баков из коррозионно-стойкой стали; б — автоматическая линия цинкования; в — автоматическая станция обезвреживания сточных вод



б)



в)

На рис. 13 приведено оборудование для гальванотехники.

Альянс фирм CPU (Чешская Республика) — разработка и производство оборудования для обработки поверхности материалов и готовых изделий: **ALTA a. s.** (инвестиционные поставки комплексных производственных объектов для машиностроения, горнодобывающей, энергетической и строительной промышленности, предоставление проектных, инжиниринговых и финансовых услуг), **АО "EST a. s."** (оборудование для нанесения лакокрасочных покрытий), **АО "GALATEK a. s."** (комплексы оборудования покрасочных цехов, линии непрерывной лакировки поверхности и рабочих участков для покраски вручную), **АО "LECON LEDEČ a. s."** (технологические комплексы и отдельные узлы оборудования

для гальванической обработки поверхности), **ООО "OTECO CZ spol. s. r. o."** (оборудование для дробеструйной обработки поверхности).

GALVANOTECHNIK LEIPZIG GMBH (Германия) — оборудование с компьютерным управлением для гальванических технологий обработки поверхности различных материалов (от металлов до пластика). Гибкие модульные программы управления могут комбинироваться с периферийным технологическим и водоподготовительным оборудованием, что позволяет создавать оптимальные системы гальванотехники.

GALVOUR AB (Швеция) — оборудование для химических и гальванических покрытий (автоматические гальванические линии меднения, никелирования и хромирования изделий различного назначения, автоматические ба-



а)



б)

Рис. 14. Гальваническое оборудование: а — подвесочная линия для меднения-серебрения алюминия; б — бессточная водоочистная установка

рабанно-подвесочные линии твердого хромирования, цинкования, оксидирования, подвесочные линии для меднения-серебрения алюминия, барабанные линии цинкования и др.) и очистки сточных вод (водоочистный комплекс, бессточные водоочистные установки, бессточный водоочистный комплекс) (рис. 14). Фирма осуществляет монтаж, запуск в производство и сервисное обслуживание оборудования.

MATUSEWICZ BODOWA MASZYN

S. J. (Польша) — проектирование, производство, монтаж и запуск комплексных гальванических объектов с использованием современных технологий нанесения защитных покрытий (автоматическая гальваническая линия нанесения хромовых покрытий, автоматическая гальваническая подвесочная линия нанесения никель-хромовых покрытий, автоматическая барабанно-подвесочная линия нанесения цинковых покрытий, автоматическая подвесочная линия нанесения покрытий медь—никель—хром, линия анодирования и окраски). Вместе с гальваническим оборудованием предприятие поставляет очистные сооружения промышленных сточных вод, а также емкости, ванны, элементы вентиляции.

PROGALVANO s. r. l. (Италия) —

барабаны для гальванической промышленности — можно использовать в автоматических, полуавтоматических и ручных установках, робот автоматического открывания и закрывания ба-

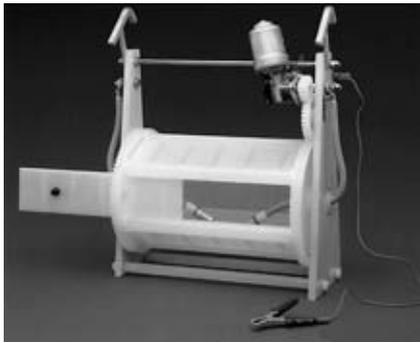


Рис. 15. Мини-ротатор барабанного типа для обработки мелких деталей



а)



б)

Рис. 16. Оборудование для обработки поверхности: а — комбинированные покрасочные и сушильные кабины; б — дробеструйная обработка и порошковое покрытие газовых баллонов



Рис. 17. Многофункциональная система фильтрации и очистки

рабана, мини-ротаторы — ручные барабаны или барабаны малого размера для автоматических линий. Широкие возможности по выбору размеров отверстий позволяют обрабатывать совсем миниатюрные детали (рис. 15). Диапазон загрузки барабана по объему: от мини-моделей — 1 кг до больших — 300 кг.

