

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

Е. А. Мачнев

А. В. Медарь

Б. А. Никитин

Н. А. Паничев

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. Сулов

Редактор-переводчик

Е. О. Егорова

Корректор

М. Г. Джавадян

**6 (72)
Июнь
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

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*

СОДЕРЖАНИЕ

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Чертов В. М. — От электролитного борирования к газовому: эволюция и перспективы 5

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

Строшков В. П., Пшеничников В. А. — Высокоточное скоростное электрохимическое формообразование — экономичный и ресурсосберегающий метод металлообработки. 9

Плахтин В. Д., Паршин А. Н., Давыдов А. П. — Изготовление зубчатых колес с арочными зубьями с применением пальцевых фрез 12

Тюрин А. Н. — Определение энергии резания единичным абразивным зерном. 16

Дерябин И. П., Кожарина О. А. — Исследование наследования погрешностей расположения осей отверстий при многопереходной обработке 23

Федоренко М. А. — Обеспечение точности обработки цилиндрической поверхности с учетом перемещения оси вращения в пространстве 26

СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Михайлин С. М., Жданов С. В. — Подготовка формовочной смеси и полуфабрикатов абразивных изделий для высокочастотной бакелизации 28

МЕХАНОБОРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Аллас А. А., Новосадов В. С. — Технологические особенности формирования адгезионных соединений при лазерной пайке в сборочно-монтажном производстве 32

Бакулин С. С. — Особенности пайки тонкостенных конструкций из жаропрочных никелевых сплавов 33

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА И РОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Бабенко П. Г., Иванов И. Н. — Высокочастотные индукторы для индукционной пайки 34

Мчедлов С. Г. Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин (обзор). Ч. 1. Газопламенное и детонационное напыление 35

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ

Тарасов А. Б., Тарасов С. А. Определение зависимостей реакций подшипниковых опор от изменяющихся соотношений моментов инерций 47

Панфилов В. А., Мурашко В. М., Тарасов А. Н. — Титановые сплавы в композиции российского триколора для Северного Ледовитого океана 50

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Гурвич А. К. — Приемочный и предшествующие ему виды неразрушающего контроля 52

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Гавриш С. В. — Технология выращивания и характеристики профилированных сапфировых труб для оболочек разрядных ламп 56

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

Нафиков М. З., Загиров И. И. — Математическая модель формирования соединения при электроконтактной наплавке (наварке) проволоки 62

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Оборудование технологическое для литейного производства. Оборудование для дробеметной, дробеструйной и дробеметно-дробеструйной обработки. Требования безопасности (ГОСТ 31335—2006) 67

ОХРАНА ТРУДА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Шехорин В. К. — Экологический подход к проектированию технологических процессов в машиностроении . . 73

ЭКОНОМИКА МАШИНОСТРОЕНИЯ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Ежов Г. П. — Современный производственный менеджмент и перспективы его развития 77

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Малич Н. В. — Основные формы развития сотрудничества Московского энергетического института (технического университета) и предприятий в условиях рыночной экономики. 82

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Потапова Г. С. — Содержание зарубежных журналов. 84

ИНФОРМАЦИЯ

Суслов Ан. А. — 8-й Международный салон инноваций и инвестиций 89

Тополянский П. А. — 10-я Международная научно-техническая конференция "Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки" 99



ТЕХНОЛОГИЯ

МАШИНОСТРОЕНИЕ

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
E. A. Machnev
A. V. Medar
B. A. Nikitin
N. A. Panichev
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
M. G. Dzhavadyan

6 (72)
June
2008

FOUNDER:

Publishing Centre

"Tekhnologiya Mashinostroeniya"

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

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

Tel.: (495) 796 2491

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

CONTENTS

STRUCTURAL MATERIALS

- Chertov V. M.** — From the electrolysis borating to the gas one: evolution and prospect 5

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

- Stroshkov V. P., Pshenichnikov V. A.** — High-precision rapid electrochemical shaping as an economical resource-saving method of metal-working 9
- Plakhtin V. D., Parshin A. N., Davydov A. P.** — Manufacture of arched gear wheels by pencil milling. 12
- Tyurin A. N.** — Cutting energy determination by elementary abrasive grain 16
- Deryabin I. P., Kozharina O. A.** — Error inheritance study of the central holes axis positioning at multistage processing 23
- Fedorenko M. A.** — Assurance of cylindrical surface machining accuracy taking into consideration rotation axis movement in the area 26

TOOLING PRODUCTION

- Mikhaylin S. M., Zhdanov S. V.** — Moulding sand and abrasive semifinished items preparation for high-frequency bakelization 28

MACHINING-AND-ASSEMBLY PRODUCTION

- Allas A. A., Novosadov V. S.** — Adherence junction formation process features at laser brazing in mounting production 32
- Bakulin S. S.** — Brazing features of the thin-slab structures from high-temperature nickel alloy 33

TECHNOLOGIES AND MACHINES FOR WELDING PRODUCTION AND RELATED PROCESSES

- Babenko P. G., Ivanov I. N.** — High-frequency inductors for induction brazing 34
- Mchedlov S. G.** — Gas-thermal coating in machine components strengthening and reconditioning processes. A review. Part 1. Flame and explosion spraying 35

SPECIAL TECHNOLOGIES

- Tarasov A. B., Tarasov S. A.** — Determination of the bearing assembly reaction dependence on the changing ratio of the inertia moment 47
- Panfilov V. A., Murashko V. M., Tarasov A. N.** — Titanium alloys in the arrangement of the Russian tricolour for the Arctic Ocean. 50

TESTING AND DIAGNOSTICS METHODS IN ENGINEERING INDUSTRY

- Gourvich A. K.** — Acceptance control and types of non-destructive check-and-testing, preceding it. 52

INSTRUMENT-MAKING TECHNOLOGIES

- Gavrish S. V.** — Growing process and characteristic of the profiled sapphire pipes for the discharge lamps casing . 56

MATHEMATICAL MODELLING, CALCULUS OF APPROXIMATIONS AND SOFTWARE SYSTEMS

- Nafikov M. Z., Zaguirov I. I.** — Mathematical model of joint formation at electrocontact wire build-up welding 62

STANDARDIZATION AND PRODUCT QUALITY CONTROL

- Foundry process equipment. Equipment for shotcasting, grit blasting and shortcasting-blasting. Safety specification (GOST 31335—2006)** 67

LABOUR PROTECTION IN ENGINEERING INDUSTRY

- Shekhorin V. K.** — Ecological approach to the technological process design in the engineering industry 73

ENGINEERING INDUSTRY ECONOMICS, PRODUCTION ORGANIZATION

- Yezhov G. P.** — Up-to-date industrial management and prospect of its development 77

EDUCATION AND PERSONNEL TRAINING

- Malich N. V.** — Cooperation development basic forms of the Moscow Power Engineering Institute (Technical University) and enterprises under conditions of market economy 82

FOREIGN EXPERIENCE

- Potapova G. S.** — Contents of the foreign journals 84

INFORMATION

- Suslov An. A.** — The 8th International salon of innovations and investments 89
-

В. М. ЧЕРТОВ, инж.
Филиал ДониФЦ (Москва)

От электролизного борирования к газовому: эволюция и перспективы

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе освещены вопросы технологии борирования изделий из конструкционной и инструментальной сталей. Насыщение бором поверхности изделий, прежде всего узлов трения, а также кузнечного инструмента, имеет определенные преимущества перед другими способами упрочнения поверхности. Весьма высокая твердость — до 22 000 МПа — при малой толщине покрытия, порядка 0,02—0,4 мм в зависимости от способа и длительности обработки, обусловлена образованием химических соединений — боридов, по твердости почти не уступающих алмазу. По этой причине износостойкость борированных поверхностей во много раз превышает износостойкость после цементации с закалкой или поверхностной закалки с нагревом токами высокой частоты (повышение коррозионной стойкости, характерное для борированной поверхности, не освещается в данной работе).

Преимущества борированной поверхности отчетливо выявляются при трении с участием частиц абразива. Вместе с тем именно высокая твердость борированных покрытий сопровождается весьма значительной хрупкостью борированного слоя. Это вызывает шелушение, образование трещин и скалывание слоя, что ведет к снижению износостойкости и долговечности изделий. То же явление наблюдается при ударном взаимодействии кузнечных заготовок и борированного кузнечного инструмента.

Разработано несколько способов технологии борирования: наиболее простой из них производится с применением порошков или паст, содержащих соединения бора, например карбид B_4C [1]. Измельченный карбид смешивают со связующими, наносят на обрабатываемые поверхности деталей или инструмента, которые затем укладывают в металлические ящики. Другой вариант — укладка изделий в ящики и засыпка их порошковой смесью. Затем ящики нагревают в термической печи до температуры порядка 860—920 °С и выдерживают до образования борированного слоя требуемой толщины. Про-

цесс может идти и при более низкой температуре, но тогда его длительность существенно возрастает. После разборки ящиков изделия или инструмент подвергают объемной закалке с низким отпускком.

Электролизное борирование

В условиях серийного производства или для обработки длинномерных деталей применяют электролизное борирование, осуществляемое в расплаве буры под воздействием постоянного тока [1—3]. Оборудование такого процесса состоит из печи — основания типа Ц-75 мощностью 75 кВт — и установленного на него жаростойкого тигля, с внешним обогревом (рис. 1). Наплавление буры производится аналогично наплавлению других солей [1]. В расплавленной буре при температуре порядка 920—960 °С происходит электролиз (анодами служат графитовые стержни), а на изделиях-катадах при плотности тока 0,15—0,20 А/см² — всестороннее интенсивное

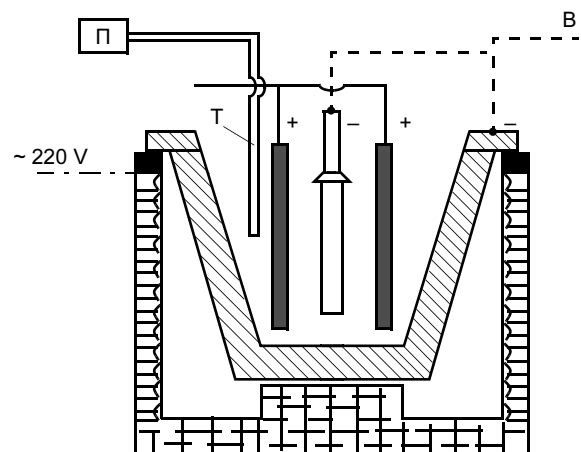


Рис. 1. Схема установки для электролизного борирования (B — "-" — подвод тока на изделия и катодная защита; "+" — подвод тока на борлируемые изделия; П, Т — прибор для измерения температуры и термопара, находящаяся в расплаве)

соединение бора с железом. После завершения процесса изделия охлаждают на воздухе.

Существенным недостатком такого процесса является неравномерное насыщение поверхности вследствие повышенной вязкости расплава и его чрезвычайно медленного перемешивания. Образующийся борированный слой имеет различную толщину на разных участках поверхности изделия и склонен к местному растрескиванию и шелушению. В местах шелушения от поверхности отделяются мелкие чешуйки, что снижает износостойкость поверхности. Кроме того, бура, остывая, налипает толстым слоем на изделия, и удалять ее приходится кипячением в воде в течение 1,5—2 ч. Под слоем буры находится еще и слой порошка бора, налипшего на поверхность изделия. Его приходится удалять при помощи металлических щеток, в ручную или крацевальными машинками.

Эти трудности вынуждают принимать меры для уменьшения вязкости расплава. Можно, например, к буре добавить до 25 % обычной подсушенной поваренной соли. Слой налипающей при остывании буры существенно уменьшается и быстрее растворяется в кипятке. Другим полезным следствием добавления соли в расплав является получение равномерного сплошного борированного слоя. Практика показала, что этого недостаточно для получения равномерного сплошного борированного слоя на готовых изделиях.

Чрезмерные закалочные напряжения, вызванные быстрой закалкой (а для изделий небольшого сечения из легированной стали даже закалка в масле является резкой закалкой), также являются причиной местного отслаивания борированного слоя. Поэтому для изделий из конструкционной стали, например 38ХС, нужно применять изотермическую закалку, состоящую в нагреве до 880—920 °С в расплаве поваренной или другой соли, с последующим охлаждением в расплаве селитры или щелочи при 330—360 °С.

Неизбежный перенос части соли с деталями в селитру повышает вязкость расплавленной селитры и необходимость ее периодической замены. Необходимо также во избежание обезуглероживания поверхности изделия в начале каждой смены раскислять соляную ванну молотым ферросилицием.

Другим слабым звеном процесса является жаростойкий тигель. Первоначально его изготовляли сварно-литым: литой фланец, опирающийся на верхний торец печи, приваривали непосредственно к тиглю, причем оба отливали из сплава Х25Н20. Именно по сварному шву расплавленная бура быстро разъедала такой тигель. Катодная защита тигля не была эффективной. Переход на изготовление цельноли-

того тигля позволил с успехом применить сталь 12Х18Н9Л при существенном увеличении его долговечности (рис. 2).

В процессе эксплуатации расплава буры с поваренной солью при повышенной температуре обнаружилось усиленное выделение газообразного хлора, что обусловило необходимость оборудования усиленной вытяжной бортовой вентиляции. Это привело к усилению мощности приточной вентиляции всего участка борирования. Обнаружилось и еще одно важное с точки зрения безопасности персонала обстоятельство: для монтажа изделий под борирование применяли те же типовые приспособления, что и для монтажа под изотермическую закалку. Не очищенные от соли или щелочи приспособления, часто со следами влаги (щелочь крайне гигроскопична), использовали, несмотря на запрет, и для борирования. В результате произошел выброс расплавленной буры при очередной загрузке деталей, что привело к ожогам кожи рабочего. Приспособления для закалки пришлось переделать применительно к посадочному месту закалочной ванны.

Для увеличения срока бесперебойной работы термопары применен оригинальный способ защиты ее чехла вместо катодной защиты (рис. 3).

Проведенные меры позволили обеспечить высокое качество изделий после борирования и закалки [4]: равномерную глубину борированного слоя в пределах 0,13—0,25 мм, его микротвердость в пределах 14 000—22 000 Н₅₀, отсутствие трещин и отслоений (шелушения) при твердости сердцевины 40—44 HRC для стали 38ХС и стали 5ХНМ. Долговечность узлов трения из стали 38ХС возросла по сравнению с изделиями, не подвергавшимися бори-

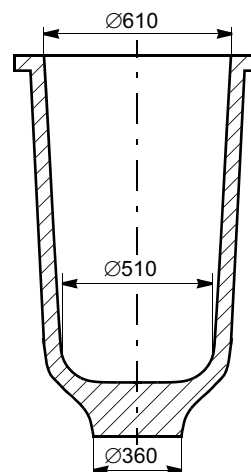


Рис. 2. Модернизированная конструкция жаростойкого тигля, обеспечивающая повышение его долговечности (замена сварного на цельнолитой и увеличение толщины дна)

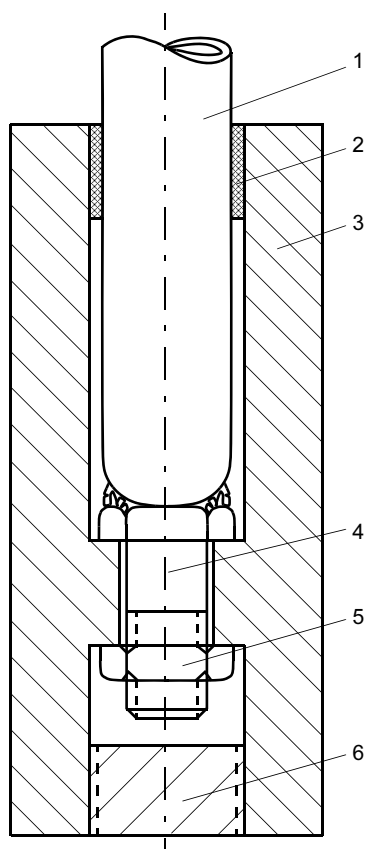


Рис. 3. Устройство защиты чехла термопары: 1 — чехол термопары; 2 — герметизирующая замазка (шамотный порошок на жидком стекле); 4 — болт (приварен к чехлу); 5 — гайка для крепления графитового стержня (3); 6 — графитовая резьбовая заглушка

рованию (несмотря на их повышенную до 45—50 HRC твердость) в 4 раза. Стойкость кузнечного борированного инструмента также увеличилась на однотипных заготовках в 5—8 раз. Таким образом, несмотря на существенное усложнение процесса электролитного борирования по сравнению с первоначальным проектом, это усложнение при конкретном состоянии производства вполне себя оправдало.

Попытки упрочнять материал длинномерных деталей из конструкционной стали путем закалки ТВЧ со спреерным водяным охлаждением (самоотпуск — неперемное условие закалки борированного слоя) были неэффективны: малейшая неравномерность нагрева и охлаждения вызывала возникновение чрезмерных остаточных напряжений, коробление изделий и отслаивание борированного слоя. Для снижения остаточных напряжений рекомендуется борированные изделия подвергать высокому отпуску до высокочастотного нагрева.

Замена расплава, содержащего буру как основу, на легкоплавкие хлориды с добавками порошка

аморфного бора имеет определенные преимущества, например, позволяет увеличить скорость борирования и отказаться от применения тиглей из жаростойкой стали [5].

Новые способы борирования

Сравнительно недавно получили применение способы химико-термической обработки, в том числе борирования, с применением концентрированных источников энергии [6]. Несмотря на некоторый недостаток — необходимость приготовления и нанесения специальной пасты на отдельные участки изделий — электронно-лучевой нагрев позволяет изменить структуру борированного слоя и уменьшить его хрупкость.

Применение установок "Корунд", где нагрев изделий осуществляется в реторте с газовой атмосферой в "кипящем слое" катализатора, имеет ряд преимуществ, в том числе равномерность нагрева и малый перепад температуры в объеме реторты [7]. Кроме того, переход от простого газового борирования к усложненным процессам бороникелирования и боромеднения [8], а также модифицирования боридов алюминием и магнием через пасты [9] коренным образом и в лучшую сторону меняют структуру и свойства полученного химико-термического покрытия. Так, твердость слоя снижается с 20 000 до 16 000 МПа, в 2 раза снижается показатель хрупкости, до 1,5 раз повышается износостойкость при абразивном изнашивании. Применение паст имеет свои преимущества в мелкосерийном производстве и при изготовлении крупногабаритных штампов.

Применение в обоснованных случаях термодиффузионного способа борирования из смеси паст позволяет, учитывая физические характеристики составляющих (температуру плавления), менять параметры процесса, например, снизить температуру, увеличить глубину и изменить структуру слоя, повысить его пластичность, заменять дорогие марки стали на дешевые и менее дефицитные [10].

Перспективная технология

Достигнутый в настоящее время уровень технологии и оборудования [8, 11] позволяет предварительно наметить еще более совершенную технологию газового каталитического борирования, которая позволит обойтись минимальным количеством оборудования при практическом сведении к нулю опасных для персонала элементов и сделать процесс экологически чистым. При разработке этой современной технологии могут быть использованы все

достижения теории и практики борирования, смежных технологий и изготовления оборудования. Прежде всего состав атмосферы, режим нагрева и изотермической закалки — с подбором соответствующего оборудования — должны:

— существенно уменьшить хрупкость борированного слоя за счет изменения его состава и структуры (создания более мягкого подслоя типа кремнистого феррита, с учетом взаимодействия газов, например, диборана или треххлорного бора, составляющих с водородом (азотом) требуемую атмосферу) [1, 8];

— увеличить глубину слоя за счет менее хрупкого бориды железа и исключения более хрупкого диборида;

— ускорить процесс и установить оптимальную температуру борирования, совмещенного с нагревом под закалку (при этом обеспечивая мелкозернистость аустенита основы);

— изотермическую закалку изделий проводить в шахтной печи с защитной атмосферой, обеспечив их ускоренное охлаждение от температуры борирования до температуры изотермической выдержки порядка 350 °С и отсутствие окалины на поверхности. Таким образом, в процессе могут быть задействованы только две печи (предпочтительно шахтные), одна из них — аналогичная печи для каталитической цементации, другая — аналогичная по конструкции печи для каталитического азотирования [11] или для отпуска и снабженная достаточно мощным вентилятором.

Возможен и другой вариант: и для борирования, и для изотермической закалки применяют установки "Корунд", где нагрев, т. е. борирование с нагревом под закалку, и охлаждение, т. е. изотермическая закалка, осуществляются с применением частиц катализатора. Выбор в пользу одного из вариантов может быть сделан после проведения опытной обработки, оценки качества и определения экономических показателей. Вариант каталитического борирования отличается местной установкой небольшого катализатора вместо создания виброкипящего слоя во всем объеме печи. Преимуществом же обоих вариантов является полный отказ от применения расплавов со всеми вытекающими последствиями.

Заключение

Совершившийся за последние несколько десятилетий переход от борирования в расплаве к борированию в газовой среде, а также кардинальные изменения в конструкции термического оборудования позволяют существенно ускорить процесс и практически исключить его опасность для персонала и окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справочник* / Под ред. Л. С. Ляховича. М.: Металлургия, 1981. С. 80—110.
2. *Ляхович Л. С., Ворошнин Л. Г.* Борирование стали. М.: Металлургия, 1967. 119 с.
3. *Повышение износостойкости и срока службы деталей путем электролизного борирования* / Гуревич Б. Г., Балтер М. А., Пирогова В. А., Дукаревич И. С. Л.: ЛДНТП, 1966. 32 с.
4. *Чертков В. М., Федулеев Ю. И., Бахмат В. И.* Совершенствование технологии, модернизация оборудования для борирования, борирование кузнечного инструмента // *Техническая информация*. Омск: ОмЦНТИ, 1969. № 96—104. С. 1—12.
5. *Чернов Я. Б., Веселов И. Н., Анфиногенов А. И.* Износостойкость борированных сталей // *Технология и оборудование для нанесения покрытий*. М.: РХТУ, 2004. С. 148—150.
6. *Сизов И. Г., Смирнягина Н. Н., Семенов А. П.* Структура и свойства боридных слоев, полученных в результате электронно-лучевой химико-термической обработки // *Сб. тр. 5-го Собрания металлословов России*. Краснодар: КубГТУ, 2001. С. 160—163.
7. *Бобок А. Н.* Термическая и химико-термическая обработка в "кипящем слое" катализатора // *Мат. XXX Черновских чтений*. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004.
8. *Грачев С. В., Бушманов П. В., Баландин Ю. А.* Исследование процессов бороникелирования, боромеднения и комплексного борирования конструкционных и инструментальных сталей в виброкипящем слое // *Тез. докл. XVII Уральской школы металлословов-термистов*. Киров: ВятГУ-УГТУ, 2004. С. 64, 65.
9. *Гузанов Б. Н.* Повышение контактной прочности штампового инструмента с использованием термодиффузионных боридных покрытий // *Там же*. С. 67.
10. *Крукович М. Г.* Теория и практика борирования // *Тез. докл. 3-го Собрания металлословов России*. Рязань: Рязанский ЦНТИ, 1996. С. 17—19.
11. *Сыропятов В. С., Шабурова Т. А.* Современные направления в термообработке, новейшие технологии и оборудование // *Оборудование для термообработки НПК "Накал"*. Солнечногорск, 2007. 68 с.

В. П. СТРОШКОВ, канд. техн. наук, В. А. ПШЕНИЧНИКОВ, инж.
Институт химии твердого тела УрО РАН (Екатеринбург)

Высокоточное скоростное электрохимическое формообразование – экономичный и ресурсосберегающий метод металлообработки

Конечными критериями качества процесса электрохимического формообразования (ЭХФ) являются отклонение размеров детали от чертежа, разность между полученной и заданной глубиной поверхностного измененного слоя, несовпадение достигнутого и установленного классов шероховатости. Цель процесса ЭХФ — это, во-первых, достижение конечных критериев в пределах допусков, а во-вторых, производство годной детали оптимальным путем, т. е. при наименьшем значении интегрального критерия качества процесса (времени обработки, расхода энергии и т. д.). Это может быть достигнуто при применении способов размерной электрохимической обработки¹, лежащих в основе метода высокоточного скоростного электрохимического формообразования (ВСЭХФ) сложнопрофильного инструмента и деталей машин.

ЭХФ происходит в результате анодного растворения металла, скорость которого зависит от электрохимического эквивалента и подчиняется законам электрохимической кинетики. При этом производительность обработки не зависит от твердости, вязкости и других свойств обрабатываемого материала и поэтому исключается применение инструмента из более твердого материала, чем материал обрабатываемой заготовки. Отсюда следует, что электрохимический метод выгодно применять для труднообрабатываемых механическими способами материалов. Электрохимический процесс ведется при отсутствии контакта между обрабатываемой заготовкой и инструментом. Это делает метод пригодным для обработки тонкостенных, легко деформируемых при механической обработке деталей, а также деталей из хрупких материалов, склонных к образованию трещин в поверхностном слое и значительному ухудшению по этой причине эксплуатационных свойств деталей.

Особенностью ЭХФ является то, что этот процесс, как правило, не вносит собственных изменений в поверхностный слой обрабатываемого материала. Низкая температура в рабочей зоне не вызывает фазовых превращений, температурных напряжений. Сравнительно малые давления электролита не приводят к деформации поверхностного слоя. При электрохимическом растворении удаляется дефектный слой материала, устраняются изменения в поверхностном слое, вызванные предыдущей обработкой. Это особенно важно для повышения эксплуатационных свойств деталей, чувствительных к неоднородности свойств поверхностного слоя. ЭХФ можно применять после термической обработки, приводящей к значительному повышению твердости материала, что позволяет выполнять обработку в труднодоступных местах.

При использовании в металлообработке метода ВСЭХФ происходит копирование на аноде формы катода-инструмента сразу по всей поверхности заготовки, поэтому детали сложной формы могут быть получены в результате простого поступательного движения инструмента. Одна операция ВСЭХФ может заменить несколько механических операций. Уникальными свойствами ВСЭХФ являются практическое отсутствие износа инструмента и то, что увеличение производительности процесса, как правило, сопровождается одновременным улучшением качества поверхности изделия, а часто и повышением точности обработки. В качестве конкретных примеров применения ВСЭХФ можно привести изготовление лопаток газотурбинных двигателей, литейных и выдувных форм, пресс-форм, ковочных и чеканочных штампов, сложнофасонного режущего инструмента, стеклоформ для прессования изделий из стекла и многих других самых разнообразных деталей авиационной, медицинской и других видов техники.

¹ Патент 2226142, 2240901, 2240210, 2283735 (РФ).

Изготовление формующих элементов пресс-форм, штампов и других деталей, имеющих сложные фасонные поверхности, — один из самых трудозатратных, а следовательно, дорогостоящих процессов в инструментальном производстве. С появлением на рынке фрезерных станков с ЧПУ для трех- и пятиосевой обработки, а также интенсивным развитием CAD—CAM-систем этот метод является практически единственным способом для изготовления сложно-профильных деталей и сокращения цикла их производства. Поскольку фрезерование имеет ограничения как по геометрии, так и твердости обрабатываемых деталей, взаимодополняющей к фрезерной обработке на станках с ЧПУ является копировально-прошивочная электроэрозионная обработка, которая входит в класс электро-физико-химических методов обработки, к которому относится и метод ВСЭХФ. Однако у этих методов есть общее ограничение, связанное с площадью обработки. Если провести деление изготавливаемых деталей по характерным размерам (площади обработки) на крупногабаритные (более 10 000 мм²) и малогабаритные, то для первого класса фрезерование на станках с ЧПУ и особенно высокоскоростная обработка [1] — действительно эффективный и практически единственный метод их изготовления. Что касается малогабаритных деталей, то здесь ситуация иная.

Рассмотрим ограничения операции трехкоординатного фрезерования. Для малогабаритных деталей матричного класса, оформляющие поверхности которых являются вогнутыми (глухие углубления), присутствие малых радиусов внутренних кромок и соотношение глубины и ширины углублений часто не позволяют провести их чистовую обработку, оставляя зоны лишь с черновой обработкой (не соответствующей чертежу) и требуют выполнения электроэрозионной обработки либо слесарной доработки. Существует противоречие между рекламируемыми возможностями инструмента и реальным положением дел на российских предприятиях. Речь идет о твердости обрабатываемых материалов. Производители оборудования и инструмента заявляют о возможности обработки деталей с твердостью до 56 HRC. По мнению авторов, обработка без каких-либо ограничений возможна для деталей твердостью до 34 HRC, можно обеспечить обработку деталей твердостью до 42 HRC и привести отдельные примеры успешной обработки деталей твердостью до 58 HRC. Высокая стоимость инструмента для обработки деталей большой твердостью повышает себестоимость изготовления пресс-форм и снижает конкурентоспособность предприятия.

Процессы, происходящие в межэлектродном промежутке при импульсно-циклическом методе элек-

трохимической размерной обработки, очень сложны, так как общая физико-химическая картина процесса распадается на ряд систем: гидродинамика течения двухфазной среды, теплообмен с внутренними источниками джоулевой теплоты, массообмен, процессы переноса заряда и т. д. Основное уравнение электрохимического формообразования [2], описывающее изменение во времени формы поверхности заготовки, имеет следующий вид:

$$\partial\Phi/\partial t + K_V I_a |\text{grad}\Phi| = 0, \quad (1)$$

где Φ — форма поверхности в системе координат, связанной с анодом (заготовкой); K_V — объем растворенного металла анода при прохождении 1 Кл электричества; I_a — анодный ток.

Учитывая число факторов, определяющих I_a в уравнении (1), получаем систему нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных с нелинейными граничными условиями для трехмерной области с переменной во времени геометрией границы. Явное ее решение возможно только для идеального процесса ЭХФ, в случаях более сложных моделей возможно только численное решение. На практике необходимо решение не прямой задачи, когда определяют форму получаемой поверхности по известной поверхности электрода инструмента, а обратной, т. е. поиск корректировок для формы электрода инструмента, исходя из известной поверхности, которую необходимо получить в процессе обработки. Трудность решения системы уравнений, построенных на точных математических моделях процессов, происходящих в межэлектродном промежутке, привела к альтернативному способу решения данной задачи. Обеспечение условий реального физического процесса, которые исключают зависимость максимального числа системных величин от координаты, хотя как функция времени, а точнее длины импульса тока, они являются определяющими для процесса формообразования. Теоретические обоснования данного подхода для импульсных режимов обработки приведены в работах [2, 3].

Результаты исследований, проведенных в ИХТТ УрО РАН, позволили определить режимы обработки, при которых число корректировок формы электрода-инструмента минимально для широкого спектра инструментальных сталей и геометрических форм деталей [4].

Сравним эффективность изготовления различными способами формообразующих полостей матрицы пресс-формы для гофра защитного (рис. 1). Пресс-форма является 24-местной т. е. общее число матриц 48 шт. Полуцилиндрические выборки S растачивают в сборе двух матриц на координатно-расточном станке. Конкретная технологическая схема

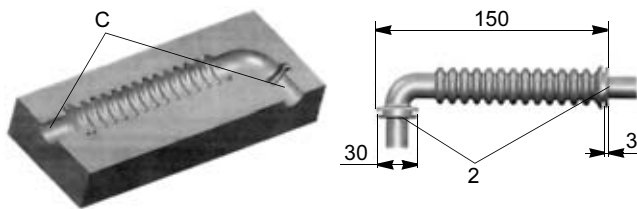


Рис. 1. Матрица пресс-формы защитной трубки для проводов двери автомобиля ВАЗ-21010 (материал матрицы — сталь 40Х13, точность размеров оформляющей полости 0,02 мм, $R_a \geq 0,32$ мкм)

изготовления детали определяется оборудованием, имеющимся на предприятии, а также наличием кадров и их квалификацией. В качестве примера рассмотрим одно из машиностроительных предприятий Свердловской обл., имеющее следующее оборудование для трехмерной обработки: фрезерный станок с ЧПУ с трехосевой обработкой, фрезерный станок с пятиосевой обработкой и электроэрозионный копировально-прошивочный станок.

Технологический процесс изготовления полости с примерными трудозатратами для основных операций следующий:

- моделирование обрабатываемой поверхности с офсетом внутрь на 0,1 мм как припуска, оставляемого для финишной электроэрозионной обработки;
- фрезеровка по созданной модели заготовки твердостью не более 34 HRC, при этом остаются необработанные зоны R (рис. 2). Время обработки на станке со скоростью вращения шпинделя 2000 об/мин около 6 ч;
- термическая обработка заготовки с последующей выверкой баз;
- изготовление медного электрода инструмента для финишной электроэрозионной обработки с одновременным маркированием. Время изготовления на фрезерном станке с ЧПУ около 5 ч;
- финишная электроэрозионная обработка, время обработки 1,5 ч;
- слесарная доработка полученной полости.

Поскольку одним медным электродом-инструментом можно обработать не более трех матриц, их общее количество составит 16 шт. Таким образом, общее время обработки 48 формирующих полостей по основным операциям 440 ч.

На других предприятиях с аналогичными станками возможно изменение данной схемы, например, отказ от финишной электроэрозионной обработки в пользу слесарной доработки, электроэрозионная обработка будет проведена лишь для подработки зон R и маркировки полостей, но значительно со-

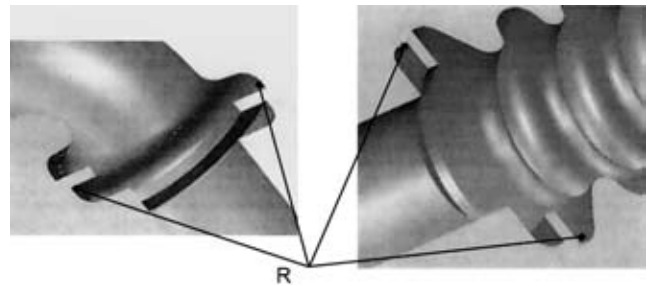


Рис. 2. Проблемный для механической обработки участок матрицы

кратить трудозатраты при данной схеме обработки и на имеющемся оборудовании не удастся.

При наличии на предприятии электрохимического копировально-прошивочного станка ЭС-4000 технологический процесс изготовления полости с примерными трудозатратами для основных операций следующий:

- изготовление сборного корректированного электрода инструмента на фрезерном станке с ЧПУ из латуни ЛС59; время выполнения около 8 ч;
- изготовление формообразующей полости на станке ЭС-4000 в заготовке твердостью 45 HRC и припуском на лицевой стороне 0,3 мм; время обработки не более 1,5 ч;
- плоская шлифовка припуска 0,3 мм с последующей слесарной доработкой полученной полости.

Таким образом, общее время обработки 48 формирующих полостей по основным операциям 80 ч.

Учитывая, что эксплуатационные расходы обрабатываемых центров, электроэрозионных и электрохимических станков примерно одинаковы, применение метода ВСЭХФ является для инструментальных производств фактором, повышающим производительность при изготовлении малогабаритных сложнопрофильных фасонных деталей. В то же время кроме повышения производительности металлообработки уменьшается количество станочного оборудования и рабочего персонала, а также общее потребление электроэнергии и материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Витингтон К., Власов В. Высокоскоростная механообработка // САПР и графика. 2002. № 11.
2. Давыдов А. Д., Козак Е. Высокоскоростное электрохимическое формообразование. М.: Наука, 1990. 272 с.
3. Зайдман Г. Н., Петров Ю. Н. Формообразование при электрохимической размерной обработке металлов. Кишинев: Штиинца, 1990. 205 с.
4. Стрешков В. П., Пшеничников В. А., Кожевников В. Л. Высокоточное электрохимическое формообразование сложнопрофильного инструмента и деталей машин. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2005. 212 с.

В. Д. ПЛАХТИН, д-р техн. наук, А. Н. ПАРШИН, аспирант (МГОУ),
А. П. ДАВЫДОВ, канд. техн. наук (Рязанский институт МГОУ)

Изготовление зубчатых колес с арочными зубьями с применением пальцевых фрез

Применение зубчатых колес с арочными зубьями для наружного зацепления вместо прямозубых является эффективным направлением повышения нагрузочной способности, долговечности и снижения уровня шума при работе зубчатых передач [1].

В настоящее время для нарезания арочных зубьев зубчатых колес применяют резцовые головки, резцы которых расположены по окружности и выполнены с нулевым профилем режущей кромки [2—4]. Общим недостатком нарезания арочных зубьев таким инструментом является необходимость применения индивидуальных резцовых головок для нарезания зубчатых колес с различной формой линии смещения исходного контура, а также различных головок для нарезания выпуклой и вогнутой поверхностей арочных зубьев. Кроме того, при использовании таких резцовых головок невозможно нарезание бочкообразных арочных зубьев, обеспечивающих существенное повышение нагрузочной способности арочного зацепления.

Указанные недостатки ограничивают распространение арочных зубчатых передач. Для их устранения на кафедре "Теория механизмов и машин" МГОУ совместно с ООО НПО "Зубчатые трансмиссии" разработан способ нарезания арочных зубчатых колес на станках с ЧПУ с использованием стандартных цилиндрических пальцевых фрез с концевым сферическим участком. Диаметр концевой сферической части фрезы принимается равным диаметру ее цилиндрического участка, который определяется в зависимости от продольного профиля нарезаемого арочного зуба — с постоянной шириной в поперечных сечениях или бочкообразного.

Для реализации способа на основе применения автоматизированного программного комплекса T-Flex разработана методика определения параметров пальцевой фрезы и станочного зацепления, обеспечивающих нарезание арочных зубьев требуемого профиля. К этим параметрам относятся диаметр пальцевой фрезы, координаты центра концевой режущего сферического участка фрезы и положение ее оси в пространстве при нарезании. При определении параметров нарезание зубьев моделировали перемещением пальцевой фрезы 1 по боковым поверхностям зубьев некоторой условной арочной ин-

струментальной рейки 3, соответствующей продольному профилю выпуклой или вогнутой поверхностей зуба нарезаемого колеса (рис. 1).

С помощью полученных массивов параметров пальцевой фрезы и станочного зацепления колес по разработанной методике нарезание арочных зубьев выполняется в следующем порядке: черновое нарезание эвольвентных поверхностей впадин между зубьями; нарезание криволинейных переходных участков впадин от эвольвентных поверхностей к цилиндрической; цилиндрической поверхности впадины между смежными зубьями; чистовая обработка эвольвентных поверхностей.

Для сокращения времени обработки при черновом нарезании целесообразно последовательно использовать несколько пальцевых фрез разного диаметра. Диаметр фрез должен уменьшаться по мере приближения к центру заготовки при формировании впадин между зубьями с учетом припуска на черновое фрезерование.

При чистовом нарезании после термической обработки колес с арочными зубьями целесообразно использовать фрезы с твердосплавным наконечником.

При нарезании эвольвентных поверхностей арочных зубьев профилирующая точка находится на окружности сопряжения цилиндрической части фрезы со сферической. При этом профилирующая точка фрезы 1 совершает сложное движение в плоскости 4 станочного зацепления — вдоль оси нарезаемого колеса и перпендикулярно этой оси (направле-

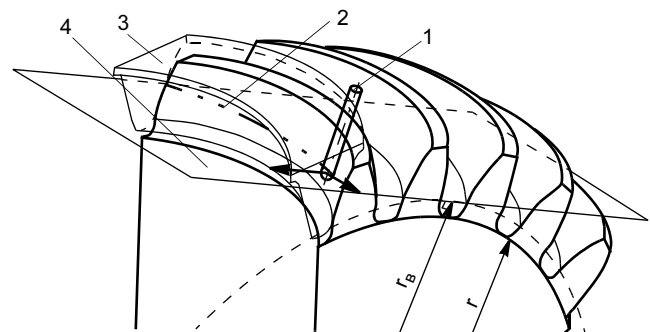


Рис. 1. Станочное зацепление пальцевой фрезы с арочным зубом

ния показаны стрелками) и находится на пространственной линии контакта 2 нарезаемой поверхности арочного зуба с зубом условной инструментальной рейки 3.

Нарезание криволинейных переходных участков впадин между зубьями от эвольвентных участков к цилиндрическим выполняется концевым сферическим участком фрезы. При этом ось пальцевой фрезы также расположена перпендикулярно плоскости станочного зацепления и совершает такое же сложное движение вдоль оси нарезаемого колеса и перпендикулярно этой оси. В процессе нарезания радиус-вектор профилирующей точки относительно оси колеса уменьшается и эта точка располагается в плоскости, параллельной плоскости станочного зацепления.

После обработки боковых арочных поверхностей смежных зубьев выполняют нарезание цилиндрической поверхности впадин радиуса r между зубьями. При этом ось фрезы расположена по нормали к цилиндрической поверхности и совершает движение вдоль оси нарезаемого колеса и перпендикулярно этой оси с подачей к центру колеса. При этом профилирующая точка находится на этой поверхности.

После нарезания вогнутой и выпуклой боковых поверхностей смежных зубьев и цилиндрической поверхности впадины между ними для нарезания следующей пары смежных зубьев заготовка поворачивается относительно своей оси на один или несколько угловых шагов, и процесс нарезания боко-

вых и цилиндрической поверхностей между зубьями повторяется. Последовательность процесса деления, обработки поверхностей смежных зубьев и цилиндрических поверхностей впадин между ними может быть различной и зависит от особенностей станка с ЧПУ, на котором нарезают цилиндрические колеса с арочными зубьями.

Для изготовления арочных зубчатых колес с различными параметрами станочного зацепления в автоматизированном программном комплексе T-Flex созданы параметрические трехмерные модели процесса обработки колес, необходимых для подготовки программ для станков с ЧПУ. С помощью трехмерных моделей определяют текущие координаты центра концевой сферической части фрезы x_{fd} , y_{fd} , z_{fd} (рис. 2), угол α между проекцией оси фрезы на центральное поперечное сечение зубчатого колеса и осью впадины между зубьями в этом сечении и угол поворота заготовки колеса.

Для нарезания арочных зубчатых колес наиболее эффективно применять пятикоординатные станки с ЧПУ, однако возможно применение и четырехкоординатных станков. В этом случае координата, характеризующая угол наклона фрезы α , совмещается с координатой, выполняющей функцию деления при нарезании зубчатого колеса, и заготовка зубчатого колеса поворачивается на этот угол в процессе обработки. Координаты центра сферы концевой части пальцевой фрезы x'_{fd} , y'_{fd} , z'_{fd} (рис. 3) для че-

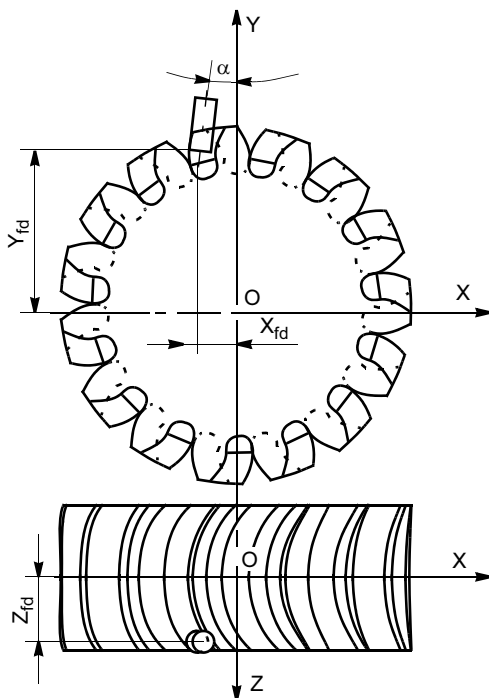


Рис. 2. Текущее положение пальцевой фрезы при нарезании арочного зуба на пятикоординатном станке

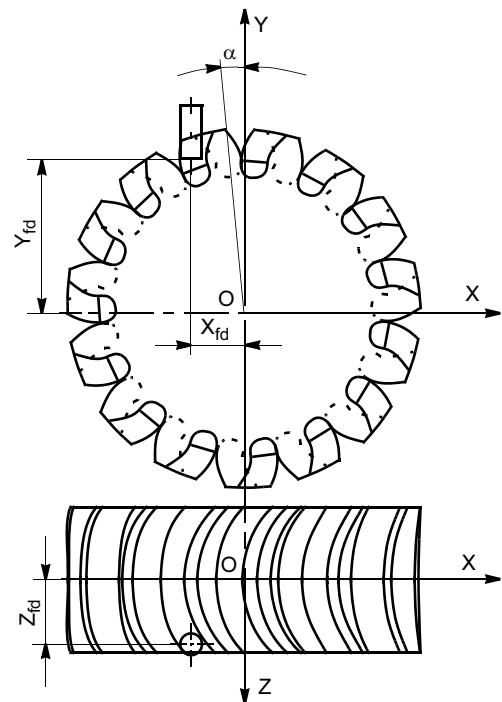


Рис. 3. Текущее положение пальцевой фрезы при нарезании арочного зуба на четырехкоординатном станке

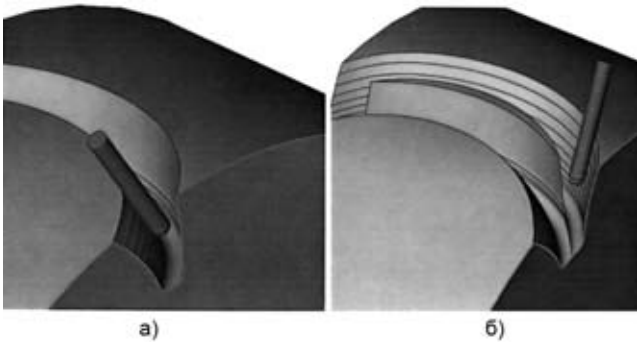


Рис. 4. Трехмерные модели впадин между зубьями после обработки эвольвентных участков боковых поверхностей арочных зубьев при нарезании выпуклой (а) и вогнутой (б) поверхностей

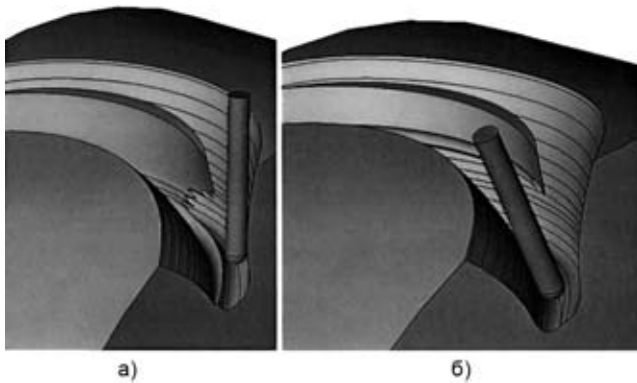


Рис. 5. Трехмерные модели впадин между зубьями после обработки переходных криволинейных участков фрезой одного диаметра: а, б — начало обработки и обработка впадины соответственно

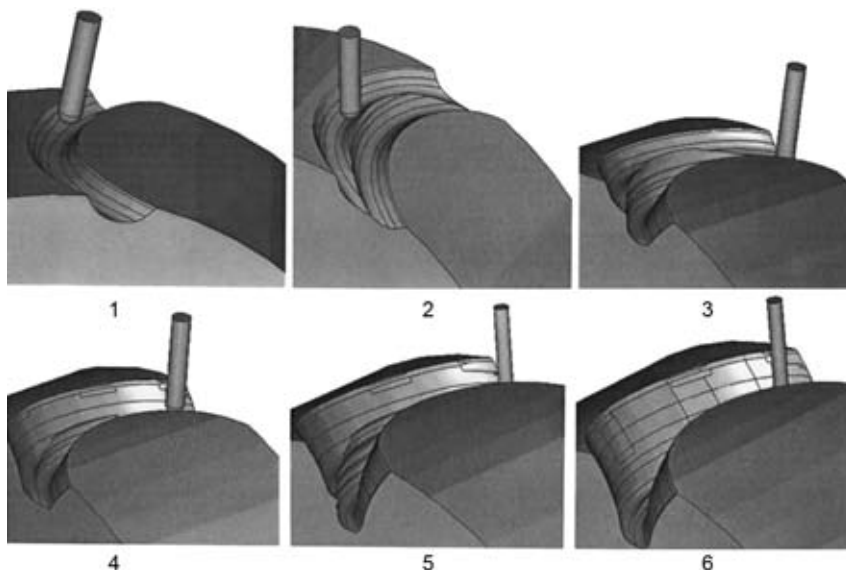


Рис. 6. Трехмерные модели впадин между зубьями при нарезании фрезами разного диаметра после черновой обработки эвольвентных участков боковых поверхностей

тырехкоординатного станка определяются из выражений

$$\begin{aligned} x'_{fd} &= x_{fd} \cos \alpha + y_{fd} \sin \alpha; \\ y'_{fd} &= x_{fd} \sin \alpha + y_{fd} \cos \alpha; \\ z'_{fd} &= z_{fd}. \end{aligned} \quad (1)$$

В автоматизированном программном комплексе T-Flex модели впадины между зубьями после обработки эвольвентных участков выпуклой и вогнутой боковых поверхностей фрезой одного диаметра принимали вид, приведенный на рис. 4. После обработки криволинейных переходных участков впадины между зубьями от эвольвентных участков к цилиндрической фрезой одного диаметра модели впадины принимали вид, приведенный на рис. 5.

После черновой обработки эвольвентных участков выпуклой и вогнутой боковых поверхностей несколькими фрезами модели принимали вид соответственно 1—6 (рис. 6).