Фирма STOHRER SURFACE AG (Германия) — оборудование для анодирования, электрохимическое оборудование, оборудование для обнаружения трещин, штамповочное оборудование для высокотехнологичного электролитического покрытия применительно к автомобильной и авиационной промышленности. Кроме того, фирма по распоряжению нового регламента о ликвидации аварийных ситуаций PEACH, согласно которому начиная с 2008 г. потребуется индивидуальное разрешение на использование опасных веществ, производит модернизацию установок анодирования в растворе хромовой кислоты (САА) на процесс анодирования в винной/серной кислоте (TSA) как экологически чистый и безвредный процесс.

Холдинг WHEELABRATOR GROUP, LTD — оборудование для обработки поверхностей и технологий дробеочистки, обезжиривания, окраски, сушки и дробенаклепа (дробеметная машина для очистки анодов типа СВ, машина барабанного типа, порционной загрузки для очистки небольших отливок и термообработанных деталей, установки для дробенасечки прокатных валков типа 310MR, установки с дробеметным колесом, пневматические дробеструйные установки, моечное, покрасочное оборудование и сушильные системы (рис. 16).

Фирма BASF — THE CHEMICAL COMPANY (Германия) — поставка высококачественных химических веществ для обработки металлических поверхностей (компоненты блескообразователей для гальванических ванн, ингибиторы коррозии, а также для обработки сточных вод, восстанавливающий агент для промышленных отходов, загрязненных шестивалентным хромом.

Компании SERFILCOLTD (США), **LA FONTE S. P. L.** (Франция), **ANTECH GMBH** (Германия), **CHRIST GOEMA GMBH** (Германия) предложили системы фильтрации и очистки, насосное оборудование, системы и установки по обработке сточных вод, системные компоненты и технологии (ионнообменная обработка с помощью мембран, электрохимическая, биологическая) (рис. 17).

Впервые на выставке была представлена фирма **HUNG LI MACHINERY INDUSTRIAL CO. LTD** (Тайвань), специализирующаяся на поставках оборудования для обработки поверхности (нанесения покрытий, полировки, очистки и др.).

Следует отметить, что на выставке были широко представлены фирмы — официальные представители в России и СНГ известных фирм-производителей гальванотехники и сопутствующей продукции (отмечается тенденция увеличения фирм-представительств — 30 из 110 участников выставки). Ниже приведены некоторые из фирм-представительств, участвующих в выставке.

ООО "Антикор Композит" (Санкт-Петербург) — официальный дистрибьютор американской фирмы **GRACO** (различное окрасочное и перекрывающее оборудование), компания **AIRBLAST** (Голландия) (замкнутый цикл подготовки поверхности и очистных работ), фирма **Elcometer** (Великобритания) (контрольно-измерительные приборы), фирма **"КОВИНТРЕЙД"** (Москва) — официальный представитель итальянской компании **Asmega** в РФ (гальванические линии и установки очистки сточных вод), **ООО "Индустриальные решения и технологии"** — **IST** (Москва) — представитель швейцарской компании **EXA SA** (современные методы промышленной очистки различных поверхностей), **ЗАО "ПАНАТЕСТ"** (Москва) — официальный представитель в России ведущих фирм **De Felsko** (США) и **PCWI** (Австралия) (приборы для контроля толщины покрытий, адгезии покрытий, контроля окружающей среды и др.), **ООО ТД "САМАРА-ЭЛЕКТРОМАШ"** — эксклюзивный представитель немецкого завода **LUTZ** на российском рынке (химические насосы для перекачивания различных жидкостей), **ЗАО "КАВАКАМИ ПАРКЕР"** (Москва) — представитель в РФ японских компаний **"Паркер Корпорейшн"** (производство высокотехнологичных продуктов для обработки поверхностей) и **"Каваками Ко. Лтд"** (торговая фирма). Выставляются впервые.

В рамках выставки прошла 5-я Международная практическая конференция "Покрытия и обработка поверхности. Качество, эффективность, конкурентоспособность", на которой были представлены 22 доклада как отечественных, так и зарубежных представителей.

Ан. А. СУСЛОВ,
канд. техн. наук

Календарь выставок на IV квартал 2008 г.

Москва*			
ПТА* <i>Международная специализированная выставка передовых технологий автоматизации</i>	01.10—03.10	ЦВК "Экспоцентр"	123100, Москва, Краснопресненская наб., 14, тел.: (495) 255 3799
Атомная энергетика и электротехника. Энергетическое машиностроение** <i>Международная специализированная выставка</i>	07.10—09.10	ЦМТ	123610, Москва, Краснопресненская наб., 12, тел.: (495) 258 8117, факс: (495) 253 9187
SIMEXPO** Научное приборостроение <i>Международная специализированная выставка</i>	13.10—15.10	МВЦ "Крокус Экспо"	143400, Красногорск, 66-й км МКАД, тел./факс: (495) 727 2524
КИРЕХРО* Российская неделя контрольно-измерительного оборудования <i>Международная специализированная выставка</i>	14.10—16.10	ЦВК "Экспоцентр"	—
Экоэффективность** <i>Международная выставка энергосберегающих и экологически чистых технологий</i>	21.10—23.10	ЦВК "Экспоцентр" ООО "ИнтерЭкоЭкспо"	— Тел.: (495) 744 1771
РОССВАРКА/WELDEX—2008* <i>Международная специализированная выставка</i>	21.10—24.10	КВЦ "Сокольники", МВК МЦВ "Крокус Экспо"	107113, Москва, Сокольнический вал, 1, тел./факс: (495) 995 0595 —
Изделия и технологии двойного назначения. Диверсификация ОПК** <i>Международная специализированная выставка</i>	21.10—24.10	ОАО "ГАО "ВВЦ" (пав. 70) РВК "Эксподизайн"	129223, Москва, пр-т Мира, ВВЦ, влад. 119, тел.: (495) 544 3400 Тел.: (495) 258 8762
Лаборатория экспо** <i>Специализированная выставка</i>	21.10—24.10	"	"
MIIF* <i>Московская международная промышленная ярмарка</i>	21.10—24.10	ОАО "ГАО "ВВЦ" ОВК "Бизон"	— Тел.: (495) 937 4081
Робототехника* <i>Специализированная выставка</i>	21.10—24.10	ОАО "ГАО "ВВЦ" РВК "Эксподизайн"	— —
РСVEXPPO* <i>Международный специализированный промышленный форум</i>	21.10—24.10	КВЦ "Сокольники", МВК	—
Профбезопасность и профстиль** <i>Международная специализированная выставка</i>	29.10—31.10	"	—
WASMA** <i>Международная выставка-форум по управлению отходами</i>	11.11—14.11	"	"
MITEX* <i>Международная специализированная выставка инструментов, оборудования и технологий</i>	11.11—14.11	ЦВК "Экспоцентр"	—
ЭлектроТехноЭкспо** <i>Международная специализированная выставка новых технологий в электроэнергетике</i>	23.10—26.10	"	—
Металл-экспо* <i>Международная специализированная выставка</i>	18.11—21.11	ОАО "ГАО "ВВЦ"	—
Трубопроводные системы. Строительство, эксплуатация, ремонт** <i>Российская выставка с международным участием</i>	25.11—28.11	"	—
Международные промышленные выставки*	25.11—28.11	КВЦ "Сокольники", МВК	—
NTMEX* <i>Международная специализированная выставка нанотехнологий</i>	05.12—07.12	Выставочный зал мэрии Москвы Компания "МКМ Проф"	121205, Москва, ул. Н. Арбат, 36/9 Тел.: (495) 502 1938
EMBIZ* <i>Второй энергетический форум по перспективным технологиям, концепциям и проектам</i>	09.12—11.12	ЦВК "Экспоцентр"	—
Санкт-Петербург**			
Автоматизация <i>Специализированная выставка комплексной автоматизации промышленных предприятий</i>	Ноябрь	СКК "Петербургский" ЗАО "Фар Экспо"	196105, С.-Петербург, пр-т Ю. Гагарина, 8, тел.: (812) 388 1211 Тел.: (812) 777 0407