В автоматизированном программном комплексе T-Flex созданы параметрические трехмерные модели расчета траектории движения центра сферического концевой участка пальцевой фрезы при нарезании. Возможные траектории движения сферического концевой участка фрезы при обработке эвольвентного участка выпуклой боковой поверхности арочного зуба, смоделированные в комплексе T-Flex, приведены на рис. 7, а, б; при обработке переходного криволинейного участка впадины между зубьями — на рис. 7, в, г.

На рис. 8 приведены цилиндрические колеса с арочными зубьями с модулем 4, числом зубьев 18 и 32 и радиусом развертки линии смещения исходного контура на делительном цилиндре 45 мм. Колеса нарезаны на обрабатывающем центре 1П730 Рязанского станкостроительного завода по заказу металлургического комбината ОАО "Северсталь".

В предлагаемом способе изготовления зубчатых колес с арочными зубьями в отличие от известных способов чистовое нарезание выпуклой и вогнутой эвольвентных поверхностей зубьев выполняют одной пальцевой фрезой при заданной кривизне линии смещения исходного контура на развертке делительного цилиндра. При

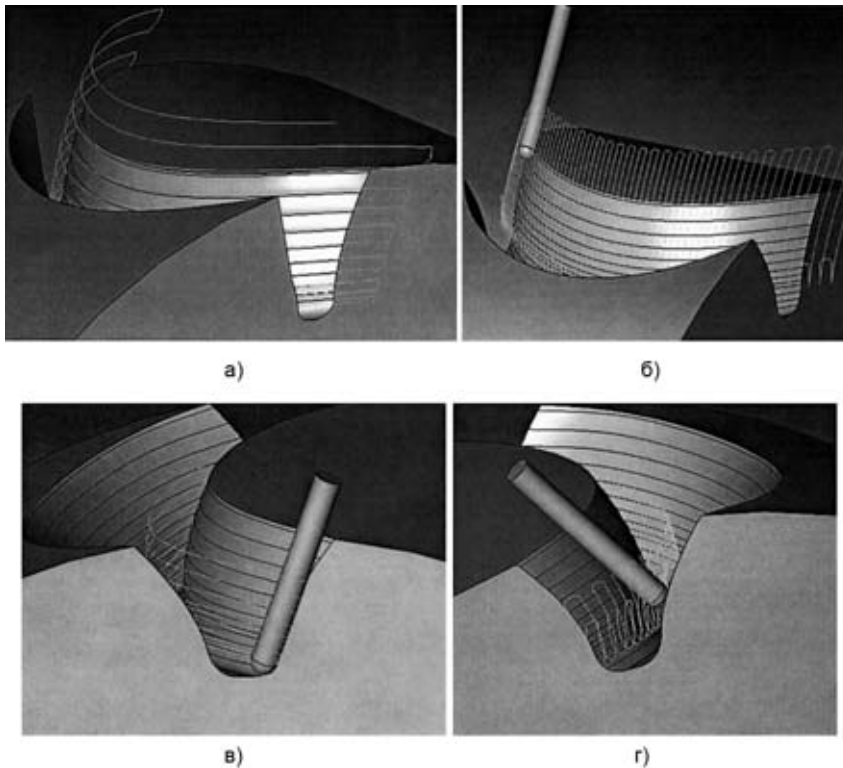


Рис. 7. Возможные траектории движения пальцевой фрезы при нарезании арочных зубьев

изменении заданной кривизны продольного профиля арочных зубьев требуется только замена стандартной фрезы на фрезу другого диаметра. Это обеспечивает широкую универсальность предлагаемой технологии и применение данного способа для нарезания колес различного назначения.

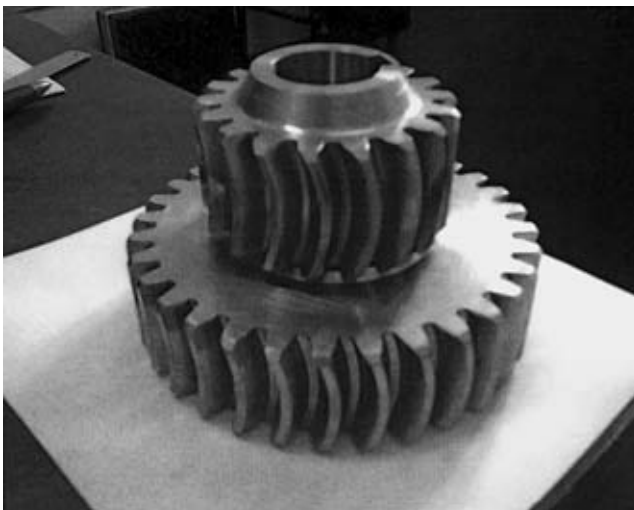


Рис. 8. Арочные зубчатые колеса

Способ позволяет также изготавливать цилиндрические колеса с бочкообразными [5—7] арочными зубьями, обеспечивающими оптимальное распределение контактных напряжений по всей их длине. Благодаря этому повышается износостойкость и нагрузочная способность арочного зацепления.

Данным способом можно нарезать цилиндрические колеса с обычными или криволинейными зубьями, у которых заданная линия смещения исходного контура на развертке делительного цилиндра отлична от дуги окружности, а также эвольвентные колеса с различным смещением условной инструментальной рейки, различным углом ее исходного профиля и дробным торцевым модулем.

Таким образом, предлагаемый способ изготовления зубчатых колес с арочными зубьями позволяет повысить универсальность технологии изготовления, износостойкость и нагрузочную способность арочного зацепления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плахтин В. Д., Давыдов А. П., Паршин А. Н. Анализ зацепления цилиндрических колес с арочными зубьями // Вестник машиностроения. 2006. № 11. С. 3—7.
2. Беляев А. И., Сирицин А. И., Сирицин Д. А. Обеспечение теоретически точной геометрии зубьев цилиндрических арочных передач // Качество и долговечность зубчатых передач и редукторов. Харьков, 1995. С. 69.
3. Беляев А. И., Сирицин А. И., Сирицин Д. А. Особенности изготовления и применения высокоточных арочных тяговых зубчатых передач // Вестник машиностроения. 1997. № 1. С. 3—6.
4. Беляев А. И., Сирицин А. И., Сирицин Д. А. Геометрический расчет и технология нарезания колес с арочными зубьями // Вестник машиностроения. 1999. № 1. С. 3—8.
5. Плахтин В. Д., Паршин А. Н. Синтез цилиндрических зубчатых передач с арочными бочкообразными зубьями // Тез. докл. междунар. конф. по теории механизмов и механике машин. Краснодар, 2006. С. 79—80.
6. Плахтин В. Д., Паршин А. Н. Синтез зацепления цилиндрических зубчатых колес с арочными бочкообразными зубьями // Технология машиностроения. 2007. № 2. С. 46—53.
7. Паршин А. Н. Синтез цилиндрического зацепления с арочными зубьями // Изв. вузов. Сер. Машиностроение. 2007. № 2.

А. Н. ТЮРИН, канд. техн. наук

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана

Определение энергии резания единичным абразивным зерном

В настоящее время существует множество различных теоретических подходов в моделировании процесса брусковой абразивной обработки, однако все они имеют преимущественно частный характер, отражающий конкретные условия процесса, что ограничивает их практическое применение. Использование энергетического подхода в моделировании процесса суперфиниширования и в целом брусковой абразивной обработки позволит обобщить ранее выполненные исследования и создать более универсальную модель, позволяющую осуществлять поиск новых направлений совершенствования технологии окончательной прецизионной обработки деталей.

Работа (Дж), затрачиваемая на резание одним зерном за элементарный промежуток времени

$$dA = P_z \bar{v}_r dt, \quad (1)$$

где P_z — тангенциальная сила резания в направлении скорости резания (Н); \bar{v}_r — скорость резания (м/с).

Силы резания при абразивной обработке исследовали многие авторы [1, 2—9]. Так, С. Н. Корчак [3] установил, что силы резания единичным абразивным зерном соответственно равны:

$$P_y = \frac{\sqrt{3,25} a \tau_s}{\sin \beta_1} \sin \beta + 0,5 \tau_s l_z;$$

$$P_z = \frac{\sqrt{3,25} a \tau_s}{\sin \beta_1} \cos \beta + 0,5 \mu \tau_s l_z,$$

где a — глубина резания (мм); τ_s — касательные напряжения сдвига (МПа); l_z — длина площадки износа рабочей поверхности зерна (мм); μ — коэффициент трения скольжения; β_1 — угол расположения плоскости сдвига материала в процессе резания; β — угол между вектором скорости резания и плоскости сдвига.

Данные зависимости наиболее часто используют при исследовании процесса шлифования, однако они не подходят для процессов брусковой обработки, так как отражают при шлифовании решающее влияние на силы резания истирания вершин зерен под действием высоких температур и невысокой

степени размерного износа инструмента. Поэтому одной из составляющих сил резания является сила трения площадки износа зерна размером l_s об обрабатываемую поверхность. При брусковой обработке фактор истирания режущей части абразивных зерен действует незначительно, так как температура резания невелика, а абразивный инструмент работает в режиме интенсивного самозатачивания. Но если нет площадки износа, то, как следует из приведенной зависимости, нет и силы трения, что противоречит и современному представлению о природе трения, и здравому смыслу.

По всей вероятности наиболее точной моделью сил резания при абразивной обработке являются зависимости, предложенные в работе [1]:

$$\begin{aligned} P_z &= 34 \tau_s a^2 (1 + 1,5 \mu (1 + \xi)); \\ P_y &= 51 \tau_s a^2 (1 + \xi), \end{aligned} \quad (2)$$

где ξ — усадка стружки (отношение длины среза к длине стружки).

Как видно, зависимости (2) существенно отличаются от приведенных равенств тем, что в них отсутствует длина площадки истирания зерен, а глубина резания в квадрате влияет на силы резания. Последнее обстоятельство подтверждается многочисленными исследованиями, например С. Г. Редько [2], который осуществлял статическое вдавливание рабочей поверхности абразивного инструмента в поверхность заготовки, изготовленной из различных материалов. Статическое вдавливание зерен в обрабатываемую поверхность по физической сути отличается от процесса резания, но характер зависимости нормальной силы от глубины вдавливания в том и другом случаях одинаков.

Скорость перемещения абразивного зерна в фиксированный момент времени зависит от траектории перемещения зерна, при этом последняя определяется кинематикой процесса обработки, и в частности траекторией движения абразивного бруска. Существует множество способов брусковой обработки, отличающихся своей оригинальной кинематикой относительных движений инструмента и заготовки, постараемся максимально обобщить возможные схемы движения единичного зерна.

Максимальная глубина резания $a_{zm} = h_z - h_b$.

Подставив максимальное значение глубины резания в равенство

$$a_z = h_z - h_b - \frac{1}{2}(r_b + h_b) \left(\frac{z_b}{H} \gamma_{bm} - \gamma_z \right)^2 (1 - c) \text{ при } -z_{kl} \leq z_b \leq z_{bp}, \quad (3)$$

где h_z — величина выступания абразивного зерна над поверхностью связки (мм); h_b — расстояние расположения уровня связки бруска от обрабатываемой поверхности (мм); H — амплитуда перемещения бруска (мм); z_b — координата центра бруска (мм); r_b — радиус профиля бруска (мм).

Вычислим координату положения бруска при максимальной глубине внедрения зерна в обрабатываемую поверхность:

$$z_{bm} = \frac{H}{\gamma_{bm}} \gamma_z. \quad (4)$$

Определив глубину резания (3), несложно рассчитать силы резания:

$$\begin{aligned} P_z &= 34 \tau_s a^2 (1 + 1,5 \mu (1 + \xi)); \\ P_y &= 51 \tau_s a^2 (1 + \xi). \end{aligned} \quad (5)$$

Однако для определения энергии, затрачиваемой единичным абразивным зерном на резание, необходимо знать скорость перемещения зерна относительно обрабатываемой поверхности. Как известно, в процессе абразивной обработки абразивному бруску сообщают осциллирующие движения вдоль обрабатываемой поверхности. Эти движения должны быть плавными, чтобы в процессе обработки не возникали значительные динамические силы, приводящие к возникновению колебаний технологической системы и поломки ее механизмов. Поэтому обычно осциллирующие движения сообщаются инструментальной головке от эксцентриковых механизмов, с использованием которых в конце каждого хода инструментальной головки скорость перемещения уменьшается и затем меняет знак, а при перемещении инструментальной головки к центру осциллирующего движения ее скорость возрастает и в центре достигает максимума.

В таком случае дифференциальное уравнение движения абразивного бруска вдоль обрабатываемой поверхности имеет следующий вид:

$$\frac{d^2 z_b}{dt^2} + 4 \pi^2 n_b^2 z_b, \quad (6)$$

где n_b — частота колебаний бруска (Гц).

Равенство (6) представляет собой линейное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами и без свободного члена. Как известно из теории линейных дифференциальных уравнений, общий интеграл этого уравнения выражается следующим образом:

$$z_b = k_b \sin(2\pi n_b t + \psi),$$

где величины k_b и ψ имеют произвольные значения и определяются граничными условиями процесса. Если в качестве начала отсчета времени t принять начало координат, а максимальная длина хода бруска равна A , то

$$z_b = H \sin(2\pi n_b t). \quad (7)$$

Взяв производную от выражения (7) по времени, определим скорость перемещения бруска

$$v_b = v_{b0} \cos(2\pi n_b t), \quad (8)$$

где v_{b0} — скорость перемещения бруска в центре профиля обрабатываемой поверхности (м/с), равная $2H\pi n_b$.

Скорость перемещения бруска, а вместе с ним и зерна, является лишь одной составляющей общей скорости резания. Вторая и главная ее составляющая — окружная скорость вращения заготовки. Складывая эти две скорости геометрически, определим суммарную скорость перемещения единичного зерна относительно обрабатываемой поверхности:

$$\begin{aligned} v_z &= \pm \sqrt{(v_{b0} \cos(2\pi n_b t))^2 + v_d^2} = \\ &= \pm \sqrt{v_d^2 + v_{b0}^2} \sqrt{\frac{1 - v_{b0}^2 \sin^2(2\pi n_b t)}{v_d^2 + v_{b0}^2}}; \end{aligned} \quad (9)$$

где v_d — окружная скорость вращения заготовки (м/с).

Так как глубина внедрения зерна в поверхность заготовки a_z (3) зависит от положения бруска z_b относительно обрабатываемой поверхности, а координата положения центра бруска z_b в свою очередь зависит от времени t , то, следовательно, и глубина взаимодействия единичного зерна с обрабатываемой поверхностью тоже зависит от времени:

$$a_z = h_z - h_b - \frac{1}{2}(r_b + h_b) (\sin(2\pi n_b t) \gamma_{bm} - \gamma_z)^2 (1 - c) \text{ при } -t_{bn} \leq t \leq t_{bk}, \quad (10)$$

где t_{bn} , t_{bk} — соответственно время начала и окончания кинематического контакта абразивного зерна с обрабатываемой поверхностью.

Решая совместно равенства

$$\begin{aligned} P_z &= 34\tau_s a^2(1 + 1,5\mu(1 + \xi)); \\ P_y &= 51\tau_s a^2(1 + \xi); \end{aligned} \quad (11)$$

$$dA = P_z \bar{v}_r dt \quad (12)$$

и выражая абсциссу положения бруска через время, определим

$$\begin{aligned} dA &= 34\tau_s(1 + 1,5f(1 + \xi))\sqrt{v_d^2 + v_{b0}^2}(h_z - h_b)^2 \times \\ &\times \left(1 - \frac{r_b + h_b}{2(h_z - h_b)}(\sin(2\pi n_b t)\gamma_{bm} - \gamma_z)^2(1 - c)\right)^2 \times \\ &\times \sqrt{1 - \frac{v_{b0}^2}{v_d^2 + v_{b0}^2} \sin^2(2\pi n_b t)} dt. \end{aligned} \quad (13)$$

Проинтегрировав равенство (13) по времени, определим величину энергии, затраченную единичным абразивным зерном на резание. При этом можно учесть, что зерно, внедрившись в обрабатываемую поверхность на какую-то глубину, исчерпает весь свой запас внутренней энергии закрепления в связке и выпадет с поверхности инструмента или полностью процарапает свою кинематически определенную канавку, а затем выпадет, или процарапает несколько канавок с разной увеличивающейся с каждым разом глубиной. Все эти варианты можно учесть, используя различные пределы интегрирования равенства (13).

Предположим, что зерно находится на расстоянии h_z от уровня связки инструмента и под углом γ_z относительно плоскости симметрии бруска. Тогда время его возможного начала контакта с заготовкой определим из равенств

$$t_{kl} = \frac{1}{2\pi n_b} \arcsin\left(\left(-\sqrt{\frac{2(h_z - h_b)}{r_b + h_b - c(r_b + h_b)}} + \gamma_z\right) \frac{1}{\gamma_{mb}}\right)$$

при $\gamma_{zl} \leq \gamma_z \leq \gamma$;

$$t_{kl} = \frac{1}{2\pi n_b} \arcsin\left(-\frac{L}{2H}\right) \text{ при } \gamma_{zlm} \leq \gamma_z < \gamma_{zl}; \quad (14)$$

$$t_{kp} = \frac{1}{2\pi n_b} \arcsin\left(\left(\sqrt{\frac{2(h_z - h_b)}{r_b + h_b - c(r_b + h_b)}} + \gamma_z\right) \frac{1}{\gamma_{bm}}\right)$$

при $\gamma_{zl} \leq \gamma_z \leq \gamma$;

$$t_{kp} = \frac{1}{2\pi n_b} \arcsin\left(\frac{L}{2H}\right) \text{ при } \gamma_{zp} \leq \gamma_z < \gamma_{zpm}.$$

Значения величин γ_{zl} , γ_{zp} , γ_{zlm} и γ_{zpm} в выражении (14) определяются равенствами

$$\begin{aligned} \gamma_{zl} &= \sqrt{\frac{2(h_z - h_b)}{(r_b + h_b)(1 - c)}} - \gamma_{bm}; \\ \gamma_{zml} &= \frac{\Delta L}{r_b + h_b} - \gamma_{bm}; \\ \gamma_{zp} &= \gamma_{bm} - \sqrt{\frac{2(h_z - h_b)}{(r_b + h_b)(1 - c)}}; \\ \gamma_{zlm} &= \gamma_{bm} - \frac{\Delta L}{r_b + h_b}. \end{aligned} \quad (15)$$

Подобно этому определим момент контакта зерна и заготовки с максимальной глубиной резания:

$$t_{bm} = \frac{1}{2\pi n_b} \arcsin\left(\frac{\gamma_z}{\gamma_{bm}}\right). \quad (16)$$

Проинтегрировав равенство (13) в пределах от начала контакта с обрабатываемой поверхностью t_{kl} до промежутка времени $t < t_{kp}$, определим единовременную энергию, затрачиваемую единичным зерном, сделавшим полный срез за время непрерывного резания $t - t_{ki}$:

$$\begin{aligned} A_{zp} &= 34\tau_s(1 + 1,5f(1 + \xi))\sqrt{v_d^2 + v_{b0}^2} \times \\ &\times \int_{t_{kl}}^{tp} \left(h_z - h_b - \frac{1}{2}(r_b + h_b)(\sin(2\pi n_b t)\gamma_{bm} - \gamma_z)^2(1 - c)\right)^2 \times \\ &\times \sqrt{1 - \frac{v_{b0}^2}{v_d^2 + v_{b0}^2} \sin^2(2\pi n_b t)} dt. \end{aligned}$$

Путем подстановки $\varepsilon = t/t_{bm}$, откуда $dt = t_{bm}d\varepsilon$, приведем интегральное выражение данного равенства к безразмерному виду:

$$\begin{aligned} A_{zp} &= \\ &= 34\tau_s(1 + 1,5f(1 + \xi))\sqrt{v_d^2 + v_{b0}^2}(h_z - h_b)^2 t_{bm} J_{zp}, \end{aligned} \quad (17)$$

где

$$\begin{aligned} J_{zp} &= \int_{\frac{t_{kl}}{t_{bm}}}^{\frac{tp}{t_{bm}}} \left(1 - \frac{r_b - h_b}{2(h_z - h_b)}(\sin(2\pi n_b t_{bm}\varepsilon)\gamma_{bm} - \gamma_z)^2 \times \right. \\ &\times (1 - c)\left. \right)^2 \sqrt{1 - \frac{v_{b0}^2}{v_d^2 + v_{b0}^2} \sin^2(2\pi n_b t_{bm}\varepsilon)} d\varepsilon. \end{aligned}$$

Подобно выражению (17) определим единовременную энергию резания абразивным зерном, кото-

рое сделает неполный срез и вылетит с рабочей поверхности инструмента в момент времени t при глубине $a_z = a_{кр}$:

$$A_{zt} = 34\tau_s(1 + 1,5f(1 + \xi))\sqrt{v_d^2 + v_{b0}^2}(h_z - h_b)^2 t_{bm} J_{zt}, \quad (18)$$

где

$$J_{zt} = \int_{\frac{t_{kl}}{t_{bm}}}^{\frac{t}{t_{bm}}} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{(r_b + h_b)}{(h_z - h_b)} (\sin(2\pi n_b t_{bm} \varepsilon) \gamma_{bm} - \gamma_z)^2 \times \right. \\ \left. \times (1 - c)^2 \sqrt{1 - \frac{v_{b0}^2}{v_d^2 + v_{b0}^2} \sin^2(2\pi n_b t_{bm} \varepsilon)} d\varepsilon \right)$$

Введем обозначение

$$x = \frac{a_z}{h_z - h_b} = 1 - \frac{(r_b + h_b)(1 - c)}{2(h_z - h_b)} (\sin(2\pi n_b t) \gamma_{bm} - \gamma_z)^2, \quad (19)$$

отсюда

$$t = \frac{1}{2\pi n_b} \arcsin \left(\left(\pm \sqrt{\frac{2(h_z - h_b)(1 - x)}{r_b + h_b - c(r_b + h_b)}} + \gamma_z \right) \frac{1}{\gamma_{bm}} \right).$$

Дифференцируя это равенство, получим

$$dt = \frac{1}{2\pi n_b \gamma_{bm}} \sqrt{\frac{2(h_z - h_b)}{(r_b + h_b)(1 - c)}} \frac{1}{\sqrt{1 - x}} \times \\ \times \frac{dx}{\sqrt{1 - \frac{1}{\gamma_{bm}^2} \left(\gamma_z - \sqrt{\frac{2(h_z - h_b)(1 - x)}{(r_b + h_b)(1 - c)}} \right)^2}}.$$

Новые пределы интегрирования

$$x_{\min} = 0 \text{ при } \gamma_{zl} \leq \gamma_z \leq \gamma_{zp};$$

$$x_{\min} = 1 - \frac{(r_b + h_b)(1 - c)}{2(h_z - h_b)} \left(\frac{L\gamma_{bm}}{2A} + \gamma_z \right)^2 \text{ при } \gamma_{zml} \leq \gamma_z < \gamma_{zl};$$

$$x_t = a_z / a_{zm};$$

$$x_{\max} = 0 \text{ при } \gamma_{zl} \leq \gamma_z \leq \gamma_{zp};$$

$$x_{\max} = 1 - \frac{(r_b + h_b)(1 - c)}{2(h_z - h_b)} \left(-\frac{L\gamma_{bm}}{2A} + \gamma_z \right)^2 \text{ при}$$

$$\gamma_{zpm} \leq \gamma_z < \gamma_{zp}.$$

Выражая равенство (16) через новую переменную, определим

$$A_{zx} = \frac{34\tau_s(1 + 1,5f(1 + \xi))\sqrt{v_d^2 + v_{b0}^2}(h_z - h_b)^{2,5}}{\sqrt{2\pi n_b} \sqrt{(r_b + h_b)(1 - c)} \gamma_{bm}} J_{at}, \quad (20)$$

где J_a — безразмерный коэффициент при $a_z \leq a_{кр}$.

$$J_{zx} = \int_{x_{\min}}^{x_{кр}} \frac{x^2}{\sqrt{(1 - x)}} \times \\ \times \frac{1 - \frac{v_{b0}^2}{\gamma_{bm}^2(v_d^2 + v_{b0}^2)} \left(\gamma_z - \sqrt{\frac{2(h_z - h_b)(1 - x)}{(r_b + h_b)(1 - c)}} \right)^2}{\left[1 - \frac{1}{\gamma_{bm}^2} \left(\gamma_z - \sqrt{\frac{2(h_z - h_b)(1 - x)}{(r_b + h_b)(1 - c)}} \right)^2 \right]} dx. \quad (21)$$

Второй множитель в равенстве (21) характеризует влияние переменной скорости перемещения абразивного бруска вдоль обрабатываемой поверхности на энергию резания. Но так как скорость перемещения бруска при суперфинишировании значительно меньше окружной скорости заготовки, то его значение близко к единице. Для практических расчетов влиянием отношения v_b/v_d в формуле (21) можно пренебречь, а подинтегральное выражения упростить.

С целью анализа влияния положения бруска вдоль образующей заготовки на энергию резания равенство (13) важно выразить через относительную ординату поперечного сечения заготовки. Для этого введем обозначение $u = z/H$.

$$\text{Так как } z_b = H \sin(2\pi n_b t), \text{ то } t = \frac{1}{2\pi n_b} \arcsin u,$$

$$\text{а } dt = \frac{1}{2\pi n_b} \frac{du}{\sqrt{1 - u^2}}, \text{ получим}$$

$$dA = \frac{34\tau_s(1 + 1,5f(1 + \xi))}{2\pi n_b} \sqrt{v_d^2 + v_{b0}^2} (h_z - h_b)^2 \times \\ \times \left(1 - \frac{(r_b + h_b)(1 - c)}{2(h_z - h_b)} (u\gamma_{bm} - \gamma_z)^2 (1 - c) \right)^2 \times \\ \times \sqrt{1 - \left(\frac{v_{b0}^2}{(v_d^2 + v_{b0}^2)} \right) u^2} \frac{du}{\sqrt{1 - u^2}} \text{ при} \\ u_{\min} \leq u \leq u_{\max}, \quad (22)$$

где

$$u_{\min} = \left(-\sqrt{\frac{2(h_z - h_b)}{(r_b + h_b)(1 - c)}} + \gamma_z \right) \frac{1}{\gamma_{bm}}$$

при $\gamma_{zl} \leq \gamma_z \leq \gamma_{zp}$;

$$u_{\min} = -0,5 \frac{L}{H} \text{ при } \gamma_{zlm} < \gamma_z \leq \gamma_{zl}$$

$$u_{\max} = \left(\sqrt{\frac{2(h_z - h_b)}{(r_b + h_b)(1 - c)}} + \gamma_z \right) \frac{1}{\gamma_{bm}}$$

при $\gamma_{zl} \leq \gamma_z \leq \gamma_{zp}$;

$$u_{\max} = 0,5 \frac{L}{H} \text{ при } \gamma_{zp} < \gamma_z \leq \gamma_{zpm}$$
(23)

Интегрируя выражение (22) по переменной u , переопределим

$$A_{zu} = \frac{34\tau_s(1 + 1,5f(1 + \xi))}{2\pi n_b} \sqrt{v_d^2 + v_{b0}^2} (h_z - h_b)^2 J_u \quad (24)$$

где

$$J_u = \int_{u_{\min}}^u \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{r_b + h_b}{h_z - h_b} \right) (u\gamma_{bm} - \gamma_z)^2 (1 - c) \right)^2 \times$$

$$\times \frac{1}{\sqrt{1 - u^2}} \sqrt{1 - \left(\frac{v_{b0}^2}{v_d^2 + v_{b0}^2} \right) u^2} du.$$

Несложно показать, что энергия единичного среза отражает объем единичного среза. Объем стружки, который снимет единичное абразивное зерно за время dt

$$dV_z = S_z \bar{v}_r dt, \quad (25)$$

где S_z — площадь сечения канавки, оставляемой зерном в момент времени t .

В работе [1] показано, что параметры режущей части зерна не являются строго определенными. Во многом они зависят от глубины внедрения зерна в обрабатываемую поверхность и материала абразивных зерен. Чем глубже зерно внедряется в обрабатываемую поверхность, тем большее число неровностей абразивного зерна составляют профиль его режущей части. Причем в формировании режущей части зерна начинают принимать участие более крупные микронеровности. Поэтому с возрастанием глубины внедрения зерна в поверхность заготовки автоматически увеличивается радиус закругления режущей части зерна. Например, для зерен из электрокорунда радиус округления режущих зерен

$\rho_z = 6,83(a^{1,14}/d_z^{0,14})$, где d_z — диаметр абразивного зерна (мм).

С увеличением радиуса округления режущая часть зерна становится более прочной и зерно начинает срезать более толстые стружки. Таким образом, проявляется заложенный природой в зерно процесс саморегулирования, при котором оно может срезать и очень тонкие стружки при малой глубине резания, и значительно более толстые стружки при значительной глубине внедрения в обрабатываемую поверхность. Подобный эффект невозможно обеспечить для искусственного режущего инструмента.

С увеличением радиуса округления режущих зерен и глубины внедрения зерна в обрабатываемую поверхность увеличивается и ширина канавки, процарапанной зерном:

$$b_z = 2,83 \frac{a_z^{1,07}}{a_z^{0,07}} \approx kba_z.$$

Для мелкозернистого абразивного инструмента, диаметр зерен которых составляет 0,007—0,016 мм, kb изменяется от 4,0 до 3,8, т. е. менее чем на 5%. Поэтому примем

$$b_z = 3,9a_z. \quad (26)$$

Таким образом, если профиль единичного абразивного зерна представить в виде параболы, то

$$S_z = \frac{2}{3} a_z b_z = 2,6a_z^2, \quad (27)$$

где a_z , b_z — соответственно глубина и ширина канавки от зерна на поверхности заготовки в момент времени t (мм).

Подставляя значение площади царапины (27) в равенство (25), определим

$$dV_z = 2,6a_z^2 \bar{v}_r dt.$$

Раскрывая в этом выражении значения a_z и v_r и интегрируя по времени, определим

$$V_z = 2,6 \int_{t_{kl}}^t \left(h_z - h_b - \frac{(r_b + h_b)}{2} (\sin(2\pi n_b t)) \gamma_{bm} - \gamma_z \right)^2 \times$$

$$\times (1 - c)^2 \sqrt{v_d^2 + v_{b0}^2} \cos^2(2\pi n_b t) dt =$$

$$= 2,6(h_z - h_b)^2 \sqrt{v_d^2 + v_{b0}^2} J_{At}. \quad (28)$$

Из сравнения равенств (17) и (28) следует

$$V_z = K_v A_z, \quad (29)$$

где K_v — размерный коэффициент подобия $1/(\text{МПа})$,
равный $\frac{0,0765}{\tau_s(1 + 1,5f(1 + \xi))}$.

Таким образом, энергия единичного среза отражает такой показатель, как объем единичного среза, но по отношению к нему является более общим показателем, так как отражает дополнительно свойства обрабатываемого материала — напряжение среза, и условия резания — коэффициент трения зерна и обрабатываемой поверхности f и усадку стружки ξ .

Средняя площадь среза определяется интегрированием текущей площади среза (27) по времени и делением полученного значения на время образования царапины:

$$S_{zs} = \frac{2}{3(t - t_{ki})} \int_{t_{ki}}^t a_z b_z dt.$$

Используя соотношение между шириной и глубиной среза (26) и раскрывая значение глубины среза (27), определим

$$S_{zs} = \frac{2,6}{t - t_{ki}} \int_{t_{ki}}^t \left(h_z - h_b - \frac{1}{2}(r_b + h_b) \times \right. \\ \left. \times (\sin(2\pi n_b t) \gamma_{bm} - \gamma_z)^2 (1 - c) \right)^2 dt = \frac{2,6}{t - t_{ki}} (h_z - h_b)^2 J_S,$$

где

$$J_S = \int_{t_{ki}}^t \left(1 - \frac{r_b + h_b}{2(h_z - h_b)} (\sin(2\pi n_b t) \gamma_{bm} - \gamma_z)^2 (1 - c) \right)^2 dt.$$

С практической точки зрения площадь среза удобнее выразить через глубину среза. Используя такую же подстановку, как и в равенстве (17), после преобразований определим

$$S_s = 2,6(h_z - h_b)^2 J_S, \quad (30)$$

где

$$z_{kp} = \left(\sqrt{\frac{2(h_z - h_b)}{r_b + h_b - c(r_b + h_b)}} + \gamma_z \right) \frac{H}{\gamma_{bm}} \text{ при } \gamma_{zl} \leq \gamma_z \leq \gamma_{zp};$$

$$J_S = \int_{x_{\min}}^{x_{kp}} \frac{x^2}{\sqrt{(1-x)}} \sqrt{\frac{1}{\left[1 - \frac{1}{\gamma_{bm}^2} \left(\gamma_z - \sqrt{\frac{2(h_z - h_b)(1-x)}{(r_b + h_b)(1-c)}} \right)^2 \right]}} dx.$$

Из сравнения равенств (18) и (30) находим

$$S_{zs} = \frac{0,0765 J_S A_t}{\tau_s(1 + 1,5f(1 + \xi))(t - t_{ki}) \sqrt{v_d^2 + v_{b0}^2} J_{At}}. \quad (31)$$

Определим среднюю глубину внедрения зерна в обрабатываемую поверхность. Обычно абразивное зерно внедряется в поверхность заготовки постепенно, достигая максимальной глубины внедрения, значение которой зависит от того, выпадет зерно из связки под действием сил резания или сделает полный срез.

Пусть абразивное зерно находится под углом γ_z к плоскости симметрии инструмента, внедряется в обрабатываемую поверхность с максимальной глубиной a_{zm} , равной $h_z - h_b$, и делает полный срез. В этом случае глубина внедрения зерна в поверхность заготовки определяется равенством (14). Начало касания вершиной зерна обрабатываемой поверхности соответствует положению инструмента, при котором координата его точки касания равна z_{kl} (17), а максимальная глубина внедрения зерна в обрабатываемую поверхность соответствует координате $z_{bv} = z_{bm}$. Тогда среднее значение глубины внедрения зерна в обрабатываемую поверхность

$$a_i = \frac{1}{z_{bv} - z_{kl}} \int_{z_{kl}}^{z_{bv}} \left[h_z - h_b - \frac{1}{2}(r_b + h_b) \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{z_b}{H} \gamma_{bm} - \gamma_z \right)^2 (1 - c) \right] dz_b. \quad (32)$$

После преобразования выражения (32), как и следовало ожидать, получим:

$$a_i = \frac{2}{3} a_{zm}. \quad (33)$$

Если зерно делает неполный срез, а выпадает из связки при $a_z = a_{kp}$, то верхнее значение пределов интегрирования

$$z_{bv} = \left(-\sqrt{\frac{2(h_z - h_b)(1 - a_{kp})}{r_b + h_b - c(r_b + h_b)}} + \gamma_z \right) \frac{H}{\gamma_{bm}} \text{ при} \\ \gamma_{zl} \leq \gamma_z \leq \gamma_{zp}. \quad (34)$$

Тогда из соотношения (17) получим среднюю глубину царапины

$$a_{zs} = 0,17 \sqrt{\frac{J_S A_t}{\tau_s(1 + 1,5f(1 + \xi))(t - t_{ki}) \sqrt{v_d^2 + v_{b0}^2} J_{At}}}. \quad (35)$$

Несложно показать, что для процесса суперфиниширования отношение $k_a = \sqrt{J_S/A_t}$ близко к единице.

Интересно проследить зависимость энергии резания абразивным зерном от длины пути резания, тем более что длина пути резания является самостоятельным энергетическим параметром.

Элементарная длина пути резания абразивным зерном $dl_{zt} = \bar{v}_r dt$. Тогда длина пути резания определяется интегрированием этого равенства:

$$l_{zt} = \int_{t_{ki}}^t \sqrt{v_{b0}^2 \cos^2(2\pi n_b t) + v_d^2} dt = \sqrt{v_d^2 + v_{b0}^2} \int_{t_{ki}}^t \sqrt{1 - \frac{v_{b0}^2}{v_d^2 + v_{b0}^2} \sin^2(2\pi n_b t)} dt. \quad (36)$$

Раскладывая подинтегральное выражение (36) в ряд и ограничиваясь двумя членами ряда, определим

$$l_{zt} = \sqrt{v_d^2 + v_{b0}^2} \left(1 - \frac{v_{b0}^2}{4(v_d^2 + v_{b0}^2)} \right) (t - t_{ki}).$$

Погрешность данной формулы при $v_{b0}/v_d \leq 0,5$ составляет менее 1%. Подставляя в это равенство значение времени

$$\tau_m = \frac{2P_{zk} h_y}{d_h^3 J_{i\tau}} \left(1 + \frac{2h_y}{d_h} \right) \sqrt[3]{\frac{(v_s + v_p)^2}{v_s^2} \left(1 - \frac{2h_y}{d_h \left(1 - \frac{2h_s}{d_h} \right)} \right)},$$

через глубину резания a_z , получим

$$l_{zt} = \sqrt{v_d^2 + v_{b0}^2} \left(1 - \frac{v_{b0}^2}{4(v_d^2 + v_{b0}^2)} \right) \times \left(\arcsin \left(\frac{1}{\gamma_{bm}} \left(\gamma_z - \sqrt{\frac{2a_m - a_z}{(r_b + h_b)(1-c)}} \right) \right) - \arcsin \left(\frac{1}{\gamma_{bm}} \left(\gamma_z - \sqrt{\frac{2a_m}{(r_b + h_b)(1-c)}} \right) \right) \right), \quad (37)$$

где a_m — максимально возможная глубина царапины данным зерном, равная $h_z - h_b$.

Подавляющее число абразивных зерен делает полные срезы, когда они касаются обрабатываемой поверхности и выходят из контакта с этой поверхностью при глубине резания, близкой к нулю. Тогда длина полного среза

$$l_z = \frac{2H}{\gamma_{bm}} \sqrt{\frac{2a_m}{(r_b + h_b)(1-c)}}, \quad (38)$$

т. е. длина полных срезов пропорциональна энергии срезов.

ВЫВОД

Энергия единичного среза является обобщенным показателем среза, так как учитывает и силу резания, и глубину, и длину, и объем единичного среза, но каждый из этих показателей характеризует срез с одной стороны, а показатель энергии единичного среза характеризует характер среза в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королев А. В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке. Саратов: Изд-во Саратовского ГТУ, 1975. 192 с.
2. Редько С. Г. Процессы теплообразования при шлифовании металлов. Саратов: Изд-во Саратовского ГТУ, 1962. 299 с.
3. Корчак С. Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. М.: Машиностроение, 1974. 280 с.
4. Филимонов Л. Н. Высокоскоростное шлифование. Л.: Машиностроение, 1973. 136 с.
5. Островский В. И. Теоретические основы процесса шлифования. Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. 144 с.
6. Ефимов В. В. Модель процесса шлифования с применением СОЖ. Саратов: Изд-во Саратовского ГТУ, 1992. 132 с.
7. Peklenik J. Ermittlung von geometrischen und physikalischen Kenngrößen für die Grundlagenforschung des Schleifens. Dissertation: TH. Aachen, 1957. 250 s.
8. Pahlitzsch A., Sathyanarayanan E. O. Selbsteregte Schwingungen als Ursache des Ratterns beim Schleifen // Trans. ASME J. Rng. Ind. 1957. 250 s.
9. Унянин А. Н. Научное и технологическое обеспечение шлифования заготовок из пластичных сталей и сплавов с предотвращением засаливания абразивных кругов: Дис. ... д-ра техн. наук. Ульяновск, 2006. 537 с.

И. П. ДЕРЯБИН, канд. техн. наук, О. А. КОЖАРИНА, аспирант
Южно-Уральский государственный университет (Челябинск)

Исследование наследования погрешностей расположения осей отверстий при многопереходной обработке

Анализ технологических процессов обработки отверстий высокой точности в различных деталях, например топливной и гидроаппаратуры авиадвигателей, показывает, что заданная точность, особенно расположения оси, достигается с большим трудом. При этом число выполняемых переходов, как правило, больше, чем необходимо для обработки других поверхностей аналогичной точности. Невозможность обеспечить заданные параметры точности, например расположения оси на современных многопозиционных и многоинструментных станках, приводит к необходимости применения операций координатного и алмазного растачивания, что снижает эффективность применения дорогостоящего оборудования. Особенно остро эта проблема проявляется при обработке точных отверстий на станках с ЧПУ, так как применение наиболее простого способа повышения точности расположения оси — использование кондукторных втулок — на этих станках крайне затруднительно или вообще невозможно. Это вынуждает при изготовлении деталей, содержащих отверстия с высокой точностью расположения оси, специально только для их обработки на начальных этапах применять менее производительное оборудование, например, сверлильные, револьверные или расточные станки. Результаты исследования наследования погрешностей расположения осей отверстий показали, что погрешности, возникшие на начальных операциях, например сверления, исправляются на последующих операциях рассверливания и зенкерования довольно сложно. Экспериментальные исследования по изучению наследования погрешностей расположения осей отверстий в серийно выпускаемых деталях подтвердили это. Отверстие последовательно обрабатывали на переходах сверление, зенкерование и развертывание. Обработку производили на станке с ЧПУ VM 12-500. К расположению осей отверстий предъявляли жесткое требование по отклонению от перпендикулярности — 0,02 мм.

Методика исследований заключалась в следующем. Детали сначала были пронумерованы, после выполнения первого и последующих переходов измеряли положение оси отверстия на координатно-измерительной машине (КИМ). Затем на графиках (рис. 1) по переходам для каждой детали отмечали измеренные погрешности обработки. Замеры увода оси отверстия по деталям после каждого пе-

рехода показали, что у части деталей (№ 7, 8, 10) каждый последующий переход уменьшал увод оси, а у остальных — нет.

Основной причиной нестабильного уменьшения увода по переходам является возникновение различных сочетаний таких технологических факторов, как погрешности заточки инструмента по главному углу в плане, погрешности расположения оси отверстия в заготовке и фаза осевых колебаний шпинделя.

Механизм наследования погрешностей расположения оси по переходам подробно рассмотрен в работе [1]. Увод оси отверстия после предшествующего перехода исправляется более интенсивно, когда фаза максимального осевого колебания, а следовательно, и максимальная подача шпинделя $S = S_0 + \Delta S$ (S_0 — номинальное значение подачи, ΔS — амплитуда колебания подачи) наступают при положении лезвия с большим главным углом в плане φ (в дальнейшем лезвие 1) со стороны наибольшего припуска (рис. 2).

Данное положение проверяли экспериментально в лабораторных и производственных условиях.

Для лабораторных исследований шпиндельный узел вертикально-сверлильного станка 2Н135 был отрегулирован таким образом, чтобы максимальная амплитуда осевых колебаний шпинделя не превышала 0,02 мм [2]. Для получения различных значений амплитуды осевых колебаний инструмента до 2 мм разработали специальную насадку на шпиндель станка.

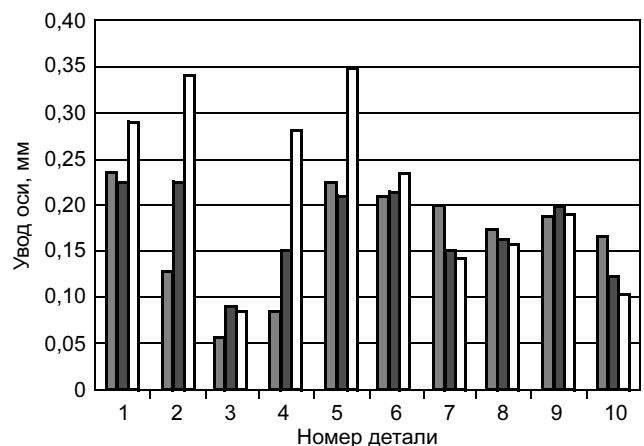


Рис. 1. Увод оси отверстия детали по переходам (■ — сверление; ■ — зенкерование; □ — развертывание)

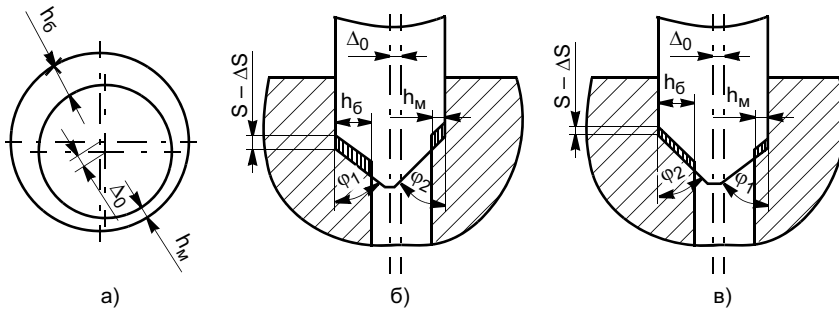


Рис. 2. Схема срезания припуска при несоосности осей инструмента и отверстия в заготовке: а — колебания припуска; б — положение лезвия с большим углом φ со стороны максимального припуска в момент максимальной фазы колебания шпинделя; в — положение лезвий после поворота шпинделя на 180°

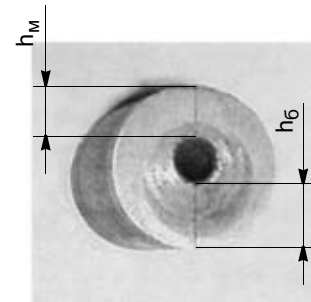


Рис. 3. Разметка заготовки

Заготовки цилиндрической формы с наружным диаметром 20 мм в количестве 30 шт. обрабатывали на токарном станке, выполняли подрезку торца, обработку наружной цилиндрической поверхности, центровку под последующее сверление и отрезку заготовки на длину $L = 40$ мм. Затем в заготовках, закрепленных в трехкулачковом патроне, просверлили отверстия на станке 2Н135 сверлом диаметром 5 мм с подачей 0,07 мм/об. Затем выполнили необходимые замеры. На заготовке со стороны выхода сверла были определены значения и положения наибольшего h_6 и наименьшего h_m припусков,

а также величина увода оси отверстия. Со стороны наибольшего и наименьшего припусков выполнили соответствующие метки (рис. 3). Все заготовки пронумерованы.

Рассверливание отверстий производили сверлом диаметром 6 мм с параметрами главных углов в плане $\varphi_1 = 65^\circ$ и $\varphi_2 = 55^\circ$ и подачей 0,15 мм/об. Заготовки при этом устанавливали в трехкулачковый патрон с тем же положением, что и при сверлении.

Далее определяли фазу максимального осевого колебания шпинделя. При этом на гильзе и шпинделе ставили метку в любом месте. Детали устанавливали так, чтобы сторона с наибольшим припуском совпадала с метками на шпинделе и гильзе.

Инструмент устанавливали так, чтобы лезвие 1 (с большим углом φ) либо лезвие 2 (с меньшим углом φ) совпадало с меткой на шпинделе станка.

В первом эксперименте с меткой на шпинделе совмещалось лезвие 2, что означало его положение на стороне наибольшего припуска в момент максимальной подачи $S = S_0 + \Delta S$. Такое положение инструмента и заготовки назовем "Схема 1" (наихудший вариант сочетания параметров). Таким образом обрабатывали первые 15 заготовок.

Во втором эксперименте с меткой на шпинделе совмещалось лезвие 1, что означало его положение на стороне наибольшего припуска в момент максимальной подачи $S = S_0 + \Delta S$ ("Схема 2" — наилучший вариант сочетания параметров). Обрабатывали остальные 15 заготовок.

После рассверливания отверстий производили необходимые замеры. Результаты первого эксперимента приведены на рис. 4, а, результаты второго — на рис. 4, б.

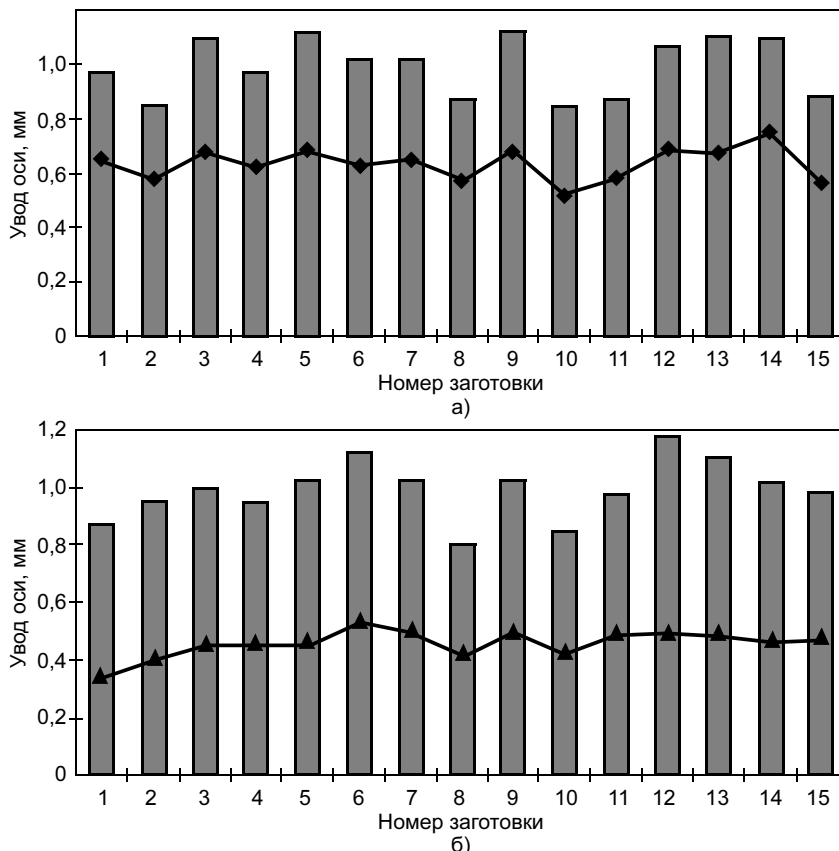


Рис. 4. Результаты замера увода оси отверстия после сверления (■) и рассверливания (▲): а, б — схемы 1 и 2 соответственно

Видно, что по схеме 1 уменьшение увода оси произошло в среднем на 30 %, а по схеме 2 — на 54 %.