Регионы России**			
Промышленные технологии. Ухта <i>Специализированная выставка</i>	01.10—03.10	"КомиЭкспо"	167982, Сыктывкар, ул. Интернациональная, 98, тел.: (8212) 206 123
Инновации <i>Межрегиональная выставка инновационных проектов и новых технологий</i>	07.10—09.10	ВЦ "Аркада"	173002, Великий Новгород, ул. Германа, 1А, тел.: (8162) 732 046
Металлообработка. Сварка. Машиностроение. Экология <i>Межрегиональная специализированная выставка</i>	07.10—09.10	ВЦ "Восточные ворота"	454080, Челябинск, ул. Энтузиастов, тел./факс: (3512) 263 7512
Энергетика. Электротехника <i>Специализированная выставка</i>	07.10—09.10	"Дальэкспоцентр"	690090, Владивосток, а/я 255, тел.: (4232) 300 418
Волгоградская промышленная выставка	07.10—09.10	ВЦ "Волгоград Экспо"	400005, Волгоград, пр-т Ленина, 98, оф.435, тел.: (8442) 265 272
Металлургия. Город. Человек <i>Межрегиональный металлургический форум</i>	07.10—10.10	ЗАО "Кузбасская ярмарка"	654005, Новокузнецк, ул. Орджоникидзе, 18, тел.: (3843) 468 260, факс: (3843) 468 446
Промышленный салон <i>Международная специализированная выставка-форум</i>	07.10—10.10	ВЦ "Экспо-Волга"	443110, Самара, ул. Мичурина, 23А, тел./факс: (8462) 703 406
Безопасность и охрана труда. Средства индивидуальной защиты <i>Межрегиональная специализированная выставка</i>	07.10—12.10	ЗАО "Универсальные выставки"	620054, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 13, тел./факс: (343) 355 0049
Промэкспо <i>Межрегиональная выставка наукоемких технологий, новых проектов и новых разработок</i>	08.10—10.10	Пензенский ЦНТИ	440047, Пенза, ул. Ульяновская, 1, тел.: (8412) 464 970, факс: (8412) 455 631
Экология. Безопасность. Охрана труда <i>Межрегиональная специализированная выставка</i>	08.10—10.10	"	"
Международный всесибирский инновационный форум-выставка проектов и наукоемкой продукции	15.10—17.10	ТМДЦ "Технопарк"	634050, Томск, ул. Вершинина, 76, тел.: (3822) 413 654
Экология. Промышленная безопасность. Охрана труда <i>Специализированная выставка</i>	15.10—17.10	"Рязаньинформ-экспо"	390044, Рязань, ул. Крупской, 17, тел.: (4912) 347 935
Инновации. Производство. Рынок <i>Выставка инновационных проектов</i>	21.10—23.10	Ярославский ЦНТИ	150003, Ярославль, пр-т Ленина, 2А, тел.: (4852) 303 981
Машиностроение. Металлургия. металлообработка <i>Специализированная выставка</i>	21.10—24.10	ВЦ "Удмуртия"	426008, Ижевск, ул. К. Маркса, 300А, тел./факс: (3412) 254 465
Российский энергетический форум	21.10—24.10	Башкирская выставочная компания	450080, Уфа, ул. Менделеева, 158, тел.: (347) 253 3800
Машиностроение: станки, инструменты. Металлообработка <i>Межрегиональная специализированная выставка</i>	21.10—24.10	ВЦ "Башэкспо"	450080, Уфа, ул. Менделеева, 146/2, тел.: (3472) 908 719, факс: (3472) 908 707
Сварка. Контроль. Реновация <i>Международный сварочный форум-выставка</i>	21.10—24.10	"	"
Металлургия. Машиностроение <i>Международная выставка-конференция</i>	27.10—31.10	Уралэкспоцентр	620014, Екатеринбург, ул. Радищева, 33, тел.: (343) 379 3232
Сибполитех <i>Международная промышленная выставка</i>	28.10—31.10	ВО "Сибирская ярмарка"	630049, Новосибирск, Красный пр-т, 220/10, тел.: (383) 210 6290
Сибэнергия. Энерго- и ресурсосбережение <i>Специализированная выставка</i>	28.10—31.10	"	"
Калужский промышленный форум	06.11—07.11	Калужская ТПП, ВТЦ "Экспотур"	248600, Калуга, пл. Старый Торг, 9, оф. 51, тел.: (4842) 574 028
Энергетика и энергосбережение. Экотек <i>Международная специализированная выставка</i>	11.11—14.11	КВК "Экспо-Сибирь"	650099, Кемерово, пр-т Советский, 63, тел./факс: (3842) 581 166
Омскполитех <i>Сибирская комплексная промышленная выставка</i>	11.11—14.11	МВЦ "Интерсиб"	644033, Омск, ул. Красный путь, 155, к. 1, тел./факс: (3812) 252 520
Промэнергомаш <i>Специализированная выставка</i>	12.11—14.11	"Уралэкспо"	460036, Оренбург, ул. Восточная, 31, тел.: (3532) 996 940
Энергосбережение <i>1-я межрегиональная специализированная выставка</i>	12.11—14.11	ВЦ "Забайкальский"	672010, Чита, ул. Ленина, 1, тел.: (3022) 334 512