Производственные эксперименты проводили с серийно выпускаемыми деталями топливной гидроаппаратуры. Результаты экспериментальных исследований проиллюстрируем на примере обработки

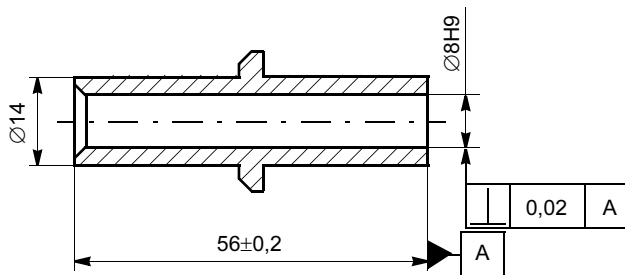


Рис. 5. Деталь "ползун"

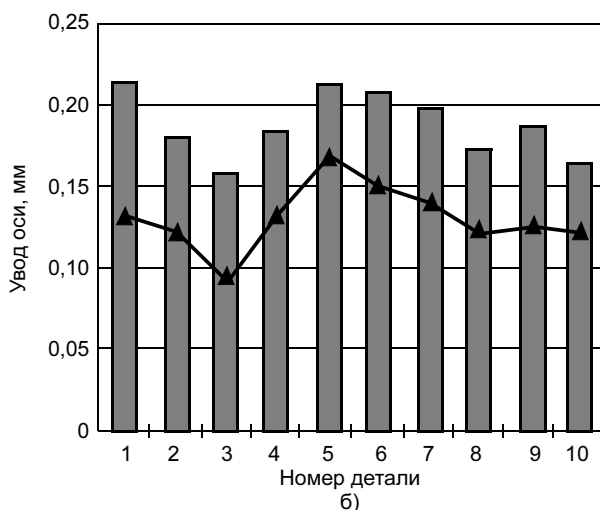
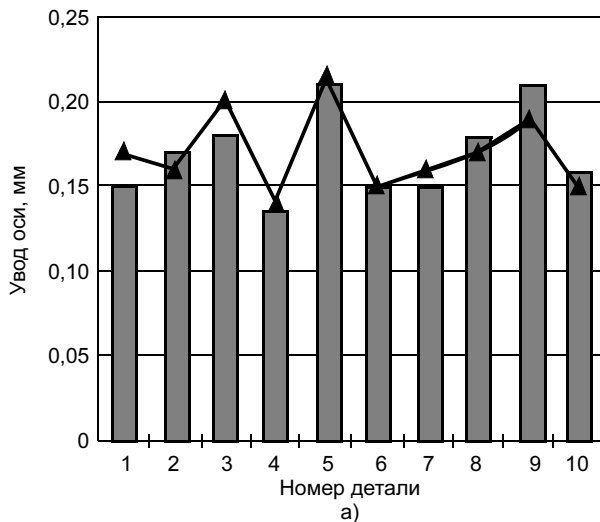


Рис. 6. Увод оси отверстия детали "ползун" (обозначения — см. рис. 4)

отверстия диаметром 8 мм в детали "ползун" (рис. 5). Рассмотрим два перехода: сверление и рассверливание. Для экспериментов взяли две партии заготовок по 10 шт. Необходимо отметить, что малая величина выборки вызвана причинами экономического и производственного характера. Заготовки все были пронумерованы. Обработку деталей выполняли на станке с ЧПУ VM 12-500.

После сверления отверстий сверлом диаметром 6,5 мм замеряли увод оси на КИМ и определяли положение наибольшего h_6 и наименьшего h_m припусков для рассверливания аналогично рис. 3.

Далее деталь устанавливали на станок в трехлачковый патрон согласно схемам 1 или 2. Также перед рассверливанием были измерены амплитуда (0,05 мм) и фаза осевых колебаний шпинделя. Заготовки устанавливали сначала по схеме 1, затем другую партию — по схеме 2. Рассверливание производили спиральным сверлом диаметром 8 мм с $\varphi_1 = 60^\circ$, $\varphi_2 = 57^\circ$ и погрешностью заточки $\Delta\varphi = \pm 30^\circ$. Результаты измерений первой партии, обработанной по схеме 1, приведены на рис. 6, а, а второй партии, обработанной по схеме 2, — на рис. 6, б. Анализ результатов показывает, что по схеме 2 снижение увода оси отверстия в среднем составило 39 %, а по схеме 1 — увеличение увода на 4 %. Согласно расчетам погрешностей на ЭВМ по математическим моделям формообразования [2], значение увода оси после сверления 0,16 мм. После рассверливания по схеме 1 расчетное значение увода составило 0,15 мм (снижение на 6 %), по схеме 2 — 0,10 мм (снижение на 37 %).

Аналогичные эксперименты проводили с другими деталями гидроаппаратуры. Необходимо отметить, что результаты экспериментов для различных деталей, а именно уменьшение увода оси, зависят от конкретного сочетания технологических параметров обработки (подачи, геометрии заточки режущих лезвий, амплитуды осевых колебаний шпинделя станка и др.).

Результаты экспериментальных исследований многопереходной обработки показывают, что по схеме 1 (при наихудшем варианте сочетания параметров) снижение увода составляет 0—30 %; по схеме 2 (при наилучшем варианте сочетания параметров) — на 37—54 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гузев В. И., Дерябин И. П., Кожарина О. А. Моделирование точности многопереходной обработки отверстий // Технология машиностроения. 2007. № 11. С. 21—24.
2. Гузев В. И., Дерябин И. П. Прогнозирование параметров точности при обработке отверстий // Технология машиностроения. 2006. № 4. С. 9—14.

М. А. ФЕДОРЕНКО, канд. техн. наук

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

Обеспечение точности обработки цилиндрической поверхности с учетом перемещения оси вращения в пространстве

При ремонтном восстановлении крупногабаритных деталей в условиях эксплуатации, когда конструкция агрегата не позволяет производить его демонтаж, приходится обрабатывать поверхности вращения при помощи различных металлообрабатывающих средств.

В различных видах промышленности применяют помольные мельницы, имеющие значительные габаритные размеры. Вся нагрузка в мельницах передается через две цапфы на опоры. При возникновении потери работоспособности их необходимо заменить или восстановить в условиях эксплуатации.

Обработка поверхности скольжения цапфы возможна только при базировании ее буртами на четыре опоры приставного станка.

Опорные бурты имеют небольшие отклонения по диаметру (± 3 мм) и в первом приближении их можно считать эллипсами, а поверхность скольжения — катеноидом, в силу того, что форма цилиндра искажается в процессе длительной эксплуатации. Расчетные схемы представлены на рис. 1, 2.

Для определения уравнения прямой 3 (см. рис. 1) образующей наклонного цилиндра в системе YZX, получаемого в резуль-

тате обработки) возьмем точку M_1 в системе $Y'Z'X'$ с координатами $(0, a - k, 0)$, и точку M_2 с координатами $(0, a - k - \Delta_a, 1)$.

Тогда уравнение прямой M_1M_2

$$\frac{y^*}{0} = \frac{z^* - a - k}{-\Delta_\alpha} = \frac{x^*}{l} = t.$$

Возьмем точку M' произвольно с координатами $M'_1(y', z', 0)$. Тогда соответствующая ей точка M'' на бурте 2 цилиндра будет $M''_2(y', z' - \Delta_a, 1)$. Уравнение образующей цилиндра

$$\frac{y^* - y'}{y' - y'} = \frac{z^* - z'}{-\Delta_\alpha} = \frac{x^*}{l} = t,$$

или в параметрическом виде

$$\begin{cases} y^* = y'; \\ z^* = z' - \Delta_a t; \\ x^* = lt, \end{cases}$$

где x^*, y^*, z^* — координаты точек, лежащих в цилиндре; Δ_α — угловое смещение оси $O'X''$, равное $ltg\theta$ (α — исходный угол поворота эллипса 2 (см. рис. 1)). Определим k : $k = a/2 - c$.

При вращении уравнение образующей будет изменяться, что учтено коэффициентом Δ_α . В данном случае y и x не изменяются за счет нового конструктивного решения — применения в качестве основания

модуля сферической поверхности, которая позволяет следить за смещением оси обрабатываемой цапфы.

Вывод уравнения поверхности, полученной при вращении цилиндра с учетом перемещения его оси в пространстве

Уравнение прямого кругового цилиндра в системе координат $Y''Z''X''$ (см. рис. 2)

$$(y'')^2 + (z'')^2 = R^2.$$

В рассматриваемом случае

$$y^2 + (z')^2 = R^2.$$

Кроме того, ось цилиндра сдвинута по оси OZ' на некоторую величину S , т. е. $|OZ'| = S$. Тогда $|OO'| = S \cos\theta$ и уравнение цилиндра будет иметь вид

$$y^2 + (z' - S \cos\theta)^2 = R^2,$$

где $z' = (x \sin\theta + z \cos\theta)$.

Плоскость $X'OY'$ повернута вокруг оси OY до положения, когда ось цилиндра перпендикулярна плоскости YOZ' .

Уравнение цилиндра в системе координат $XOYZ$

$$y^2 + (x \sin\theta + z \cos\theta - S \cos\theta)^2 = R^2.$$

Уравнение дает нам семейство кривых (образующих катеноида) для каждого фиксированного α . Если менять α , получим для фиксированных y, z, x кривые, описываемые этой точкой.

Запишем уравнение в векторной форме

$$\left. \begin{aligned} y &= r \cos\varphi \sin t; \\ z &= r \cos\varphi \cos t; \\ x &= r \sin\varphi, \end{aligned} \right\}$$

то есть

$$r = r[(\cos\varphi \sin t)\bar{i} + (\cos\varphi \cos t)\bar{j} + (\sin\varphi)\bar{k}].$$

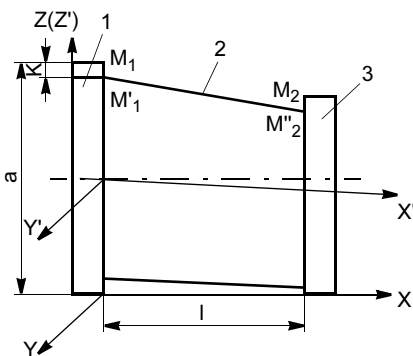


Рис. 1. Наклонный цилиндр в системе координат YZX

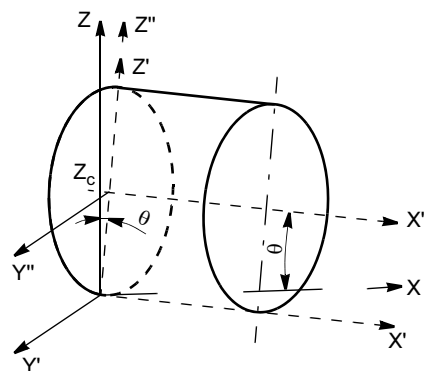


Рис. 2. Прямой круговой цилиндр в системе координат XOYZ

Выбирая произвольно y_i и при фиксированных x, θ, α находим z_i , где x_i, y_i, z_i — координаты точек катеноида. Затем, подставляя для каждого фиксированного x_i^* множество значений y_i^* , находим z_i^* . Для каждого z_i получим y_i^* . Используя метод наименьших квадратов, определим параметры кривой, по которой будет двигаться резец.

Зная угловую скорость $\omega = \omega_0 = \text{const}$, можно в каждый момент времени t фиксировать угол α . Зная координаты z, x , можно вычислить y, y^* и $\Delta y = |y - y^*|$ для данной точки. Полагая скорость поступательного движения резца $V = V(t)$, найдем

$$x = \int_0^{t_0} V(t) dt.$$

Возьмем дискретные значения промежутка времени

$$t_i, t_i + \Delta t, t_i + 2\Delta t, \dots, t_i + n\Delta t.$$

Соответственно этим значениям запишем углы α

$$\alpha_i, \alpha_i + \Delta\alpha, \alpha_i + 2\Delta\alpha, \dots, \alpha_i + n\Delta\alpha,$$

где $\alpha_i = 0, \alpha_i + n\Delta\alpha = \alpha_0, \Delta\alpha = \frac{\alpha_0}{n}$.

Считая, что y и z резца — постоянные, определим соответствующие значения x :

$$x_i, x_i + \Delta x, x_i + 2\Delta x, \dots, x_i + n\Delta x,$$

где $x_i = 0; x_i + n\Delta x = h; \Delta x = \frac{h}{n}$.

Можно также записать (при $\omega = \text{const}$), что

$$\Delta t = \frac{\Delta\alpha}{\omega}; \Delta t = \frac{\alpha_0}{n\omega}.$$

Следовательно, запишем значения x^*, y^*, z^* :

$$x_i^*, x_i^* + \Delta x^*, x_i^* + 2\Delta x^*, \dots, x_i^* + n\Delta x^* \text{ и т. д.}$$

Фиксируя z и перемещаясь по x с интервалом Δx (или $x = \int_0^t V(t) dt$), найдем соответствующие значения y . Иначе, зная, что $V(t) = \frac{dx}{dt}$,

можно при фиксированном z задать такую функцию $x = f(t)$, что

$$\sum_{n=1}^k |y - y^*|^2 \rightarrow \min. \text{ Более того,}$$

$$V_y(t) = \frac{dy}{dt}, V_z(t) = \frac{dz}{dt}, V_x(t) = \frac{dx}{dt}.$$

Подбираем $V(t)$

$$V(t) = \sqrt{\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dx}{dt}\right)^2}$$

так, чтобы

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \sum_{n=1}^k |y - y^*|^2 \\ S_2 &= \sum_{n=1}^k |z - z^*|^2 \\ S_3 &= \sum_{n=1}^k |x - x^*|^2 \end{aligned} \right\} \rightarrow \min.$$

Одну из функций $y = y(t), z = z(t), x = x(t)$ можно задать произвольно за счет задания угловой скорости. Задается $z = z(t)$. Тогда $y = y(t)$ — подачу резца и $x = x(t)$ — функцию поступательного перемещения необходимо найти. Вообще говоря, можно задать и подачу резца. Тогда $x = x(t)$ определится однозначно из формулы.

Однако, если учесть, что

$$\Delta x = \int_0^{\Delta t} V(t) dt = \int_0^{\alpha/n\omega} V(t) dt;$$

$$\frac{h}{n} = \int_0^{\alpha_0/n\omega} V(t) dt =$$

$$= F\left(\frac{\alpha_0}{n\omega}\right) - F(0) = F\left(\frac{\alpha_0}{n\omega}\right),$$

то следует подобрать такую функцию $F(t)$, которая при $t = \frac{\alpha_0}{n\omega}$ будет

равна $\frac{h}{n}$. Тогда $x(t) = F(t)$, если сможем найти $x(t)$. При этом подбираем $x(t)$ таким, чтобы $S_3 \rightarrow \min$, т. е.

$$S_3 = \sum_{n=1}^k \left| \left(\int_0^t V(t) dt \right) - ht \right|^2 \rightarrow \min;$$

$$\frac{\partial S_3}{\partial t} = 2 \left(\sum_{n=1}^k \left| \left(\int_0^t V(t) dt \right) - ht \right| \right) \times (V(t) - h) = 0,$$

т. е. $V(t) = h$ — это h в формуле $x^* = ht$.

$$S_1 =$$

$$= \sum_{n=1}^k |y - (y \cos \omega t + z \sin \omega t)|^2 \rightarrow \min;$$

$$\frac{\partial S_1}{\partial t} =$$

$$= 2 \left(\sum_{n=1}^k |y - (y \cos \omega t + z \sin \omega t)| \right) \times$$

$$\times (y \omega \sin \omega t - z \omega \cos \omega t) = 0;$$

$$y \omega \sin \omega t = z \omega \cos \omega t, \frac{x}{z} = \text{tg } \omega t;$$

$$S_2 = \sum_{n=1}^k |y \text{tg } \omega t - (-y \sin \omega t +$$

$$+ y \text{tg } \omega t \cos \omega t) - a - \delta(\omega t) + \Delta_\alpha t|^2 =$$

$$= \sum_{n=1}^k |y \text{tg } \omega t - a - \delta(\omega t) + \Delta_\alpha t|^2 \rightarrow \min;$$

$$\frac{\partial S_2}{\partial t} = 2 \left(\sum_{n=1}^k |y \text{tg } \omega t - (-y \sin \omega t +$$

$$+ y \text{tg } \omega t \cos \omega t) - a - \delta(\omega t) + \Delta_\alpha t| \right) \times$$

$$\times \left(\frac{y \omega}{\cos^2 \omega t} - \omega \delta'(\omega t) + (\Delta_\alpha t)' = 0 \right);$$

$$\frac{y \omega}{\cos^2 \omega t} = \omega \delta'(\omega t) - (\Delta_\alpha t)'$$

Найдем $y = \psi(t)$.

Таким образом, в результате математических вычислений получена система уравнений, которая позволяет определить траекторию движения резца

$$\Delta y = |y_i - y^*|;$$

$$\Delta z = |z_{ij} - z^*|;$$

$$\Delta x = |x_{ijk} - x^*|.$$

Это в свою очередь обеспечивает получение цилиндрической поверхности при обработке катеноида, расположенного между двумя эллиптическими буртами, базирующимися на четырех роликах.

С. М. МИХАЙЛИН, канд. техн. наук, С. В. ЖДАНОВ, инж.

Подготовка формовочной смеси и полуфабрикатов абразивных изделий для высокочастотной бакелизации

Современные промышленные технологии изготовления абразивных инструментов на органических терморезактивных связках (в частности бакелитовой) включают ряд последовательно выполняемых технологических операций, важнейшей из которых является термическая обработка полуфабрикатов этих инструментов в печах (бакелизаторах). Термическую обработку ведут конвективным методом по заданному режиму в течение 13—40 ч в зависимости от рецептурных характеристик инструмента и его размеров. Кроме больших длительности цикла и энергозатрат эти технологии имеют еще один существенный недостаток, связанный с неравномерным распределением температуры по объему полуфабриката в процессе его нагрева, что в конечном итоге приводит к неоднородности физико-механических свойств инструмента.

Наиболее перспективной представляется возможность резкого сокращения (до 4—6 ч и менее) длительности цикла термической обработки полуфабрикатов абразивных инструментов и других изделий на органических терморезактивных связках за счет применения микроволнового нагрева под воздействием сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения¹. Сокращение длительности операции термической обработки и удельных энергозатрат, а также повышение качества абразивных инструментов обеспечивается в этом случае за счет более равномерного и быстрого нагрева связки и абразивных зерен по всему объему полуфабриката абразивного инструмента по сравнению с традиционной технологией.

Шлифовальные круги (ШК) на бакелитовой связке формируют путем холодного прессования из полусухих смесей шлифовального зерна, связующего, увлажнителя и наполнителя. В качестве связующего часто применяют пульвербакелит СФП-012А, в качестве увлажнителя (временного связующего) — жидкий бакелит БЖЗ, в качестве наполнителя — гипс строительный.

Фактором, лимитирующим скорость нагрева полуфабриката при его термической обработке как

в конвекционных бакелизаторах, так и в СВЧ-установках, а значит, и производительность операции бакелизации, является неизбежное выделение из связки низкомолекулярных продуктов (воды, фенола, аммиака и др.), которые при высоких скоростях их образования и в условиях ограниченной пористости полуфабрикатов ШК могут привести к деформациям размягченных полуфабрикатов — так называемому "вспучиванию". С целью существенного ослабления негативного влияния этого фактора на процесс бакелизации полуфабрикатов в технологические процессы изготовления абразивных инструментов вводят операцию подготовки полуфабрикатов к термической обработке: после извлечения полуфабрикатов ШК из пресс-формы их устанавливают с помощью специальных захватов на подкладные плиты для сушки (старения) на открытом воздухе в течение суток или более либо для принудительной сушки в сушилке при температуре не выше 40 °С в течение 5—6 ч. Альтернативным решением может быть старение смеси перед операцией прессования полуфабрикатов.

Специалистами ОАО "Димитровградхиммаш" и лаборатории абразивной обработки УЛГТУ с целью разработки технологического регламента на подготовку смесей и полуфабрикатов ШК для СВЧ-бакелизации проведено экспериментальное исследование естественного (на открытом воздухе) и искусственного (в установке СВЧ-бакелизации и конвекционном сушилке) старения смеси и полуфабрикатов ШК. Основой оценки эффективности старения послужило изменение массы Δm определенного объема (пробы) смеси или фрагмента полуфабриката во времени. Отслеживали влияние на Δm толщины слоя смеси при естественном старении, температуры искусственного старения смеси и полуфабрикатов, исходных свойств компонентов формовочной смеси.

Естественное старение формовочной смеси проводили в цехе и центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) при 18 ± 2 °С и влажности воздуха не более 65 %. В первом случае слой смеси толщиной h_c , равной 10 мм, размещали на металлическом поддоне или полиэтиленовой пленке, во втором (30 мм) —

¹ Патент 2294825 (РФ).

в стеклянных бюксах (m_c соответственно равна 10—35 и 65—85 г) или стаканах ($h_c = 60$ мм, $m_c = 190 \div 210$ г). Бюксы и стаканы высушивали и взвешивали на весах ВЛАО-200 (предельная масса 200 г) или Т-200 (до 1000 г), фиксируя их массу m_δ .

В момент готовности замеса формовочной массы отбирали его среднюю пробу из четырех точек общей массой 7 кг. Методом квартования получали пробу массой 0,5—1,0 кг, которую делили на части и засыпали в бюксы или стаканы до необходимой высоты слоя. Параллельно исследовали две—три пробы с одной высотой слоя смеси. Бюксу или стакан с пробой взвешивали, фиксируя их общую массу m_0 . Исходная масса пробы смеси $m_c = m_0 - m_\delta$.

Далее массу бюксы (стакана) с пробой контролировали через 2, 3, 4, 5, 6, 24, 27, 30 и 48 ч. Уменьшение массы пробы Δm_c (%) во время естественного старения смеси

$$\Delta m_c = \frac{m_c - m_{c_i}}{m_c} 100, \quad (1)$$

где m_{c_i} — масса пробы смеси в данное контрольное время (г), равная $m_0 - m_\delta$.

Установлено, что уменьшение массы смеси во время ее естественного старения практически не зависит от толщины слоя смеси — кривые зависимости $\Delta m = f(\tau_c)$ (рис. 1) эквидистантны. Скорость изменения Δm после 20—24 ч старения стабилизируется: все кривые при $\tau_c > 20$ —24 ч можно заменить без заметной погрешности отрезками прямых линий. Абсолютные значения уменьшения массы смеси при толщине ее слоев 10 и 30 мм практически одинаковы и намного — примерно в 3 раза в начале цикла

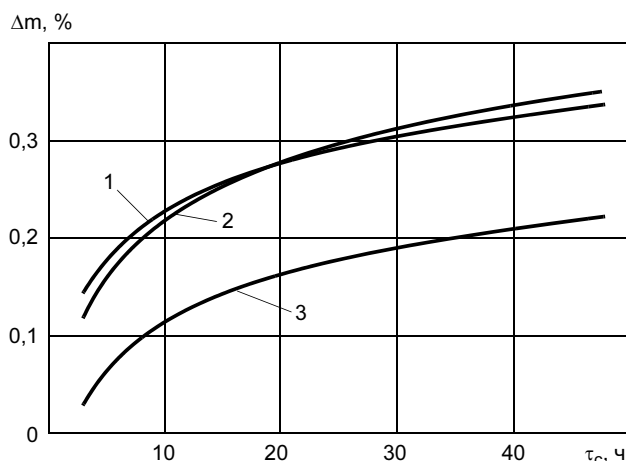


Рис. 1. Зависимость уменьшения массы смеси от продолжительности естественного старения (линии логарифмического тренда): 1—3 — толщина слоя смеси 10, 30 и 60 мм соответственно

старения и в 1,4 раза в его конце (при $\tau_c = 48$ ч) — больше, чем при толщине слоя 60 мм.

В процессе старения смесь, как правило, подсыхает и твердеет. Образуются комки или она вся превращается в один твердый кусок. Для прессования состаренной в течение 24 ч и более смеси необходимо большое давление, которое может привести к разрушению шлифзерна и сокращению срока службы оснастки. Нагрев прессформы (60—80 °С) значительно уменьшает усилие прессования за счет размягчения связки. Однако при этом из связки интенсивно выделяются фенол и формальдегид, ухудшая санитарные условия в рабочей зоне. В рассматриваемом случае для формовки без нагрева прессформы (холодное прессование) продолжительность естественного старения не должна превышать 6—7 ч. Известны способы предотвращения образования комков и ускорения процессов старения путем улучшения консистенции формовочных смесей при помощи жидких и порошкообразных присадок. Фурфурол и другие растворители вводят для улучшения сольватирующих свойств жидкого бакелита, силикагель — для подсушивания смеси, антраценовое масло — для предотвращения слеживания смеси и др. Однако эти присадки ухудшают санитарные условия и увеличивают пожароопасность в рабочей зоне, увеличивают себестоимость и снижают физико-механические свойства абразивных изделий.

Во многих случаях предпочтителен вариант ускорения естественного старения формовочной смеси для холодного прессования путем ее периодического ворошения или повторного просеивания.

По приведенной методике исследовали изменение массы проб смеси, которые распределили по трем группам: первая группа — смесь ворошили, разбивая образовавшиеся комки, через каждые 30 мин в течение первых четырех часов старения (8 раз); толщина слоя смеси в пробе 30 и 60 мм; вторая группа — через 60 мин после начала старения смесь просеивали через сито с ячейкой, на 2 мм большей размера абразивного зерна основной фракции шлифовального круга, для изготовления которого предназначена формовочная смесь; толщина слоя 30 и 60 мм; третья группа (база для сравнения) — смесь лежала слоем толщиной 30 мм и не подвергалась механическому воздействию.

Оба способа механического воздействия на формовочную смесь в процессе ее естественного старения обеспечивают ускорение потери массы смеси. Об этом свидетельствует (рис. 2) попарное сравнение кривых 1 и 3, 2 и 3 (при толщине слоя 30 мм): например, после старения в течение 24 ч образцы первой группы потеряли 0,25 % массы, второй группы — 0,28 %, третьей — 0,225 %; после 48 ч старения значения Δm составили соответственно 0,3, 0,36 и 0,275 %. Однократное просеивание смеси по-

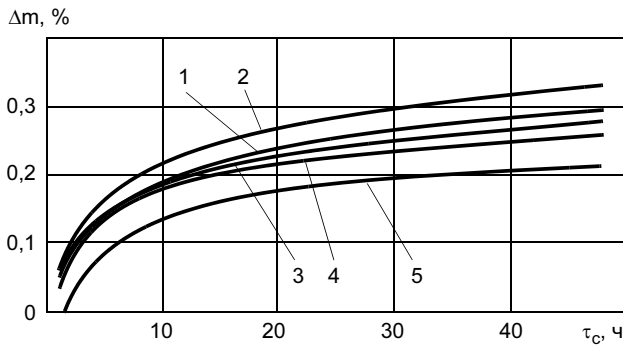


Рис. 2. Зависимость уменьшения массы смеси от продолжительности естественного старения с ворошением и просеиванием: 1 — образцы 1-й группы, слой толщиной 30 мм; 2 — 2-я группа, 30 мм; 3 — 3-я группа, 30 мм; 4 — 1-я группа, 60 мм; 5 — 2-я группа, 60 мм

Таблица 1

| Свойство БЖЗ | Партия | |
|------------------------------------|--------|-------|
| | № 1 | № 2 |
| Вязкость, Па · с | 5,0 | 7,0 |
| Время желатинизации, с | 143,0 | 128,0 |
| Массовая доля свободного фенола, % | 12,7 | 11,4 |
| Потери при поликонденсации, % | 26,4 | 27,7 |
| Массовая доля свободной воды, % | 19,0 | 16,3 |

Таблица 2

| Свойство СФП-012АЗ | Партия | |
|--------------------------|--------|-----|
| | № 1 | № 2 |
| Текучесть, мм | 58 | 65 |
| Содержание уротропина, % | 7,5 | 7,5 |
| Остаток на сите 01К, % | 0,1 | 0,1 |

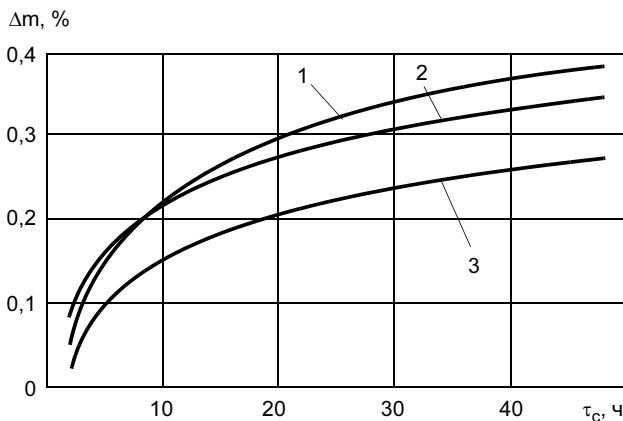


Рис. 3. Зависимость уменьшения массы смеси при естественном старении при толщине слоя 30 мм: 1 — БЖ-3 партии № 1, СФП партии № 1; 2 — БЖ-3 партии № 2, СФП партии № 1; 3 — БЖ-3 партии № 2, СФП партии № 2 (см. табл. 1 и 2)

сле 60 мин старения оказалось значительно более эффективным средством интенсификации отвода из смеси свободного фенола и воды, а значит, и увеличения Δm . Как и ранее (см. рис. 1), уменьшение толщины слоя смеси с 60 до 30 мм во всех случаях приводит к увеличению Δm (кривые 1 и 4, 2 и 5 — см. рис. 2).

Изменение свойств сырьевых компонентов оказывает определенное влияние на уменьшение массы смеси Δm_c при естественном старении. Например, уменьшение содержания свободного фенола и воды в жидком бакелите (БЖЗ) наряду с увеличением его вязкости до 7 Па · с приводит к уменьшению выделения балластных веществ (табл. 1, рис. 3). Этот эффект проявляется ярче, если в сочетании с указанным жидким бакелитом применяется pulver-бакелит (СФП) с увеличенной (более 60 мм) текучестью (табл. 2, рис. 3).

Для исследования естественного старения полуфабрикатов их разделяли на фрагменты массой не более 200 г. В ЦЗЛ взвешиванием определяли их исходные массы M_0 и укладывали фрагменты полуфабрикатов на стеклянный поддон. Контрольное взвешивание проводили через указанные интервалы времени, исследуя параллельно старение двух-трех фрагментов. Уменьшение массы фрагмента

$$\Delta M = \frac{M_0 - M_i}{M_0} 100. \quad (2)$$

где M_i — масса фрагмента полуфабриката в данное контрольное время.

Как и следовало ожидать, процесс удаления балластных веществ из смеси идет быстрее, чем из полуфабрикатов (рис. 4), причем время старения полуфабриката не влияет на твердость ШК. Старение полуфабрикатов в течение 24 ч и более перед их термической обработкой способствует резкому умень-

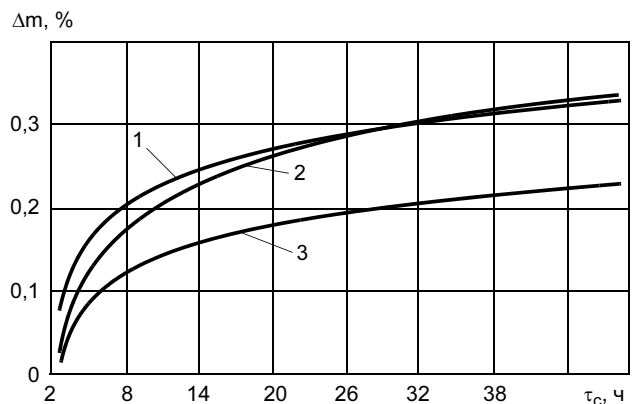


Рис. 4. Зависимость уменьшения массы смеси и фрагмента полуфабриката от продолжительности естественного старения: 1, 2 — толщина слоя смеси 10 и 30 мм соответственно; 3 — фрагмент полуфабриката

шению искажений макрогеометрических параметров ШК, а в ряде случаев и к полному исключению необходимости их механической обработки.

В результате анализа результатов 36 экспериментов по СВЧ-бакелизации ШК нескольких типоразмеров $150 \times (20, 25, 32) \times 32$, $300 \times 40 \times 76$ и $600 \times 63 \times 305$

Несмотря на относительно малую потерю массы во время старения смеси, приготовленной на основе сырья партии № 2 (см. рис. 3), брак по макрогеометрии ШК удалось исключить полностью даже при старении смеси в течение 1—4 ч. В то же время установлено, что заданная точность геометрической формы шлифовальных кругов, полуфабрикаты которых не подвергали естественному старению, не обеспечивается.

Искусственное старение смеси и полуфабрикатов ШК проводили по единой методике: бюксы и стаканы высушивали до постоянства их массы при температуре искусственного старения смеси (50 °С), после чего выдерживали в эксикаторе в течение 8 мин. Пробу смеси делили на части и засыпали в посуду слоем 30 мм. Определяли взвешиванием исходную массу пробы по формуле (1). Пробы помещали в сушильный шкаф, разогретый до температуры искусственного старения. Контрольное взвешивание проводили через каждые 0,5 ч в течение 6 ч. Уменьшение массы фрагмента ШК Δm_c определяли по формуле (1). Взвешенные фрагменты ШК также помещали в сушильный шкаф и проводили периодическое контрольное взвешивание. Уменьшение массы фрагмента ШК рассчитывали по формуле (2).

Скорость удаления балластных веществ в течение времени искусственного старения смеси выше в 3—4 раза и более превышает скорость естественного старения (рис. 5): после 6 ч искусственного старения при 50 °С масса смеси уменьшается так же, как после 48 ч естественного старения. При этом искусственное старение приводит к отверждению смеси как и при естественном старении.

При искусственном старении фрагментов полуфабрикатов ШК (см. рис. 5) в течение 2,5 ч достигается потеря массы Δm , сравнимая с ее значением через 24 ч естественного старения смеси. Во время

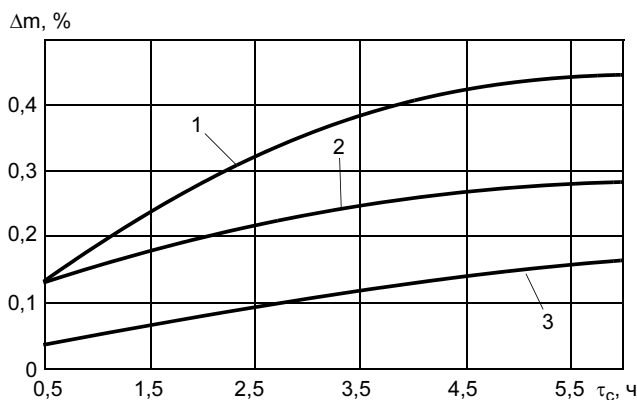


Рис. 5. Зависимость уменьшения массы смеси (1) и фрагмента полуфабриката (2) от продолжительности искусственного старения и смеси — от продолжительности естественного старения (3) при толщине слоя смеси 30 мм

длительной выдержки при 50 °С геометрические параметры полуфабрикатов не изменяются.

При введении в программу СВЧ-бакелизации участка искусственного старения (50 °С) в течение 30 мин значительно улучшается геометрическая форма полуфабрикатов, стабилизируется твердость ШК в партии и создается возможность ускорения всего процесса СВЧ-бакелизации.

По результатам выполненных исследований предлагаются следующие рекомендации по технологии подготовки формовочных смесей и полуфабрикатов абразивных изделий (шлифовальных кругов) к СВЧ-бакелизации:

- использовать бакелит жидкий с массовой долей свободного фенола и воды не более 12 и 17 % соответственно;
- после приготовления смеси просеять ее через сито с ячейкой, на 2 мм большей размера основной фракции абразивного зерна, предназначенного для изготовления абразивного инструмента;
- естественное старение смеси проводить при толщине ее слоя не более 30 мм длительностью 1—7 ч (по мере расхода замеса смеси);
- во время естественного старения ворошить смесь, препятствуя образованию комков, через 0,5, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5 и 4,0 ч. Через 1 ч старения смеси просеять ее повторно;
- после холодного прессования проводить естественное старение полуфабрикатов в течение 24 ч;
- включить в программу СВЧ-бакелизации начальный участок выдержки при 50 °С в течение 0,5 ч.

Данные рекомендации позволяют стабильно получать абразивные изделия требуемого качества по геометрической форме и твердости, а также обеспечивают резерв для ускорения процесса СВЧ-бакелизации.

А. А. АЛЛАС, В. С. НОВОСАДОВ
МГУ пищевых производств (Москва)

Технологические особенности формирования адгезионных соединений при лазерной пайке в сборочно-монтажном производстве

Формирование адгезионного соединения (с минимальным развитием диффузионных процессов в области межфазных границ) позволяет избежать образования хрупких интерметаллидов и получить максимально прочное и надежное соединение. Для этого требуется обеспечить качественное смачивание поверхностей при минимальном времени контактирования фаз и быстром охлаждении соединения. Очевидно, что при кратковременных тепловых воздействиях, когда время пайки сравнимо с временем смачивания, существенное влияние на прочностные свойства будет оказывать активность флюсов.

В данной работе исследовали возможность формирования адгезионного соединения, обладающего повышенными прочностными свойствами.

С помощью менискографа измеряли время смачивания меди припоем ПОС-61 со спирто-канифольным флюсом ФКС и флюсующей связкой 2-МФ, входящей в состав паяльной пасты 11233. Установили, что флюс 2-МФ обладает более высокой активностью, чем флюс ФКС. Оптимизация режимов лазерной пайки предварительно луженых поверхностей в диапазоне температур 200—260 °С, выполненная с применением методов планирования эксперимента, позволяет сделать вывод о том, что при использовании флюса 2-МФ оптимальное время пайки меньше 0,4 с, что в 2—3 раза меньше по сравнению с флюсом ФКС.

Анализ температурно-временных режимов контактного (паяльником) и бесконтактного (лазером) способов пайки интегральных микросхем с планарными выводами (ковар с покрытием золотом толщиной 6—10 мкм) на медные платы печатного монтажа припоем ПОС-61 показывает, что время взаимодействия твердых и жидких фаз не превышает 1—3 с при пайке ручным паяльником и 0,1—0,8 с при непрерывной пайке лазером со скоростью $v = 2 \div 11$ мм/с.

Лазерная пайка характеризуется большей стабильностью температурно-временных режимов и высокими скоростями нагрева начиная с температуры плавления припоя, и на порядок меньшим временем контактирования фаз по сравнению с ручной пайкой термостабилизированным паяльником. Численное моделирование процессов массопереноса на движущейся межфазной границе с учетом граничной кинетики растворения показывает, что время получения адгезионных соединений не должно существенно превышать 0,3—0,4 с.

При анализе шлифов паяных соединений, выполненных лазерной пайкой с применением флюса 2-МФ, наблюдается мелкокристаллическая структура без интерметаллидов в области межфазных границ. Прочность соединений в 2—4 раза выше по сравнению с ручной пайкой, при высокой стабильности механических свойств. При времени контактирования 0,1 с наблюдается начальная стадия растворения золота и меди в расплаве. Ширина диффузионной зоны при зазоре 100 мкм не превышает 20—30 мкм со стороны золотого покрытия. Увеличение времени контактирования фаз до 0,2 с приводит к частичному его растворению на глубину 3—5 мкм. Времени 0,8 с достаточно для практически полного растворения золотого покрытия и достижения атомами меди противоположной межфазной границы.

Таким образом, задача формирования адгезионного соединения, обладающего повышенными прочностными свойствами, может быть решена с применением лазерной пайки. Анализ химического состава и структуры соединений показал, что более высокие механические свойства швов при лазерной пайке обусловлены не только отсутствием химических соединений на межфазных границах, но и увеличением на порядок дисперсности фаз, фиксируемых в зазоре при кристаллизации.

С. С. БАКУЛИН, инж.

Филиал НИИД ФГУП "ММП "Салют" (Москва)

Особенности пайки тонкостенных конструкций из жаропрочных никелевых сплавов

В данной работе рассмотрена пайка тонкостенных изделий на примере жаропрочного никелевого сплава ВДУ-2Р. При разработке технологии пайки данного сплава в виде фольги выявлены некоторые особенности процесса, связанные с физико-химическим взаимодействием припоя с паяемым материалом. Оптимальная технология пайки предполагает учет данного взаимодействия.

Исследования проводили на образцах — имитаторах реальных изделий. Тип соединений соответствовал конструкции пластинчато-ребристых теплообменников. Пайку образцов производили в вакууме с остаточным давлением 10^{-2} Па жаропрочным припоем сложного состава на основе системы Ni—В с температурой ликвидуса около $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Припой наносили на фольгу напылением в вакууме. Время выдержки при температуре $1270\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляло 20 мин. При пайке фольгу прижимали к сопрягаемой детали с давлением до $6 \cdot 10^4$ Па. Толщина покрытия составляла от 10 до 50 мкм. Несмотря на применение давления, паяные швы имели дефекты в виде отсутствия галтелей и непропаев значительной площади.

Для выяснения причин низкого качества пайки исследовали взаимодействие припоя с фольгой. Фольга толщиной 100 мкм была покрыта с одной стороны слоем припоя толщиной 30 мкм. Образцы фольги размером 7×100 мм отжигали в вакууме 10^{-2} Па в интервале температур $1080\text{—}1280\text{ }^{\circ}\text{C}$. Время нагрева составляло 10 мин, время выдержки — от 5 до 25 мин. После отжига изучали структуру фольги, а также определяли относительное удлинение и предел прочности при растяжении на установке "Инстрон".

Методами металлографического анализа установлено, что взаимодействие припоя с материалом фольги носит сложный характер и включает следующие последовательно протекающие процессы: оплавление части припоя; смачивание жидкой фазой припоя материала фольги; растворение припоем границ зерен и капиллярную пропитку фольги; объемную диффузию элементов припоя в основной материал.

Появление следов жидкой фазы наблюдается при температуре $1080\text{—}1150\text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует образованию эвтектик на диаграмме состояний системы Ni—В. Однако вплоть до верхней границы исследованного диапазона температур некоторая часть припоя остается в твердом состоянии. Это можно объяснить обеднением покрытия бором из-за его диффузии в фольгу и насыщением припоя никелем за счет растворения материала фольги. Пропитка фольги жидким припоем происходит по границам зерен. Условно этот процесс можно разбить на две стадии.

На первой стадии происходит растворение отдельных участков поверхности фольги, которые совпадают с местами пересечения границ нескольких соседних зерен, на второй — расширение и углубление капилляров, заполненных припоем. С увеличением температуры и времени выдержки количество таких участков увеличивается до образования сплошной сети капилляров, по которым припой проходит фольгу насквозь. Зависимость относительно количества этих участков от времени при температуре $1270\text{ }^{\circ}\text{C}$ можно описать эмпирическим уравнением

$$\frac{N}{S} = 0,33\sqrt{t} - 0,80,$$

где N — количество зон травления (интенсивного растворения границ зерен); S — площадь фольги, на которой производится подсчет, мм^2 ; t — время выдержки, мин.

Результаты экспериментов показали, что пропитка фольги припоем достигает насыщения практически за 20 мин выдержки. Время задержки процесса выхода припоя на противоположную сторону фольги (определенное по приведенному уравнению) составляет 6 мин.

Капиллярно-диффузионное взаимодействие припоя с фольгой играет существенную роль в формировании паяного соединения, так как на него расходуется значительное количество припоя. Кроме того, это взаимодействие приводит к изменению свойств основного материала: относительное удлинение увеличивается до 8 %, предел прочности несколько уменьшается.

Большая площадь непропаев объясняется недостаточным количеством жидкого припоя, который частично расходуется на взаимодействие с материалом фольги.

Необходимо учитывать, что расходование металлического расплава на пропитку фольги не является единственным фактором, определяющим наличие непропаев. Толщина жидкого слоя при образовании паяного соединения определяется термодинамическим состоянием капиллярной системы припой — паяемый материал.

С учетом физико-химического взаимодействия припоя с основным материалом разработана оптимальная технология пайки. При этом получены качественные паяные соединения тонкостенных изделий из жаропрочного никелевого сплава ВДУ-2Р с развитыми галтелями и отсутствием непропаев, с ограниченным изменением структуры и свойств основного материала.

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА И РОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

П. Г. БАБЕНКО, канд. техн. наук
(ООО "ИнтерСЭЛТ"),

И. Н. ИВАНОВ, канд. техн. наук
(ОАО "ВНИИинструмент")

Высокочастотные индукторы для индукционной пайки

Эффективность и потребность в высокочастотной индукционной нагревательной технологии обусловлены тем, что многие операции в машиностроении, энергетике, транспорте невозможно выполнить другим способом либо ввиду низкой эффективности другой технологии. Индукционная пайка по сравнению с печной и газопламенной отличается более высокой производительностью, менее тяжелыми условиями труда, обеспечивает четкую фиксацию взаимного положения паяемых деталей, пониженный расход припоев и флюсов, возможность механизации и автоматизации процесса, получение более плотных швов. В ряде случаев применение индукционного нагрева позволяет повысить прочность паяных соединений. Так, трубопроводы из коррозионно-стойкой стали, паяные при высокочастотном нагреве, имеют предел выносливости на 30 % выше, чем выполненные газопламенной пайкой. Перечисленные преимущества обеспечили индукционной пайке широкое применение во всех отраслях машиностроения, особенно в инструментальном производстве, где 80 % металлорежущего и горно-бурового инструмента с припаянными твердосплавными режущими элементами выполняется индукционной пайкой, а также в электротехнической промышленности для получения паяных соединений в медных токопроводах.

Наиболее широко применяется индукционная пайка при высоких частотах тока — от 1 кГц до 1,76 МГц. Преимуществами высокочастотных индукторов являются малые габаритные размеры, небольшое число витков и возможность придания им любой формы, что позволяет проводить пайку деталей и узлов в труднодоступных местах.

Для нагрева конкретных паяемых узлов требуется индивидуальная разработка индукторов, конструкция которых зависит от размеров и конфигурации нагреваемого узла, количества узлов, подвергающихся одновременной пайке, способа их загрузки и выгрузки, электрофизических свойств паяемых деталей, мощности и частоты источника питания. Следует стремиться к применению охватывающих конструкций индукторов, когда индуктирующий провод располагается снаружи паяемого узла и повторяет конфигурацию изделия в зоне пайки. Охватывающие

индукторы обладают более высоким КПД и испытывают значительно меньшее результирующее влияние электродинамических сил, направленных на изменение положения индуктора относительно детали.

Наибольшее применение для пайки имеют одновитковые индукторы, позволяющие получить местный нагрев в узкой зоне. Возможно применение и многовитковых индукторов в случаях, когда необходимо согласовать сопротивление нагрузки с параметрами источника питания, когда велика (более 20—25 мм) ширина нагреваемой зоны или необходимо понизить ток в индуктирующем проводе, сохранив электрическую мощность.

Одним из перспективных направлений в разработке конструкций индукторов является использование магнитопроводов, которые позволяют значительно уменьшить магнитное сопротивление по пути замыкания магнитного потока в воздухе, тем самым улучшив энергетические характеристики индуктора. Абсолютная мощность, передаваемая в нагреваемую поверхность индуктором с магнитопроводом при одном и том же значении тока в индукторе, увеличивается в 4,5—7,0 раз по сравнению с таким же индуктором без магнитопровода. КПД при этом возрастает в среднем примерно в 2,0—2,5 раза при зазоре между индуктором и нагреваемой поверхностью, равном 0,5—3,0 мм.

Расчет индуктора для пайки представляет значительные трудности. Фактически большинство индукторов для пайки конструируют на основании практического опыта с последующей доводкой их после проверки в работе. Ориентировочный расчет может быть выполнен аналогично расчету закалочных индукторов исходя из требуемой мощности для нагрева детали в заданное время.

ООО "ИнтерСЭЛТ" является динамично развивающейся фирмой, имеющей в своем арсенале высокий научно-технический потенциал и большой практический опыт в разработке оборудования для высокочастотного индукционного нагрева как в области современных транзисторных преобразователей частоты, так и в области уникальных конструкций высокочастотных индукторов. В настоящее время фирма освоила выпуск установок индукцион-

ного нагрева в диапазоне мощностей 10—160 кВт, с частотами преобразования 7—70 кГц. Основными преимуществами оборудования являются экономичность, высокий КПД (не ниже 95 %), малые габаритные размеры и масса (1—2 кг/кВт), наличие воздушного охлаждения силовых элементов, высокая степень программного управления параметрами нагрева, контроля и диагностики, универсальность по отношению к различным технологическим применениям: пайке и термической обработке инструмента, плавке металла, закалке изделий, нагреву заготовок перед пластической деформацией.

Для пайки инструмента успешно внедряются и эксплуатируются установки моделей СЭЛТ-001-10(30, 60)/44, с номинальной мощностью 10, 30 и 60 кВт, номинальной частотой 44 кГц. Ши-

рокий диапазон выходных параметров и автоподстройки преобразователей частоты позволяет использовать имеющийся на производстве арсенал индукторов, а также проектировать новые индукторы разнообразной формы со значительно отличающимися геометрическими размерами без дополнительных настроек преобразователей.

Успешному внедрению оборудования, производимого ООО "ИнтерСЭЛТ", способствует сотрудничество с ОАО "ВНИИинструмент". Практический опыт и современные разработки института в области припоев, флюсов, технологий пайки и термической обработки инструмента в сочетании с современным эффективным оборудованием обеспечивают высокие результаты и возможность создания передовых технологий.

С. Г. МЧЕДЛОВ, канд. техн. наук
Саратовский ГТУ

Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин (обзор).

Ч. 1. Газопламенное и детонационное напыление

Развитие современной техники характеризуется дальнейшей интенсификацией режимов работы машин, аппаратов, механизмов и др., что приводит к увеличению эксплуатационных температур, давлений, скоростей, т. е. повышению нагрузок на рабочую поверхность деталей, и особенно работающих в подвижном сопряжении. Это обстоятельство поднимает актуальность проблемы надежности и ресурса узлов и деталей машин и изделия в целом на более высокий уровень.

Известно, что основной причиной отказов в работе машин и других технических изделий является не их поломка, а износ рабочих поверхностей деталей.

Решение проблем повышения надежности и ресурса различного вида технических устройств на современном этапе развития науки и техники осуществляется по ряду направлений, в том числе [1—4] и др.:

- модернизация существующих устройств;
- повышение эксплуатационных характеристик (показателей качества) деталей за счет замены конструктивных материалов новыми с улучшенными химико-физико-механическими свойствами;
- создание принципиально новых конструкций изделий.

Повышение надежности и ресурса деталей путем замены конструктивных материалов обнаружилось важным обстоятельством: материалы "старого

типа" в условиях интенсивных режимов работы не обеспечивают высокие требования надежности. Такое положение сдерживает развитие новой техники, что в свою очередь вызывает необходимость проведения следующих работ [1, 3, 5]:

- разработку новых перспективных конструктивных материалов на базе модернизированных и принципиально новых металлургических процессов, новых типов смазок, новых типов защитных покрытий на рабочей поверхности деталей машин, в том числе антифрикционных, износостойких с использованием прогрессивных технологий;
- проектирование деталей композиционной структуры, у которых конструктивная основа изготовлена из недорогого, но обеспечивающего номинальную механическую прочность материала, поверх которого нанесен рабочий слой из материала, обеспечивающего заданные функциональные свойства рабочей поверхности. Функциональные покрытия могут состоять из одного однородного или гетерогенного слоя, а также иметь многослойную структуру.

В современной промышленности способы нанесения функциональных покрытий группируют и классифицируют по определенному принципу, при этом имеет место взаимное внедрение одной классификации в другую, что заставляет глубже дифферен-

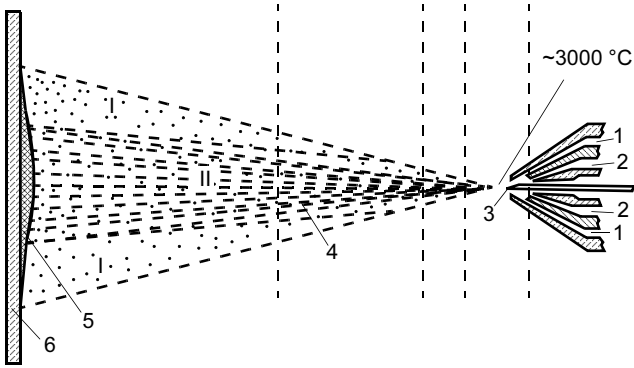


Рис. 1. Схема газопламенного напыления покрытий: 1 — сжатый воздух (защитный газ); 2 — горючий газ с кислородом; 3 — напыляемый материал; 4 — напыляемые частицы (0,02—0,04 мм); 5 — покрытие; 6 — субстрат (основа) (130—200 °С); I — наружная часть струи (частицы обладают плохой свариваемостью); II — центральная часть струи — ядро (частицы обладают хорошей свариваемостью)

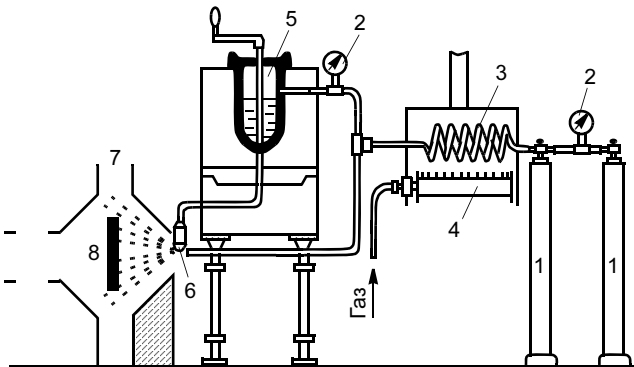


Рис. 2. Схема первой стационарной металлизационной установки: 1 — сжатый газ (углекислый); 2 — манометр; 3 — змеевик для подогрева газа; 4 — горелка; 5 — тигель для плавления металла; 6 — распылительное сопло; 7 — вентиляционная камера; 8 — напыляемое изделие

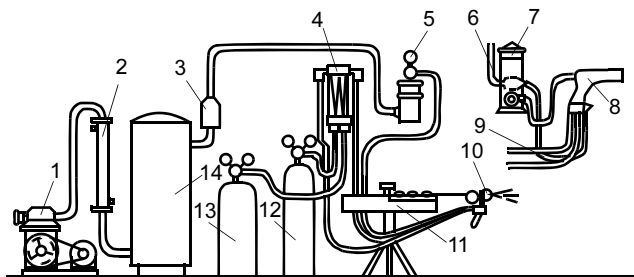


Рис. 3. Схема установки для газопламенного напыления проволочного и порошкового материалов: 1 — компрессор; 2 — теплообменник; 3 — осушитель; 4 — расходомер; 5 — регулятор для регулирования подачи сжатого воздуха; 6 — подвод к регулятору подачи сжатого воздуха; 7 — бункер для порошка; 8 — горелка, напыляющая порошок; 9 — шланг к расходомеру; 10 — горелка, распыляющая проволоку; 11 — бухта проволоки; 12, 13 — кислородный и ацетиленовый баллоны; 14 — ресивер

цировать и интегрировать общие схемы способов покрытий.

Ниже приведена классификация функциональных покрытий [1, 5 и др.] и способы их нанесения:

- химико-термические диффузионные покрытия (из твердой, паровой фаз, конденсацией пара, из газовой и жидкой фаз и др.);
- электрохимические покрытия (из расплавов, водных растворов, газовой фазы и др.);
- химические покрытия (из растворов, газовой фазы и др.);
- термомеханические (адгезионные) покрытия (плакирование взрывом, окунание в расплав, плакирование механическое, металлизация в вакууме, газопламенное, плазменное, детонационное и др.).

Приведенные способы нанесения покрытий не являются исчерпывающими, однако охватывают обширную технологическую картину, а представленная структурная укрупненная классификационная схема допускает ее развитие.

В современной технологии упрочнения и восстановления деталей машин все большее применение находит метод нанесения газотермических покрытий, что обусловлено высокими технико-экономическими, санитарно-гигиеническими и экологическими параметрами процесса. К данному методу нанесения покрытий относятся газопламенное напыление, плазменное (дуговое, высокочастотное), электродуговое, детонационное (ГОСТ 28076—89).

Ниже приведен анализ данных способов газотермического нанесения покрытий.

Газопламенное напыление покрытий

Способ газопламенного напыления покрытий основан на использовании термической и кинетической энергии высокотемпературной (около 3000 °С) газовой струи, истекающей из сопла специального устройства — горелки (пистолета). При этом напыляемый материал (порошок) подается специальным приспособлением в зону высокой температуры горячей газовой струи, где расплавляется (оплавляется) и увлекаемый высокотемпературным газовым потоком переносится на специально подготовленную рабочую поверхность детали, где, оседая, сцепляется с этой поверхностью и, быстро кристаллизуясь, образует гетерогенное многофазное пористое (2—30 %) покрытие. На рис. 1 приведена схема газопламенного напыления покрытия [6].

Первым изобретателем способа напыления металла на поверхность детали является М. Шооп. На рис. 2 приведена схема первой стационарной металлизационной установки М. Шоопа (1910 г.) [6].

На рис. 3 приведена схема установки для газопламенного напыления [3].

Основные свойства горючих газов приведены в табл. 1 [6, 7 и др.].

Для решения технологических задач газопламенного напыления покрытий при упрочнении и восстановлении деталей машин практический интерес представляет процесс горения различных горючих газов и паров в смеси с кислородом, а также равномерная подача напыляемого материала в высокотемпературную зону горения.

Горение происходит при определенном соотношении горючего газа и кислорода (воздуха) и определенной температуре воспламенения [5, 6 и др.].

В зависимости от скорости распространения пламени, которое представляет собой раскаленные до температуры свечения продукты горения, различают три вида горения:

- спокойное (не более 15 м/с);
- взрывчатое (сотни метров в секунду);
- детонационное (более 1000 м/с).

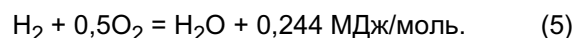
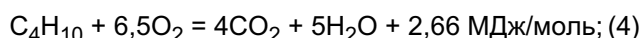
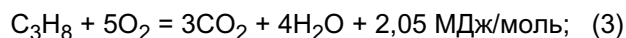
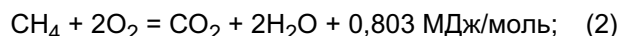
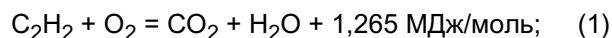
На скорость горения (скорость воспламенения, распространения пламени) влияют следующие основные факторы:

- состав газовой смеси (оптимальное соотношение в смеси горючего газа и кислорода — параметр β);
- давление газовой смеси;
- температура горючей смеси;
- размер каналов, в которых происходит горение.

К горючим газам (основным) относятся ацетилен C_2H_2 , Н-бутан C_4H_{10} , водород H_2 , метан CH_4 , оксид углерода CO , пропан C_3H_8 , этан C_2H_6 , метилацетилен-пропадиен C_3H_4 и др.

Физико-химические свойства горючих газов приведены в табл. 2 [5, 6 и др.].

Окисление (горение) горючих газов (углеводорода, водорода) на 1 моль горючего газа с выделением теплоты происходит по следующим реакциям [3]:



На рис. 4 приведены пределы и скорости воспламенения горючих газов [6 и др.].

Строение пламени любых смесей углеводородных газов с кислородом одинаково и зависит в основном от состава горючей смеси (β).

Различают три вида пламени (рис. 5): нормальное (поз. а), окислительное (избыток кислорода) (поз. б) и науглероживающее (избыток горючего газа) (поз. в) [5—7 и др.].

Форма ядра пламени в зависимости от параметра β изменяется от конусообразной до цилиндрической с закругленной "крышкой".

Ядро пламени можно разделить на две части: внутреннюю и внешнюю (оболочка ядра). Во внутренней части находится смесь горючего газа и кислорода. Температура здесь ниже температуры воспламенения горючей смеси, поэтому горение не происхо-

Таблица 1

| Газ | Плотность, кг/м ³ | Температура, °С | | | Низшая теплота сгорания, МДж/м ³ | Температура пламени в смеси с кислородом, °С |
|--------------------------------|------------------------------|-----------------|---------|-------------|---|--|
| | | плавления | кипения | критическая | | |
| Ацетилен | 1,09 | -81 | -83,6 | 35,7 | 100,8 | 3100—3200 |
| Н-бутан | 2,54 | -139 | -0,6 | 152 | 111,2 | 2700—2900 |
| Водород | 0,084 | -259,2 | -252,8 | -239,9 | 19,2 | 2400—2600 |
| Метан | 0,67 | -182,5 | -161,7 | 82,1 | 32,0 | 2400—2700 |
| Оксид углерода | 1,16 | -205 | -191,5 | -140,2 | 12,2 | 2600—2800 |
| Пропан | 1,88 | -189,9 | -42,6 | 96,8 | 83,2 | 2700—2850 |
| МАПП (метилацетилен-пропадиен) | 1,78 | — | — | 120 | 83,2 | 2800—2900 |

Таблица 2

| Параметр | C_2H_2 | CH_4 | C_3H_8 | C_4H_{10} | H_2 |
|---|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| Относительная плотность по воздуху | 0,91 | 0,56 | 1,57 | 2,10 | 0,07 |
| Теплота сгорания, МДж/м ³ | 56,5 | 35,8 | 93,5 | 125,1 | 10,8 |
| Теплота, выделенная на нейтральном сгорании, МДж/м ³ | 18,5 | 1,4 | 12,6 | — | — |
| Поверхностная плотность теплового потока, Вт/м ² | 448 | — | 108 | — | 140 |
| Скорость распространения газового пламени в смеси с кислородом, м/с | 13,5 | 3,3 | 3,7 | — | 8,9 |
| Максимальная температура газового пламени в смеси с кислородом, К | 3373—3473 | 2273—2373 | 2673—2973 | 2673—2973 | 2273—2773 |

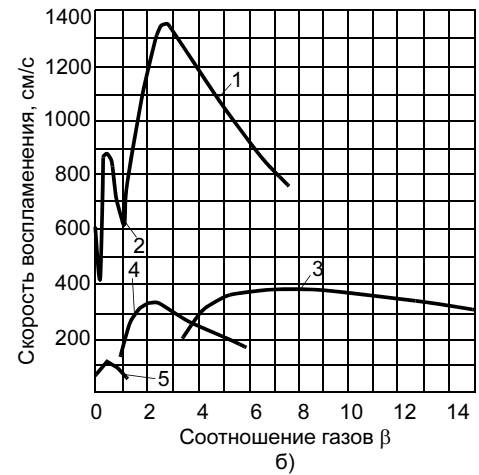
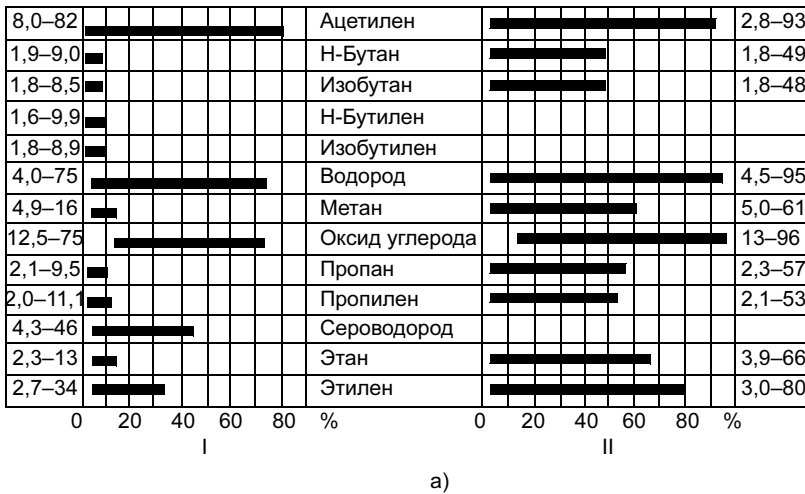
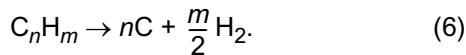


Рис. 4. Пределы воспламенения — объемное процентное содержание (а) горючего газа в смеси с воздухом (I) и кислородом (II) и зависимость (б) воспламенения от соотношения в смеси кислорода и горючего газа: 1 — ацетилен; 2 — водород; 3 — пропан; 4 — метан; 5 — оксид углерода

дит. Наружная часть ядра — тонкий слой, в котором происходит распад молекул углеводорода по следующей схеме [7, 8 и др.]:



В оболочке ядра неполностью сгорает углерод:

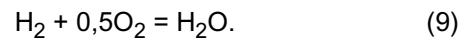
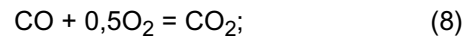


В процессе распада молекул углеводорода и сгорания углерода некоторое количество последнего оказывается свободным. Раскаленные частицы этого свободного углерода и дают яркое свечение оболочке ядра пламени.

Средняя зона, обволакивающая ядро, содержит продукты неполного сгорания углерода (CO), при этом она обладает более высокой температурой и восстановительными свойствами. Именно этой зоной пользуются при нагреве металла для последующего напыления покрытия из самофлюсующих-

ся никелевых сплавов. Эту часть пламени называют "сварочной зоной".

В третьей зоне (наружный факел пламени) за счет кислорода окружающего воздуха происходит догорание продуктов неполного сгорания углерода и водорода при понижающейся температуре:



Эта часть пламени имеет окислительный характер.

При воздействии пламени на металл окислительная зона окисляет металл и его низкий оксид, а науглероживающая — науглероживает. Нормальное пламя имеет резко очерченное ядро. При значительном избытке горючего газа в смеси в наружном факеле появляется свободный углерод и пламя становится коптящим. На рис. 6 приведены зависимости температуры пламени от соотношения в смеси кислорода и горючего газа и распределение тем-

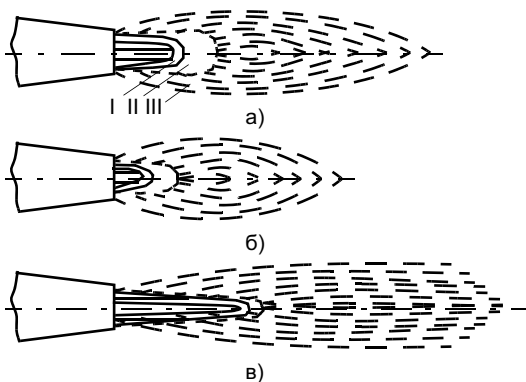


Рис. 5. Схема газового пламени: I — ядро; II — средняя зона; III — внешняя зона

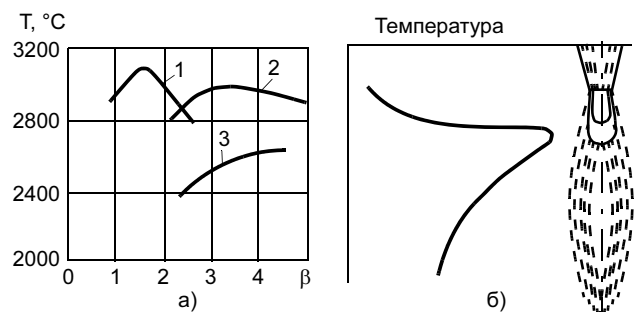


Рис. 6. Зависимость температуры пламени от параметра β (а) и распределение температуры вдоль оси пламени смеси горючего газа с кислородом (б): 1 — ацетилен; 2 — метилацетилен-пропадиен (МАПП); 3 — пропан

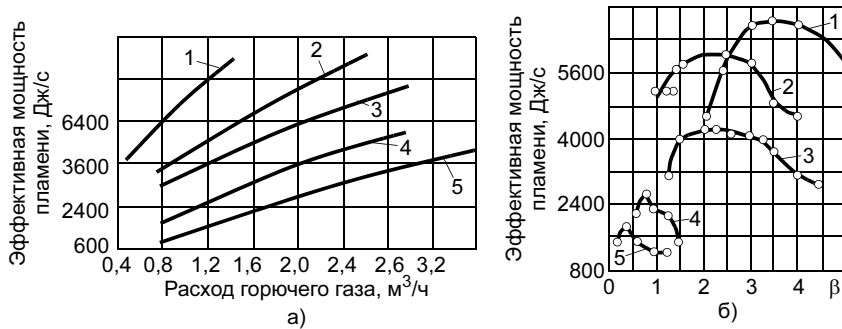


Рис. 7. Зависимость эффективной мощности пламени от расхода горючего газа (а) и параметра β (б) при расходе горючего газа $0,8 \text{ м}^3/\text{ч}$: 1 — пропан-бутан ($\beta = 3,5$); 2 — ацетилен (1,15); 3 — метан (1,5); 4 — коксовый газ (0,5); 5 — водород (0,4)

пературы вдоль оси пламени горючего газа с кислородом.

Основными тепловыми характеристиками пламени являются [5—7 и др.]:

- температура (максимальная), °С: C_2H_2 — 3200; CH_4 — 2700; C_3H_8 — 2800; C_4H_{10} — 2900; H_2 — 2600; C_3H_4 (МАПП) — 2900;
- эффективная тепловая мощность (количество теплоты, передаваемой в единицу времени пламенем нагреваемому изделию) — зависит от расхода горючего газа в единицу времени, параметра β , скорости истечения горючей смеси из сопла горелки, толщины обрабатываемого металла, расстояния между срезом сопла и нагреваемой поверхностью, скорости перемещения пламени, угла оси пламени относительно нормали к нагреваемой поверхности — наибольшее влияние на эффективную мощность оказывают расход горючего газа и параметр β ;
- распределение теплового потока по пятну нагрева.

На рис. 7 приведены зависимости эффективной мощности пламени от расхода горючего газа и параметра β .

Следует отметить, что зависимость эффективной мощности пламени различных горючих газов в основном определяется параметром β , при этом оптимальное соотношение кислорода к горючему газу близкое к стехиометрическому. Исключение составляет пропанобутановая смесь, для которой $\beta_{\text{опт}} = 3,5 + 4,0$, а стехиометрическое $\beta_{\text{стх}} = 5 \div 6$ (в зависимости от состава смеси).

В технологии газопламенного напыления покрытий при упрочнении и восстановлении рабочей поверхности деталей машин нагреваемый основной металл (подложка, основа) нагревается до "запотевания", а присадочный — до расплавления. В этом процессе широко применяются газы — заменители ацетилена (например пропанобутановые смеси).

Технология газопламенного напыления покрытий на рабочую поверхность деталей машин при их упрочнении и восстановлении обусловлена рядом параметров, к основным из которых относятся конструктивные, энергетические, распыляемого мате-

риала, внешних условий, потока направляемых частиц, горючей смеси.

Конструктивные параметры (основные): диаметр газового сопла d_c ; диаметр периферийных отверстий; угол наклона оси периферийных отверстий к оси распылителя α ; размеры и профилирование сопла. Обычно конструктивные параметры оптимизируются экспериментально. На рис. 8 при-

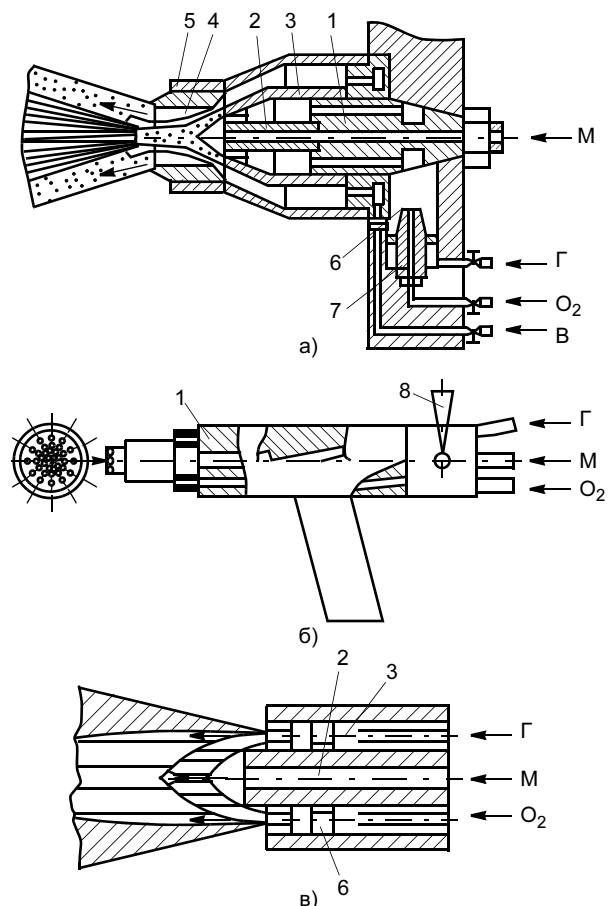


Рис. 8. Конструкция газопламенного инжекторного (а) и безы инжекторного (б) распылителей (в — сопловая часть безы инжекторного распылителя, М — распыляемый материал, Г — горючий газ, O₂ — кислород, В — воздух): 1 — корпус головки; 2 — центральный канал с наконечником; 3 — газовое сопло; 4 — воздушный канал; 5 — воздушное обжимное сопло; 6 — смешительная камера; 7 — инжектор; 8 — механизм управления

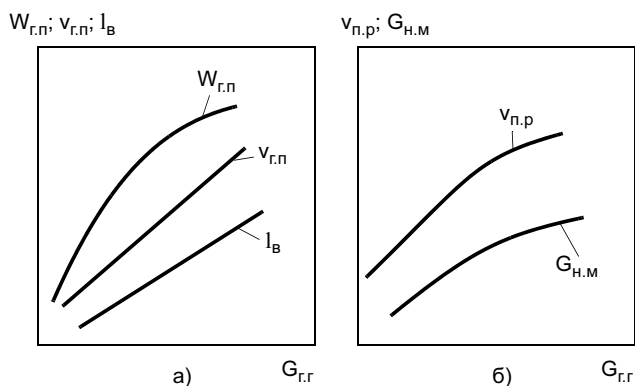


Рис. 9. Зависимость теплофизических параметров газопламенной струи (а) и производительности напыления (б) от расхода горючего газа

ведены конструкции газопламенного инжекторного и безинжекторного распылителей [5].

Режимно-энергетические параметры работы газопламенного распылителя (горелки): природа горючего газа, его давление на входе в распылитель (горелку) и расход; давление окислительного газа и его расход; параметр β . Наиболее высокая эффективность процесса напыления при использовании ацетилена или пропанобутановой смеси.

Обычно давление горючего газа $p_{г.г} = 0,03 \div 0,05$ МПа, при этом расход горючего газа $G_{г.г} = 1 \div 2$ м³/ч, $\beta = 1,1 \div 4,0$ (нижний предел — для ацетилена, верхний — для пропанобутановой смеси). Значение параметра β определяет физико-химические свойства пламени. Для газопламенного напыления используют стандартный кислород под избыточным давлением 0,35—0,45 МПа, расход которого составляет от 1 м³/ч и более. Для обжатия пламени давление газа (воздуха) 0,3—0,4 МПа, а его расход 30—40 м³/ч. Влияние $G_{г.г}$ на теплофизические параметры газопламенной струи и производительность напыления $G_{н.м}$ при $\beta = \text{const}$ иллюстрирует рис. 9 [5].

Параметры материала покрытия: обеспечение заданных функциональных свойств покрытия, дисперсность порошковых частиц 0,01—0,10 мм; способ подачи порошка в газовую струю за счет сил гравитации в сочетании с инжектированием при избыточном давлении транспортирующего газа 0,1—0,2 МПа и его расходе 0,3—0,6 м³/ч; диаметр проволоки 1—5 мм, при скорости ее подачи 5—30 м/с.

Параметры внешних условий напыления: дистанция напыления 100—200 мм, скорость перемещения пятна напыления 0,2—0,3 м/с.

Параметры газопламенной струи: температура пламени на срезе сопла 2273—3473 К; род горючего газа; параметр β ; скорость газопламенной струи 150—200 м/с; расход горючего газа; состав газового пламени; характер изменения температуры,

энтальпии, скорости и состава по оси струи и в сечениях; длина высокотемпературной части газопламенной струи (зависит в основном от рода горючего газа и параметра β) 150—200 мм (ацетилен, пропанобутановая смесь) — максимальное тепловое воздействие $C_2H_2 - O_2$ -пламени на напыляемую поверхность реализуется при дистанции около 200 мм, а поверхностная плотность теплового потока порядка 7,8 Вт/м².

Параметры потока напыляемых частиц: температура напыляемых частиц (материал напыления, порошок) не превышает 2473 К (при проволочном материале — около 2923 К); скорость у поверхности напыления 15—50 м/с; плотность потока $10^3 - 10^5$ частиц/(см² · с).

Установки и распылители (горелки) для газопламенного напыления покрытий

Отечественная промышленность выпускает ряд специализированных установок для газопламенного проволочного и порошкового напыления покрытий, в том числе УПТР, Л5405, УГПТ, УГМ, технические характеристики которых приведены в табл. 3 [5].

Установки типа МГИ применяют для проволочного напыления покрытий: вручную — из алюминия, цинка, а также для нанесения износостойких, антифрикционных и других покрытий.

В настоящее время фирма "СП Техникорд" разработала многофункциональную установку газопламенного напыления "Техникорд ТОП — ЖЕТ/2" для напыления покрытий из гибких шнуровых материалов диаметром от 3,0 до 5,0 мм и металлических проволок диаметром 1,5—5,0 мм (рис. 10) [5].

Таблица 3

| Характеристика | УПТР | Л5405 | УГПТ | УГМ-1 |
|---------------------------------------|---------|---------|----------|-----------|
| Расход, м ³ /ч: | | | | |
| ацетилена | <0,9 | 1,4—1,8 | <1,5 | ≤1,3 |
| кислорода | ≤1,75 | 2,3—2,9 | ≤3,0 | ≤2,5 |
| сжатого воздуха | 0,4—0,9 | 0,7—3,0 | — | ≤60 |
| Рабочее давление, МПа: | | | | |
| ацетилена | ≤0,095 | — | ≤0,11 | 0,06—0,10 |
| кислорода | ≤0,15 | — | ≤0,60 | 0,20—0,45 |
| сжатого воздуха | ≤0,25 | — | — | 0,40—0,50 |
| Грануляция порошковых материалов, мкм | 30—160 | 5—80 | — | — |
| Диаметр проволоки, мм | — | — | — | 2—4 |
| Производительность, кг/ч | ≤9,6 | 1,5—8,0 | 2,2—12,0 | ≤23,0 |

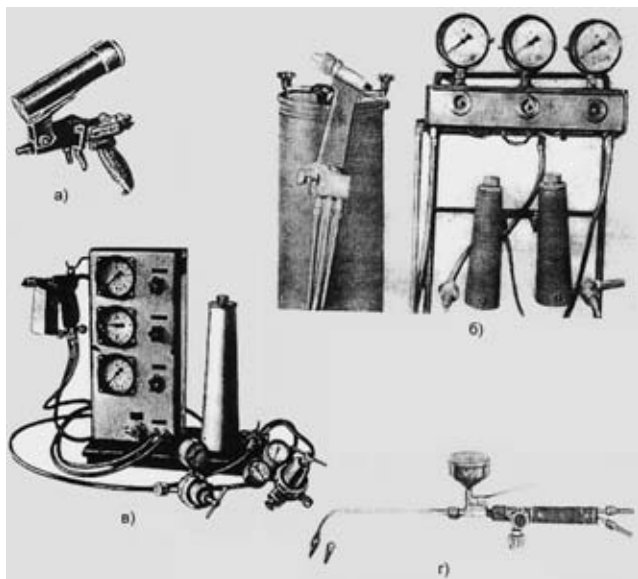


Рис. 10. Горелка для порошкового газопламенного напыления (а); газопламенная установка УГТП для ручного и механического нанесения газопламенных покрытий из тугоплавких порошковых материалов в любом пространственном положении (б); газопламенная установка УГТП для ручного нанесения покрытий из порошковых материалов с температурой плавления 800—1500 °С (в); горелка типа ГН (ГН-1, ГН-2, ГН-3) для наплавки гранулированных самофлюсующихся твердых сплавов на основе хром—бор—никель—кремний или других композиций с размером частиц 0,04—0,10 мм с целью упрочнения или восстановления рабочих поверхностей деталей машин (г)

Техническая характеристика установки "Техникодр ТОП — ЖЕТ/2"

| | |
|--|-----------------|
| Габаритные размеры, мм: | |
| пистолета-распылителя "ТНА ТОП-ЖЕТ/2" | 265 × 90 × 260 |
| пульта управления рабочими газами ПУ-99 | 460 × 125 × 330 |
| стойки | 480 × 450 × 950 |
| Масса без шлангов (не более), кг: | |
| пистолета-распылителя "ТНА ТОП-ЖЕТ/2" | 2,5 |
| пульта управления рабочими газами ПУ-99 | 6,4 |
| Давление рабочего газа (не более), МПа: | |
| кислорода | 0,5 |
| ацетилена | 0,15 |
| пропана | 0,3 |
| сжатого воздуха | 0,6 |
| Расход рабочего газа (не более), м/ч: | |
| кислорода | 6,0 |
| ацетилена | 1,5 |
| пропана | 2,0 |
| сжатого воздуха | 40,0 |
| Время непрерывной работы (не менее), ч | |
| 8,0 | |
| Производительность по распыляемому материалу, м ² /ч на 100 мкм толщины покрытия проволоки (D = 3,17 мм): | |
| алюминевой | 12,5 |
| бронзовой | 8,8 |
| стальной (с 13 % Cr) | 6,1 |

Таким образом, технология газопламенного напыления покрытий может применяться для ряда целей, в том числе упрочнения и восстановления рабочих поверхностей деталей машин широкой номенклатуры. Однако для каждой конкретной детали необходимо разрабатывать технологический процесс с учетом ее конструктивных особенностей. При этом в отличие от других методов газотермического напыления покрытий не требуется сложное и дорогостоящее оборудование.

Важным показателем данной технологии является высокий коэффициент использования материала, особенно проволочного.

Данный метод напыления покрытий отличают недостаточные технико-экономические и другие показатели [1, 2, 5, 6, 8 и др.]:

- низкая производительность процесса, особенно при порошковом напылении;
- наличие в газопламенной струе активных газов, взаимодействующих с металлическими и им подобными материалами;
- невысокая прочность сцепления покрытия с субстратом (основой) при напылении без оплавления покрытия;
- низкое значение эффективного КПД нагрева порошковых частиц ($\eta = 0,01 \div 0,15$) [1, 2, 5, 6, 8].

Наличие резервов для повышения технико-экономической, а также санитарно-гигиенической и экологической эффективности технологии газопламенного напыления покрытий с заданными химико-физико-механическими функциональными свойствами рабочей поверхности деталей машин является условием для дальнейших научных и экспериментальных исследований в этой области с целью совершенствования технологии и расширения номенклатуры деталей машин под этот вид покрытий при упрочнении и восстановлении их рабочей поверхности.

Значительный вклад в теорию и практику технологии газопламенного напыления покрытий внесли отечественные и зарубежные ученые: Е. В. Антошин, Ю. С. Борисов, В. А. Вахалин, Е. А. Воловик, Л. А. Вулис, А. Е. Затока, А. С. Зенкин, Э. Кречмар, Б. Льюис, Н. В. Молодых, О. Мorigаки, А. К. Нинбург, Г. Л. Петров, Н. Н. Рыкалин, А. И. Сидоров, А. Хасуй, В. И. Черноиванов, М. У. Шооп, Г. Эльбе и др.

Детонационное напыление покрытий

Способ детонационно-газового напыления покрытий, применяемый в технологии упрочнения и восстановления рабочей поверхности деталей изделий (машин, механизмов, аппаратов, приборов, устройств и др.), основан на использовании тепловой и кинетической энергии взрыва при химическом превращении взрывчатых веществ, когда взрыв,

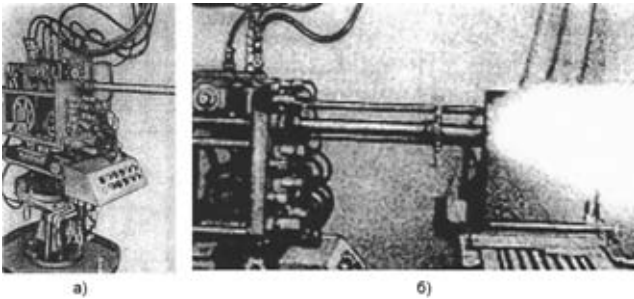


Рис. 11. Установка для детонационного напыления: а — внешний вид; б — установка в работе [3]

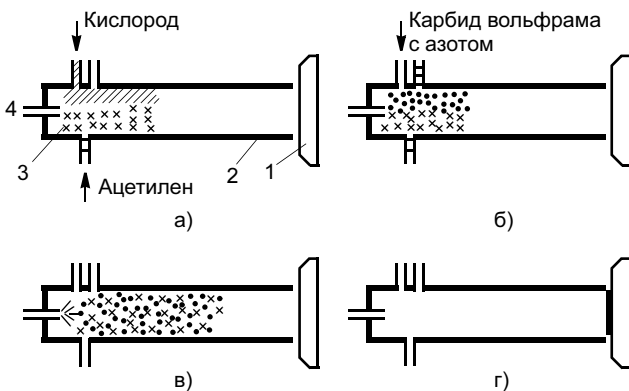


Рис. 12. Схема детонационного напыления: а — заполнение камеры рабочей смесью; б — подача порошка; в — взрыв рабочей смеси и разгон частиц порошка; г — образование покрытия; 1 — напыляемая деталь; 2 — водоохлаждаемый ствол; 3 — камера; 4 — электрический запал

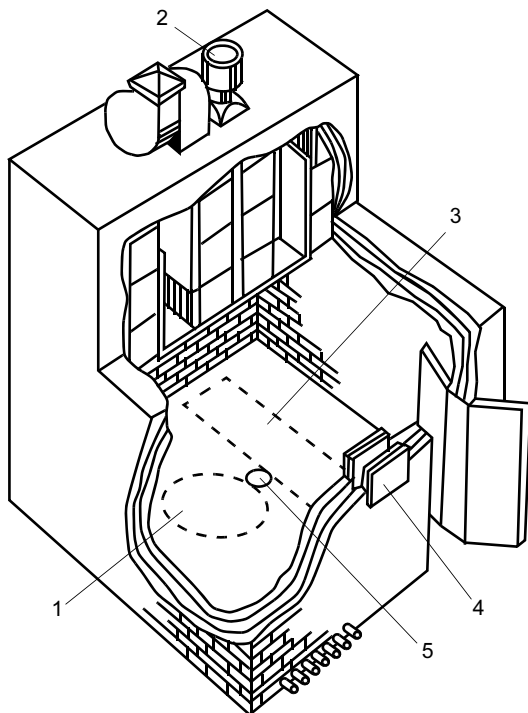


Рис. 13. Звукоизолированная камера для детонационной установки: 1 — установка для детонационного напыления; 2 — вытяжная вентиляция; 3 — устройство для установки обрабатываемой детали; 4 — смотровое окно; 5 — отверстие для слива воды

инициированный в стволе специального устройства — детонационной установки (рис. 11), распространяющийся со сверхзвуковой скоростью в газовой среде (около 3 км/с), вылетает из ствола в виде газопорошковой смеси, направленной на обрабатываемую рабочую поверхность детали, где порошок, оседая, быстро кристаллизуется, образуя покрытие.

Детонация представляет комплекс мощной ударной волны и следующей за ее фронтом зоны химического превращения вещества (так называемая детонационная волна). При расширении сжатых продуктов детонации происходит взрыв. Напыляемое вещество (порошок), находящееся во взрывной газовой смеси, выбрасывается из ствола установки с высокой скоростью на поверхность детали [3, 5, 9 и др.]. На рис. 12 приведена схема детонационного напыления покрытия [3].

Для процесса детонационного напыления покрытий (ДГНП) характерен высокий уровень шума (не менее 140 дБ), поэтому детонационные установки размещают в специальных звукоизолированных камерах (рис. 13).

При химическом превращении взрывной смеси происходит ее нагрев до высоких температур $(3-5) \cdot 10^3$ К; при этом резко увеличивается объем продуктов реакции — в 1000 раз и более и развивается давление до 1,5—3,0 МПа. Тепловая мощность детонационных газовых струй составляет около 10^4-10^7 Вт (наиболее высокая — для ацетилено-кислородной смеси).

От скорости продуктов детонации зависит и скорость напыляемых частиц (800—1300 м/с). При скорости частиц $v_{ch} \approx 1000$ м/с возникает импульсное давление около 10 ГПа, что создает условия для термической активации субстрата и образования прочных связей покрытия с основой.

Энергетический КПД процесса обусловлен теплокинетическими факторами и составляет 0,10—0,15.

Способы детонационно-газового напыления характеризуются следующими признаками [3—5, 8]:

- типом детонирующей газовой смеси (C_2H_2 , CH_4 , C_3H_8 , CO , H_2 , продукты пиролиза бензина, керосина и др.);
- конструктивными особенностями газового температурного потока: предварительное форкамерное зажигание; непосредственное зажигание в стволе установки; применение стволов с постоянным и переменным сечением и др.;
- количеством детонационных камер — стволов (одноствольные, многоствольные).

На рис. 14 приведена обобщенная схема детонационного газового напыления покрытий [3, 5, 8, 10 и др.].

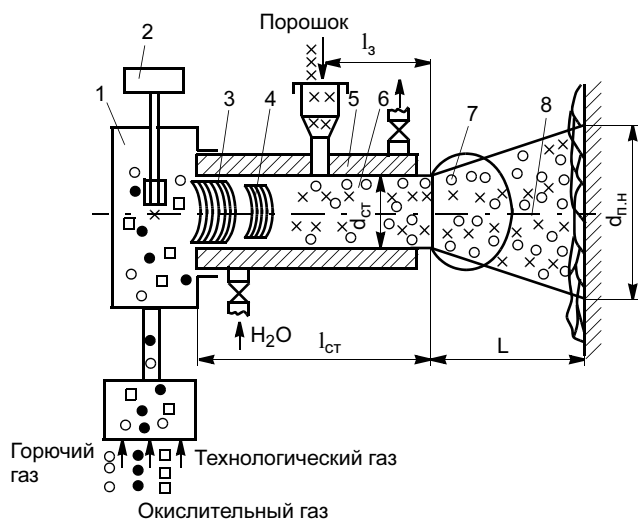


Рис. 14. Схема детонационно-газового напыления покрытий ($I_{ст}$ — длина ствола; $d_{ст}$ — диаметр ствола; L — дистанция напыления покрытия): 1 — камера зажигания; 2 — устройство, инициирующее взрыв; 3 — ударная волна; 4 — детонационная волна; 5 — ствол; 6 — газопорошковая смесь; 7 — дульное пламя; 8 — напыляемые частицы порошка

Процесс детонационного напыления состоит из трех циклов [5 и др.]:

$$\tau_{ц} = \tau_{з} + \tau_{в} + \tau_{п}, \quad (10)$$

где $\tau_{з}$, $\tau_{в}$, $\tau_{п}$ — соответственно время заполнения камеры и ствола газовой смесью и порошком, вре-

мя взрыва и выброса продуктов детонации и порошка и время продувки камеры и ствола, с.

За один цикл на поверхности детали оседает 30—40 мг распыляемого порошка, при этом диаметр пятна $d_{п.н} = 20 \div 30$ мм при толщине 0,01—0,03 мм. Рост толщины покрытия (в неподвижном пятне) составляет 0,02—0,50 мм/с. Время пластической деформации частиц 10^{-6} — 10^{-7} с. Импульсное давление при $v_{ч} = 1000$ м/с составляет около 10 ГПа.

В условиях импульсного давления и высоких скоростей частиц в области контакта частицы с подложкой кроме термической активации как в материале покрытия, так и материале субстрата образованию прочных связей покрытия с основой способствует интенсивное пластическое течение материала частиц и материала субстрата. На контактных поверхностях раздела (покрытие — основа) наблюдается возникновение, движение и выход дислокаций. При образовании прочных химических связей дислокации играют роль активных центров. Это обстоятельство заставляет применять для ДГНП материалы из твердых высокопластичных частиц, в то время как расплавленные частицы не обеспечивают условия прочной связи с основой [3—5, 8, 10 и др.].

В табл. 4 и 5 приведены основные физико-химические свойства и эксплуатационные показатели наиболее распространенных детонационных покрытий [9].

Таблица 4

| Параметр | Материал | | | |
|---|----------------------------------|---|---|---|
| | LW-1 (WC + 9 % Co) | LW-1N30 (WC + + (13—15) % Co) | LW-1N40 (WC + + (15—17) % Co) | LC-1C (Cr ₃ C ₂ + + 15 % Ni—Cr) |
| Твердость по Виккерсу, ГПа | 12,5—14,0 | 11,0—12,5 | 10,5—12,0 | 10,0—12,0 |
| Твердость по Роквеллу | — | 71—72 | 70—71 | — |
| Максимально допустимая температура в окислительной среде, °С | 540 | 540 | 540 | 980 |
| Температурный коэффициент линейного расширения 10^{-6} , 1/°С | 2,2 (при 20—540 °С) | 2,5 (при 20—540 °С) | 2,6 | 3,6 |
| Предел прочности, МПа | 560 | 560—630 | 630—700 | 530 |
| Прочность сцепления с базовым материалом, МПа | 175,7 | 175,7 | 175,7 | — |
| Пористость, % | 0,5 | 0,5—1,0 | 0,7—1,2 | 0,5—1,0 |
| Высота микронеровностей, мкм: | | | | |
| после нанесения | — | 3 | — | — |
| после обработки | — | 0,025 | — | — |
| Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К) | 0,202 | 0,227 | 0,235 | 0,533 |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К) | 9,188 | 9,188 | 9,188 | 7,443 |
| Плотность, г/см ³ | 14,2 | 13,4 | 13,2 | 6,5 |
| Основные эксплуатационные показатели | Наиболее высокая износостойкость | Высокая износостойкость, повышенная стойкость против механических и термических воздействий | Высокая износостойкость, повышенная стойкость против механических и термических воздействий | Износостойкость при высоких температурах и в корродирующей среде; стойкость в струе пламени |

Таблица 5

| Параметр | Материал | | | | | |
|--|--|------------------------------|--|---|---|---|
| | LCN-1 | | LC-4 (99 % Cr ₂ C ₃) | LC-5 (Cr ₂ C ₃ + + 20 % Al ₂ O ₃) | LC-9 (Cr ₂ C ₃ + + 40 % Al ₂ O ₃) | LA-2 (99 % Al ₂ O ₃) |
| | Cr ₃ C ₂ + + 35 % Ni—Cr | Cu + 41 % Ni + + 4 % In | | | | |
| Твердость по Виккерсу, ГПа | 7,00 | 3,00 | 13,50 | 9,25 | 9,50 | 11,0—12,0 |
| Максимально допустимая температура в окислительной среде, °С | 980 | — | 540 | 870 | 705 | 650—980 |
| Предел прочности, МПа | — | — | 140 | 105 | — | 150 |
| Прочность сцепления с базовым материалом, МПа | 126,5 | 77,3 | — | — | 63,2 | 70,0 |
| Пористость, % | 1,0 | 0,5—1,0 | — | 0,75—1,50 | 1,0 | 1,0—2,0 |
| Высота микронеровностей, мкм: | | | | | | |
| после нанесения | 4 | 6 | — | — | 5 | 4 |
| после обработки | 0,05 | — | — | — | 0,05 | 0,05 |
| Удельная теплоемкость, Дж/(кг · К) | — | — | — | — | — | 0,823 |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К) | — | — | — | — | — | 1,512 |
| Плотность, г/см ³ | 6,5 | 8,4 | 5 | 4,77 | — | 3,45 |
| Основные эксплуатационные показатели | Хорошее сопротивление при повышенных температурах износу и ударным нагрузкам | Хорошие смазывающие свойства | Хорошая стойкость против окисления, пониженная стойкость против ударных нагрузок | Отличное сопротивление износу, химическому воздействию и высоким температурам | Хорошее сопротивление износу при контакте с текстильными нитями; имеет полупроводниковые свойства | Отличное сопротивление износу, химическому воздействию и высоким температурам |

Технологический процесс ДГНП характеризуется следующими основными параметрами [5, 8, 9 и др.]:

- **конструкционные:** диаметр ствола $d_{СТ}$ = 8÷40 мм; длина ствола $l_{СТ}$; форма детонационного канала; отношение $l_{СТ}/d_{СТ}$; скорострельность детонационного распылителя (зависит от $d_{СТ}$);
- **энергетические:** род газов, входящих в детонационную смесь; соотношение между горючим газом и окислителем (C₂H₂, реже пропан-бутан C₃H₈ + C₄H₁₀); расход газов, входящих в детонационную смесь (обычно расход ацетилена C₂H₂ 0,2—6,0 м³/ч, а его давление — 0,05—0,15 МПа); добавление технологических газов (азота, аргона и др.); соотношение между горючим газом и кислородом (параметр β).

Стабильность процесса напыления зависит от точности дозирования взрывчатой смеси и конструкции дозирующих систем. На рис. 15 приведены зависимости теплоты реакции Q, скорости детонации v_d и равновесной температуры газовой смеси $T_{г.с}$ за фронтом детонационной волны от параметра β [5, 9 и др.].