Регионы России**			
Энергосбережение <i>Международная специализированная выставка-конгресс</i>	12.11—14.11	ТМДЦ "Технопарк"	634050, Томск, ул. Вершинина, 76, тел.: (3822) 413 654
Саратовский салон изобретений, инноваций и инвестиций	18.11—20.11	ВЦ "СофитЭкспо"	410004, Саратов, ул. Чернышевского, 60/62, тел.: (8452) 205 470
Электротехника. Энерго- и ресурсосбережение <i>Специализированная выставка</i>	18.11—21.11	ВК "Красноярская ярмарка"	660049, Красноярск, а/я 252261, тел.: (3912) 363 287, факс: (3912) 363 329
Безопасность и экология <i>Межрегиональная выставка средств промышленной безопасности и экологии</i>	19.11—21.11	"Мордовэкспоцентр"	430904, Саранск, ул. Российская, 24, тел.: (8342) 253 777
Сварка <i>Специализированная выставка-конференция</i>	02.12—04.12	ВО "Уральские выставки—2000"	620007, Екатеринбург, ул. Свердлова, 11а, тел./факс: (343) 355 5195
Контроль и диагностика <i>Специализированная выставка</i>	02.12—04.12	"	"
Машиностроение. Металлообработка <i>Специализированная выставка</i>	02.12—05.12	ОАО "Тюменская ярмарка"	625013, Тюмень, ул. Севастопольская, 12, тел./факс: (3452) 485 353
Технофорум <i>Промышленно-техническая выставка машиностроения, станкостроения и приборостроения</i>	09.12—11.12	ВВЦ "Регион"	400007, Волгоград, а/я 3400, тел./факс: (8442) 242 602
Машиностроение. Металлообработка <i>Международная специализированная выставка</i>	10.12—12.12	ВЦ "Казанская ярмарка"	420059, Казань, Оренбургский тракт, 8, тел./факс: (843) 570 5111
Техносварка <i>Специализированная выставка</i>	12.12—14.12	"	"
Белоруссия**			
Энергетика. Экология. Энергосбережение. Электро <i>Международная специализированная выставка</i>	14.10—17.10	"Техника и коммуникации"	Минск, пр-т Победителей, 7, тел.: (375 17) 226 9014
Неделя информационных технологий <i>Международная специализированная выставка автоматизированных систем</i>	18.11—21.11	НВЦ "Белэкспо"	Минск, пр-т Победителей, 14, тел.: (375 17) 250 2586
Латвия**			
TECH INDUSTRY <i>Международная выставка материалов, техники и технологий промышленного производства</i>	27.11—29.11	BT1	LV-1048, ул. Кипсалас, 8, Рига, тел.: (10 371) 706 5000
Среда и энергия <i>Международная выставка энергетики и энергосберегающих систем и технологий</i>	27.11—29.11	"	"
Молдавия**			
Машиностроение. Металлообработка. Станки и инструменты <i>Специализированная промышленная выставка</i>	08.10—11.10	МВК "Молдэкспо"	Кишинев, ул. Гиочелор, 1, тел.: (10 373 22) 747 419
Стандарты и качество <i>Специализированная выставка приборов для контроля и управления качеством</i>	08.10—11.10	"	"
МОЛДЭКСПО <i>Международная специализированная выставка технологий и оборудования для охраны окружающей среды</i>	22.10—26.10	"	"
Украина**			
Современные методы и средства НК и технической диагностики*** <i>6-я международная конференция-выставка</i>	06.10—10.10	УИЦ "НТТ" ИЭС им. Е. О. Патона	Киев, тел./факс: (38 044) 573 3040 Тел./факс: (38 044) 529 2623
Промышленная неделя-выставка	28.10—31.10	НК "Экспоцентр Украины"	Киев, пр-т акад. Глушкова, 1, тел.: (38 044) 596 9101
Стандарты и качество <i>Специализированная выставка-форум оборудования и приборов для контроля и управления качеством</i>	05.11—07.11	ТПП Украины	Киев, ул. Б. Житомирская, 33, тел.: (38 044) 272 2805