К параметрам порошкового материала относятся: диаметр порошковых частиц (0,01—0,05 мм); плотность их материала, кг/м³; способ дозирования и подачи порошка в ствол установки (радиальный или осевой, непрерывный или импульсный); расход транспортирующего газа (азота, аргона и др.); скорость потока транспортирующий газ — порошок

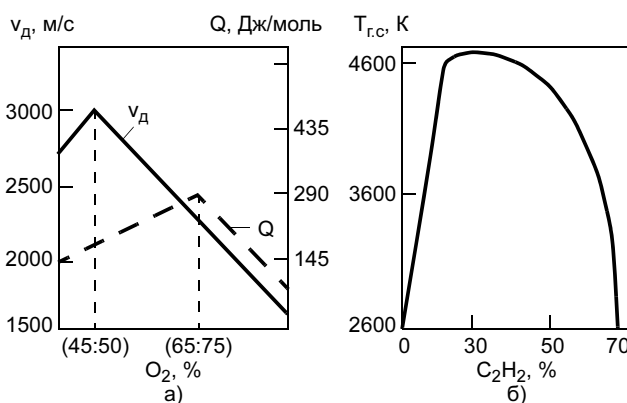


Рис. 15. Зависимость Q , v_d (а) и $T_{г.с}$ (б) от параметра β

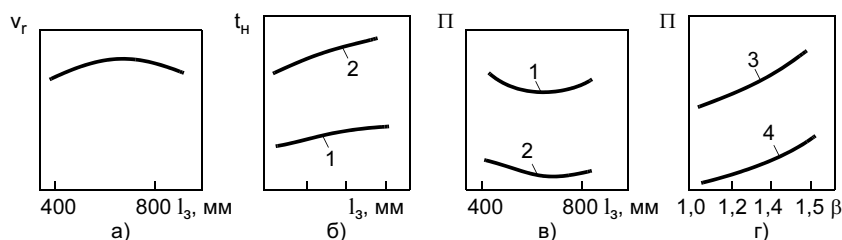


Рис. 16. Зависимость скорости частиц (а), температуры нагрева (б) и пористости покрытий (в, г) от заглубления l_3 (а–в) и параметра β (г) при подаче порошка в ствол установки: 1, 2 — максимальный и минимальный диаметры частиц соответственно; 3, 4 — l_3 равно 600 и 750 мм соответственно

составляет 2—7 м/с. На рис. 16 приведены качественные характеристики детонационного напыления, связанные с порошковым материалом [3, 5, 8, 9 и др.].

Параметры внешних условий, влияющие на процесс детонационного напыления покрытия: способ фиксирования детали в приспособлении; угол атаки газопорошковой струи (45—90°); дистанция напыления (50—200 мм); смещение пятна напыления (не более 0,5 диаметра пятна напыления); скорость перемещения пятна напыления; параметр шероховатости покрытий (Ra, Rz).

Параметры детонационной волны: температура детонационной волны не более 5700 К; энтальпия детонационной волны; скорость газового потока внутри канала ствола (800—1400 м/с); скорость газового потока на срезе сопла (2000—3000 м/с); давление газовой смеси внутри канала ствола (0,20—0,75 МПа); температура потока напыляемых частиц вблизи поверхности напыления (1673—1873 К); скорость напыляемых частиц (800—1300 м/с); степень загрузки газового потока напыляемыми частицами (0,2—0,6 кг/м³); плотность потока напыляемых частиц по пятну напыле-

ния (подчиняется закону нормального распределения) (10^3 — 10^5 частиц/(см²·с)); коэффициент использования материала ($K = 0,3 \div 0,6$).

Установки для детонационно-газового напыления покрытий

Выпускаемые отечественной и зарубежной промышленностью установки для детонационно-газового напыления покрытий в зависимости от устройства и подачи рабочих газов делятся на три группы:

- с механическим клапанным механизмом;
- с электромагнитным клапанным механизмом;
- смешанного типа.

В табл. 6 приведены характеристики опытно-промышленных установок и комплексов для ДГНП [5].

Основные элементы детонационно-газовых установок для напыления покрытий:

- детонационно-газовые распылители (ствол постоянного или переменного сечения);
- камера смешения;
- система зажигания;
- устройство для предотвращения обратного удара;

Таблица 6

| Характеристика | АДК-1 | ДНП-5 | АДК "Прометей" | АДУ-СП |
|--|------------|-----------------------|-----------------|----------|
| Объем ствола, см ³ ($L_{ст}$, м) | — | 500—700 (0,45—1,0) | 400 | 630(2,0) |
| Расход газа (не более), м ³ /ч: | | | | |
| ацетилена | 1,20—2,25 | 0,5—4,0 | ≤2,2 | 3,0 |
| кислорода | 1,20—2,25 | — | ≤2,6 | 5,0 |
| азота | 5,0—8,0 | — | ≤9,0 | 8,0 |
| воздуха | 20—25 | — | ≤25 | — |
| Давление газа, МПа: | | | | |
| ацетилена | 0,15 | — | 0,1—0,12 | — |
| кислорода | 0,5 | — | 0,3—0,5 | — |
| азота | 0,3—0,8 | — | 0,3—0,8 | — |
| воздуха | 0,4 | — | 0,4—0,5 | — |
| Расход охлаждающей воды, м ³ /ч (давление, МПа) | 1,0 (0,2) | — | 1,0 (0,05—0,10) | — |
| Скорострельность, выстрел/с | 2—4 | 2—15 | 4 | 4 |
| Расход напыляемого порошка, г/выстрел | 0,10—0,25 | 2—12 | — | 4—12 |
| Производительность напыления, кг/ч | — | 0,8—2,5 | 0,7—3,0 | 0,7—3,5 |
| КИП | 0,4—0,5 | 0,3—0,8 | 0,3—0,5 | 0,1—0,8 |
| Электрическая мощность, кВт | 0,35 | — | 0,3 | — |
| Толщина покрытия за выстрел, мкм (площадь, см ²) | 5—10 (3,2) | — | 3—10 | — |

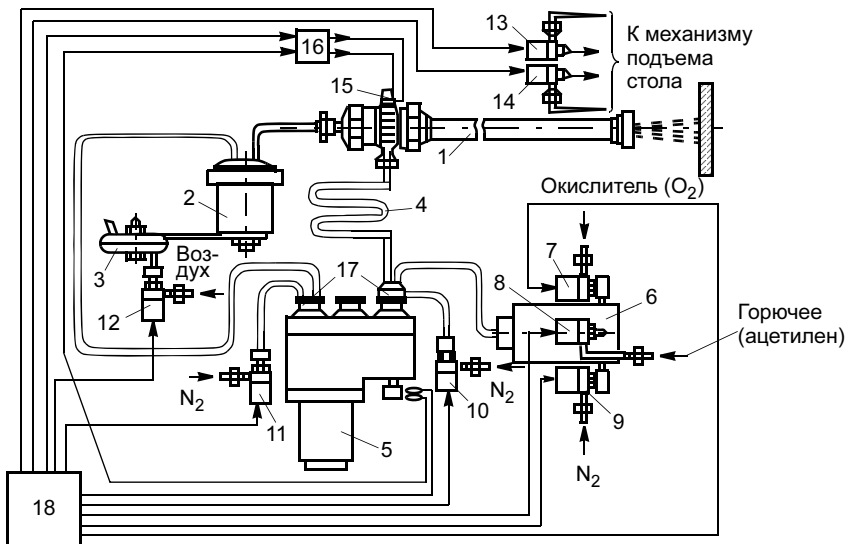


Рис. 17. Схема АДК "Прометей": 1 — взрывная камера; 2 — дозатор порошка; 3 — пневмовибратор дозатора; 4 — буферный змеевик; 5 — блок распределения золотниковый; 6 — блок смесеприготовления; 7—14 — электропневмоклапаны; 15 — искровая свеча; 16 — генератор импульсов высокого напряжения; 17 — газораспределительные каналы; 18 — блок управления

- система автоматического управления и регулирования (ручной, полуавтоматический и автоматический режимы управления).

На рис. 17 приведена схема установки АДК "Прометей" для ДГНП.

Таким образом, детонационное напыление покрытий широко применяется в технологии упрочнения и восстановления рабочих поверхностей деталей изделий (машин, механизмов, аппаратов, приборов и др.), при этом размеры и форма изделий не ограничены и в основном определяются техническими возможностями устройств и приспособлений для их перемещения в процессе напыления, а также рабочими внутренними габаритными размерами звукоизолированного бокса.

Этот метод напыления имеет ряд основных особенностей:

- твердость материала напыляемых изделий не более 60 HRC₃;
- толщина покрытия в пределах 0,05—1,50 мм, оптимальная — 0,1—0,5 мм;
- прочность сцепления покрытия с субстратом $\sigma_a = 40 \div 160$ МПа;
- пористость покрытия 1—2 %;
- за счет наклепа при напылении происходит увеличение усталостной прочности изделия;
- незначительный нагрев напыляемой поверхности — $T_u \leq 573$ К;
- высокая производительность процесса напыления — $G = 1 \div 10$ кг/ч;
- широкая номенклатура распыляемых порошковых материалов.

Кроме перечисленных особенностей следует отметить и ряд ограничений:

- затруднено нанесение покрытий с высокой поверхностной твердостью более 60 HRC₃;
- трудно напылять покрытия из "легких" порошков (карбидов титана и др.);
- невозможно напыление внутренних поверхностей на глубину, превышающую диаметр входного отверстия;
- высокий уровень шума — 140 дБ и более;
- высокая стоимость детонационных установок;
- необходимость применения герметичных боксов и дистанционного управления процессом.

Несмотря на высокий уровень технологии и оборудования, данный метод напыления покрытий продолжает развиваться как в технологии упрочнения, так и восстановления рабочей поверхности деталей изделий.

Детонационно-газовому методу напыления покрытий посвящено значительное количество публикаций, в том числе следующих авторов: Е. А. Астахова, Г. В. Боброва, А. И. Зверева, Ю. А. Харламова, С. Ю. Шаривкера, А. П. Семенова, И. Х. Шоршорова, А. А. Ильина, А. Хасуй и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мчедлов С. Г. Совершенствование технологии изготовления поршневых колец на основе применения тангенциальной обработки свободным абразивом поверхности под упрочняющее плазменное покрытие: Дис. ... канд. техн. наук. Саратов: СГТУ, 2002. 173 с.
2. Сидоров А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. М.: Машиностроение, 1975. 288 с.
3. Хасуй А. Техника напыления: Пер. с. яп. М.: Машиностроение, 1975. 288 с.
4. Хасуй А., Моригаки О. Наплавка и напыление: Пер с яп. В. Н. Попова / Под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
5. Бобров Г. В., Ильин А. А. Нанесение неорганических покрытий. М.: Интермет Инжиниринг, 2004. 624 с.
6. Кречмар Э. Напыление металлов, керамики и пластмасс. М.: Машиностроение, 1966. 432 с.
7. Нинбург А. К. Газопламенная обработка металлов с использованием газов-заменителей ацетилена. М.: Машиностроение, 1976. 152 с.
8. Газотермические покрытия из порошковых материалов / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов, С. Л. Сидоренко, Е. Н. Ардатовская. Киев: Наукова думка, 1987. 544 с.
9. Семенов А. П., Федько Ю. П., Григорьев А. И. Детонационные покрытия и их применение. М.: НИИМАШ, 1977. 67 с.
10. Хромов В. Н. Новые горелки для газопламенного напыления порошковых покрытий // Сварочное производство. 2005. № 8. С. 44—48.

А. Б. ТАРАСОВ, канд. техн. наук, С. А. ТАРАСОВ, инж.
Московский государственный открытый университет

Определение зависимостей реакций подшипниковых опор от изменяющихся соотношений моментов инерции

Качественные характеристики ряда осесимметричных конструкций зависят от массы статического момента и моментов инерции, а также от соотношения их величин.

Из анализа различных осесимметричных конструкций (валов электродвигателей и турбин, шпинделей станков, веретен текстильных машин и др.) следует, что расчет качественных характеристик производится по номинальным размерам изделий. В научно-технической литературе отсутствуют изложения методики определения данных характеристик от погрешностей линейных размеров конструкций в производственных условиях.

Очевидно, что расчет по номинальным размерам не дает полного представления о реальных соотношениях величин массы и моментов инерции, которые могут возникнуть в процессе изготовления конструкций.

Если эти отклонения превзойдут определенные пределы, то конструкция будет иметь пониженные качественные характеристики. Поэтому необходимо разработать методику расчета, позволяющую связать условия изготовления конструкций с заданными качественными характеристиками и установить зависимости для выбора оптимальных схем, позволяющих выбрать наиболее рациональные измерительные базы. Также может быть разрешен вопрос и о рациональных методах построения профиля и установке копирных устройств.

Поисковые исследования работы шпинделей станков, валов электромашин с различными массогабаритными характеристиками и соотношениями моментов инерции выявили неравномерность износа опор подшипников и различные сроки их службы.

В частности, подобные предположения можно сделать по износу подшипников валов электромашин на одном из электромашиностроительных заводов. В данной работе проводили экспериментальные исследования с целью определения зависимостей реакций опор при раз-

личной частоте вращения вала от изменяющихся соотношений моментов инерции, рассчитанных по номинальным размерам.

Экспериментальная установка для исследования влияния соотношения моментов инерции на подшипниковые опоры А и В приведена на рис. 1.

Четырехступенчатый вал 12 со сменными передвигаемыми дисками 13, установленный в подшипниковых опорах 7 с подшипниками качения 6, получает вращательные движения от бесступенчато регулируемого электродвигателя постоянного тока. Соединение вала электродвигателя с исследуемым валом осуществляется через телескопический узел 5, обеспечивающий свободное радиальное перемещение вала в сборе. Опоры подшипников соединены с корпусами 11 посредством трех пружин 9. Корпуса установлены на столе 1 фрезерного станка. На подшипниковых опорах установлены конусы 4, имеющие контакты с балочками 3 тензорезисторов, закрепленными посредством кронштейнов 2 на корпусах.

Пружины соединены с опорами подшипников и корпусами посредством нерегулируемого пальца 8 в опоре и регулируемого пальца 10 корпуса.

На рис. 2 приведена схема сборки составной конструкции, в табл. 1 — массогабаритные характеристики ее отдельных элементов.

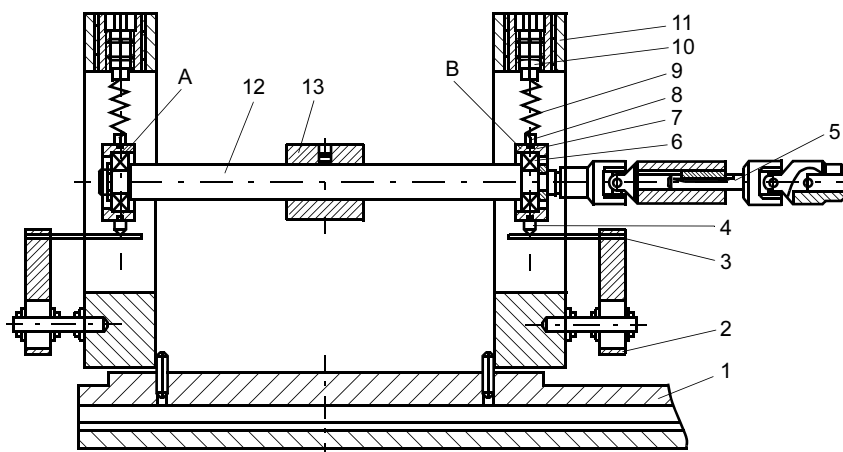


Рис. 1. Установка для экспериментальных исследований с четырехступенчатым валом в подшипниковых опорах

Таблица 1

| Параметр | Центральная часть вала | Ступень под подшипник | Ступень под полумуфту | Подшипник | Полумуфта | Корпус подшипника |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| Номер позиции на рис. 2 | 1 | 2; 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Диаметр, мм | 35 | 25 | 20 | 25 | 20 | 80 |
| Длина, мм | 485 | 20 | 25 | 20 | 25 | 25 |
| Вес, Н | 36,63 | $77,07 \cdot 10^{-2}$ | $61,654 \cdot 10^{-2}$ | 1,2 | 1,154 | 5,934 |
| Масса, кг · с ² /м | 0,3734 | $7,856 \cdot 10^{-3}$ | $6,2848 \cdot 10^{-3}$ | $1,223 \cdot 10^{-2}$ | $1,1765 \cdot 10^{-2}$ | $6,05 \cdot 10^{-2}$ |

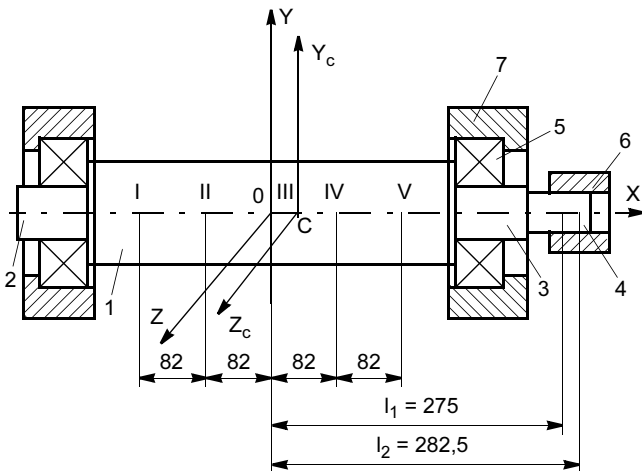


Рис. 2. Схема сборки составной конструкции: I—V — положения диска

На испытываемый вал поочередно устанавливали три диска (табл. 2).

Для осесимметричной конструкции, состоящей из трех элементов (рис. 3), определяли объемы и моменты инерции.

Предполагая отдельные элементы составной конструкции тела вращения однородными, а также для упрощения расчетов примем поверхностную плотность равной единице. В этом случае зависимости объема и моментов определяются следующими зависимостями [1—3]:

$$V_I = \pi \int_0^{h_1} y_1^2 dx; V_{II} = \pi \int_0^{h_2} y_2^2 dx; V_{III} = \pi \int_0^{h_3} y_3^2 dx$$

или

$$V_I = \pi y_1^2 h_1; V_{II} = \pi y_2^2 h_2; V_{III} = \pi y_3^2 h_3.$$

Суммарный объем

$$V = V_I + V_{II} + V_{III}. \quad (1)$$

Статические моменты относительно основания фигуры

$$M_I = \pi \int_0^h y^2 x dx; M_I = \frac{1}{2} \pi y_1^2 h_1^2; M_{II} = \frac{1}{2} \pi y_2^2 h_2^2;$$

$$M_{III} = \frac{1}{2} \pi y_3^2 h_3^2.$$

Примем за начало координат сопряжение фигур I и II, тогда

$$M = -M_I + M_{II} + \pi \int_{h_2}^{h_3+h_2} y_3^2 x dx;$$

$$M = -M_I + M_{II} + M_{III} + V_{III} h_2. \quad (2)$$

Момент инерции фигур относительно плоскости, проходящей через основание фигуры (перпендикулярно оси симметрии),

$$J_{YOZ_I} = \pi \int_0^{h_1} y_1^2 x^2 dx; J_{YOZ_I} = \frac{1}{3} \pi y_1^2 h_1^3;$$

$$J_{YOZ_{II}} = \frac{1}{3} \pi y_2^2 h_2^3; J_{YOZ_{II}} = \frac{1}{3} \pi y_3^2 h_3^3.$$

Суммарная величина J_{YOZ} определяется зависимостью

$$J_{YOZ} = J_{YOZ_I} + J_{YOZ_{II}} + \pi \int_{h_2}^{h_3+h_2} y_3^2 x^2 dx; J_{YOZ} = J_{YOZ_I} + J_{YOZ_{II}} + J_{YOZ_{III}} + 2M_{III} h_2 + V_{III} h_2^2. \quad (3)$$

Таблица 2

| Диск | Размеры диска, мм | | | γ , кг/м ³ | m , кг · с ² /м |
|------|-------------------|--------------------|-------|------------------------------|------------------------------|
| | Наружный диаметр | Внутренний диаметр | Длина | | |
| I | 160 | | 81 | 7850 | 1,215 |
| II | 267 | 35 | 80 | 2800 | 1,210 |
| III | 145 | | 100 | 7850 | 1,244 |

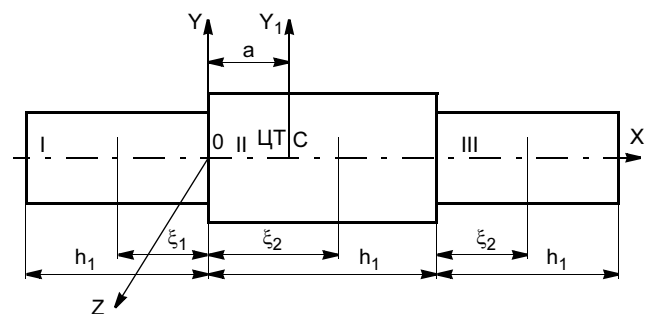


Рис. 3. Осесимметричная составная конструкции

Таблица 3

Момент инерции относительно оси симметрии тела вращения (экваториальный)

$$J_{OX} = \frac{\pi}{2} \int_0^h y^4 dx; J_{OX} = J_{OX_I} + J_{OX_{II}} + J_{OX_{III}};$$

$$J_{OX} = \frac{\pi}{2} (y_1^4 h_1 + y_2^4 h_2 + y_3^4). \quad (4)$$

Момент инерции относительно оси начала координат (полярный)

$$J_{OY} = J_{YOZ} + \frac{1}{2} J_{OX}.$$

Последнее тождество нетрудно доказать, поскольку величина полярного момента получается в результате сложения двух моментов инерции относительно двух взаимоперпендикулярных плоскостей:

$$J_{OY} = J_{OY_I} + J_{OY_{II}} + J_{OY_{III}} + h_2(2M_{III} + V_{III}h_2). \quad (5)$$

Момент инерции составной конструкции относительно оси CY_1 , проходящей через центр тяжести (УМ)

$$J_{CY_1} = J_{OY} - Ma, \quad (6)$$

где a — расстояние от центра тяжести конструкции до оси начала координат.

Центры тяжести отдельных фигур

$$\xi_1 = \frac{M_I}{V_I}; \xi_2 = \frac{M_{II}}{V_{II}}; \xi_3 = \frac{M_{III}}{V_{III}}.$$

Результаты расчетов моментов инерции для трех конструкций составной фигуры тела вращения с различными дисками и в разных положениях последних приведены в табл. 3.

Расчеты проводили по номинальным размерам деталей составной конструкции, т. е. без учета погрешностей, полученных в результате обработки отдельных деталей.

Экваториальные моменты сборок с диском I—III соответственно:

$$J_{1OX} = 4,28 \cdot 10^{-3}; J_{2OX} = 1,1206 \cdot 10^{-2};$$

$$J_{3OX} = 3,616 \cdot 10^{-3}.$$

Значения полярных моментов ($\text{кг} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}$) сборок с диском I—III приведены в табл. 4.

Отношения моментов инерции

$$F_{1i} = \frac{J_{1OY_i}}{J_{1OX}}; F_{2i} = \frac{J_{2OY_i}}{J_{2OX}}; F_{3i} = \frac{J_{3OY_i}}{J_{3OX}}$$

и их значения приведены в табл. 5.

Значения результирующих сил (Н) на опорах А и В для каждого из трех дисков приведены в табл. 6.

Результирующие силы в подшипниковых опорах А и В получены в результате обработки осциллограмм по тарировочным графикам определения уси-

| Диск | Положение диска (см. рис. 2) | Статический момент M , $\text{кг} \cdot \text{с}^2$ | J_{OX} , $\text{кг} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}$ | $J_{OY}10^{-2}$, $\text{кг} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}$ |
|------|------------------------------|---|--|---|
| I | I | -0,1944 | $4,28 \cdot 10^{-3}$ | 3,297 |
| | II | -0,0954 | | 2,474 |
| | III | $5,3 \cdot 10^{-3}$ | | 2,164 |
| | IV | 0,1046 | | 2,364 |
| | V | 0,2042 | | 3,074 |
| II | I | -0,194 | $1,1206 \cdot 10^{-2}$ | 3,640 |
| | II | -0,0943 | | 2,820 |
| | III | $5,288 \cdot 10^{-3}$ | | 2,510 |
| | IV | 0,104 | | 2,707 |
| | V | 0,2036 | | 3,416 |
| III | I | $1,95 \cdot 10^{-1}$ | $3,616 \cdot 10^{-3}$ | 3,280 |
| | II | $-9,55 \cdot 10^{-2}$ | | 2,630 |
| | III | $5,334 \cdot 10^{-3}$ | | 2,166 |
| | IV | $1,054 \cdot 10^{-1}$ | | 2,380 |
| | V | $2,089 \cdot 10^{-1}$ | | 3,080 |

Таблица 4

| $J_{1OY}10^{-2}$ | $J_{2OY}10^{-2}$ | $J_{3OY}10^{-2}$ |
|------------------|------------------|------------------|
| 3,2974 | 3,640 | 3,280 |
| 2,4740 | 2,820 | 2,631 |
| 2,1640 | 2,510 | 2,166 |
| 2,3640 | 2,707 | 2,380 |
| 3,0740 | 3,416 | 3,080 |

Таблица 5

| F_1 | F_2 | F_3 |
|-------|-------|-------|
| 7,704 | 3,248 | 9,071 |
| 5,780 | 2,517 | 7,276 |
| 5,056 | 2,240 | 5,990 |
| 5,523 | 2,416 | 6,582 |
| 7,182 | 3,048 | 8,518 |

Таблица 6

| P_{1a} | P_{1b} | P_{2a} | P_{2b} | P_{3a} | P_{3b} |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 23,900 | 37,100 | 26,280 | 44,900 | 28,700 | 52,500 |
| 14,700 | 17,570 | 21,600 | 29,230 | 23,220 | 21,600 |
| 3,228 | 1,379 | 2,390 | 2,230 | 1,650 | 2,620 |
| 13,600 | 19,380 | 8,930 | 19,760 | 12 | 17 |
| 21,870 | 18,580 | 38,500 | 42,30 | 33,500 | 39,630 |

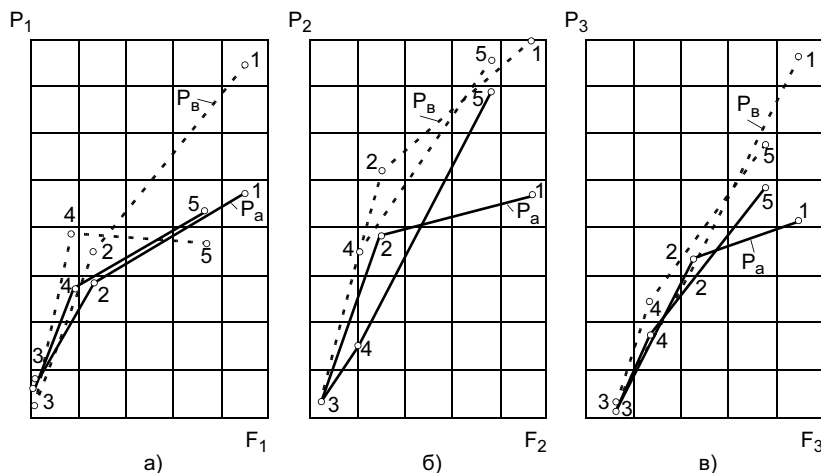


Рис. 4. Зависимость усилий в подшипниковых опорах от соотношения моментов инерции сборок I (а), II (б), III (в) конструкции: 1—5 — положение диска I—V соответственно

лий составной конструкции с различными дисками. Положение каждой из опор фиксировалось двумя расположенными перпендикулярно друг к другу тензорезисторами.

Величины смещения луча осциллографа и соответственно усилий в опорах А и В являются средне-

арифметическими из 25—30 показаний.

На рис. 4 приведены зависимости усилий в подшипниковых опорах от соотношения моментов инерции трех сборок конструкции.

ВЫВОДЫ

1. Реакции опор в пределах одного положения диска практически не зависят от изменения скорости вращения в пределах от 0 до 3500 мин⁻¹.
2. Реакции опор изменяются в зависимости от положения центра тяжести составной конструкции.
3. При сравнительно одинаковых массах дисков ($m_I = 1,215$ кг, $m_{II} = 1,21$ кг и $m_{III} = 1,244$ кг) реакции опор в значительной степени зависят от размеров дисков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фихтенгольц Г. М. Основы математического анализа. В 2 т.: Учебное пособие. М.: Наука, 1968. Т. 1. 440 с., Т. 2. 436 с.
2. Яблонский А. А. Курс теоретической механики: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1984. Ч. I. 346 с.
3. Панарин Н. Я., Тарасенко И. И. Сопротивление материалов: Учебник для вузов. М.-Л., 1962. 528 с.

В. А. ПАНФИЛОВ, В. М. МУРАШКО, А. Н. ТАРАСОВ
ФГУП ОКБ "Факел" (Калининград)

Титановые сплавы в композиции российского триколора для Северного Ледовитого океана

В процессе проведения регламентных, ремонтных и аттестационных работ на глубоководных аппаратах серии "Мир" в ОКБ "Факел" впервые были применены новые мартенситсодержащие стали и высокопрочные титановые сплавы разработки ОКБ (для ЭРД МТ и технологических источников плазмы) [1, 2]. При подготовке аппаратов "Мир" к высокоширотной арктической глубоководной экспедиции на дно Северного Ледовитого океана с установкой российского флага на Северном полюсе возникла задача изготовления флага с высокими коррозионной стойкостью, прочностью и необычными декоративными свойствами на уровне ювелирных изделий.

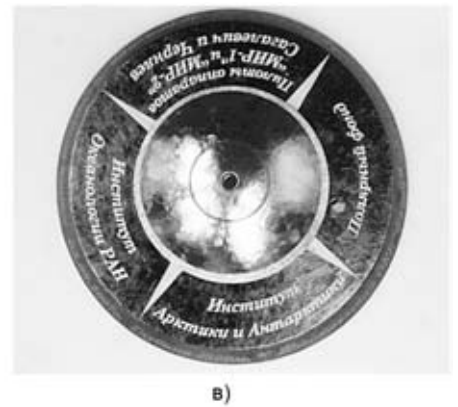
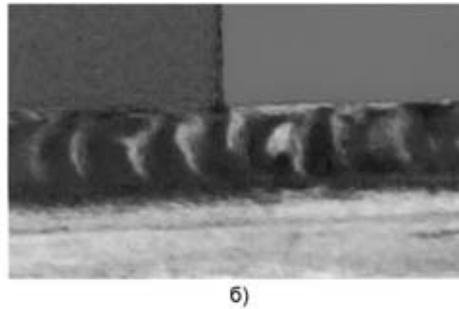
На базе имеющихся разработок¹ были рассмотрены и апробированы новые технологические схе-

мы и варианты изготовления с использованием титановых сплавов [2]. В таблице приведены марки, основные свойства и технические требования к титановым сплавам в конструкции триколора.

Формирование крупнозернистого макрорельефа на основании и полусфере в виде фрагмента земного шара у Северного полюса осуществляли вакуумным отжигом при 1100—1150 °С в течение 1—1,5 ч. Одновременно в процессе нагрева в вакууме (10^{-3} Па) наносили крупный цифровой и буквенный текст путем сплавления ленточной коррозионно-стойкой стали 12X18H10T толщиной 0,1 мм, оплавающейся на титановой основе с формированием кристаллической жидкой фазы. Остальной текст наносили лазерным гравированием после химического или термического оксидирования от золотисто-желтого до голубого и фиолетового цветов. Фиксацию иглы флагшто-

¹Патент 2081201 (РФ).

| Деталь | Сплав, поставка, прочность, обработка | Способ соединения в конструкции, термическая обработка, покрытие* |
|--|--|---|
| Основание (земная полусфера) | ВТ1-0, плита толщиной 20 мм, 480—500 МПа, механическая, укрупнение зерна | АрДС, предварительный вакуумный отжиг при 1100 °С, цветное химоксидирование до сборки |
| Флагшток Пика флагштока | ВТ-6, ВТ-23, пруток диаметром 10 мм, 1200 МПа, механическая обработка пики | Резьбовое соединение, цветное химоксидирование перед сборкой |
| Полотнище | ВТ1-0, лист толщиной 2 мм, 540—500 МПа, слесарная, для сварки с флагштоком | АрДС, предварительное термическое оксидирование, нанесение силиконового триколора |
| * Цветное химическое и термическое оксидирование от золотисто-соломенного до голубого и фиолетового цветов после выращивания зерна в вакууме; для флагштока и пики с сохранением текстуры прокатки, без выращивания зерна. | | |
| Об о з н а ч е н и е. АрДС — аргонодуговая сварка. | | |



Флаг России в собранном виде (а), фрагмент сварного шва (б) и основание флагштока (в)

ка и флагштока в корпусе проводили точечной контактной сваркой после сборки флага.

На рисунке приведен внешний вид флага, фрагмент сварного шва крепления с флагштоком и основание флагштока с полусферой.

Испытания образцов и фрагментов сварных, отожженных и сборных деталей из сплавов ВТ1-0, ВТ-6, ВТ-23, ВТ-14 в конструкторско-технологических вариантах изготовления флага показали высокую прочность соединений и коррозионную стойкость в 40 %-ной серной кислоте, растворах соляной и серной кислот при выдержке в течение 1000—1500 ч. Это позволило рекомендовать разработанные варианты соединений для использования конструкции на дне Мирового океана.

Флаг России был успешно установлен во время проведения героической операции подледного погружения 2 августа 2008 г. аппаратов "Мир-1" и "Мир-2" на дно в точке Северного полюса при изучении подледного шельфа Северного Ледовитого океана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов А. Н., Сагалевич А. М., Панфилов В. А. Материаловедческие и конструкторско-технологические аспекты выбора марок сталей для глубоководных аппаратов "Мир" // Наука и технологии. М., 2004. Т. 2. С. 47—52.
2. Tarasov A. N., Murashko V. M., Panfilov V. A. Main directions of new materials and technologies the manufacture of electric reactive engines // Welding International. 2006. Vol. 20. N 3. P. 240—242.

А. К. ГУРВИЧ, инж.
НИИ мостов и дефектоскопии

Приемочный и предшествующие ему виды неразрушающего контроля

Приемочный (а не "выходной"¹) контроль — это контроль продукции, по результатам которого принимается решение о ее пригодности к поставкам и/или к использованию (эксплуатации) (ГОСТ 16504—81). Продукцию, подвергаемую приемочному НК, допустимо разделить на две группы:

— материалы, полуфабрикаты, детали и т. п., поставляемые потребителям для изготовления объектов в различных отраслях промышленности, строительства, транспорта и подвергаемые потребителем сплошному или выборочному входному НК;

— продукция целевого назначения, как правило, в виде объектов повышенной опасности, передаваемая заказчику для эксплуатации без обязательного сплошного и даже выборочного входного НК (котлы атомных реакторов, корпуса морских судов, пролетные строения железнодорожных мостов, рельсы железнодорожные и т. п.).

В промышленных объектах возможно образование дефектов четырех типов: *несплошности, структурные неоднородности, отклонения размеров и физико-механических свойств материала* от значений, нормированных в НТД. Преобладающий тип дефектов — несплошности. Дефекты могут быть единичными или в виде группы дефектов (рис. 1) [1].

Естественно, в объекте могут возникать k типов дефектов: $k = 1, 2, \dots, n$ в количестве m_k каждый.

В общем случае дефект любого типа в той или иной степени потенциально опасен. С учетом потенциальной опасности дефекты согласно ГОСТ 15467—79 разделяют на три вида: *критические, значительные и малозначительные*. Тем не менее в практике ограничиваются разделением дефектов на два вида: "допустимые" и "недопустимые", т. е. такие, которые подлежат выявлению и изъятию. Так, в сварных соединениях листов толщиной 25 мм и менее поры диаметром 1 мм отнесены к виду "допустимые", а более 1 мм — к виду "недопустимые" [2]. В объекте могут возникать дефекты D различного типа k и вида i : D_{ki} , где $i = 1, 2, 3$.

Деление дефектов различного типа k на два вида — "допустимые" и "недопустимые" — весьма условно и экономически убыточно. Жесткие требования к качеству сварных соединений и разделение дефектов в них на эти два вида определяют перебраковку с последующей вырубкой и заваркой малозначительных дефектных участков, что снижает, а не повышает эксплуатационную надежность объектов.

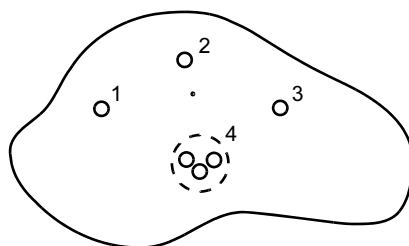


Рис. 1. Иллюстрация понятия "дефект": 1—3 — три дефекта типа "пора" одинакового диаметра; 4 — дефект "скопление пор" (каждая пора того же диаметра, что и поры 1—3)

Потенциальная опасность дефекта D_{ki} проявляется в возможности возникновения из-за него аварийной ситуации в процессе эксплуатации объекта, и ее допустимо характеризовать вероятностью $P_{ki}(A)$ возникновения аварийной ситуации при регламентированных условиях и режимах эксплуатации объекта в течение заданного периода времени, если этот дефект в объекте единственный [1].

Заметим, что установление численных значений $P_k(A)$ потенциальной опасности дефектов типа k весьма трудоемкая и поэтому во многих случаях не решаемая задача. Приближенные (условные) значения $P_{ki}^*(A)$, достаточные для выбора систем НК, можно определить [3], если ранжировать дефекты различного типа и размера по коэффициентам опасности r_{ki} (табл. 1):

$$P_{ki}^*(A) = P_T^*(A)r_{ki}/r_T,$$

Таблица 1

| Тип дефекта | r_{ki} при нагрузке | |
|--|-----------------------|-------------|
| | постоянной | переменной |
| Газовая опора округлая | 1 | 1—2 |
| Пора вытянутая | 1—1,5 | 1,5—3 |
| Цепочка пор | 1—2 | 2—3 |
| Скопление пор | 1—2 | 2—3 |
| Шлак округлый | 1—1,5 | 1,5—3 |
| Шлак вытянутый | 1,5—2 | 2—4 |
| Цепочка шлаковых включений | 1,5—2 | 2—4 |
| Несплавления по кромкам шва или между слоями | 5—8 | 8—20 |
| Непровар одностороннего шва | 3—5 | 5—10 |
| Непровар двустороннего шва | 1—2 | 2—7 |
| Трещина | 100 | 100 и более |

где $P_T^*(A) = 0,9999$ — условная потенциальная опасность трещины; r_{ki} — коэффициент опасности дефекта типа k и вида i ; r_T — коэффициент опасности трещины.

Образование дефектов в объекте при установившемся технологическом процессе их изготовления (эксплуатации) следует рассматривать как последовательность случайных событий. Поэтому дефектность объектов, т. е. степень поврежденности их дефектами, удобно описывать совокупностью распределений вероятностей $f_{ki}(m)$ числа m дефектов типа-вида ki в объекте. Эти распределения рассчитываются применительно к объекту в целом или к участку определенной заданной длины (площади). При построении распределений $f_{ki}(m)$ используют данные НК, металлографических и фрактографических исследований объектов (табл. 2) [4].

Для выявления в объектах дефектов вида критические (недопустимые) используют различные методы НК, каждому из которых присущи регулируемые и измеряемые параметры аппаратуры и процесса контроля, обуславливающие достоверность обнаружения дефектов и воспроизводимость результатов контроля. Такие параметры образуют группу *основных параметров* контроля. Основные параметры контроля охватывают основные *параметры аппаратуры*

и основные *параметры метода*, которые определяются соответствующими основными параметрами аппаратуры и физическими характеристиками материала объекта контроля. Наиболее полно основные параметры контроля, способы их измерения и стандартизации определены для акустических (ультразвуковых) методов НК [5, 6].

Каждый метод НК одного и того же объекта может быть реализован в различных вариантах, отличающихся друг от друга числовыми значениями одного или нескольких основных параметров контроля. Для контроля качества объектов используют отдельные варианты методов НК или их сочетания [2]. Совокупность вариантов одного или различных методов НК, используемых по определенной программе для оценки качества конкретных объектов, образует систему НК. Заметим, что изменение только программы контроля приводит к изменению системы НК.

В частном случае некоторая система НК C_j может включать один или несколько вариантов методов контроля. Вариант t метода M обозначается M_t . Достоинство систем НК состоит и в том, что они позволяют получать информацию, которая практически недостижима при использовании вариантов самостоятельно.

Приемочный контроль, базирующийся на системах НК, — эффективное, а в ряде случаев единственно возможное средство предотвращения аварийных ситуаций в объектах из-за разрушений по дефектам в них. Цель приемочного НК — повышение на ΔG вероятности G невозникновения аварийной ситуации в объекте за счет устранения дефектов, выявленных системой НК (рис. 2). Задача системы НК — выявление дефектов.

В процессе НК объекта дефект D_{ki} может быть выявлен или пропущен. Выявление этого дефекта можно рассматривать как событие случайное с вероятностью $P(B_{ki})$. Априорная вероятность выявле-

ния дефекта D_{ki} в реальных условиях вариантом t метода M должна определяться с учетом надежности комплекса "дефектоскоп—(оператор—среда)" [1]. Обозначим эту вероятность как $P_{д-оп}(B_{ki}|M_t)$. Вероятность обнаружения того же дефекта системой C_j составит:

$$P_{д-оп}(B_{ki}|C_j) = 1 - \prod_t [1 - P_{д-оп}(B_{ki}|M_t)].$$

Для контроля одного и того же объекта в общем случае может быть использовано множество различных систем C_j , где $j = 1, 2, \dots$. Необходимость обоснования и введения критерия для выбора эффективной системы НК конкретных объектов очевидна. С этой целью вводится *интегральный критерий эффективности* Q_j системы C_j , отражающий соотношение поставленной цели (техническая эффективность ΔG_j) и суммарных затрат $\mathcal{E}_{\Sigma j}$, за счет которых достигнута эта техническая эффективность.

Техническая эффективность системы НК — это приращение ΔG_j вероятности невозникновения аварийной ситуации в объекте, обязанное устранению в нем дефектов, выявленных системой НК, и определяемое выражением $\Delta G_j = G_j - G_0$, где G_0 — вероятность невозникновения аварийной ситуации в объекте после его изготовления до проведения НК; G_j — то же после устранения де-

Таблица 2

| m | Трещины | Непродвары | Одиночные поры и шлаковые включения | |
|---|---------|------------|-------------------------------------|------------------------|
| | | | недопустимые по размерам | допустимые по размерам |
| 0 | 0,9990 | 0,98150 | 0,980 | 0,97785 |
| 1 | 0,0009 | 0,01240 | 0,017 | 0,01420 |
| 2 | 0,0001 | 0,00393 | 0,003 | 0,00551 |
| 3 | — | 0,00135 | — | 0,00185 |
| 4 | — | 0,00034 | — | 0,00044 |
| 5 | — | 0,00010 | — | 0,00013 |
| 6 | — | 0,00003 | — | 0,00007 |

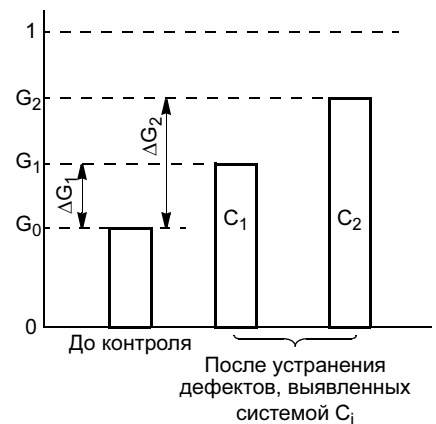


Рис. 2. Модель формирования надежности объектов

фектов, выявленных системой C_j (см. рис. 2);

$$G_0 = \prod_{ki} \left\{ \sum_m (1 - P(A_{ki}))^{(m)} f_{ki}(m) \right\};$$

$$G_j = \prod_{ki} \left\{ \sum_m \{ (1 - P(A_{ki})) [1 - P_{\text{д-оп}}(B_{ki}|C_j)] \}^{(m)} f_{ki}(m) \right\}.$$

Если $\Delta G_j \approx 0$, то применение такой системы бесполезно.

В общем случае в практике контроля возможно возникновение одной или нескольких ситуаций:

— неизвестны распределения $f_{ki}(m)$. При этом используют обычно известные распределения $f_{ki}(0)$ и $f_{ki}(\hat{m})$, где \hat{m} — наиболее вероятное для данного объекта число дефектов D_{ki} ;

— неизвестны значения потенциальной опасности $P_{ki}(A)$, но известны (или приняты) коэффициенты опасности r_{ki} дефектов D_{ki} . При этом $P_{ki}(A)$ заменяют условными расчетными значениями $P_{ki}^*(A)$;

— неизвестны значения $P_{ki}(A)$ и r_{ki} ; все дефекты разделяют на два вида: допустимые и недопустимые. При этом первым приписывается $P_{\text{д}}(A) = 0$, а вторым — $P_{\text{н}}(A) = 0,999$;

— отсутствуют значения $P_{\text{д-оп}}(B_{ki}|M_t)$ для рассматриваемых объектов. Тогда они для каждого выбранного метода должны быть заимствованы из публикаций или у организаций, выполняющих НК аналогичных объектов, или оценены экспериментально.

Суммарные затраты $\mathcal{E}_{\Sigma j}$ на систему приемочного контроля включают затраты непосредственно на контроль \mathcal{E}_{kj} , на вспомогательные операции, сопутствующие контролю \mathcal{E}_{vj} , и вероятные убытки, связанные с перебраковкой годных объектов $\mathcal{E}_{пj}$, т. е. $\mathcal{E}_{\Sigma j} = \mathcal{E}_{kj} + \mathcal{E}_{vj} + \mathcal{E}_{пj}$. Неодобровка (затраты $\mathcal{E}_{нj}$) учитывается технической эффективностью.

Следует отметить, что затраты непосредственно на локальный

(ручной) контроль \mathcal{E}_{kj} в основном определяются не стоимостью дефектоскопической аппаратуры, а заработной платой персонала НК. Так, при контроле 100 млн деталей подвижного состава в год затраты на амортизацию средств НК не превышают 135 тыс. руб. при расходах на заработную плату более 630 тыс. руб.

Значения \mathcal{E}_{kj} и \mathcal{E}_{vj} для систем НК должны уточняться для конкретного процесса контроля. Затраты $\mathcal{E}_{пj}$, связанные с ремонтом (или изъятием) ошибочно забракованных объектов, могут быть вызваны следующими причинами:

— случайной перебраковкой объекта, не содержащего никаких дефектов, из-за низкой помехозащищенности системы НК; при этом вероятность перебраковки — $P(\Pi_j^I)$;

— вынужденной перебраковкой объекта, содержащего допустимые дефекты, которые по данным контроля системой C_j не могут быть однозначно отнесены к допустимым; при этом вероятность перебраковки — $P(\Pi_j^{II})$.

Очевидно, что вероятность перебраковки объекта при контроле системой C_j составит:

$$P(\Pi_j^{I, II}) = 1 - [1 - P(\Pi_j^I)][1 - P(\Pi_j^{II})],$$

а вероятные убытки от перебраковки объекта при его стоимости или затратах на его "ремонт" F :

$$\mathcal{E}_{пj} = FP(\Pi_j^{I, II}).$$

Вероятные убытки от недобровки $\mathcal{E}_{нj}$ при известной стоимости J аварийной ситуации определяются выражением

$$\mathcal{E}_{нj} = J(1 - G_j) = J[1 - (G_0 + \Delta G_j)].$$

Следует обратить внимание на то, что затраты на систему НК, предусматривающую вынужденную перебраковку объекта (вторая причина), могут быть ниже затрат на систему НК, не допускающую такую перебраковку, при одинако-

вой технической эффективности этих систем.

Применение интегрального критерия "техническая эффективность — стоимость" в качестве основного принципа исследования систем НК позволяет ввести количественную определенность в понятия "плохая", "хорошая" и "лучшая" система НК и формировать рациональные системы НК объектов. Заметим, что этим критерием человечество пользуется инстинктивно и ежедневно, даже тогда, когда решает вопрос куда в перерыв пойти обедать: в ресторан повышенной комфортности или в кафе, или в студенческую столовую, или ограничиться бутербродом?

В зависимости от категории ответственности объекта контроля, определяемой прежде всего последствиями (стоимостью) вероятных убытков из-за возникновения аварийной ситуации, правомерно выделить следующие классы задач по формированию рациональных (эффективных) систем НК.

1. Действующая длительное время на предприятии система НК (C_{j^*} из t^* вариантов) при технической эффективности ΔG_j , удовлетворяет и поставщика, и потребителя. Требуется снизить затраты $\mathcal{E}_{\Sigma j^*}$ на контроль путем замены действующей системы C_{j^*} на другую, базирующуюся на различных сочетаниях вариантов t_i из освоенных предприятием для НК других объектов. Решение по выбору рациональной системы НК рассматриваемого объекта из возможных на предприятии сводится к минимизации затрат $\mathcal{E}_{\Sigma j}$ при технической эффективности не менее ΔG_{j^*} : $\mathcal{E}_{\Sigma \text{рац}} = \min \mathcal{E}_{\Sigma j}$ при $\Delta G_{j \text{рац}} \geq \Delta G_{j^*}$. Может оказаться, что данному условию удовлетворяют две и более систем. Тогда для выбора оптимальной из них следует воспользоваться дополнительными экспертными оценками, например показателем обобщенной функции [7, 8].

2. Возникновение аварийной ситуации в объекте сопровождается катастрофой или убытками, не сопоставимыми с убытками от перебраковки объекта. В этом случае величина \mathcal{E}_{Hj} неизвестна, поскольку значение j не может быть определено. Из всех технически возможных следует выбирать такую систему НК, для которой ΔG_j максимально, а суммарные затраты не превышают некоторое, в настоящее время экономически реализуемое значение \mathcal{E}_{Σ^*} , т. е. $\Delta G_{\text{рац}} = \max \Delta G_j$ при $(\mathcal{E}_{kj} + \mathcal{E}_{vj} + \mathcal{E}_{pj})_{\text{рац}} \leq \mathcal{E}_{\Sigma^*}$. Значение \mathcal{E}_{Σ^*} ограничивается техническим уровнем развития и объемами производства средств НК, обеспеченностью специалистами НК и контролепригодностью объектов.

3. Для особо ответственных объектов задано некоторое допустимое минимальное значение G_{j^*} вероятности безаварийной работы. При такой постановке затраты на перебраковку \mathcal{E}_{Hj} предопределены и задача сводится к формированию системы с минимальным значением суммарных затрат при технической эффективности не ниже заданного уровня: $\mathcal{E}_{\Sigma \text{рац}} = \min(\mathcal{E}_{kj} + \mathcal{E}_{vj} + \mathcal{E}_{pj})$ при $\Delta G_{\text{рац}} \geq G_{j^*} - G_0$.

4. Убытки J от возникновения аварийной ситуации из-за недобраковки объектов конечны и соизмеримы с убытками F от перебраковки объекта. Очевидно, из возможных систем с равными или близкими минимальными значениями затрат $R_j = \mathcal{E}_{\Sigma j} + \mathcal{E}_{Hj}$ оптимальной будет система $C_{\text{орт}}$ с максимальной технической эффективностью ΔG_j . Таким образом, $R_{\text{рац}} = \min(\mathcal{E}_{\Sigma j} + \mathcal{E}_{Hj})$ при $\Delta G_{\text{рац}} = \max \Delta G_j$.

Итак, получаем:

$$R_j = (\mathcal{E}_{kj} + \mathcal{E}_{vj}) + FP(\Pi_j^{I, II}) + J[1 - (G_0 + \Delta G_j)] = (\mathcal{E}_{kj} + \mathcal{E}_{vj}) + r_j.$$

В отдельных случаях, когда при изменении систем (например при изменении чувствительности дефектоскопа) затраты $\mathcal{E}_{kj} + \mathcal{E}_{vj}$ на

контроль остаются постоянными, для оптимизации систем НК допустимо ограничиться минимизацией функции r_j :

$$r_{\text{рац}} = \min\{J[1 - (G_0 + \Delta G_j)] + F(\Pi_j^{I, II})\}$$

при $\Delta G_{\text{рац}} = \max \Delta G_j$.

Встречаются ситуации, когда затраты $(\mathcal{E}_{kj} + \mathcal{E}_{vj})$ на возможные системы контроля объектов практически одинаковы, стоимости перебраковки F и недобраковки J объектов весьма близки ($F \approx J$) все дефекты дифференцированы на допустимые и недопустимые, вероятность обнаружения которых возможными системами C_j составляет соответственно $P(B_d|C_j)$ и $P(B_n|C_j)$. В этом случае интегральный критерий эффективности системы приобретает вид

$$r_{\text{рац}} = \min\{P(B_d|C_j) + [1 - P(B_n|C_j)]\}$$

при $P(B_n|C_{\text{рац}}) = \max P(B_n|C_j)$.

Таким образом, интегральный критерий эффективности в зависимости от класса задачи формирования эффективной системы НК приобретает конкретные расчетные выражения, использование которых в практике контроля не вызывает каких-либо затруднений.

Формированию систем НК объектов конкретного вида должна предшествовать разработка проектной организацией исходного перечня недопустимых дефектов, подлежащих выявлению, с указанием их типа, размеров, расположения по длине и сечению объекта, минимально допустимых расстояний между дефектами и максимально допустимого числа дефектов на заданной длине или площади объекта и др. [2].

Представляется неприемлемым описание дефектов в объектах косвенными признаками, проявляемыми при их обнаружении методами НК (например, "недопустимы дефекты, если их эквивалентная площадь превышает ... мм²" и т. п.).

Перевод типоразмеров недопустимых дефектов на "язык методов НК" — дело специалистов в области НК.

Естественно, исходные требования к качеству и системе НК объектов впоследствии могут уточняться, как это и произошло за период с 1953 по 1997 гг. в мостостроении [2].

Приемочному контролю, как правило, предшествуют пооперационный и входной контроль. Примечательно, что приемочный контроль объектов у производителя может быть повторен у потребителя уже в виде контроля входного как самостоятельного, так и в виде инспекционного. Примечательно и то, что иногда операционный контроль может выступать как составная часть входного контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурвич А. К., Ермолов И. Н., Сажин С. Г. Неразрушающий контроль. Кн. 1: Общие вопросы. Контроль проникающими веществами. М.: Высшая школа, 1992. С. 11—18, 101—126.
2. Гурвич А. К. Неразрушающий контроль в мостостроении // В мире НК. 2003. № 4 (22). С. 4—7.
3. Волченко В. Н. Вероятность и достоверность оценки качества металлопродукции. М.: Машиностроение, 1986.
4. Шапиро Л. Ш. Неразрушающий контроль сварных соединений мостовых и крановых конструкций // Опыт внедрения неразрушающих методов испытания материалов. Кишинев, 1974. С. 22—24.
5. Гурвич А. К., Кузьмина Л. И. Основные параметры ультразвукового контроля сварных соединений, принципы их стандартизации и эталонирования // Дефектоскопия. 1970. № 6.
6. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: Справочник. Кн. 2 // Под ред. В. В. Ключева. М.: Машиностроение, 1986.
7. Адлер Ю. П., Маркова В. Е., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 321 с.
8. Розина М. В., Яблоник Л. М., Васильев В. Д. Неразрушающий контроль в судостроении: Справочник дефектоскописта. Л.: Судостроение, 1983. 152 с.

"В мире неразрушающего контроля", 2007, № 4

С. В. ГАВРИШ, канд. техн. наук
ОАО ПО "Завод Стелла" (Москва—Зеленоград)

Технология выращивания и характеристики профилированных сапфировых труб для оболочек разрядных ламп

Монокристаллы сапфира (лейкосапфира, корунда) в виде лент, трубок и стержней разного поперечного сечения широко используют в приборах для электроники, оптики, акустики и других отраслей техники. При этом в качестве оболочек (колб) импульсных (модулируемых) ИК-источников с разрядом в парах щелочного металла может быть использована только корундовая труба [1]. Это обусловлено высокой химической стойкостью сапфира против воздействия щелочных металлов при рабочей температуре колбы до 1500 °С. Однако эксплуатационные характеристики импульсных разрядных ИК-источников выдвигают повышенные требования к оптической прозрачности и механической прочности лейкосапфировой трубы, которые напрямую связаны с ее структурным совершенством. Изготовление оболочек с помощью механической обработки объемных монокристаллов приводит к большим потерям дорогостоящего материала и неконтролируемому возникновению дефектов структуры. Большие перспективы получения дешевого и качественного материала открываются при использовании метода А. В. Степанова [2]. Однако данный способ имеет ряд особенностей, которые связаны с подготовкой

исходного сырья, условиями роста и методами обработки полученных изделий.

Цель данной работы — исследование влияния указанных технологических операций на структурное совершенство выращенной монокристаллической сапфировой трубы для колб ламп.

Процесс направленной кристаллизации из расплава по методу А. В. Степанова

Рассмотрим технологию изготовления сапфировых оболочек (рис. 1) и суть метода А. В. Степанова. На рис. 1 видно, что процесс изготовления колб ламп включает этап подготовительных работ, выращивания, формирования оболочки (резки, подшлифовки) и окончательный отжиг с целью снятия напряжений. Особо необходимо отметить важность контрольных операций после каждого технологического цикла. Подробно методы контроля свойств сапфировых труб для оболочек лампы рассмотрены в работах [3—5]. Основное дефектообразование происходит на этапе выращивания трубы по методу А. В. Степанова. Этот способ направленной кристаллизации имеет две специфические особенности, отличающие его от известных методов вы-

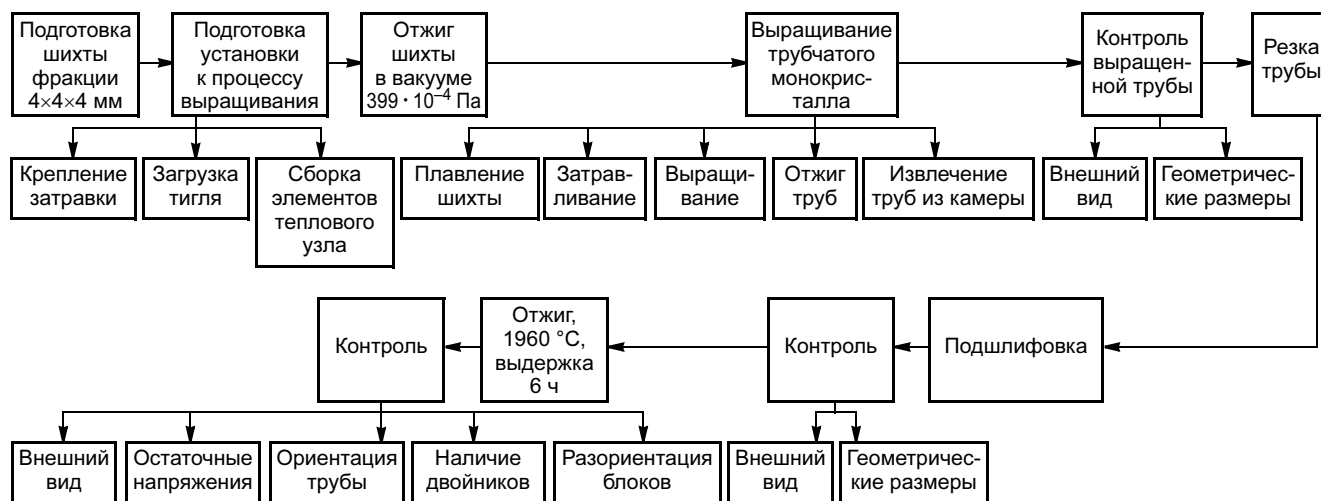


Рис. 1. Схема технологического процесса получения сапфировых оболочек ламп

ращивания кристаллов: применение капиллярного эффекта при формообразовании кристалла и создание определенных условий теплоотвода, обеспечивающих устойчивый рост трубы из ограниченного объема расплава.

Процесс выращивания заключается в следующем. После расплавления исходной шихты (рис. 2) образующийся расплав за счет капиллярных сил поднимается по капилляру (фильере) 2 в формообразователе 3 до его верхнего торца. Шток с укрепленной на нем затравкой (кристалл лейкосапфира в виде стержня диаметром 3 мм) опускается до соприкосновения затравки с расплавом над капилляром. Конец затравки оплавляється, при этом на торце формообразователя образуется пленка 4, питаемая через фильеру расплавом из тигля 1. Изменение температуры и скорости вытягивания затравки вверх способствует разрастанию кристалла в замкнутое кольцо. После этого растущий кристалл 5 приобретает форму, близкую по форме и размерам фильере 2.

При подходящем выборе профиля фильеры можно выращивать кристаллы с различным поперечным сечением, в том числе в виде лент, труб и других изделий сложного профиля (рис. 3). Выращивание данным методом возможно только при наличии устойчивой пленки расплава над фильерой. Условия гидростатического равновесия пленки определяются капиллярным уравнением Лапласа, а скорость выращивания ограничивается условием сохранения теплового баланса [2]:

$$vL = I_1 - I_2,$$

т. е. при выращивании кристалла со скоростью v количество выделяемой скрытой теплоты (L — скрытая теплота на единицу объема кристалла) должно

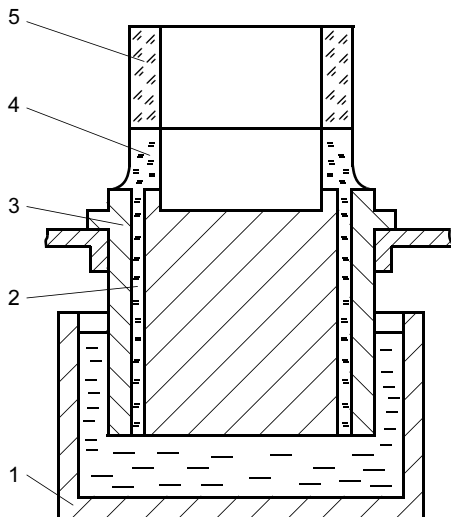


Рис. 2. Выращивание корундовых труб из расплава по способу А. В. Степанова

быть равно разности между теплотой I_1 , отводимой от фронта кристаллизации, и теплотой I_2 , подводимой к фронту кристаллизации. При соблюдении этих условий скорость выращивания по методу Степанова может достигать 1500 см/ч. Однако для получения высококачественных изделий, например сапфировых труб, скорость выращивания не должна превышать 30 см/ч.

Механизмы образования структурных дефектов в процессе выращивания сапфировой трубы

Как отмечалось выше, качество выращиваемого изделия определяется как на этапе подготовительных работ (выбор и дробление исходного сырья, изготовление оснастки, формирующей профиль кристалла), так и в процессе роста. Кроме того, на характеристики изделий значительно влияет качество исходной шихты и газовой среды роста, а именно количество и состав примесей. Большое влияние на качество оказывает также газовая среда роста и состав ее примесей. Как и любой процесс выращивания монокристаллов, получение трубок из профилированных монокристаллов корунда высокого качества происходит при точной стабилизации температуры и скорости вытягивания, отсутствии толчков и вибрации, передаваемых в зону кристаллизации. Широкий диапазон технологических особенностей выращивания требует более подробного исследования влияния каждого указанного фактора на прочностные и оптические свойства труб из бесцветного монокристаллического корунда.

Дефекты, заимствованные из исходного сырья. Основные требования к исходному сырью

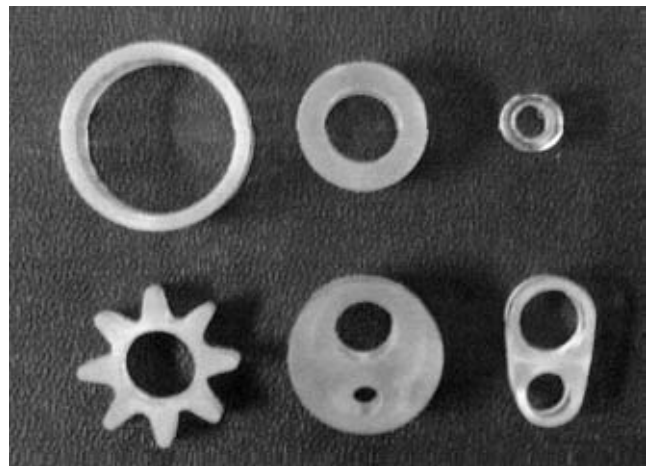


Рис. 3. Профили изделий, выращенных по методу А. В. Степанова

(шихте, грануляту) сводятся к минимуму газонасыщенности и содержания инородных примесей. Такими свойствами обладают бесцветные кристаллы монокристаллического корунда, полученные методом Вернейля (рис. 4). В отличие от известных методов кристаллизации из расплава, в которых формообразование связано с геометрией тигля или формообразователя, в методе Вернейля конечная геометрия сырья определяется как кристаллографическими его свойствами, так и температурным полем кристаллизатора.

Для синтеза кристаллов сапфира используется химически чистая шихта оксида алюминия в виде мельчайшего порошка γ -модификации, получаемая путем обжига алюмоаммонийных квасцов $Al_2(SO_4)_3 \cdot (NH_4)_2 \cdot SO_4 \cdot 24H_2O$ при $1100^\circ C$. Шихта 2 (см. рис. 4) при помощи встряхивающего штока 1 непрерывно поступает через пламя кислородно-водородной горелки 3 на оплавленный торец 5 ориентированной монокристаллической затравки 6, расположенной в термостабилизированной зоне 4. Кристаллизация расплава, образовавшегося на торце затравки, осуществляется путем плавного ее опускания в "холодную" зону и создания тем самым тем-

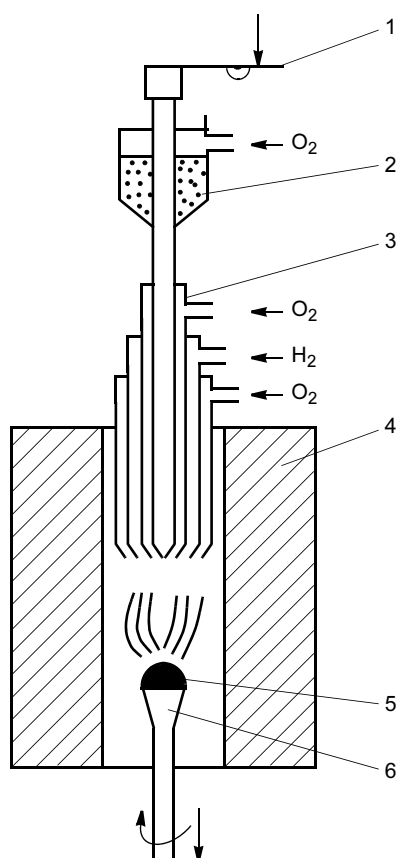


Рис. 4. Выращивание монокристаллов сапфира по методу Вернейля

пературного градиента на границе расплав—кристалл. Согласованность расходов шихты, водорода и кислорода со скоростью опускания затравки обеспечивает кристаллизацию на заданном уровне.

Отсутствие тигля в методе Вернейля обеспечивает высокую чистоту получаемых кристаллов. Скорость кристаллизации ограничивается захватом растущей гранью кристалла пузырей, находящихся в расплаве, и может достигать $12\text{--}15\text{ мм/ч}$. Высокий градиент температур на фронте кристаллизации, оттесняющий пузыри от растущей грани, благоприятствует росту чистых кристаллов сапфира. В то же время наличие температурного градиента приводит к образованию значительной плотности дислокаций (до 10^6 см^{-2}) и остаточным напряжениям в кристалле.

Попадание инородных примесей в сырье, полученное по методу Вернейля, возможно только на этапе подготовки сырья сапфира перед загрузкой в тигель. Опыт показал, что оптимальный размер зерна сапфировой шихты $4 \times 4 \times 4\text{ мм}^3$. Измельчение буль, полученных методом Вернейля путем механического дробления молибденовым пестиком в молибденовой ступке, увеличивает количество отходов за счет наличия в полученном грануляте повышенного содержания мелкой фракции. Кроме того, шихта загрязняется молибденом, так как при механическом воздействии острых и твердых кромок монокристаллов в шихту возможно попадание частиц этого металла.

Разработана технология приготовления гранулята термодроблением [4]. Отобранные куски монокристаллов загружают в корундовый тигель и в камерной электрической печи нагревают до $1100^\circ C$ в течение $1\text{--}1,5\text{ ч}$. После нагрева производят выдержку в течение 1 ч , а далее нагретые монокристаллы погружают в холодную дистиллированную воду. Термообработанные монокристаллы при нажатии пестиком рассыпаются на мелкие кусочки. Далее гранулят обжигают в корундовом тигле при температуре $1100^\circ C$ в течение $10\text{--}15\text{ мин}$ для удаления воды из трещин в кристалле. Данный способ исключает попадание в шихту зерен молибдена и дает оптимальный размер зерен шихты для максимального коэффициента заполнения плавильного тигля.

Влияние материалов формообразующей аппаратуры на дефектообразование в сапфировой трубе. Окрашивание выращиваемых труб и, как следствие, снижение интегральной прозрачности могут определяться включениями Cr, Fe, Si, Mn, Ti, Mo, W [6], которые попадают в зону кристаллизации как из расплава, так и формообразующей оснастки.

Наличие в сапфире инородных твердых включений, в первую очередь молибдена, обеспечивается попаданием в зону кристаллизации растворенных в расплаве примесей от материала тигля и формообразователя. Ранее проведенные исследования показали, что в кристаллах, полученных в инертном газе, обнаружены включения, правильная геометрическая форма которых позволяет предположить, что они представляют кристаллы молибдена. Включения выявлены в остатках застывшего расплава в тигле. Трубы, содержащие примесь молибдена, имеют сероватый оттенок, этот дефект отрицательно сказывается на электрических и излучательных параметрах лампы, снижая глубину модуляции. Поэтому представляет интерес использование в качестве материала формообразователя и тигля металлов, не реагирующих или слабо взаимодействующих с расплавом корунда. Такому требованию в какой-то мере отвечает вольфрам, имеющий более высокую температуру плавления и в несколько раз меньшую активность по сравнению с молибденом. Результаты исследования труб, полученных с помощью вольфрамового формообразователя, показали, что по блочности и пузырьности они находятся на уровне лучших образцов труб, полученных на молибденовых формообразователях. Испытания в лампах подтвердили, что трубы, выращенные с использованием вольфрамовых формообразователей, имеют лучшее оптическое качество (меньше включений) и это приводит к росту модуляционных характеристик ИК-источника.

Основные дефекты, полученные в процессе направленной кристаллизации. Многообразие несовершенств кристаллографической структуры сапфира характерно для всех существующих способов выращивания и подробно рассмотрено в работе [7]. К ним относятся парогазовые включения, блочность, напряжения, дислокации, двойникование и т. д. Ниже рассмотрены только те дефекты, которые преимущественно определяют оптико-механические свойства оболочек разрядных ламп и обусловлены гидродинамическими процессами, характерными для способа Степанова, либо связаны с полый цилиндрической формой выращиваемого кристалла.

Наличие твердых и парогазовых включений снижает не только механическую прочность сапфировых труб, так как они являются центрами образования дефектов, но также и оптическую прозрачность материала будущей оболочки разрядной лампы. Если неоднородности по размерам малы по сравнению с длиной волны λ ($\sim 0,1\lambda$), то рассеяние излучения лампы отсутствует. Если дефекты структуры сравнимы с длиной волны, то рассеяние излучения резко возрастает. Такими неоднородностями

в сапфировой трубе являются газовые и твердые включения, диаметром свыше 2 мкм.

Газовые включения могут быть в виде отдельных пузырей, цепочки и полос пузырей с различной плотностью, шнуровидных включений, дисков. Большинство специалистов полагают, что основная причина образования парогазовых включений — перемешивание расплава растворенными газами и парами летучих соединений. Основными газообразными примесями в расплаве могут быть продукты термической диссоциации Al_2O_3 , продукты взаимодействия расплава с материалом контейнера либо газовой средой, растворенные в расплаве газы H_2 и CO [7]. Загрязнение расплава Al_2O_3 газообразными примесями (AlO , Al_2O , H_2 , CO , CO_2 , O , O_2) происходит в ходе реакций, протекающих при высоких температурах в системе кристалл — расплав — тигель — газовая среда. Появление газовых включений в кристалле связано с захватом пузырьков из расплава на фронте кристаллизации (см. рис. 2, поз. 5) при превышении некоторой критической скорости роста. В работе [8] авторы предположили, что скопление пор — результат захвата кристаллом газовых пузырей, образующихся при взаимодействии различно направленных потоков расплава. Проведенные исследования показали, что в местах встречи и взаимодействия двух или нескольких потоков расплава в кристаллах образуются скопления пор. Плотность пор в зависимости от среды выращивания от $2,8 \cdot 10^4$ до $15 \cdot 10^4$ см⁻², размер отдельных пор $2,8 \cdot 10^{-3}$ — $1,1 \cdot 10^{-2}$ мм.

При выращивании по способу А. В. Степанова поведение гидродинамических потоков расплава вблизи фронта кристаллизации в значительной степени определяется конструкцией формообразователя. Управляя потоками расплава с помощью формообразователя, можно регулировать картину распределения газовых включений в объеме кристалла. Создание требуемых температурных условий процесса обеспечивается конструктивным выполнением нагревателя, теплоизоляции и системы тигель — формообразователь. Авторы работы [6] установили, что выращивание сапфировых труб для оболочек газоразрядных ламп с минимальным количеством инородных примесей и парогазовых включений должно выполняться при прецизионной стабилизации температуры и скорости выращивания, равной 0,5—1,0 мм/мин при разрачивании и 1,5—2,0 мм/мин в рабочем режиме при отсутствии толчков и вибрации, передаваемых в зону кристаллизации.

Существует еще один способ снижения пузырьности корундовой трубы. Поскольку пузыри располагаются почти непрерывной дугой вдоль наружной

и внутренней поверхностей трубы, их можно убрать механической шлифовкой и полировкой, удаляя поверхностные слои на глубину 0,25—0,20 мм. Необходимо отметить, что при полировании оптических кристаллов особенности тонкого приповерхностного слоя, искаженного многостадийным взаимодействием с абразивом, сказываются на коэффициенте отражения будущих сапфировых оболочек. В частности, интенсивности отражения монотонно растут по мере уменьшения диаметра частиц абразива [9]. Несмотря на эти потери, возрастание оптического пропускания после механической шлифовки и полировки достигает 10 %. Таким образом, исходя из полученных данных и работ [7, 9] интенсивность излучения, прошедшего сквозь нагретую оболочку, а также температура оболочки разрядной лампы и связанная с ней глубина модуляции существенно зависят не только от технологии выращивания, но и дальнейшей обработки сапфировой трубы.

Как отмечалось ранее, кристаллографическая ориентация трубок-затравок влияет на огранку выращиваемого кристалла. Вместе с тем наибольшее структурное совершенство трубки наблюдается при выращивании в направлении, близком к [0001]. Поэтому в качестве оптимальной считать разориентацию затравочного кристалла $\rho \leq 5^\circ$. Однако выращивание кристалла на затравку оптимальной ориентации еще не дает гарантии получения трубки с высокими прочностными характеристиками, которые определяются прежде всего степенью развитости блочности. Этот вид дефектов образуется в результате пластической деформации под действием температурных напряжений или наследуется от затравочного кристалла. Блоки могут быть обусловлены особенностями кинетики, которая в свою очередь зависит от гидродинамических потоков в расплаве, наличия примесей, инородных частиц и газовых пузырей. Блоки бывают двух типов: приповерхностные, границы которых не пересекают стенку трубки, а проходят параллельно ее наружной или внутренней поверхности, и объемные, границы которых пересекают стенку трубки от наружной до внутренней поверхности.

Критическим для формирования безблочной структуры кристалла является момент соприкосновения затравки с торцом формообразователя [2]. При переохлажденном расплаве начинается кристаллизация не только на затравку, но и на отдельных участках формообразователя. Присоединение уже закристаллизовавшегося участка к кристаллу, растущему на затравку, вызывает появление блоков с большими углами разориентации. При использовании стержневой затравки и привязки к точ-

ке делают перетяжку для избавления блоков. Необходимо при затравливании избегать колебаний температурного режима; резкое изменение скорости также вызывает появление блоков.

Как показали эксперименты, при наличии затравочных кристаллов необходимого качества ($\rho \sim 5^\circ$, две-три границы блоков с малой разориентацией) концы выращенных трубок на длине 800 мм по качеству несущественно отличаются от затравок. Таким образом, правильный подбор затравочных кристаллов обеспечивает необходимое структурное совершенство по всей длине трубок.

Еще одним дефектом, связанным с нарушением тепловых режимов выращивания, являются термоупругие напряжения к толще стенки сапфировой трубы. Наличие напряжений приводит к тому, что одноосные кристаллы становятся аномально двуосными. Анализируя этот вид дефектов, можно определить разность главных напряжений по формуле [5]

$$\sigma_1 - \sigma_2 = 0,6 \cdot 10^4 (1 - \cos 2E),$$

где $2E$ — угол оптических осей в выращенном кристалле, измеряемый поляризационным микроскопом.

Снижение термоупругих напряжений происходит при высокотемпературном отжиге (1960 °С). На рис. 5 приведена зависимость напряжения от времени отжига. Видно, что быстрое снижение напряжений наблюдается в первые часы температурного воздействия и стабилизируется уже через 6 ч. Отжиг при более высокой температуре повышает скорость снижения напряжений и уменьшает предельное напряжение.

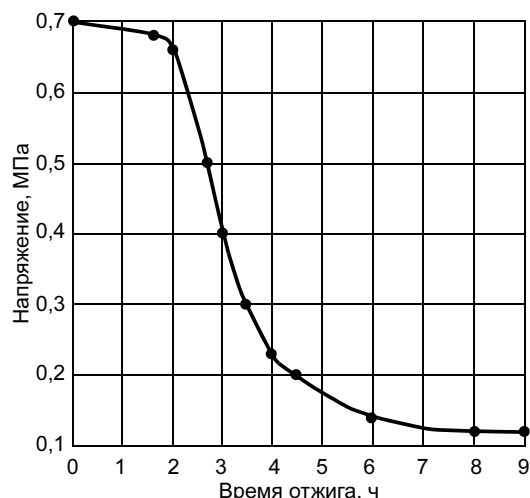


Рис. 5. Зависимость термоупругих напряжений от продолжительности отжига

Факторы, определяющие геометрические размеры. Основным стабилизирующим фактором в процессе выращивания является положение фронта кристаллизации над торцом формообразователя. Высота фронта определяет устойчивость формообразования, геометрию растущей трубки и существенно влияет на ряд свойств полученного кристалла. Авторы работы [7] определили оптимальную высоту фронта кристаллизации — 0,2 мм. Подбором размеров торца формообразователя и стабилизацией режима обеспечивается получение заданных размеров сечения трубок с точностью до $\pm 0,1$ мм. Высокий фронт кристаллизации способствует получению трубок с более совершенной поверхностью, однако при этом увеличивается вероятность проявления кристаллографической огранки трубки.

Установить количественную связь между основными параметрами столба расплава и поперечным размером растущего кристалла возможно численным решением капиллярного уравнения Лапласа. Но в большинстве публикаций полученные результаты охватывают ограниченное число частных случаев, почти все аналитические решения имеют довольно сложную математическую форму, а их точность и область применения недостаточно известны. Поэтому в настоящее время экспериментальный подбор конструкции формообразователя остается основным способом снижения дефектности выращиваемого кристалла. В заключение необходимо сделать следующие замечания. Поскольку дефекты поверхности формообразователя во многом отражаются на форме фронта кристаллизации, то для получения более совершенных кристаллов (без включений) необходима тщательная полировка поверхности формообразователя. Предпочтительнее также выращивать кристаллы в низкоиндексных направлениях, когда на фронте кристаллизации проявляется плотноупакованная грань.

Исследования влияния степени разориентации, остаточных напряжений и блочности сапфировых труб на качество паяных соединений, предельно допустимые электрические нагрузки и работоспособность в различных режимах проводили непосредственно на лампах. Из сапфировых труб с различными видами дефектов изготовили цезиевые лампы с диаметром разрядного промежутка 7 мм и межэлектродным расстоянием 60 мм. В начальный момент исследуемые образцы включали при потребляемой электрической мощности $P_n = 700$ Вт, после чего увеличивали P_n вплоть до разрушения лампы. Механизм разрушения и предельная на единицу внутренней поверхности электрическая мощ-

ность являлись критерием пригодности использования сапфировой трубы с исследуемым типом дефекта в качестве оболочки лампы. В результате проведенных экспериментов определили требования к качеству сапфировой трубы. Она не должна иметь отклонение геометрической оси от кристаллографического направления [0001] более чем на 10° ; превышать разориентацию соседних блоков больше 10° ; обладать белизной, образующейся обычно при отжиге; достигать значений термоупругих напряжений в трубе выше 1 МПа; иметь стрелу прогиба на длине 150 мм более 0,2 мм; содержать в объеме стенки больше пяти блоков в поперечном сечении; включать в себя непрозрачные дефекты, пузыри, ростовые сдвиги; обеспечивать волнистость поверхности в пределах допуска на геометрические размеры оболочки лампы.

Следует отметить, что выращенная по методу А. В. Степанова сапфировая труба, удовлетворяющая перечисленным требованиям, позволила впервые в России создать модулируемый ИК-источник с разрядом в парах щелочных металлов на уровне лучших мировых аналогов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Разрядные источники инфракрасного излучения для специальных целей* / С. В. Гавриш, Е. Н. Гайдуков, Б. А. Константинов и др. // Светотехника. 1998. № 3. С. 22—24.
2. *Антонов П. И., Затуловский Л. М., Костылев А. С.* Получение профилированных монокристаллов и изделий методом Степанова. Л.: Наука, 1971. 280 с.
3. *Рубин и сапфир* / Под ред. М. В. Классен-Неклюдовой, Х. С. Багдасарова. М.: Наука, 1974. 236 с.
4. *Браиловский В. Б.* Технологические процессы производства профилированных монокристаллов корунда и изделий из них. Тверь: Астер Плюс, 2003. 76 с.
5. *Методы и приборы для контроля качества кристаллов рубина* / Под ред. М. В. Классен-Неклюдовой, С. В. Грум-Гржимайло. М.: Наука, 1968. 106 с.
6. *Термостойкие диэлектрики и их спаи с металлом в новой технике* / М. А. Рубашев, Г. И. Бердов, В. Н. Гаврилов и др. М.: Атомиздат, 1980. 246 с.
7. *Браиловский В. Б., Гавриш С. В., Рыжков А. Е.* Дефекты структуры и диагностика характеристик труб из профилированных монокристаллов корунда для оболочек импульсных разрядных ламп ИК-излучения // Контроль. Диагностика. 2007. № 2. С. 49—59.
8. *Цилиндрические поры в растущем кристалле* / А. В. Жданов, Г. А. Сатункин, В. А. Татаренко, Н. Н. Тальянская // Известия АН СССР. Сер. Физическая. 1979. Т. 43. № 9. С. 1971.
9. *Спектроскопическое исследование поверхностного слоя полированного монокристалла α — Al_2O_3* / В. В. Ильин, В. Я. Назарова, Т. Туровская, А. Е. Чмель // ЖПС. 1994. Т. 60. № 1, 2. С. 135—140.

М. З. НАФИКОВ, канд. техн. наук, И. И. ЗАГИРОВ, инж.

Башкирский государственный аграрный университет (Уфа)

Математическая модель формирования соединения при электроконтактной наплавке (наварке) проволоки

Электроконтактная наплавка (наварка) (ЭКН) с применением присадочной проволоки является эффективным, ресурсосберегающим способом восстановления изношенных валов [1]. Способ позволяет формировать тонкие, ровные слои металлопокрытия самого высокого качества, не требующие дополнительной термической обработки.

Формирование металлопокрытия при ЭКН происходит без оплавления контактирующих поверхностей, общая сварочная ванна между основным и присадочным металлом не образуется. Прочность сварного соединения, как и при любом виде сварки металлов давлением, определяется интенсивностью деформационных процессов. Вал при наплавке деформируется незначительно, поэтому прочность сцепления покрытия с основой вала зависит прежде всего от деформации присадочной проволоки. Считается [1, 2], что исследования по совершенствованию данного перспективного способа восстановления должны быть направлены в первую очередь на изучение деформации присадочной проволоки.

В работах [1, 3—5] рассмотрены вопросы образования контактных площадок присадочной проволоки с поверхностями вала и ролика, исследовано изменение формы сечения проволоки. Авторы известных работ изучают параметры деформации проволоки только с геометрической точки зрения, без учета действующих на присадочный металл сил и возникающих в нем напряжений.

Цель данной работы — определить параметры деформации присадочной проволоки с учетом действующих на нее сил и проследить на этой основе процесс формирования сварного соединения покрытия с основой детали.

Проволока при наплавке испытывает трехмерную пластическую деформацию. В моменты осадки часть присадочного металла, находящегося в пластическом состоянии, выдавливается из-под наплавляющего ролика в сторону, обратную направлению затягивания проволоки в зону сварки. Это приводит к тому, что длина наплавленного валика L_B оказывается существенно больше (на 20—50 % в зависимости от технологических параметров режима ЭКН) длины проволоки $L_{пр}$, затраченной на формирова-

ние этого валика. Относительное движение горячего присадочного металла по наплавляемой поверхности в сочетании со значительным давлением инструмента приводит к разрушению, дроблению и выносу плотных оксидных пленок, препятствующих формированию качественного сварного соединения. Таким образом, о качестве (прочности) сварного соединения при ЭКН можно судить по относительной осевой деформации присадочной проволоки при ее наплавке на исследуемом режиме.

Экспериментально (рис. 1) выявлены следующие зависимости между прочностью сцепления покрытия с основным металлом вала и относительной осевой деформацией присадочной проволоки из углеродистых сталей и стали 30ХГСА соответственно:

$$\bar{\sigma} = 3,28\varepsilon_y - 0,549; \bar{\sigma} = 3,04\varepsilon_y^{0,70} - 0,922, \quad (1)$$

где ε_y — относительная осевая деформация проволоки, равная $(L_B - L_{пр})/L_{пр}$; $\bar{\sigma}$ — безразмерная прочность сцепления покрытия с основой, равная σ/σ_{max} (σ — прочность сцепления на исследуемом режиме, σ_{max} — максимально возможная прочность, равная прочности на разрыв основного металла вала).

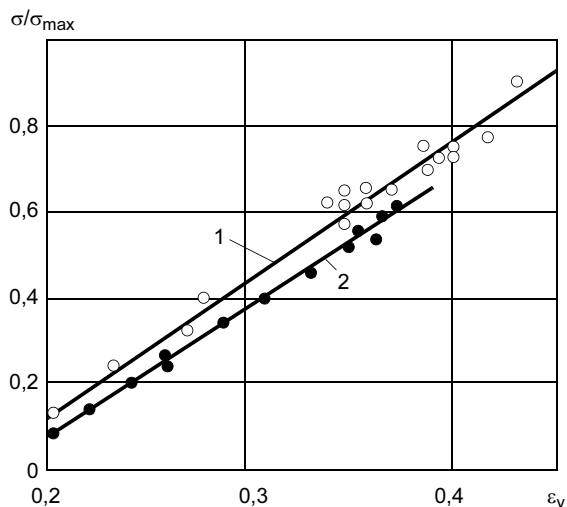


Рис. 1. Зависимость прочности сцепления металлопокрытия с основой от осевой деформации присадочной проволоки: 1 — углеродистая сталь; 2 — сталь 30ХГСА

По эмпирическим зависимостям (1) можно определять средние значения прочности сварного соединения.

На рис. 2 приведена схема деформации присадочной проволоки при ее осадке. К валу 4 радиуса R_1 наплавляющим роликом 1 радиуса R_2 с усилием F прижимается проволока 2 диаметром d . При прохождении импульса тока проволока разогревается до температуры, близкой к температуре плавления, при которой свойства присадочного металла приближаются к свойствам вязкой жидкости. По мере разогрева и деформации присадочной проволоки растут площадки 5 и 7 ее контакта с поверхностями вала и ролика, соответственно увеличивается отвод теплоты из зоны формирования сварного соединения. Наиболее интенсивно деформируются более разогретые объемы присадочного металла, поэтому считается, что к концу осадки проволоки температура в пределах контактной площадки выравнивается [1]. Проволока осаживается на величину t_1 со стороны вала и на величину t_2 со стороны ролика. Так как $R_2 \gg R_1$, то $t_1 > t_2$. В присадочном металле выделена элементарная призма 3 шириной f , положение которой определяется центральными углами α_1 и α_2 .

В результате каждого термомеханического цикла на поверхность вала наваривается порция металла, которую принято называть единичной площадкой металлопокрытия [1] и представлять в форме прямоугольного параллелепипеда длиной $L_{ед}$, шириной s и высотой δ , причем¹

$$L_{ед} = v_o t_{ц}; \quad \delta = \frac{\pi d^2}{4s(1 + \epsilon_y)}, \quad (2)$$

где v_o — окружная скорость вращения вала; $t_{ц}$ — длительность цикла наплавки; s — шаг наплавки по винтовой линии.

По выражению (2) определяли без ее непосредственного измерения среднюю толщину наносимого металлопокрытия. Так как при ЭКН на поверхности вала формируется тонкое и ровное покрытие с незначительной "чешуйчатостью", то отклонения значений толщины сварного валика от среднего значения пренебрежимо малы.

После осадки проволоки присадочный металл образует с цилиндрическими поверхностями вала и инструмента контактные площадки (см. рис. 2, поз. 5 и 6). Развертки таких площадок, приведенные на рис. 3, а, близки по форме к полуэллипсам [3, 5, 6]. Полуосями этих геометрических фигур являются половина ширины наплавленного валика b и длины контактных дуг L_1 и L_2 соответственно. Размер b замеряли

после наплавки, а размеры L_1 и L_2 определяли следующим образом.

Используя схему на рис. 3, б, получили следующие геометрические соотношения:

$$t_1 + t_2 + \delta = d; \quad (3)$$

$$\cos \alpha_{1,2} = (R_{1,2} - t_{1,2})/R_{1,2}; \quad (4)$$

$$L_{1,2} = R_{1,2} \alpha_{1,2}^{\max}. \quad (5)$$

Рассмотрим равновесие сил, действующих на присадочный металл от вала и ролика, приняв при этом несколько допущений.

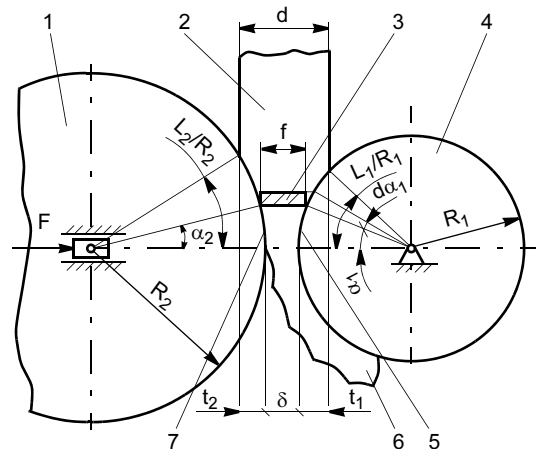


Рис. 2. Схема формирования металлопокрытия (б) при ЭКН

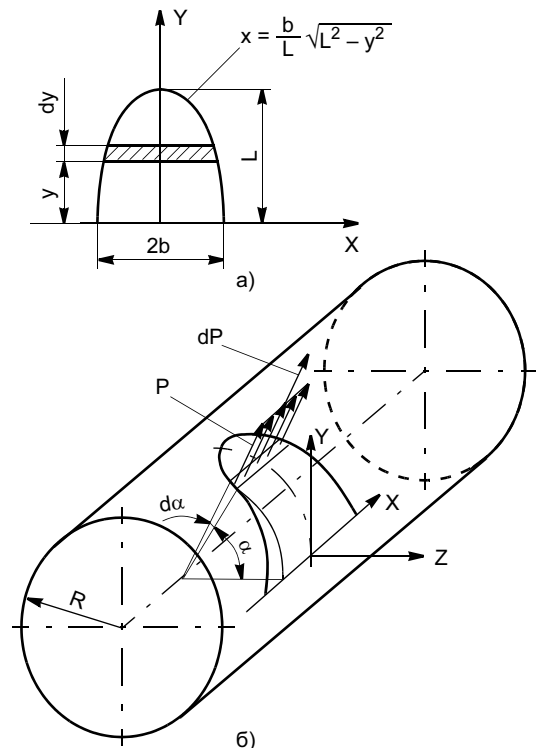


Рис. 3. Развертка площади контакта между валом и присадочным металлом (а) и распределение напряжений на выделенном элементе (б)

¹ Патент 2220829 (РФ).

1. Вращение вала и ролика, осевое перемещение присадочной проволоки не учитывается.

2. Действующие в контактах силы трения и сцепления покрытия с основой не учитываются.

3. Давление по контактным площадкам со стороны вала и со стороны ролика является постоянным и равным сопротивлению присадочного материала пластической деформации при его одноосном напряженном состоянии ($p = \sigma_T$), т. е. учитывается только гидростатическая составляющая нормальных напряжений.

В состоянии, близком к описываемому, находится присадочный металл в конце осадки проволоки.

На контактной площадке, приведенной на рис. 3, б, выделен элемент площадью

$$dA = R d\alpha 2x = 2 \frac{b}{L} \sqrt{L^2 - R^2 \alpha^2} R d\alpha.$$

На элемент, являющийся боковой гранью элементарной призмы на рис. 2, действует малое усилие, равное dP . Горизонтальная составляющая этого усилия

$$dP_z = \sigma_T 2 \frac{bR^2}{L} \sqrt{(L/R)^2 - \alpha^2} \cos \alpha d\alpha.$$

Просуммировав по контактным площадкам элементарные силы dP_z , действующие на присадочный металл как со стороны вала, так и со стороны ролика, получим

$$\begin{aligned} & \frac{R_1^2}{L_1} \int_0^{L_1/R_1} \sqrt{(L_1/R_1)^2 - \alpha^2} \cos \alpha d\alpha = \\ & = \frac{R_2^2}{L_2} \int_0^{L_2/R_2} \sqrt{(L_2/R_2)^2 - \alpha^2} \cos \alpha d\alpha. \end{aligned} \quad (6)$$

Для определения длин контактных дуг L_1 и L_2 необходимо решить систему уравнений (3)—(6). Известны также и другие способы определения полуосей L_1 и L_2 [3].

Длина L_1 дуги контактной площадки с валом получена в предположении, что деталь не вращается. Фактически длина сварной площадки будет больше, чем L_1 и равна

$$L_{св} = L_1 + v_0 t_{и},$$

где $t_{и}$ — длительность импульса тока.

Присадочный металл испытывает также напряжения растяжения, которые можно определить следующим способом. Выделим произвольное поперечное сечение сварной площадки (см. рис. 3, б). Положение данного сечения определяется углами α_1 и α_2 , которые связаны соотношением

$$R_1 \sin \alpha_1 = R_2 \sin \alpha_2.$$

На присадочный металл, расположенный выше данного сечения, со стороны вала и со стороны ролика действует растягивающая сила N_y . Ее можно определить, просуммировав осевые составляющие элементарных сил dP , действующих на присадочный металл от вала и инструмента по тем частям контактных площадок, что расположены выше данного сечения. Получим

$$\begin{aligned} N_y = & 2\sigma_T \frac{b_1 R_1^2}{L_1} \int_{\alpha_1}^{L_1/R_1} \sqrt{(L_1/R_1)^2 - \alpha_1^2} \sin \alpha_1 d\alpha_1 + \\ & + 2\sigma_T \frac{b_2 R_2^2}{L_2} \int_{\alpha_2}^{L_2/R_2} \sqrt{(L_2/R_2)^2 - \alpha_2^2} \sin \alpha_2 d\alpha_2. \end{aligned} \quad (7)$$

Площадь произвольного сечения сварной площадки (см. рис. 2)

$$A_\alpha = f 2x = 2fb \sqrt{L_1^2 - \alpha^2} R_1 / L_1; \quad (8)$$

$$f = R_1(1 - \cos \alpha_1) + R_2(1 - \cos \alpha_2) + \delta. \quad (9)$$

Если считать, что нормальные напряжения σ_y равномерно распределены по поперечному сечению формируемой сварной площадки, то

$$\sigma_y = N_y / A_\alpha. \quad (10)$$

Пример. Вал из стали 45 (ГОСТ 1050—75) диаметром $2R_1 = 50$ мм наплавил на различных режимах пружинной проволокой 2-го класса (ГОСТ 9389—75) диаметром $d = 1,8$ мм с применением ролика диаметром $2R_2 = 300$ мм. Относительное осевое удлинение присадочной проволоки ε_y после каждой наплавки составило 0,152, 0,172 и 0,458. Для различных режимов наплавки были получены зависимости распределения отношений растягивающих напряжений σ_y в поперечных сечениях присадочной проволоки к пределу текучести σ_T присадочного металла от координаты y сечения (рис. 4).

В соответствии с зависимостью (1) относительная осевая деформация присадочной проволоки $\varepsilon_y = 0,152$ недостаточна для образования сварного соединения основного и присадочного металла, она ниже пороговой. Кривая 1 на рис. 4 проходит ниже ординаты $\sigma_y / \sigma_T = 1$. Иными словами, действующие в присадочном металле растягивающие напряжения не достигают предела текучести для данных конкретных условий ЭКН.

Значению $\varepsilon_y = 0,172$ соответствует, как следует из зависимости (1), минимальная, близкая к нулю прочность сварного соединения. Соединение образуется только в самом начале сварной площадки, в зоне наибольшей деформации присадочной проволоки. В указанном поперечном сечении контактной площадки, т. е. при координате $y = 0$, действуют

напряжения σ_y , величина которых практически совпадает с пределом текучести металла проволоки (см. рис. 4, кривая 2).

Значению относительной осевой деформации $\varepsilon_y = 0,458$ соответствует близкая к максимально возможной прочность сцепления металлопокрытия с основой. На кривой 3 рис. 4 имеется значительная по размерам зона контактной площадки $y = 2,45$ мм, в которой растягивающие напряжения σ_y превышают максимально воспринимаемые присадочным материалом без разрушения напряжения — предел текучести при данной температуре. Это объясняется тем, что в данной зоне уже образовалось сварное соединение, воспринимающее излишнюю растягивающую нагрузку. В данной зоне контактной площадки происходит под значительным давлением относительное движение разогретого до пластического состояния присадочного металла по наплавляемой поверхности, которое, как было сказано выше, способствует образованию качественного сварного соединения в твердой фазе.

Фактически же образование соединения начинается уже при напряжениях σ_y , составляющих $0,97—0,98\sigma_T$, за счет пластической деформации микронеровностей металла основы.