Украина**			
Сварка и родственные технологии — в третье тысячелетие*** <i>Международная конференция</i>	24.11—26.11	ИЭС им. Е. О. Патона	Киев, тел.: (38 044) 289 2170
Германия**			
BIOTECHNICA <i>Международная выставка биотехнологии</i>	07.10—09.10	Deutsche Messe AG Hannover	Ганновер, тел.: (10 49) 511/890
EUROBLECH <i>Международная выставка новых технологий металлообработки</i>	21.10—25.10	Mack Broorc Exhibitions (Великобритания)	Ганновер, тел.: (10 44) 1727 814 400
Испания**			
EUROSURFAS <i>Международная выставка поверхностной обработки</i>	20.10—24.10	Fira de Barcelona	Барселона, тел.: (10 34) 93/233 2000
Китай**			
12-й международный симпозиум по трубчатым конструкциям***	08.10—10.10	Department of Building Engineering, Tongji University ИЭС им. Е. О. Патона	Шанхай Тел./факс: (48 044) 529 2623
CIMES <i>Международная выставка станков и инструмента</i>	09.10—13.10	Capital Exhibition Services	Пекин, тел.: (10 86) 108 488 2863/5
Македония**			
ТЕННОМА <i>Международная промышленная ярмарка</i>	14.10—18.10	Skopje Fair	Скопье, тел.: (10 389) (0)2/321 8388
Польша**			
Юбилейная научно-техническая конференция "Новости сварки" и международная сварочная выставка***	21.10—23.10	Институт сварки ИЭС им. Е. О. Патона	Сосковицы, тел.: (032) 335 8201 Тел./факс: (38 044) 529 2623
POLEKO <i>Международная экологическая выставка</i>	17.11—20.11	Poznan International Fair	Познань, тел.: (10 48) 61/869 2592
Португалия**			
ЕМАF <i>Международная выставка промышленного оборудования и комплектующих</i>	12.11—15.11	EXPONOR	Порту, тел.: (10 351) 229 981 400
Швеция**			
Tekniska Masson <i>Международная специализированная техническая выставка</i>	21.10—24.10	Stockholmsmassan/Stockholm International Fairs	Стокгольм, тел.: (10 46) 8749 4100
Япония**			
JIMTOF <i>Международная выставка машиностроения</i>	30.10—04.11	Tokyo Big Sight inc.	Токио, тел.: (10 81) 355 301 111
<p>* По данным выставочных центров Москвы. ** По данным справочника "Выставки и ярмарки — 2008. Россия, ближнее и дальнее зарубежье". М.: ИВА "ИнформЭКСПО", 2008. Тел./факс: (495) 925 7524, 221 7049. *** По данным ИЭС им. Е. О. Патона. Тел./факс: (38 044) 529 2623.</p>			

Возможны изменения.

Издательский центр "Технология машиностроения"

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 02.06.2008. Подписано в печать 15.07.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл.-печ. л. 10,00. Уч.-изд. л. 11,14. Заказ 08/08.

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"