Таким образом, условием формирования сварного соединения² при ЭКН является неравенство

$$\sigma_y \geq \sigma_T. \quad (11)$$

Можно сделать важный с технологической точки зрения вывод. Для обеспечения сплошного металлопокрытия без непроваров шаг наплавки по длине формируемого валика следует выбирать таким образом, чтобы обеспечить не только оптимальное перекрытие смежных контактных площадок [1], но и тех их зон, в которых образуется сварное соединение покрытия с основой вала [7]. Пользуясь схемой, приведенной на рис. 5, можно определить соответствующие коэффициенты перекрытия³:

$$K_{CB} = \frac{П_{CB}}{L_{CB}} = \frac{L_{CB} - v_0 t_{ц}}{L_{CB}} = 1 - \frac{v_0 t_{ц}}{L_{CB}};$$

$$K_y = \frac{П_y}{y} = \frac{y - v_0 t_{ц}}{y} = 1 - \frac{v_0 t_{ц}}{y}.$$

При исследованиях проводили эксперименты, позволившие проследить кинетику формирования сварного соединения. Наплавляли цилиндрические разборные образцы диаметром 50 мм. При этом технологические параметры режима наплавки поддерживали постоянными, такими же, как в предыдущем примере (см. рис. 4, кривая 3). Исключение соста-

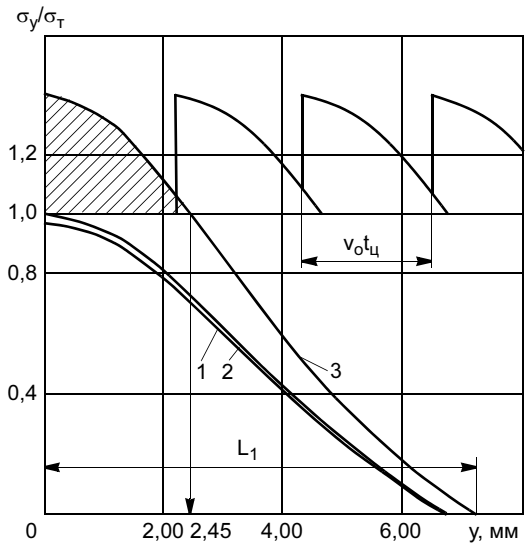


Рис. 4. Растягивающие напряжения в поперечных сечениях контактных площадок при различных режимах наплавки: 1—3 — ε_y равно 0,152, 0,172 и 0,458 соответственно

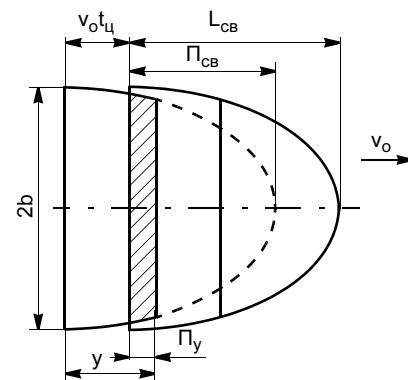


Рис. 5. К определению коэффициентов перекрытия

вила только длительность импульсов тока $t_{и}$, которую изменяли ступенчато. В этих экспериментах определяли относительную осевую деформацию присадочной проволоки ε_y и вычисляли по вышеприведенным зависимостям максимальные растягивающие напряжения σ_y в поперечных сечениях сварных площадок (при координате сечения $y = 0$). Получили зависимости $\varepsilon_y - t_{и}$ (1) и $\sigma_{y\max}/\sigma_T - t_{и}$ (2) (рис. 6). Полученная зависимость $\varepsilon_y - t_{и}$ удовлетворительно подтверждается экспериментально при отрыве штифтов разборных образцов от наплавленного слоя.

Выше было сформулировано условие образования сварного соединения при ЭКН (11). Из анализа зависимости, приведенной на рис. 6, следует, что образование сварного соединения начинается через 0,0062 с после начала цикла. Правильность расчетов подтверждается тем, что моменту начала образования соединения покрытия с основой соот-

² Патент 2278009 (РФ).

³ Патент 2263565, 2278009 (РФ).

ветствует пороговое значение осевой деформации проволоки $\varepsilon_y = 0,17$.

На рис. 7 и 8 приведено изменение длины и размеров зоны формирования сварного соединения в пределах контактных площадок. Видно, что рост такой

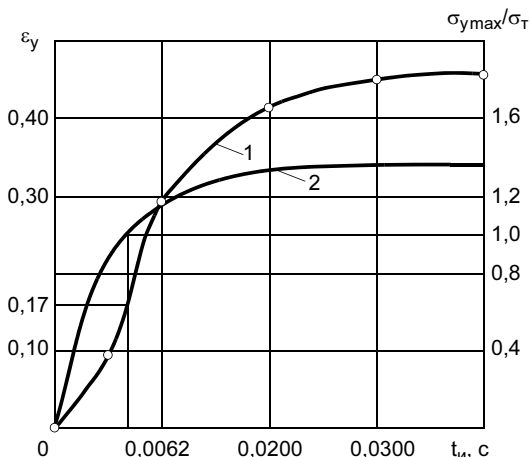


Рис. 6. Зависимость относительной осевой деформации присадочной проволоки и максимальных нормальных напряжений в зоне формирования сварного соединения от длительности импульса тока

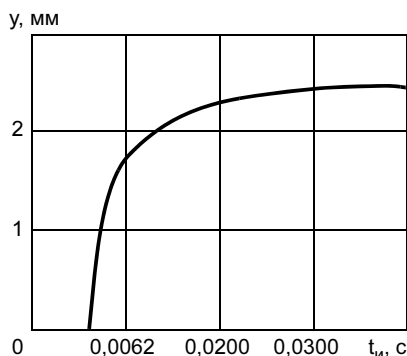


Рис. 7. Зависимость длины зоны формирования сварного соединения от длительности импульса тока

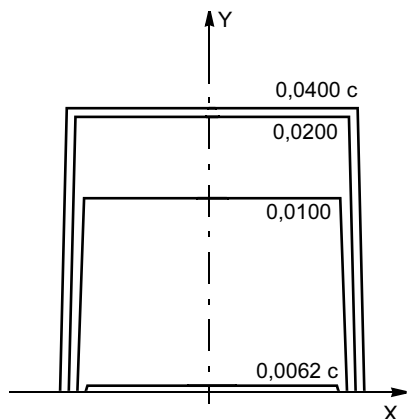


Рис. 8. Изменение размеров зоны сварного соединения при прохождении импульса тока

зоны практически завершается через 0,020—0,025 с. Тем не менее оптимальной длительностью импульса тока считаем значение 0,04 с. Металлографические исследования показывают, что к этому моменту времени полностью завершаются релаксационные процессы, а в стыке основного и присадочного металлов образуются общие зерна. Соединение при этом получается более пластичным.

На основе проведенных исследований разработана математическая модель формирования соединения при ЭКН валов, позволяющая рассчитывать основные параметры пластической деформации проволоки и формирования сварного соединения в зависимости от технологических режимов наплавки, материалов и диаметров детали и проволоки.

Результаты теоретических исследований могут быть использованы при проектировании технологических процессов восстановления изношенных деталей типа "вал".

ВЫВОДЫ

1. Прочность сварного соединения при электроконтактной наплавке определяется деформацией присадочной проволоки при ее наплавке. В качестве измеряемого и контролируемого параметра деформации проволоки целесообразно выбирать осевую составляющую.
2. Обязательным условием качественного сварного соединения является относительное движение разогретого до пластического состояния присадочного металла по наплавляемой поверхности.
3. Для формирования сплошного металлопокрытия без непроваров необходимо обеспечить перекрытие по длине сварного валика зон контактных площадок, в которых образуется сварное соединение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клименко Ю. В. Электроконтактная наплавка. М.: Металлургия, 1978. 128 с.
2. Каракозов Э. С. Соединение металлов в твердой фазе. М.: Металлургия, 1976. 262 с.
3. Расчет геометрических размеров контакта между присадочной проволокой и электродом при электроконтактной наплавке / Л. Н. Соколов, В. Т. Катренко, В. А. Пресняков и др. // Сварочное производство. 1987. № 10. С. 43, 44.
4. Дубровский В. А., Булычев В. В., Зыбин И. Н. Изменение формы поперечного сечения присадочной проволоки при электроконтактной наплавке // Сварочное производство. 2001. № 6. С. 24—27.
5. Дубровский В. А., Булычев В. В., Пономарев А. И. Предотвращение выплесков при электроконтактной наплавке проволокой из стали 40X13 // Сварочное производство. 2003. № 6. С. 12—15.
6. Нафиков М. З. Параметры электроконтактной наплавки // Технология металлов. 2005. № 7. С. 29—31.
7. Нафиков М. З. Формирование сплошного металлопокрытия при электроконтактной наплавке валов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2006. № 9. С. 24—29.

Оборудование технологическое для литейного производства

Оборудование для дробеметной, дробеструйной и дробеметно-дробеструйной обработки

Требования безопасности (ГОСТ 31335—2006)

Стандарт подготовлен ВНИИ стандартизации и сертификации в машиностроении (ФГУП "ВНИИНМАШ") и ОАО "НИИ литейных машин, материалов и технологий" (ОАО "НИИЛИТМАШ"), Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 252 "Литейное производство". Внесен Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии. Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 30 от 7 декабря 2006 г.). Введен впервые.

Дата введения **2008—01—01**.

1. Область применения

Настоящий стандарт распространяется на проектируемое, поступающее в эксплуатацию и действующее оборудование для дробеметной, дробеструйной и дробеметно-дробеструйной обработки поверхностей отливок, поковок, профилей, листа и других заготовок и деталей потоком дробы или другим абразивным материалом, установленных стационарно и не вызывающих увлажнения абразивного материала.

Требования настоящего стандарта являются обязательными при сертификации.

2. Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие межгосударственные стандарты:

ГОСТ 12.0.002—2003* "Система стандартов безопасности труда. Термины и определения";

ГОСТ 12.1.003—83 "Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности";

ГОСТ 12.1.004—91 "Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования";

ГОСТ 12.1.005—88 "Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны";

ГОСТ 12.1.010—76 "Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования";

ГОСТ 12.1.012—2004** "Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования";

ГОСТ 12.1.019—79 "Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты";

ГОСТ 12.1.030—81 "Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление";

ГОСТ 12.1.041—83 "Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность горючих пылей. Общие требования";

ГОСТ 12.2.007.0—75 "Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности";

ГОСТ 12.2.007.1—75 "Система стандартов безопасности труда. Машины электрические вращающиеся. Требования безопасности";

ГОСТ 12.2.007.9—93 (МЭК 519-1—84) "Система стандартов безопасности труда. Безопасность электротермического оборудования. Ч. 1. Общие требования";

ГОСТ 12.2.007.13—2000 "Система стандартов безопасности труда. Лампы электрические. Требования безопасности";

*На территории Российской Федерации действует ГОСТ 12.0.002—80.

**На территории Российской Федерации действует ГОСТ 12.1.012—90.

ГОСТ 12.2.022—80 "Система стандартов безопасности труда. Конвейеры. Общие требования безопасности";

ГОСТ 12.2.046.0—2004 "Оборудование технологическое для литейного производства. Требования безопасности";

ГОСТ 12.2.049—80 "Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования";

ГОСТ 12.2.062—81 "Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Ограждения защитные";

ГОСТ 12.2.072—98 "Система стандартов безопасности труда. Роботы промышленные. Роботизированные технологические комплексы. Требования безопасности и методы испытаний";

ГОСТ 12.3.027—2004 "Работы литейные. Требования безопасности";

ГОСТ 17.1.3.13—86 "Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения";

ГОСТ 17.2.3.02—78 "Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями";

ГОСТ ЕН 1070—2003 "Безопасность оборудования. Термины и определения";

ГОСТ 10580—2006 "Оборудование технологическое для литейного производства. Общие технические условия";

ГОСТ 11046—87 "Камеры очистные дробеметные непрерывного действия. Основные параметры и размеры";

ГОСТ 18111—93 "Оборудование технологическое для литейного производства. Термины и определения";

ГОСТ 18521—83 "Аппараты дробеметные. Основные параметры и размеры. Технические требования";

ГОСТ 31277—2002 (ИСО 3746—95) "Шум машин. Определение уровней звуковой мощности источников шума по звуковому давлению. Ориентировочный метод с использованием измерительной поверхности над звукоотражающей плоскостью";

ГОСТ 31169—2003 (ИСО 11202:1995) "Шум машин. Измерение уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других контрольных точках. Ориентировочный метод измерений на месте установки";

ГОСТ МЭК 60204-1—2002* "Безопасность машин. Электрооборудование машин и механизмов. Ч. 1. Общие требования".

Примечание. При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов по указателю "Национальные стандарты", составленному по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3. Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 12.0.002, ГОСТ 12.2.046.0, ГОСТ ЕН 1070, ГОСТ 18111, а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1. Эксплуатация оборудования: использование оборудования по назначению, техническое обслуживание и ремонт.

3.2. Абразивный материал: металлические или неметаллические частицы, используемые для обработки поверхностей.

3.3. Дробеметная обработка: процесс обработки поверхности потоком абразивного материала (дробью), создаваемым механическим устройством.

3.4. Дробеструйная обработка: процесс обработки поверхности потоком абразивного материала (дробью), создаваемым сжатым воздухом.

3.5. Дробеметно-дробеструйная обработка: процесс обработки поверхности потоками абразивного материала (дробью), создаваемыми механическим устройством и сжатым воздухом.

3.6. Дробеметный аппарат; ДМА: аппарат, в котором абразивный материал, подаваемый на лопатки вращающегося ротора, разгоняется до рабочей скорости и направляется на обрабатываемую поверхность.

3.7. Дробеструйный аппарат; ДСА: аппарат, в котором абразивный материал разгоняется сжатым воздухом до рабочей скорости и направляется на обрабатываемую поверхность.

3.8. Пооперационное (ручное) управление: управление, при котором команды на выполнение операций цикла подаются оператором.

Примечание. Пооперационное управление не должно допускать никаких переключений или операций, сверх включаемых оператором.

3.9. Полуавтоматическое управление: управление, при котором часть операций цикла включает

*На территории Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 60204-1—99.

оператор, а часть осуществляется в автоматической последовательности.

3.10. Автоматическое управление: управление, при котором все операции цикла осуществляются в автоматической последовательности, а весь цикл иницируется предыдущим циклом.

4. Общие требования безопасности

4.1. Оборудование для дробеметной, дробеструйной и дробеметно-дробеструйной (ОДО) обработки должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.046.0, ГОСТ 10580, а также требованиям безопасности, установленным в стандартах и технических условиях (ТУ) на оборудование конкретных типов или моделей.

4.2. Общие эргономические требования — по ГОСТ 12.2.049.

4.3. Требования к пожарной безопасности — по ГОСТ 12.1.004.

4.4. Требования к взрывобезопасности — по ГОСТ 12.1.010, ГОСТ 12.1.041.

4.5. Общие санитарно-гигиенические требования — по ГОСТ 12.3.027 и Санитарным правилам организации технологических процессов и гигиеническим требованиям к производственному оборудованию.

4.6. Воздух рабочей зоны (на рабочих местах) — по ГОСТ 12.1.005.

4.7. Отходы, удаляемые от ОДО, должны проходить очистку в соответствии с требованиями ГОСТ 17.1.3.13, ГОСТ 17.2.3.02 и Санитарных норм проектирования промышленных зданий.

4.8. Требования к шумовым характеристикам — по ГОСТ 12.1.003, ГОСТ 31277 и ГОСТ 31169.

4.9. Параметры вибрации на рабочих местах — по ГОСТ 12.1.012 и Санитарным нормам вибрации на рабочих местах.

4.10. Требования безопасности к промышленным роботам — по ГОСТ 12.2.072.

4.11. Грузоподъемные машины, механизмы и приспособления, входящие в ОДО, должны соответствовать требованиям правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов и лифтов.

4.12. Требования к конвейерам — по ГОСТ 12.2.022.

4.13. Электрооборудование — по ГОСТ 12.1.019, ГОСТ 12.1.030, ГОСТ 12.2.007.0, ГОСТ 12.2.007.1, ГОСТ 12.2.007.9, ГОСТ 12.2.007.13, ГОСТ МЭК 60204-1.

4.14. ОДО должно отвечать требованиям безопасности в течение всего срока эксплуатации при выполнении работающими требований, установленных в ТУ и эксплуатационных документах.

4.15. Конструкцией ОДО должна быть предусмотрена возможность исключения ошибки соединения и подключения при монтаже узлов и элементов, которые могут стать источником опасности.

5. Специальные требования безопасности

5.1. Дробеметный аппарат

5.1.1. ДМА — по ГОСТ 18521.

5.1.2. Конструкцией ДМА должны быть предусмотрены:

— быстросменное и удобное крепление лопаток и обеспечение надежности их крепления;

— крепление крышки ДМА к корпусу крепежными изделиями, отвинчиваемыми и завинчиваемыми только с помощью инструмента;

— блокировка, предотвращающая пуск аппарата при открытой крышке;

— блокировка, исключающая работу ДМА при выключенной вентиляции (выполняется потребителем литейного оборудования);

— надпись: "Не открывать до полной остановки ротора!" на крышке дробеметного аппарата или в его непосредственной близости.

5.2. Дробеструйный аппарат

Конструкцией ДСА должны быть предусмотрены:

— включение ручного струйного сопла только при воздействии на его рукоятку рук рабочего;

— автоматическое прекращение подачи сжатого воздуха и дробы в дробеструйное сопло в случае прекращения воздействия или ослабления усилия на рукоятку;

— блокировка, исключающая работу ДСА при выключенной вентиляции (выполняется потребителем ПО).

5.3. Камера

5.3.1. Конструкция дробеметных камер непрерывного действия — по ГОСТ 11046.

5.3.2. Конструкцией камер должны быть предусмотрены:

— полное укрытие рабочей зоны;

— исключение травмирования персонала, попадания частей тела в зазоры, неплотности, направляющие элементы притвора дверей, ворот и крышек;

— ограждения, шторы и уплотнения, предотвращающие вылет дробы и пыли из рабочего пространства;

— блокировка дверей, ворот, передвижных стенок в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.062, если возможно их открытие или удаление без помощи инструмента;

— освещение камеры, позволяющее определить местоположение двери во время максимального запыления;

— исключение возможности пуска ДМА и ДСА, пока дверь в камеру плотно не закрыта;

— исключение возможности открывания двери снаружи, пока роторы всех ДМА не остановились и не снято давление в ДСА;

— блокировки, предотвращающие вход персонала во внутреннее рабочее пространство во время очистки отливок или разрешающие доступ после создания в рабочем пространстве безопасных условий;

— блокировка, исключающая запуск дробеметного аппарата во время дробеструйной очистки вручную внутри камеры;

— беспрепятственный выход изнутри камеры через любую из дверей;

— автоматически срабатывающая фиксация, обеспечивающая удерживание подъемных дверей и ворот в верхнем положении в случае перерыва подачи энергоснабжения приводному механизму или при сбоях в системе управления, позволяющих подать сигнал на закрытие до выполнения предыдущих операций или выполнения условий безопасности;

— невозможность самопроизвольного движения дверей или ворот вниз при включении привода на подъем в случае разрыва трубопровода или троса, перебоя в энергоснабжении или по другой причине;

— открытие ворот и дверей, не имеющих блокировок, только с помощью инструмента или ключей;

— упоры и другие средства фиксации тележки в крайних положениях внутри и вне камеры.

5.3.3. Материалы внутренней обшивки рабочего пространства не должны вызывать появления на них электростатического заряда при воздействии струи абразива, или элементы, накапливающие статическое электричество, должны быть заземлены.

5.3.4. Места входа и выхода отливок из рабочего пространства, где вылет дробы не может быть полностью исключен, должны быть недоступны для посторонних лиц. Работающие, находящиеся у входа и выхода из рабочего пространства, должны использовать индивидуальные средства защиты лица.

5.3.5. В рабочих пространствах, где места входа и выхода отливок или других обрабатываемых изделий закрыты резиновыми шторами, дробеметные аппараты размещают так, чтобы при поломке лопаток ротора осколки не отлетали в сторону резиновых штор. Если такая установка дробеметных аппаратов не возможна, то доступ в опасную зону во время работы дробеметных аппаратов запрещается.

5.3.6. Камеры, предусматривающие возможность ручной дробеструйной очистки внутри рабочего пространства, оснащают:

— смотровым окном для наблюдения за работой внутри камеры. Окно должно выдерживать удары дробы, препятствуя вылетанию ее из внутреннего пространства камеры, а также иметь защиту, позволяющую сохранять прозрачность стекла;

— сигнальными лампочками, извещающими о работе внутри камеры вручную;

— системой управления дробеструйным аппаратом только изнутри камеры. При этом дверь в рабочее пространство не должна препятствовать выходу из него во время работы дробеструйного аппарата.

5.3.7. Камеры, в которых проводят ручную дробеструйную очистку отливок два или более работающих, должны быть снабжены стационарными или передвижными экранами, исключающими попадание абразива на соседнего работающего, или должно быть предусмотрено расстояние между работающими не менее 3 м.

5.3.8. В малогабаритных камерах, где очистку вручную осуществляет оператор, находящийся снаружи камеры, должны быть предусмотрены специальные рукава, надежно изолирующие рабочее пространство и исключающие выход струи наружу при отсутствии оператора.

5.3.9. Освещенность рабочего пространства, в котором проводят ручную очистку отливок дробеструйным методом, или пространства, в котором необходимо вести наблюдение за ходом очистки, должна быть не менее 150 лк.

5.4. Транспортная система

5.4.1. Устройства, несущие обрабатываемые предметы, должны:

— постоянно контролироваться;

— заменяться ранее, чем их грузоподъемность вследствие абразивного износа станет меньше паспортной;

— иметь сопроводительную техническую документацию, содержащую требования по эксплуатации подвесных и строповочных средств.

Применение сварки при монтаже и ремонте таких устройств не допускается. Предпочтительно использование кованных элементов.

5.4.2. Конструкцией тележки должны быть исключены ее самопроизвольное движение и поворот стола во время очистки.

5.4.3. Цепной конвейер очистных камер должен иметь выключатель для останова и пуска конвейера в местах подвешивания и снятия отливок. Конвейеры циклического движения должны быть оснащены блокировкой, обеспечивающей их пуск при наличии разрешающих сигналов на рабочих местах.

5.4.4. Подъемные приспособления для навешивания (снятия), погрузки (разгрузки) обрабатываемых предметов на грузонесущие устройства долж-

ны исключать опускание или падение этих предметов под действием собственной массы. Движение вниз должно происходить под действием силы или команды.

5.4.5. Позиции ручного навешивания и снятия обрабатываемых предметов, загрузки и разгрузки должны быть оборудованы, расположены и ограждены так, чтобы опасность травмирования персонала случайно сорвавшимися или упавшими деталями была исключена.

5.5. Загрузочные и разгрузочные устройства

5.5.1. Крышки смотровых и монтажных люков должны быть оснащены блокировкой, выполненной в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.062, если возможно их открытие или удаление без помощи инструмента.

5.5.2. Подвижные элементы системы сбора, транспортирования абразивного материала должны быть снабжены:

- ограждениями, исключающими доступ персонала в опасные места;
- блокировками, обеспечивающими остановку всей системы при снятии или смещении любого из ограждений и остановку всего оборудования. Последующий пуск возможен только с пульта после устранения нарушений блокировок и вызвавших их неисправностей.

5.5.3. Конструкцией конвейеров и элеваторов системы оборота абразива должны быть исключены опускание нагруженной ветви под действием массы материала и сползание (соскальзывание) последнего вниз при внезапной или преднамеренной остановке.

5.6. Абразивный материал, устройства сепарации и хранения

5.6.1. Применяемые в ОДО абразивные материалы не должны содержать нижеперечисленных химических элементов и соединений свыше указанных пределов по массе:

- сурьмы, свинца, кадмия, олова, мышьяка, бериллия, хроматов, кобальта и никеля (в сумме) — 2 %;
- мышьяка, бериллия, хроматов, кобальта, никеля — 0,2 %;
- металлических соединений в пересчете на металл и хроматы (CrO_3) — 2 %;
- свободного оксида кремния (SiO_2) — 2 %.

5.6.2. В устройствах для хранения абразива, сбора пыли, в вентиляционных трубах, шлангах и камерах должно быть исключено:

- искрение частей машины;
- накопление статического электричества;
- алюмотермические реакции;
- разведение открытого огня;
- скопление пыли в трубопроводах.

Пылеуловители мокрого типа должны быть снабжены взрывозащитными панелями.

Электропроводящие и накапливающие заряд части должны быть заземлены.

5.6.3. Подвижные элементы системы очистки и хранения абразивного материала должны быть снабжены:

- ограждениями, исключающими доступ персонала в опасные места;
- блокировками, обеспечивающими остановку всей системы при снятии или смещении любого из ограждений и остановку всего оборудования. Последующий пуск возможен только с пульта после устранения нарушений блокировок и вызвавших их неисправностей.

5.7. Система управления и контроля

Система управления и контроля ОДО должна обеспечивать:

- возможность экстренной остановки с каждого рабочего места;
- невозможность выполнения пооперационным (ручным) управлением любых операций, переходов, движений механизмов, сверхвключаемых оператором, а также нарушение их установленной последовательности, приводящей к опасности для персонала и оборудования;
- невозможность включения каких-либо операций или движений при выполнении группы операций (всего цикла в автоматическом режиме) при полуавтоматическом и автоматическом управлении;
- возможность выполнения наладочных операций в специальном режиме в обход или при блокировке устройств безопасности. При этом операции должны выполняться только при воздействии оператора на орган управления (кнопку, рычаг и т. д.) и немедленно отключаться при прекращении воздействия, включение других режимов должно быть невозможным;

— автоматическое обесточивание или (и) снятие давления в приводах затворов, управляющих потоком абразива при отключении ОДО с приведением затворов в положение "Закрыто";

— блокировку приводов дверей, ворот, крышек загрузочных люков, исключающую включение их одновременно с приводами загрузочных или разгрузочных устройств;

— сигнализацию на пульте оператора об открытой двери (воротах) при проведении ремонтных работ, обслуживании или уборке в рабочем пространстве.

5.8. Санитарно-гигиенические требования

5.8.1. Система вытяжной вентиляции ОДО должна обеспечивать:

— минимум 60-кратный воздухообмен в рабочем пространстве с вакуумом не менее 40 Па и скоростью воздуха в открытых проемах не менее 1 м/с, если другие значения не установлены в стандартах и ТУ на ОДО конкретных типов или моделей;

— автоматическую задержку открытия двери (ворот, люка) после окончания цикла для обеспыливания рабочего пространства.

5.8.2. Количество отсасываемого воздуха в расчете на работу одного сопла дробеструйной установки следует принимать, м³/ч, не менее 6000 для диаметра сопла 6 мм, 8000 — 8 мм, 10 000 — 10 мм, 14 000 — 12 мм, 18 000 — 14 мм.

5.8.3. Места погрузки, разгрузки и перевалки обрабатываемых объектов должны иметь звукопоглощающие укрытия без резонирующих поверхностей. Исключения могут составлять позиции, обслуживаемые вручную или с помощью малой механизации (подъемников, талей, рычажных систем и т. д.).

5.8.4. ОДО для ручной дробеструйной очистки должно быть снабжено защитным шлемом и системой подачи воздуха для дыхания, удовлетворяющими следующим требованиям:

— конструкцией и материалами дыхательной аппаратуры должно быть исключено попадание в воздух для дыхания вредных и раздражающих газов и паров;

— дыхательная аппаратура и шлем должны быть стойкими к дезинфицирующим средствам;

— электрическое сопротивление материалов аппаратуры не должно быть более 10⁸ Ом/м;

— длина трубопровода должна быть не более 50 м;

— должны быть обеспечены возможности регулирования температуры воздуха с минимальным уровнем 20 °С и объема его подачи с минимальным уровнем 60 дм³/мин при положении регулятора "Закрыто" и 160 дм³/мин — в положении "Открыто";

— воздух должен быть чистым, не загрязненным компрессорной смазкой и т. п.

6. Информация, предохранительные и предупредительные устройства

6.1. Требования к информации

6.1.1. Информация, необходимая для функционирования и технического обслуживания оборудования, должна быть доступной для восприятия и понимания обслуживающего персонала.

6.1.2. В информации для пользователя должно быть четко определено назначение машины и должны быть все данные, необходимые для безопасной и бесперебойной работы оборудования.

6.2. Предупреждения о потенциальных опасностях

Если существуют потенциальные неочевидные опасности, то изготовитель обязан нанести понятные обслуживающему персоналу предупреждения. Предупреждения следует располагать на хорошо видных местах.

6.3. Маркировка

6.3.1. Маркировка ОДО — по ГОСТ 10580.

6.3.2. Электрооборудование должно быть снабжено табличкой, содержащей основные технические данные, включая степень защиты, и читаемой за весь период его срока службы.

6.4. Руководство по эксплуатации

6.4.1. Руководством по эксплуатации (РЭ) должна быть снабжена каждая единица оборудования.

6.4.2. РЭ должно содержать следующие данные:

— назначение оборудования и основные технические данные;

— указания мер безопасности;

— порядок установки и подготовки оборудования к работе;

— порядок работы, технического обслуживания и ремонта;

— характерные неисправности и методы их устранения;

— правила хранения и транспортирования;

— требуемая квалификация обслуживающего персонала.

7. Требования к уходу, содержанию и обслуживанию

7.1. Требования к обслуживающему персоналу

Обслуживание должен проводить персонал, прошедший инструктаж по технике безопасности, освоивший приемы работы на оборудовании, имеющий соответствующую квалификацию и допуск.

7.2. Требования к техническому обслуживанию

7.2.1. Руководством по техническому обслуживанию должна быть снабжена каждая единица оборудования. Руководство должно содержать:

— инструкции по объему и периодичности проверок;

— перечень возможных неполадок и меры по их устранению;

— рекомендации по защите и недопущению опасных ситуаций для обслуживающего персонала;

— сведения о квалификации персонала, проводящего работы по техническому обслуживанию.

7.2.2. Работы по техническому обслуживанию проводят при выключенном оборудовании. Результаты должны быть зарегистрированы в специально заведенном журнале.

Ссылка на данный материал как официальный документ не допускается

В. К. ШЕХОРИН, канд. техн. наук

Егорьевский технологический институт (филиал) ГОУ ВПО МГТУ "Станкин"

Экологический подход к проектированию технологических процессов в машиностроении

Идея создания экологически чистых машиностроительных производств по своей сути не нова. Однако в современном мире с его глобальным пониманием проблем экологии она ставится все более жестко и звучит все более актуально. Уже недостаточно вынести вредные производства за городскую черту или удалить их с территории конкретного государства. Речь идет о кардинальной перестройке производства с учетом норм и стандартов защиты окружающей среды. Эти нормы и ограничения трактуются все более широко и год от года становятся жестче. Так, например, при оценке экологического ущерба, наносимого тем или иным промышленным объектом, учитываются не только загрязняющие вещества, содержащиеся в твердых отходах, пылевых и газовых выбросах и сточных водах, но и тепловые выбросы, приводящие к глобальному потеплению климата планеты.

Решение экологических проблем становится не только и не столько технологической, но и экономической задачей. Конкурентная борьба между фирмами, производящими аналогичную продукцию, разворачивается за то, чтобы эта продукция не наносила ущерба здоровью и вреда окружающей среде как в процессе ее эксплуатации, так и в процессе производства. Подход, при котором считалось, что от вредных производственных факторов следует защищаться посредством специального экозащитного оборудования (вентиляции, очистных сооружений, защитных и шумопоглощающих экранов и т. п.), весьма устарел. Конечно, никто не отрицает полезности данных устройств, и по сей день продолжающих выполнять свои функции, но они имеют ряд существенных недостатков. Во-первых, не полностью устраняют влияние вредных производственных факторов; во-вторых, занимают значительные производственные площади; в-третьих, часто энергоемки и, наконец, очень дорогостоящие.

Последнее обстоятельство негативно отражается на себестоимости продукции и ведет к снижению ее конкурентоспособности на рынке.

Таким образом, наиболее прогрессивным становится подход, обозначаемый известной истиной: "чисто там, где не сорят". В интерпретации приме-

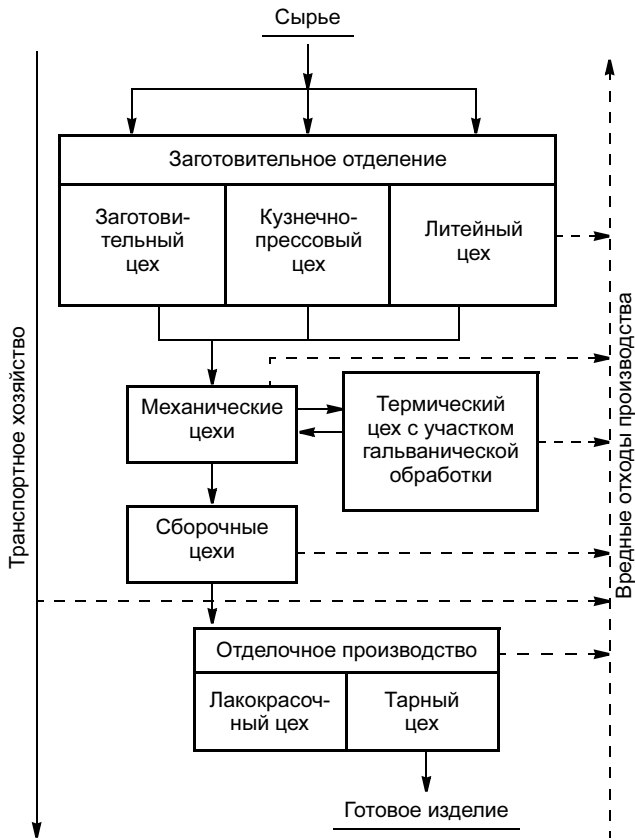
нительно к процессу машиностроительного производства это означает использование и разработку экозащитных и ресурсосберегающих технологий. Современное машиностроительное производство насыщено вредными факторами до такой степени, что представляет обширное поле деятельности для исследования и внедрения новых технологий. Здесь и вредные химические соединения, образующиеся при обработке материалов и разложении СОЖ, и пылевые выбросы в атмосферу, и вибрации, и повышенные температуры. Вопрос заключается в том, чтобы систематизировать все эти вредные воздействия и предложить способы их устранения или снижения.

Современное машиностроение развивается на базе крупных производственных объединений, включающих цеха по подготовке заготовок: заготовительный, кузнечно-прессовый, а в ряде случаев и крупное литейное производство (литейный цех), механические цехи, термический цех с гальваническим участком, сборочные цехи, цех покрытий с лакокрасочным и тарным участками. В состав предприятий также входят испытательные станции, ТЭЦ, транспортный и вспомогательные подразделения.

Согласно приведенной схеме (см. рисунок), загрязняющие вещества образуются на всех этапах производства. Поэтому, чтобы исключить влияние вредных факторов на здоровье человека и окружающую среду, необходимо стремиться к разработке экологически чистых и безотходных производств. А для этого необходимо провести инвентаризацию предприятия и определить виды и количество загрязняющих веществ на каждом этапе технологического процесса изготовления деталей.

Инвентаризация выбросов представляет систематизацию сведений о распределении источников по территории, количеству и составу выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.

Результаты инвентаризации представлены в виде табл. 1. В качестве примера приведем результаты анализа вредных производственных воздействий одного из подмосковных предприятий только по одному заготовительному цеху.



Технологическая схема машиностроительного предприятия

При разработке технологического процесса одним из первых решается вопрос выбора материала детали. Материал выбирают согласно технологическим и экономическим требованиям на изготавливаемую деталь. В настоящее время имеется огромный выбор и разнообразие материалов с различными характеристиками и полезными свойствами, которые достигаются за счет введения большого количества легирующих добавок и примесей, вследствие чего при их обработке может происходить выделение вредных загрязняющих веществ. Поэтому при выборе материала детали должна иметь место и экологическая точка зрения. Выбор материала, как правило, подразумевает назначение стандартного технологического процесса его обработки. Очень часто применяются такие сравнительно неблагоприятные в плане экологии процессы, как азотирование, цианирование, шлифование и др. Поэтому еще на стадии конструирования деталей изделия можно подойти к назначению материала более обдуманно, с учетом дальнейшей технологии его обработки и имеющихся на предприятии технологических средств обработки.

Таблица 1

| Наименование участка, операции | Технологический процесс, вид оборудования, исходный материал, наименование источника выделения загрязняющего вещества | Выделяющиеся загрязняющие вещества | Примерное количество загрязняющего вещества, отходящего от источника выделения |
|----------------------------------|---|---|--|
| Участок ручной дуговой сварки | Сварочный пост "Комсомолец-100", электродная проволока, CrM-0,75 | Оксид железа | 0,0271 т/г |
| | | Марганец | 0,00286 т/г |
| | | Пыль неорганическая с диоксидом кремния (20—70 %) | 0,00206 т/г |
| | | Фториды | 0,00485 т/г |
| Участок ручной газовой сварки | Сварочный пост В-2К, С-27, С-1 | Фтористый водород | 0,0011 т/г |
| | | Диоксид азота | 0,00221 т/г |
| | | Оксид углерода | 0,0196 т/г |
| Участок сварки в углекислом газе | Сварочный пост Материал типа ПП-АН-8 | Сварочный аэрозоль | 16,6 г/кг |
| | | Кобальт | 0,6 г/кг |
| | | Хром | 1,7 г/кг |
| Участок газовой резки | Сталь углеродистая, толщина разрезаемого листа 10 мм | Сварочный аэрозоль | 20,1 г/кг |
| | | Оксид железа | 17,8 г/кг |
| | Качественная легированная сталь, толщина разрезаемого листа 10 мм | Марганец | 0,50 г/кг |
| | | Фториды | 1,8 г/кг |
| | | Оксид железа | 131 г/ч |
| Участок плазменной резки | Сталь углеродистая, толщина разрезаемого листа 10 мм | Оксид углерода | 63,4 г/ч |
| | | Диоксид азота | 64,1 г/ч |
| | | Марганец | 1,9 г/ч |
| | Качественная легированная сталь, толщина разрезаемого листа 10 мм | Оксид железа | 129,1 г/ч |
| | | Сварочный аэрозоль | 145,5 г/ч |
| | | Оксид углерода | 55,2 г/ч |
| Механическая резка | Отрезной станок | Диоксид азота | 43,4 г/ч |
| | | Марганец | 2,5 г/ч |
| | Автомат правильно-отрезной И-6118 | Оксид железа | 143 г/ч |
| | | Сварочный аэрозоль | 811 г/ч |
| | | Оксид углерода | 277 г/ч |
| Механическая резка | Автомат правильно-отрезной И-6118 | Диоксид азота | 1187 г/ч |
| | | Марганец | 23,7 г/ч |
| | | Оксид железа | 787,3 г/ч |
| Механическая резка | Автомат правильно-отрезной И-6118 | Сварочный аэрозоль | 1370 г/ч |
| | | Оксид углерода | 467 г/ч |
| Механическая резка | Автомат правильно-отрезной И-6118 | Диоксид азота | 2610 г/ч |
| | | Марганец | 70 г/ч |
| Механическая резка | Автомат правильно-отрезной И-6118 | Оксид железа | 1300 г/ч |
| | | Металлическая пыль | 0,501 т/г |
| Механическая резка | Автомат правильно-отрезной И-6118 | Металлическая пыль | 0,0444 г/с |
| | | Окалина, ржавчина | |

При м е ч а н и е. Составлено на основании систематизированных данных по основным цехам машиностроительного производства.

Таблица 2

| Особенности обработки | Вредные факторы | ПДК, мг/м ³ |
|---|--|------------------------|
| Заготовки получают литьем | | |
| 1. Литье в песчаные формы | Оксиды железа | 4 |
| | Оксид углерода | 20 |
| | Оксид азота | 5 |
| | Пары масел | 10 |
| | Сернистый ангидрид | 10 |
| | Углеводороды нефти | 10 |
| | Пыль кремнийсодержащая | 2 |
| 1.1. Песчаные и стержневые смеси | Формальдегид | 0,5 |
| | Фенол | 0,3 |
| | Метанол | 5 |
| | Фурфурол | 10 |
| | Ацетон | 200 |
| | Аммиак | 20 |
| | Оксид углерода | 20 |
| | Бензол | 5 |
| 1.2. Встряхивающие машины (формовочный участок) | Шум | 1 |
| | Вибрации | |
| | Пыль | |
| | Повышенная температура Расплавленный металл | |
| 2. При предварительной обработке заготовок необходимо снять корку | | |
| 2.1. Обдирочное шлифование | Пыль наждачная и металлическая | 4 |
| 2.2. Галтовка | Вибрация | 1 |
| | Пыль формовочной смеси | |
| | Абразивная пыль | |
| | Металлическая пыль Шум | |
| 2.3. Дробеструйная и пескоструйная обработка | Пыль формовочной смеси | 1 |
| | Металлическая пыль Шум | 4 |
| Механическая обработка (при этом часто используется СОЖ) | Пыль металлическая (является причиной выхода из строя электроники) | 4 |
| | Пары СОЖ (грязь, получаемая при взаимодействии СОЖ и пыли, которая способствует выходу из строя системы охлаждения оборудования) | 50 |
| Не требует особой защиты от коррозии, окрашивается в целях эргономики | Аэрозоль от краски | 50 |
| | Ксилол | 100 |
| | Толуол | 5 |
| | Бутилацетат | 1000 |
| | Этанол | 40 |
| | Бутанол Ацетон | 10 200 |
| При точении чугуна СЧ20 резцами из твердого сплава ВК | СОЖ | 40 |
| | Укринол 1 | |
| | Металлическая пыль | |
| | Вольфрам Кобальт | |

Ниже приведен пример получения и обработки чугуна СЧ18, иллюстрирующий наличие и количество возникающих вредных факторов (табл. 2).

Из приведенного примера следует, что применение в виде заготовки другого материала (например стального сортового проката) позволит избежать многих вредных производственных факторов, связанных с литьем, обдиркой литых заготовок, чугунной пылью и другими операциями.

После выбора материала и разработки проектного варианта технологического процесса следует, используя данные инвентаризации, просчитать выделение загрязняющих веществ на всех операциях и сравнить полученные значения с установленными нормативами (ПДК, ПДУ).

Обработка металлов резанием является составляющей частью процесса производства большинства металлов. Как и другие технологические процессы, она должна быть конкурентоспособной. Процесс обработки металлов резанием может быть существенно усовершенствован и более доступным путем, чем покупка нового оборудования: за счет рационального применения правильно выбранного высокопроизводительного инструмента. Правильный выбор инструмента или даже просто пластин (СМП) обеспечит обработку большего количества деталей за одно и то же время. Не использовать преимущества этого пути и не вкладывать средства в современное инструментальное оснащение существующего оборудования — значит не использовать в полной мере возможность сделать производство более доходным и конкурентоспособным.

Для изготовления режущего инструмента в настоящее время применяют различные инструментальные материалы: инструментальные углеродистые и легированные стали, быстрорежущие стали, твердые сплавы, минералокерамику и синтетические сверхтвердые материалы.

При проектировании современного производства, особенно инструментального, следует учитывать вредное влияние его компонентов на человека. Основными компонентами различных инструментальных материалов являются железо, углерод, хром, никель, вольфрам, титан, тантал, молибден, марганец, кобальт, ванадий и др.

Рассмотрим вредные воздействия этих элементов на человека (табл. 3).

Экологическую оценку технологий можно произвести одним из следующих методов: материальных балансов и технических расчетов; технологической альтернативы; прогнозирования технологического риска; регистрации экологических последствий тех-

Таблица 3

| Элемент | Вредные воздействия | ПДК, мг/м ³ | Класс опасности |
|----------|---|------------------------|-----------------|
| Железо | Аэрозоли (пыль, дым) железа и его оксидов и др. соединений при длительном воздействии откладываются в легких | 0,5 | 3 |
| Хром | Хром и его соединения являются главной причиной производственных контактных дерматитов. Почти у всех рабочих производства встречаются заболевания носовой полости | 1 | 3 |
| Вольфрам | Раздражение дыхательных путей, нарушение функций печени, увеличение общего количества холестерина | 6 | 4 |
| Молибден | Основными заболеваниями являются боли в суставах и мышцах | 4 (средне-сменная) | 2 |
| Ванадий | Пыль ванадийсодержащих материалов при длительном воздействии откладывается в легких | 4 | 3 |
| Кобальт | Вдыхание паров кобальта в больших концентрациях вызывает острое токсическое повреждение бронхиального эпителия. После вдыхания пыли кобальта и его соединений возможны тошнота, рвота, покраснения кожи. Соединения кобальта вызывают аллергические реакции в виде дерматитов | 0,5 | 2 |
| Никель | Никель и его соединения вызывают заболевания носоглотки, легких и аллергические дерматиты | 0,05 | 1 |
| Тантал | Пыль тантала вызывает раздражение слизистых дыхательных путей | 10 | 4 |

нологий производства; оценки экологической опасности технологий.

Оценку экологичности разработанного технологического процесса целесообразно производить в следующей последовательности.

1. Для каждой операции технологического процесса определить количество вредных веществ, попадающих в атмосферу, стоки, твердые отходы.

2. Определить суммарное влияние по каждому из загрязняющих веществ.

3. Установить существующие меры защиты, утилизации вредных отходов, степень их эффективности в процентном отношении.

4. Определить остаток концентрации загрязняющих веществ после применения мер защиты.

5. Установить возможность накопления по каждому из вредных веществ в результате эффекта суммирования.

6. Сравнить полученные расчетные данные с ПДК для промышленных предприятий. Сделать заключение о степени экологической опасности технологического процесса.

7. В случае превышения ПДК по определенным загрязняющим веществам установить причину и предложить мероприятия по снижению выброса:

- замена обрабатываемого материала;
- замена инструментального материала;
- внесение изменений в технологический процесс и др.

8. Привести уточненные данные о степени экологической опасности усовершенствованного технологического процесса.

В заключение следует отметить, что современное производство остро нуждается в специалистах — конструкторах и технологах, способных решать подобного рода экологические задачи еще на стадии проектирования. Это требует переосмысления процесса их подготовки в вузах.

Г. П. ЕЖОВ, канд. физ.-мат. наук

Долгопрудненское научно-производственное предприятие

Современный производственный менеджмент и перспективы его развития

В многообразной управленческой деятельности особую роль играют производственные менеджеры, которые доводят до конечного результата стратегические решения высшего управленческого персонала. Производственные менеджеры несут ответственность за производство товаров и услуг в организации. Они принимают решения относительно реализации всех производственных функций в организациях, производящих товары и услуги, обеспечивают динамику производственных систем (ПС), управляют ресурсами, обеспечивают создание необходимой организационной среды, организационного климата и культуры, осуществляют общее руководство качеством.

В организациях, ориентированных на сервисное обслуживание, менеджеры обеспечивают выполнение необходимых операций в соответствующих отделах.

Производственный менеджмент реализует организационную функцию, являющуюся важнейшей функцией бизнеса, такой же, как маркетинг и финансы.

Производственные менеджеры рассматриваются как менеджеры по преобразовательному процессу в фирме.

С позиции системного подхода производственные и сервисные операции, являющиеся основой преобразовательного процесса, рассматриваются во взаимосвязи с операциями проектирования и анализа.

Первое необходимо для постоянного совершенствования процесса и изделия (услуги), второе — для оценки состояния процесса и организации и как элемента обратной связи.

В свою очередь системный подход обеспечивает управление ПС за пределами производственной функции при наличии соответствующих организационных отношений, например с логистическими фирмами. Реализация маркетинговой функции может рассматриваться также как производительная система с затратами, преобразованием и результатами.

Производственный менеджер принимает решение, которое является в известной мере продуктом его труда и вольным элементом производственного менеджмента.

Рассматривая процесс преобразования с позиции принятия решения, его можно разделить на крупные части, по которым могут приниматься самостоятельные, но взаимосвязанные решения. К ним можно отнести процесс, мощность, имущество, рабочую силу, качество и др.

Производственный менеджмент не является отраслевой принадлежностью. Производственные функции реализуются во всех отраслях: производственных, финансовых, торговых и др. Но реализация этой функции в каждой из них имеет свою специфику.

В целом процесс преобразования можно рассматривать как процесс превращения привлеченных ресурсов в товары и услуги.

С помощью технологического процесса, являющегося оптимально подобранным методом преобразования, привлеченные ресурсы — труд, капитал, материалы, энергия и информация — обращаются в товары или услуги — продукцию.

Производственный менеджер использует информацию обратной связи как необходимую для анализа, контроля и отраслевого управления процессом преобразования.

Учитывая постоянно изменяющиеся составляющие процесса преобразования, производственный менеджер принимает решения по комплексному их использованию с ориентацией на эффективное достижение результата. В различных отраслях приоритет одного или другого ресурса является объективным или предпочтительным. Имеются отрасли энергоемкие, трудоемкие, материалоемкие и др. Соответственно складывается и структура затрат в процессе преобразования. Особое место занимают операции в сервисных отраслях — транспорте, обслуживании в гостиницах и др. Они отличаются от производственных и используют другие ресурсы.

Целью производственного менеджмента является реализация корпоративной стратегии фирмы, основанной на ее корпоративной миссии, посредством рационального использования ресурсов и производственных возможностей для достижения фирмой конкурентного преимущества.

Производственный менеджмент имеет дело с непосредственными производственными ресурсами фирмы.

Процесс преобразования невозможен без привлечения труда людей в основных и вспомогательных операциях, которые выполняются на предприятиях, предназначенных для реализации производственных процессов или услуг. Необходимые материальные и другие компоненты производственного процесса реализуются с помощью оборудования, технологий и других средств в готовую продукцию. Система планирования и контроля используется менеджером для управления и включает необходимые для этого процедуры и информацию.

Производственный менеджер разрабатывает и реализует производственную стратегию, под которой понимается процесс, по которому фирма определяет, как она будет конкурировать в своей отрасли.

Предполагается определение долгосрочных целей и развитие стратегии их достижения. При выработке стратегии учитываются внешние факторы, такие как отраслевые, экономические возможности и общественные ценности, а также внутренние факторы, такие как сильные и слабые стороны компании. Сложность выработки производственной стратегии в условиях переходного периода, конверсионных процессов, спада производства определяется четкостью корпоративной стратегии. Производственная стратегия является как бы ее "заложницей". Отсутствие определенной перспективы не позволяет рационально управлять ресурсами.

В свою очередь наличие долгосрочной цели предприятия (фирмы) позволяет определить, как фирма будет конкурировать на рынке товаров и услуг. Это предполагает определение стратегии действий для функциональных областей бизнеса, которыми могут быть маркетинг, динамика продаж, продуктовая линия, финансы и контроль, инжиниринг, исследования и развитие, труд, закупки, производство и распределение.

Производственную стратегию не следует рассматривать как сугубо самостоятельную, независимую от других функциональных областей. Все виды деятельности, связанные с движением материала (ресурса) от поставщика через стадию производственного процесса до реализации, должны интегрироваться для формулировки разумной производственной стратегии.

Каждая из функциональных областей деятельности существенно влияет на определение стратегии. Нельзя изолировать закупки, производство и распределение. Они должны быть прочно связаны в любой современной теории производственной функции так же, как и инжиниринг, исследования и развитие, являющиеся дополнительными ключевыми ресурсами. Проблема заключается в стадии развития той или иной функциональной области в фирме. В настоящее время на российских предприятиях требуется активное развитие службы маркетинга, продаж, финансов и инжиниринга. Имеются большие проблемы с организацией закупок и даже труда.

Из этого не следует делать вывод о безысходности ситуации. Объяснимое упущение некоторых функциональных сфер деятельности связано с непродуманной системой перехода предприятия от плановой экономической системы к рыночной, а точнее, с ее отсутствием. На многих предприятиях стратегия стала неуправляемой, что привело к упадку производства.

Сохранившийся интеллектуальный и производственный потенциал вселяет надежду на возрождение производства в новых условиях и на новой качественной основе.

Современное производство предъявляет большие требования к менеджеру. Это объясняется многими причинами, и в частности его динамичностью, сложностью используемых систем машин, изменяющимися технологиями, большими потоками информации и коллективом людей, объединенных единой целью — созданием конечной продукции, реализуемой на рынке. Постоянно изменяющаяся внешняя и внутренняя среда заставляет товаропроизводителя находить наиболее выгодные решения. Порой они кажутся противоречивыми и несовместимыми. Поэтому их реализация возможна только на принципиально новой технической основе. Предпосылкой этому служит научный и практический опыт создания прогрессивного оборудования с компьютерным управлением, использования систем диагностики, изменивших организацию ремонта оборудования и способствующих стабильной работе, а значит, и устойчивости производственного процесса. Высокоорганизованная система машин требует более высокой степени организации информации, передачи системе части управленческих функций, что без использования микропроцессорной и вычислительной техники невозможно.

Современное производство должно активно реагировать на запросы потребителей, которые, с одной стороны, все в большей степени индивидуализируются, а с другой — могут различаться по объему выпуска. Но и в том, и в другом случае

производство должно обеспечивать высокое качество изделий на всем жизненном цикле. Производство само должно быть качественно иным: обладать мобильностью и гибкостью, в нем должна быть заложена способность к постоянному совершенствованию. Все это усложняет работу менеджера и требует от него высоких профессиональных качеств.

Доминирующим в деятельности менеджера становится постоянное стремление улучшить качество выпускаемой продукции или услуг.

Происходящие процессы интеграции экономики России с Европейским экономическим сообществом, возможное вступление во Всемирную торговую организацию (ВТО) требуют особого внимания к конкурентоспособности производства и выпускаемой новой продукции. Соответствие требованиям международного стандарта ИСО 9001:2000 обеспечивается постоянным улучшением процессов общего руководства организацией, а также реализацией оптимальных стадий жизненного цикла изделий.

Глубинный смысл требований международного стандарта заключается в постоянных изменениях, обеспечивающих достижение соответствия качества продукции или услуг возрастающим требованиям потребителя. Это возможно лишь при отношении к выполнению работ на каждой стадии жизненного цикла как к процессу, постоянно развивающемуся по содержанию и исполнению. Последовательность реализации стадий жизненного цикла изделий от зарождения к росту, зрелости, насыщению и спаду требует от менеджера выбора наиболее эффективного способа реализации каждой отдельной стадии.

В то же время стадия, например зарождения продукта или услуги, качество ее разработки повлияют на реализацию стадии роста, которая позволяет обеспечить динамичное развитие продукта за счет использования прогрессивных технологий, организации производства и труда непосредственно в производственном процессе.

Производственный менеджмент должен находить перспективные методы решения этих проблем, в частности, используя "прочное" проектирование, совместное проектирование, компьютерное проектирование, модульное проектирование, создание творческих коллективов для реализации проектов, формирование рациональной производственной и организационной структур.

Для достижения заданной цели по производству конкурентоспособного продукта формируется ПС, под которой можно понимать совокупность множества элементов и связей между ними, направленных на наиболее эффективное осуществление производственного процесса.

Целью такой ПС является создание конкретной продукции, выраженной в деталях, изделиях, совокупности действий по созданию материальных ценностей, которые объединяются понятием "услуги", и др. Такая деятельность присуща всем ПС, участвующим в кооперированном процессе создания конечного продукта, будь то производственный участок, цех, завод или другие объединения товаропроизводителей. Эти образования, в известной степени являющиеся следствием процесса разделения труда, кооперации, концентрации и специализации производства, влияют на эффективность действия производительных сил.

Для реализации производственного процесса ПС должна располагать необходимыми материальными, финансовыми и трудовыми ресурсами. Их рациональное использование способствует созданию дополнительной прибыли, часть которой может быть направлена на развитие этой же ПС.

Надежное обеспечение хода производственного процесса при минимальных размерах запасов также свидетельствует о высокой организации производственных систем. Примером тому является так называемое "изящное" производство, используемое на предприятиях Италии.

Для производственной системы любого уровня характерно наличие социально-экономических процессов. Они являются следствием и причиной развития системы производственных отношений, складывающихся в ПС данного уровня. Это свойственно ПС потому, что активное вовлечение в производственный процесс человека как главного элемента производительных сил требует обеспечения условий для его всестороннего развития и воспроизводства рабочей силы. Недооценка этих отношений привела не только к падению авторитета труда, снижению его производительности, но и снижению заинтересованности в нем, потере стремления наращивать интеллектуальный потенциал. Необходимым свойством ПС является их иерархическое единство. Наличие и реализация этого проявляются в производственной структуре, а в совокупности с другими свойствами ПС (например, целостности и членимости), — в ее оптимальности. Каждая ПС определенного уровня проходит свойственный ей путь развития.

Диалектика развития требует изменения производственной структуры ПС. Небольшое предприятие с бесцеховой структурой, развиваясь, создает цехи, затем группы однородных цехов, формирует их в производство. Когда количественный рост достигает определенного предела, при постоянном наращивании уровня автоматизации и интеллектуализации труда, результатом которого является соз-

дание гибких производственных систем (ГПС) и других прогрессивных форм организации производства, отпадает необходимость в структурной единице — цехе. Границы производства расширяются, оно "вбирает" группы цехов, тем самым ликвидируя цеховую систему. Отмечается переход к бесцеховой структуре, но на новом качественном уровне.

Любая ПС может быть элементом системы более высокого уровня и зависит от стратегии поведения, выработанного для высшего уровня ПС. Эта зависимость проявляется в способности ПС принимать все ресурсные и информационные изменения, реагировать на них, изменяя свое состояние в определенных пределах. Значит, ПС присущи свойства, позволяющие считать ее открытой, поведение — гибким при сохранении устойчивого функционирования. Наличие этих свойств позволяет изменять параметры ПС в пределах имеющихся резервов при различных (внешних и внутренних) возмущающих факторах определенной силы. Безусловно, что в зависимости от уровня ПС изменяются состав и приоритет резервов, создаваемых с целью обеспечения надежного функционирования системы.

Чтобы дать полную характеристику ПС, следует определить, обладает ли она свойствами, присущими системе. К таким ее свойствам относятся целостность и членимость, свойство связи, организация, интегративные качества.

Производственная система, с одной стороны, есть целостное образование, а с другой — в ее составе могут быть выделены элементы. Система любого уровня состоит из элементов, имеющих системоопределяющее свойство. Например, рабочее место в ПС — участок. Вне системы оно имеет системозначимые свойства, в системе играет роль элемента, исключение которого из системы нарушает ход производственного процесса. Для выполнения конкретных действий согласно технологическому процессу на рабочем месте имеются оборудование, необходимая оснастка, человек, осуществляющий этот процесс. Рабочее место взаимодействует с другими рабочими местами, выполняющими другие операции технологического процесса, которые могут быть между собой связаны.

Необходимым свойством ПС каждого уровня является ее целостность. Это свойство выражается в законченности конечного результата, производимого данной системой. Если идти от обратного, то можно считать ПС, ничего не производящую и не участвующую непосредственно в создании конечного продукта, лишним звеном.

Анализ этого свойства ПС позволяет сделать вывод о целесообразности самостоятельных об-

служивающих подразделений в ПС данного уровня, концентрации этих функций в специальных системах или "растворения" их в ПС. Такой процесс все ярче проявляется в ПС, в которых используются коллективные формы организации труда, подрядные и арендные отношения.

С повышением уровня автоматизации производства изменяется характер рабочей машины, целостность ПС еще в большей степени укрепляется. Значимость элемента в каждой системе при повышении уровня автоматизации возрастает. Любая ПС ориентирована на определенную цель, которой в зависимости от вида структуры ПС может быть деталь, сборочная единица, изделие и др. Организация системы зависит от многих факторов, и прежде всего от специализации, уровня кооперирования и т. д.

В ПС между элементами существуют устойчивые связи. Они с закономерной необходимостью определяют интегративные свойства системы.

Эти связи базируются на строгом соблюдении технологической дисциплины, они обусловлены местом и ролью системы данного уровня в производственном процессе и связью с другими подсистемами. Эти связи могут определяться как передачей деталей с одного рабочего места на другое любым способом, так и обменом информацией между элементами системы и внешней средой. Связи в ПС четко определены и направлены, они могут быть устойчивыми и случайными. Последние вызваны, как правило, воздействием внешней среды, неустойчивостью технологического процесса, поведением человека в системе человек—машина. В ПС имеют место прямые и обратные связи, необходимые для управления. К ним относится информация, передаваемая по каналам связи, о ходе производственного процесса, его количественных характеристиках. Целостность системы может быть нарушена в том случае, когда мощность (сила) существенных связей между элементами системы на интервале времени, не равном нулю, будет превышать мощность (силу) связей этих же элементов с окружающей средой. С ПС это может произойти в том случае, когда нарушается ее специализация, особенно предметная или поддетальная. Например, в технологическом процессе имеются операции, которые в силу небольшой трудоемкости и неполной загрузки оборудования выполняются на других участках. Деталь передается для выполнения операции на этот участок, затем возвращается. При значительном числе таких отклонений теряется сила связи с элементами внутри системы.

Производственной системе присуще свойство организации. Оно проявляется в снижении неопре-

деленности системы при неопределенности системформирующих факторов, определяющих возможность создания системы. К последним можно отнести число элементов системы, число системозначимых свойств элементов, число существенных связей, которыми может обладать данный элемент, число системозначимых свойств связей.

При определении и формировании связей складывается определенная структура системы, а свойства элементов ПС преобразуются в функции, связанные с ее интегративными качествами. Более полно свойство организации проявляется в крупных ПС. В этом случае неопределенность системы будет снижаться, так как возрастает влияние коллективного фактора воздействия на отдельные человеко-машинные элементы системы. С усложнением системы возможно повышение энтропии, однако в связи с направленностью влияния всех элементов на конечный результат и развитием обеспечивающих элементов системы мера неопределенности будет снижаться. Спецификой ПС является то, что в зависимости от условий производства могут быть выбраны определенный тип структуры системы, число ее элементов. ПС обладает таким качеством, как самоорганизация.

Интегративные качества присущи системе в целом, но не свойственны ни одному из ее элементов. Отдельное рабочее место, участок, цех не могут выпустить окончательно готовую продукцию, ее может выпустить предприятие, имеющее все необходимые производства, подсистемы, лаборатории, испытательные полигоны и т. д. На отдельном рабочем месте (как элементе системы) может быть выполнена операция, изготовлена деталь. И только совокупность рабочих мест позволяет выпустить изделие. Интегративные качества возрастают с повышением уровня ПС и ее сложности.

Использование продуктовых, дивизионных и других ПС, ориентированных на конечный результат с определенной долей бюджетных отношений, требует повышения уровня интеграции их элементов. В условиях автоматических систем машин эти качества приобретают особую значимость.

Таким образом, можно сделать вывод, что для ПС характерно наличие всех системных свойств. Значимость их возрастает с ростом сложности системы, проявляющейся в числе ее элементов, связей между ними, уровне решаемых задач в автоматизации процессов и др.

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.

Н. В. МАЛИЧ

Московский энергетический институт (технический университет)

Основные формы развития сотрудничества Московского энергетического института (технического университета) и предприятий в условиях рыночной экономики

Механизм планового распределения молодых специалистов в условиях рынка перестал действовать, при этом стало актуальным и необходимым установление новых форм, обеспечивающих взаимодействие вузов и рынка труда. Некоторые вузы потеряли годами формировавшиеся связи с предприятиями, контакты с отраслевыми организациями.

МЭИ свои связи с отраслевыми организациями не только не потерял, а установил за эти годы более тесные контакты с такими организациями, как РАО "ЕЭС России", Мосэнерго, Мосгортепло и др.

Постоянная работа с выпускниками МЭИ и предприятиями велась на протяжении всего этого периода. По данным отдела трудоустройства МЭИ, подтвержденными соответствующими документами, доля трудоустроенных выпускников составляет 98,7—99,92 %.

По последним данным, согласно исследованиям компании Graduate (журнал "Карьера" 2005, № 4), спрос работодателей на выпускников технических специальностей неуклонно растет.

Российские компании все активнее привлекают на работу молодых специалистов. Если в 2001/2002 учебном году приглашали в среднем 9 человек на одну компанию, то в 2003/2004 — 34.

У компаний или предприятий существуют три вида организации работы с выпускниками:

- программа набора и развития молодых специалистов. Эту программу используют лишь 18 % компаний, так как этот способ наиболее затратный и наименее гибкий, поскольку разработка программы, как правило, является трудоемким процессом, требующим учета долгосрочных планов компании в области управления персоналом. Но этот вид организации работы позволяет привлечь действительно лучших молодых специалистов;

- точечный рекрутмент. Этот вид работы наиболее популярен, к нему прибегают 92 % опрошенных компаний, а для 40 % компаний данный способ был единственным благодаря его гибкости и относительно невысокой стоимости, а для вузов практически бесплатный;
- программа стажировок находится на втором месте, ее используют 54 % компаний.

Таким образом, компании решают свои кадровые вопросы наименее затратным путем, т. е. кадровая политика компаний направлена на достижение текущих результатов, а не перспективное развитие. Здесь просматривается определенная позиция работодателей. В отсутствие нормативно-правовой базы предприятия, выступающие в роли работодателей, потребительски относятся к высшим учебным заведениям. Вузы являются бесплатными донорами для решения кадровых проблем предприятий. Представители организаций забывают, что качественная подготовка специалистов требует дополнительных затрат. Потенциальные работодатели, как правило, не готовы вкладывать средства в вузы, финансируя дополнительную подготовку специалистов, модернизацию материально-технической базы учебного процесса.

Сотрудничество вуза и предприятия не только необходимо, но и взаимовыгодно как для одной, так и другой стороны. Оно может осуществляться по нескольким направлениям деятельности, например в процессе практики студентов.

Система практик позволяет целенаправленно формировать у студентов теоретические знания и практические навыки, возможность работы на уникальном оборудовании. Для предприятия — это возможность проверить профессионально-квалификационный уровень будущих выпускников и предложить им свои вакансии. Ежегодно в МЭИ на проведение практик заключается более 700 договоров

с различными предприятиями и организациями. Постоянные партнеры института — многие подразделения Мосэнерго, РНЦ "Курчатовский институт", завод "Сапфир", ВЭИ, Теплоэлектропроект, Электрозавод, Всесоюзный теплотехнический институт, Московский завод тепловой автоматики, НИИ "Пульсар", "Геофизика-Космос", Энергосетьпроект, завод "Изолятор", Криогенмаш, ОРГЭС, Атомэнергопроект и др. Практика на предприятии дает тот самый профессиональный опыт, в котором нуждаются работодатели.

Другим, не менее важным направлением сотрудничества является целевое обучение и обучение по дополнительным программам сверх государственного стандарта. Реализация этого направления заключается в том, что совместно с представителями предприятия вуз разрабатывает программу обучения с учетом специфики работы конкретной организации для более углубленного изучения интересующих предприятие дисциплин, новейших технологий, для формирования у студентов более полных знаний в сфере деятельности предприятия. Таким образом, предприятие получает профессионально квалифицированного выпускника, которого не надо переучивать или доучивать. В МЭИ уже несколько лет ведется такая работа с Атомтехэнерго и РНИИКП. Как показал опыт работы, из группы 10 человек 9 остаются работать на этом предприятии. Преподавание по таким программам могут вести не только вузовские преподаватели, но и специалисты предприятия. Студенты, обучающиеся по программам дополнительного обучения, проходят практику и выполняют дипломное проектирование на этих предприятиях, после защиты диплома зачисляются в штат.

Расширяется контрактная форма подготовки специалистов, предусматривающая оплачиваемое предприятием обучение студента с гарантированным его последующим трудоустройством на это предприятие.

Еще один вид сотрудничества и взаимодействия вуза и предприятия по оказанию помощи специалистам предприятия в повышении квалификации и профессиональной подготовке. В МЭИ ведется такая работа с 1995 г. С 2000 по 2005 гг. в среднем в год заключались свыше 600 договоров с юридическими лицами. Повышение квалификации и переподготовку специалистов проводят центры подготовки и переподготовки (ЦПП), являющиеся структурными подразделениями МЭИ (ТУ). ЦПП проводят обучение по программам повышения квалификации от 100 до 500 ч и краткосрочное повышение ква-

лификации (тематические курсы продолжительностью не менее 72 ч), долгосрочные программы более 500 ч (программы профессиональной переподготовки). Прошедшие профессиональную переподготовку специалисты с высшим образованием получают диплом о профессиональной переподготовке. По этим программам также обучаются студенты, которые до окончания дополнительной программы станут дипломированными специалистами. Таким образом, студенты по окончании института имеют два диплома по двум специальностям. Например, выпускник имеет диплом по технической специальности и диплом о профессиональной переподготовке по направлению "менеджмент в сфере управления проектами, маркетинг, финансовый менеджмент, производственный менеджмент и управление персоналом". Сегодня на рынке занятости востребованы молодые, активные специалисты, знающие иностранные языки. Многие зарубежные компании и совместные предприятия заинтересованы в наших выпускниках со знанием иностранных языков. Наши студенты имеют возможность обучаться по дополнительной программе "Переводчик в сфере профессиональной коммуникации" с правом ведения деятельности в сфере гуманитарно-социальной коммуникации, также есть школа технического перевода. Такое обучение поднимает конкурентоспособность будущего выпускника на рынке труда. Выпускник вуза, желающий в своем профессиональном развитии двигаться дальше, должен понимать, что получение диплома означает лишь переход от одной формы обучения к другой, поэтому выпускникам и специалистам необходим непрерывно-периодический контакт с системой дополнительного образования.

Результаты опросов представителей предприятий, на которых работают выпускники, показывают, что на первом месте стоит качество подготовки и профессиональная компетенция выпускника, на втором — умение использовать современные компьютерные технологии, на третьем — владение иностранными языками.

Таким образом достигается создание новых, актуальных для современного рынка специалистов научно-технических и гуманитарно-технических профилей направлений подготовки.

В этой связи весьма актуальным становится создание многоцелевой программы, направленной на обеспечение интеграции образования, науки и производства.

Содержание зарубежных журналов¹

European Tool and Mould making
(N 1 (январь/февраль), Vol. 9, 2007)

Электроэрозионный станок для микрообработки, с. 35.

Разработанный фирмой Zimmert Kreim GmbH & Co. KG станок Genius 602 обеспечивает электроэрозионное прошивание с прецизионной точностью при получении поверхностей микронной точности. Описаны примеры обработки на этом станке: прошивание отверстий диаметром 0,15 мм и глубиной 4 мм в твердом сплаве; изготовление профильного электрода с минимальной шириной ребер 0,03 и глубиной 0,4 мм; обработка в детали из коррозионно-стойкой стали 2343 трех ребер с получением параметра шероховатости поверхностей $Ra = 0,3$ мкм.

(N 2 (март), Vol. 9, 2007)

Использование плоско- и торцешлифовального станка, с. 43.

На плоско- и торцешлифовальном станке ENG-170AV фирмы Engis (UK) Ltd. (Великобритания) обрабатывают заготовки размером до 170 мм. Эффективная и точная обработка реализуется за счет подвода СОЖ через центр шлифовального круга и ее оптимального распределения. Габаритные размеры горизонтального станка $1246 \times 650 \times 1260$ мм, масса 1000 кг. Используется круг диаметром 170 мм с регулируемой частотой его вращения. Верхний предел частоты вращения круга 4000 мин^{-1} , рабочая частота — порядка 400 мин^{-1} . В качестве опций предлагаются устройство охлаждения СОЖ, кассетный фильтр, датчик расхода жидкости, магнитное или вакуумное крепление устройства. Предусмотрены автоматические измерения и перемещения по трем осям для минимизации поверхностных и подповерхностных повреждений и скалываний кромок.

¹Раздел подготовлен инж. Г. С. Потаповой (по вопросам получения материала обращаться по тел./факсу: (495) 611 2137, e-mail: stankoinform@mail.ru).

Рекомендации по управлению и эффективному использованию электроэрозионных станков, с. 48—49, ил. 4.

На электронные компоненты электроэрозионного станка неблагоприятно воздействуют включение и выключение электропитания, что сопровождается скачками температуры. Поэтому не рекомендуется выключать питание на станке с ЧПУ типа CNC для экономии энергии. Можно выключать насосы, но не электронику. Рекомендуется 2 раза в год проверять и при необходимости заменять воздушные фильтры в стойке или пульте CNC и электрошкафу, чтобы предотвратить перекрытие доступа охлаждающего воздуха. Замена фильтра лучше, чем очистка, поскольку она может сопровождаться повреждением фильтра или попаданием отделившейся грязи в шкаф. Применяемые в электроэрозионных станках устройства для охлаждения диэлектрической жидкости функционируют при температуре окружающей среды не выше 27°C , поэтому их нельзя хранить или устанавливать вблизи источников выделения теплоты. Нарушение этой рекомендации ведет к ухудшению эксплуатационных характеристик охладителя и сокращению срока его службы.

Технология электроэрозионной обработки, с. 50.

Фирма Agie разработала технологию Super Finish, которая при использовании новых генераторов фирмы и средств контроля процесса электроэрозии минимизирует термические воздействия на обрабатываемые твердые сплавы. Описана технология обработки на электроэрозионных проволочно-вырезных станках Vertex этой фирмы в соответствии со свойствами обрабатываемых материалов, заданной чистотой поверхностей, точностью изделий, режимами обработки и другими показателями. Эта технология обеспечивает получение параметра шероховатости поверхностей $Ra = 0,05$ мкм при изготовлении очень сложных инструментов. Точность позиционирования подвижных органов станка составляет 1 мкм, притупление кромок обеспечивает радиусы порядка 17 мкм.

DIMA (Die Maschine)
(N 2, Vol. 61, 2007, Германия)

Hackmann von T. Обработка инструментов по пяти осям, с. 22—27, ил. 7.

Описаны возможности шлифования и заточки сложных инструментов с высокой точностью и экономичностью на пятикоординатном шлифовальном станке с усовершенствованными ЧПУ типа CNC и системами приводов. Обработка возможна с использованием осей X, Y, Z, A и C. Приведены типы инструментов, обрабатываемых на станках, и показана получаемая эффективность шлифования.

Maschine und Werkzeug
(N 1/2, Vol. 108, 2007, Германия)

Токарный станок для обработки особо чистой меди, с. 21, 22, ил. 6.

Одним из видов продукции фирмы Siemens (Германия) являются вакуумные дугогасительные камеры мощностью 17,5—40,5 кВт и током короткого замыкания до 80 кА. Изменения в конструкции одной из деталей с целью экономии дорогостоящей меди привело к изменениям и в технологии ее изготовления. Три обычных токарных станка были заменены одним новым станком G 160, изготовленным фирмой Index-Werke GmbH & Co. KG Hahn & Tessky (Германия). Он имеет основной шпиндель и противошпиндель, ось B с поворотом на 360° и функцию для нарезания пазов.

Maschinenmarkt
(N 6, 2007, Германия)

Hackmann von T. Пути повышения эффективности процессов механической обработки деталей, с. 20—23, ил. 5.

Приведен анализ факторов, влияющих на эффективность процессов обработки и снижение ее стоимости. Он показывает, что эти требования могут быть реализованы путем оптимального сочетания системы управления оборудованием и программного обеспечения. От применяемого программного обеспечения и системы привода в значительной степени зависит точность обработки и гибкость производственного процесса. Это, в частности, продемонстрировано на процессе шлифования изделий с приме-

нением ЧПУ типа CNC по пяти осям с использованием осей X, Y, Z, C, A.

(N 10, 2007, Германия)

Kuhn D. Повышение эффективности процессов обработки путем применения систем CAD/CAM, с. 36—37, ил. 2.

Приведены примеры эффективного использования систем CAD/CAM и рассмотрены возможности и эффективность стандартных и автоматизированных систем программирования процессов обработки с обеспечением высокой размерной и геометрической точности продукции. Подчеркивается существенное повышение качества продукции путем моделирования процессов обработки и исключение коллизий. Большое значение придается технологии полной обработки деталей с одного установка одновременно по многим осям.

Эмалирование поверхностей деталей, с. 47.

Сообщается о технологии процесса эмалирования поверхностей деталей из алюминиевых и магниевых сплавов с целью защиты от коррозии, применяемой на фирме Kühn Email (Германия). В результате эмалирования поверхность деталей приобретает блестящий стекловидный внешний вид и высокую стойкость против химического воздействия. Отмечается, что детали из магниевого сплава, подвергнутые эмалированию, могут быть эффективно использованы в качестве вальцов в процессах литья и экструзии.

Modern Machine Shop
(N 9, Vol. 79, 2007, США)

Mark A. Сравнение электроэрозионной и абразивно-струйной обработки, с. 70—73, ил. 3.

Электроэрозионная и абразивно-струйная обработка рассматриваются в качестве взаимодополняющих процессов, в результате чего может значительно сократиться общее время обработки. Оба процесса сравниваются на примере обработки алюминия, результаты которой приведены в таблице, и пользователи путем выбора параметров из нее смогут оптимизировать технологию обработки. Например, когда в абразивно-струйном станке струя выходит из сопла, она расширяется и теряет давление, она также может изменить направление, поскольку осуществляется перемещение по оси. Эти

факторы неблагоприятно сказываются на точности обработки и качестве поверхностей. Чем меньше отклонения от плоскостности стенок при абразивно-струйной резке, тем меньше число необходимых чистовых проходов на электроэрозионном вырезном станке. Чем выше зернистость абразива (чем меньше зерно), тем выше качество получаемых поверхностей, но при этом соответственно увеличивается длительность резки. В большинстве случаев целесообразно использовать самое мелкое зерно при абразивно-струйной резке, что минимизирует число чистовых проходов на электроэрозионном станке.

Derek K. Сравнение быстроходного и глубинного шлифования, с. 98—100, ил. 6.

Чтобы получать эффект при глубинном шлифовании, необходимо строго контролировать окружные скорости круга, подачи и давление в системе подвода СОЖ, а также положение подающего сопла. Если какой-либо из этих компонентов недостаточно контролируется, возникают проблемы. Такого строгого контроля не требуется при быстроходном шлифовании, к тому же потребляется значительно меньшее количество охлаждающей жидкости. Сравнение процессов быстроходного и глубинного шлифования для обработки лопаток турбин из сплавов никеля показывает, что при использовании нитридных кругов в первом процессе производительность повышается на 30 %, а срок службы кругов увеличивается на 20 %. Описан опыт работы на станке Prokos с ЧПУ типа CNC фирмы Siemens 840D фирмы Blohm. При программировании оператор в соответствии с подсказками ПО системы вводит данные о геометрии турбинной лопатки, ее размерах и диаметре применяемого шлифовального круга; данные могут вводиться в режимах "on-line" или "of-line". На некоторых лопатках осуществляются помимо шлифования фрезерование, сверление и снятие фасок, для чего инструменты извлекаются из 24-позиционного магазина.

(N 10, Vol. 79, 2007, США)

Вертикальный обрабатывающий центр для обработки титана и закаленной стали, с. 220, 222, ил. 1.

Описан обрабатывающий центр VMC6535HTX фирмы Fadal Machining Centers (США). Шпиндель имеет высокий крутящий момент, частота его вращения составляет 6000 мин^{-1} , что позволяет его использовать для интенсивного резания титана и за-

каленных сталей в аэрокосмической, автомобильной и других отраслях промышленности. Приведены характеристики станка.

(N 11, Vol. 79, 2007, США)

Финишная обработка без смены инструмента, с. 197.

Фирма Harvey Tool Co., Inc (США) выпускает миниатюрные концевые фрезы из КНБ, которые при обработке форм и штампов обеспечивают получение окончательных размеров и чистых поверхностей. Обрабатываются закаленные стали твердостью 52—68 HRC. Нитридборовая режущая часть смонтирована на хвостовике диаметром 4 мм, изготовленном из мелкозернистого твердого сплава. Инструменты выпускаются диаметром от 0,6 до 2 мм и имеют две прямые стружечные канавки. Допуск на радиус составляет $\pm 0,005 \text{ мм}$. Указывается, что ресурс стойкости нитридборовых фрез больше, чем твердосплавных.

Technische Rundschau
(N 15, Vol. 99, 2007, Швейцария)

Фрезерование с высокими скоростями резания, с. 1—3, ил. 3.

Проанализированы применяемые способы обработки резанием заготовок из алюминия исходя из требований в отношении высокой производительности и низких затрат. Наиболее часто для этих целей применяют резку с использованием CO_2 -лазера и резку струей воды под давлением. Теперь конкурентом этих двух способов резки выступает технология резки фрезой с высокой скоростью резания. Такой процесс испытан на многоцелевом станке фирмой Hamuel. Станок оснащен системой ЧПУ типа CNC фирмы Siemens. Результаты испытаний показали преимущества такой технологии фрезерования.

(N 18, Vol. 99, 2007, Швейцария)

Farber T. Технология токарной обработки, с. 32, 34, ил. 4.

Описан опыт фирмы Polymesa AG в области токарной обработки различных фасонных деталей. В частности, речь идет о внедрении токарных центров фирмы Hardinge и замене шлифования зака-

ленных деталей токарной обработкой, что благодаря существенному увеличению подачи и глубины резания повышает эффективность обработки при сохранении точности обработки.

Werkslatt und Betrieb
(N 3, Vol. 140, 2007, Германия)

Hennecke K. D. Токарная обработка, с. 54—57, ил. 7.

Описан опыт фирмы Gebrüder Suttner, изготавливающей более 3000 наименований деталей для различных отраслей промышленности партиями до 2000 шт. Максимальный диаметр деталей 300 мм, длина — 700 мм. Парк оборудования состоит из семи токарных станков фирмы Emco, в числе которых станок Emco 360, полностью автоматизированный по проекту фирмы FMB Maschinebau путем укомплектования шестикоординатным роботом с радиусом действия 1,75 м и грузоподъемностью 20 кг. Переналадка станка теперь требует 10—15 мин.

Многоцелевые станки для прецизионной обработки, с. 58, ил. 3.

Рассматривается эффективность использования станков с ЧПУ фирмы Lehmann Prazisich GmbH (Германия) для высокоточной токарной обработки, сверления и фрезерования. В таких станках использованы специальные шпиндели и приводные электродвигатели с полым валом, обеспечивающие работу при повышенной динамике. За счет специальной конструкции шпинделя HFS30 достигается частота вращения до 80 000 мин⁻¹. На станках изготавливают детали с погрешностью не более 1,5 мкм и высоким качеством поверхности изделий из сталей и цветных сплавов.

Шлифовальный станок повышенной точности, с. 83.

Рассматриваются перспективы использования станков серии Hawemat Prazisa Granit фирмы Hawema Werkzeugschleifmaschinen GmbH (Германия). Станок с ЧПУ имеет компактную конструкцию с использованием несущих деталей из гранита, что обеспечивает в совокупности с цифровой измерительной системой повышенную точность выполнения рабочих операций. Станок оснащен прецизионным шпинделем и системой ЧПУ MDLU-3, обеспечивающими работу в автоматическом и полуавтоматическом режимах.

Прецизионный сверлильный автомат, с. 83, ил. 1.

Рассматриваются перспективы использования высокопроизводительного сверлильного автомата фирмы Otto Suhner AG (Германия). Он оснащен автоматическим манипулятором, позволяющим захватывать непрерывно поступающие детали и устанавливать на рабочий стол. Телекамера и лазерный измеритель производят контроль, измерение, определение мест сверления. Высокоточный шпиндель работает с частотой вращения до 40 000 мин⁻¹, а скорость подачи может достигать 3 м/мин. Опыт использования такого станка показал, что за 1 ч можно выполнить 3900 сверлений глубиной 25 мм в металлических заготовках.

American Machinist
(N 3, 2007, США)

Технология электроэрозионной обработки, с. 62.

Фирма Agie Charmilles Corp выпустила серию из двух станков моделей ROBOFIL 240LP и ROBOFIL 440 SLP. Машины реализуют разработанную фирмой технологию DCP (Direct Cut Performance), которая обеспечивает полную обработку изделий за один технологический переход (исключаются раздельные черновой и чистовой переходы). Технология позволяет уменьшить расход электрода (проволоки), увеличить износостойкость изнашивающихся деталей (увеличить срок их службы) и сократить расходы на фильтрацию рабочей жидкости.

(N 9, 2007, США)

Новости технологии, с. 12, 14—15, ил. 3.

Новый материал SHS 9700 для проволочных электродов фирмы The NanoSteel Company имеет ультратонкую кристаллическую микроструктуру (в 1000 раз тоньше существующих сплавов), которая позволяет получать твердость наплавки порядка 69 HRC без применения никеля, молибдена или вольфрама. Электроды поставляются в катушках массой 10,5 кг и от 52,5 до 210 кг и предназначены для дуговой сварки в защитном газе.

Фирма Sandvik Coromant, крупнейший в мире производитель режущих инструментов, продемонстрировала на международной выставке EMO — 2007 в Ганновере инструменты. Сообщается о новых разработках фирмы в области керамических и режущих пластин с покрытием, наносимым методом PVD без остаточных напряжений, что повышает стойкость инструмента за счет устранения трещин.

Haftl L. Критерии технического уровня механических цехов, с. 30, 32—33, ил. 2.

Рассматриваются способы практического применения 12 наиболее важных критериев эффективности (см. American Machinist, 2007, N 8) при анализе работоспособности механических цехов, позволяющие сравнивать эффективность собственного и передового производств. До недавнего времени приходилось вручную собирать необходимую информацию, причем анализ текущего состояния производства выполняли на основании данных недельной или месячной давности. В настоящее время для этой цели используются приборные панели (наподобие панели автомобиля) и карточки учета, связанные в единую систему мониторинга производства и выдающие оперативную информацию о состоянии производственного процесса.

(N 12, 2007, США)

Операции механической обработки

Bates Ch. Критерии выбора оборудования, с. 40—45, ил. 8.

Фирма Hardinge рекомендует при выборе типа и характеристик металлорежущих станков учитывать следующие факторы: размер партии деталей и интенсивность их обработки, обрабатываемый материал, число операций, выполняемых на каждом станке, требуемые допуски размеров и шероховатость обработанной поверхности, срок использова-

ния станка и возможность переналадки для будущей работы. Различие между стандартным и высокопроизводительным станком заключается в таких параметрах, как масса, частота вращения и мощность шпинделя, возможности системы управления, количество режущих инструментов и тип устройства для смены инструментов.

Benes J. Обработка титана резанием, с. 52—54, ил. 3.

Понимая специфику физико-механических свойств сплавов титана и правильно выбирая режущий инструмент и станок, можно обеспечить эффективную обработку этих материалов. Как правило, эти сплавы обрабатывают инструментом из мелкозернистого твердого сплава с покрытием TiAlN, наносимым способом PVD. Чистый титан обрабатывают со скоростью резания до 54 м/мин, а сплавы титана — со скоростью резания 9 м/мин. Приведены рекомендации по выбору технологии обработки титана и его сплавов: положительная геометрия режущей части для минимизации сил резания; постоянная подача для избежания упрочнения обрабатываемой детали; большой объем СОЖ для устранения образования нароста из-за повышенной температуры зоны резания (при температуре свыше 800 °С могут иметь место химическая реакция и диффузия между инструментальным и обрабатываемым материалами); большой радиус при вершине инструмента или круглые режущие пластины.

Вниманию подписчиков!

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

в любом почтовом отделении связи.

Подписной индекс в каталоге Агентства "Роспечать" — 79494,

в Объединенном каталоге "Пресса России" — 27869,

в каталоге "Почта России" — 60190.

8-й Международный салон инноваций и инвестиций

С 3 по 6 марта 2008 г. в Москве на ВВЦ состоялся 8-й Международный салон инноваций и инвестиций, организованный Министерством образования и науки России, Министерством экономического развития и торговли России, Федеральным агентством по науке и инновациям, Правительством Москвы, Торгово-промышленной палатой РФ, ФГУ "НИИ—Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы", ОАО "ГАО ВВЦ".

В работе салона приняли участие более 600 фирм и компаний из 22 регионов РФ и стран ближнего и дальнего зарубежья.

Ниже приведены организации и их наиболее значимые разработки согласно основным тематическим разделам выставки.

Воронежский государственный технический университет, Проблемная научно-исследовательская лаборатория нитевидных микро- и нанокристаллов:

— нанокompозитные солнечные элементы (солнечные батарейки для зарядки различных устройств). Лицевая поверхность солнечных элементов текстурирована нитевидными нанокристаллами. КПД достигает 60—90 % (у выпускаемых в настоящее время фотопреобразователей КПД = 15 %). Область применения: широкий спектр изделий;

— наносенсоры. Нитевидные кристаллы полупроводников служат уникальным материалом для создания тензодатчиков, поскольку область их упругой деформации на два порядка превосходит область деформации применяемых в настоящее время проволоочных и пленочных тензоэлементов. Область применения: многофункциональные датчики температуры, расхода жидкости и газа и др. (рис. 1);

— зонды микроскопов. Кремниевые ультраострия, выполненные из нанокристаллов (взамен вольфрамовых), повышают разрешающую способность на атомном уровне.

Институт физической химии и электрохимии РАН (Москва) — уникальные нанокompозитные покрытия для упрочнения деталей машиностроительного комплекса. Метод упрочнения основан на хи-

мическом осаждении карбидов вольфрама из газовой фазы. Температура процесса 450—520 °С. Оптимальная толщина покрытия 15—80 мкм. Абразивная стойкость на уровне твердого сплава, высокая коррозионная стойкость. Метод позволяет наносить покрытия на любые детали сложной формы, включая внутренние поверхности цилиндров (что недоступно при применении известных газотермических методов), регулировать до заданного уровня микротвердость и вязкость покрытия с учетом условий работы узлов трения. Область применения: насосы, краны высокого давления для нефтегазового, бурильного и химического оборудования, штампы для прессования порошков металлургического производства, нагруженные узлы трения для автотранспортной, авиационной, горнодобывающей и других отраслей машиностроения, металлизация алмазных порошков.

Институт проблем химической физики (ИПХФ) РАН (Черноголовка Московской обл.). Микроволновая плазмохимическая установка для получения нанокристаллических (менее 100 нм) порошков оксидов, нитридов, некоторых металлов и порошковых композиций конденсацией из высокотемпературного химически реагирующего газового потока. Производительность установки до 0,1 кг/ч. Изменением режимных параметров технологического процесса можно регулировать дисперсность, фазовый и химический составы получаемых порошков.

Микроволновая плазмохимическая установка награждена серебряной медалью на международной выставке "Эврика—2002" в Брюсселе (Швеция).

Байкальский центр нанотехнологий, Иркутский государственный технический университет:

— наноразмерные катализаторы для химической промышленности (кобальт, родий, палладий), полученные восстановлением солей переходных металлов. Высокая активность наноразмерного катализатора обусловлена уменьшением вероятности агрегации нанокластеров и увеличением поверхности веществ для катализа. Область применения: в реакциях полимеризации при производстве полимеров, для очистки при производстве синтетических масел и др.;

— новые технологии строительных бетонов с наномодификаторами, обеспечивающих сочетание высокой конструкционной прочности и теплоизоляционных свойств, снижение себестоимости строительства; широкий спектр применения: малоэтажное строительство, ограждающие конструкции, легкие теплоизолирующие оболочки и др.



Рис. 1. Чувствительные элементы наносенсорных устройств

ФГУП ГНЦ РФ "Обнинское НПП "Технология":

— наноструктурированные многофункциональные металлооптические покрытия наноразмерных толщин, наносят на изделия остекления из силикатного или органического стекла с заданными оптическими свойствами, предназначены для защиты летного оборудования от вредного воздействия внешних факторов. Покрытия обеспечивают ослабление теплового потока солнечного излучения, электромагнитного излучения, снижение заметности на радарх внутрикабинной аппаратуры на 40—60 %, повышение абразивно-атмосферостойкости органических стекол;

— нанокристаллический стекломатериал (ситалл) с ультранизким температурным коэффициентом линейного расширения и термостойкостью, размер кристаллов 30—50 нм. Область применения: система навигации современных самолетов, точная измерительная техника, лазерная медицинская техника и др.

Тамбовский государственный технический университет — реактор для синтеза углеродных наноструктурных материалов (УНМ "Таунит") производительностью 2000 кг в год (рис. 2). Получаемый продукт представляет углеродные, наномасштабные, нитевидные образования преимущественно цилиндрической формы с внутренним каналом (5—10 нм). Обладает уникальными свойствами: большой прочностью, хорошей электропроводностью, адсорбционной способностью, термостабильностью и др. Широкая область применения: напол-



Рис. 2. Реактор полунепрерывного действия синтеза УНМ "Таунит"

нители композитных конструкционных наноматериалов, электропроводящие полимерные композиты, сенсорные системы, носители катализаторов, адсорбенты и др.

Томский государственный университет, Научно-образовательный центр по направлению нанотехнологии "Нанокластер" — разработка учебных программ в рамках основного образовательного процесса; разработка порошковых материалов, биосовместимых материалов, полимеров, композиционных и керамических материалов, наноструктурированных катализаторов.

ЗАО "Нанотехнология МДТ" (Москва, Зеленоград) — разработка, производство и реализация оборудования на основе сканирующих зондовых микроскопов для научно-образовательных и научно-исследовательских целей (учебные лаборатории "Наноздьюкатор", специальные СЗМ "Солвер", многофункциональные лаборатории "Интегра", нанофабрики полного цикла "Нанофаб" для отработки нанотехнологических процессов и создания новых наноустройств).

ЦНИИ КМ "Прометей", Научно-производственный комплекс "Материалы и вопросы безопасности энергетических установок" (С.-Петербург):

— проведение комплексных научных исследований в области атомной, термоядерной и тепловой энергетики, а также в других областях техники;

— конструкционные стали для нефтехимического и атомного энергетического машиностроения (теплоустойчивые, радиационно-стойкие хромомолибденованадиевые стали 12Х2МФА, 15Х2МФА, 25Х2МФА, 25Х3МФА, высокопрочные свариваемые стали 115Х3НМФА, 15Х2НМ1ФА, водородостойкая свариваемая сталь системы 3Cr—Mo—V, экономнолегированные теплоустойчивые стали 10ХН1М, 10Х1Н1М, свариваемая экономнолегированная сталь 09Г2СА-А высокой ударостойкости при температуре до -50 °С и др.).

Арзамасский политехнический институт, Нижегородский государственный технический университет — технология изготовления литых магнитопроводов ротора и статора электродвигателей на основе выплавляемых ферросплавов — диэлектрометаллургия. При замене электромоторов с шихтованными магнитопроводами на монолитные магнитопроводы, полученные методом литьевой металлургии, обеспечиваются возможность массового производства и значительный экономический эффект (снижение в 5—6 раз трудоемкости и себестоимости). Область применения: наноиндустрия, приборостроение, машиностроение, электротехническая промышленность.

Кемеровский государственный университет — высокостойкая изоляция нового поколения на осно-

ве модифицированных силоксановых полимеров для мощных электродвигателей, генераторов, трансформаторов для различных отраслей промышленности. Применение электроизоляции позволяет увеличить надежность работы и срок службы электродвигателей в 5—10 раз, уменьшить габаритные размеры и материалоемкость до 50 %, а также снизить затраты на обслуживание и капитальный ремонт.

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН (Новосибирск):

— технологии получения водородсодержащего газа из природного газа производительностью по синтез-газу 5 м³/ч (объемная доля водорода в синтез-газе около 75 %);

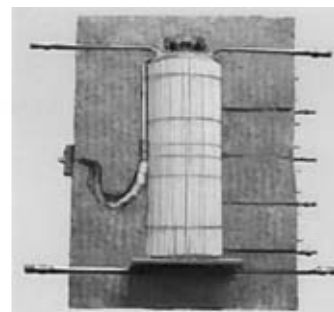
— технологии получения водородсодержащего газа из метана и метанола в микрореакторах производительностью по водороду 375 и 10 л/ч соответственно;

— портативные генераторы чистого водорода из боргидрида натрия (гранулированные и блочные катализаторы, позволяющие получать водород чистотой 99,98 %);

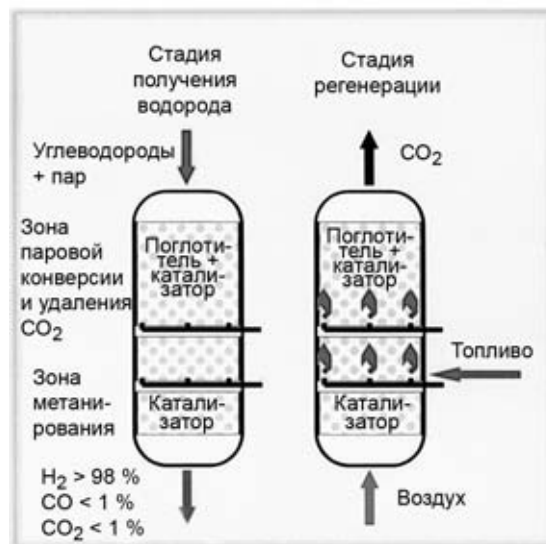
— новая технология получения водорода — адсорбционно-каталитическая конверсия природного газа, биоэтанола, сжиженного газа. Преимущества технологии: высокая чистота получаемого водорода (свыше 98 %), переработка топлива с содержанием серы до 20 %, катализаторы и адсорбенты не содержат благородные металлы (рис. 3).

Астраханский государственный университет — электрокинетический преобразователь (выработка электрической энергии посредством прохождения воды под давлением). Преобразователь позволяет повысить чувствительность при преобразовании постоянного и переменного давления в электрический сигнал. Внедрение преобразователей обеспечивает уменьшение расходов, связанных с энергетическими затратами. Разработка конструкции преобразователя механического давления в электрический сигнал, способного регистрировать изменения давления в широком диапазоне измерения (0,1 Па — 1,0 МПа). На базе электрокинетического преобразователя возможно создание альтернативного источника электроэнергии для портативных устройств.

ООО "Малые газопоршневые ТЭС" (Москва) — производство газовых и дизельных электростанций мощностью 60, 100, 200 и 315 кВт и мини-ТЭЦ мощностью электрической/тепловой 100/130, 200/260 и 315/420 кВт. Такие установки имеют ряд преимуществ по сравнению с существующими аналогами: короткие сроки монтажа, быстрый запуск, относительную простоту обслуживания, возможность одно-



а)



б)

Рис. 3. Новая технология получения водорода: а — демонстрационная установка; б — принципиальная схема процесса

временного производства электрической и тепловой энергии, высокую эффективность использования топлива и относительно низкую себестоимость. Установки имеют различное исполнение: стационарные, передвижные, открытые, в контейнерах.

Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет) — ветроэнергетическая установка (ветродвигатели), в которой в отличие от традиционных ветроэнергетических станций (ветродвигатели которых устанавливаются на мачтах на высоте около 50 м от уровня земли) ветродвигатели имеют форму горизонтального барабана с радиальными лопастями. Такая конструкция приобретает дополнительную прочность, что позволяет использовать установку при ураганных ветрах.

При использовании потоков ветра, проходящих не только вблизи поверхности земли, но и на больших высотах, предлагаются ветроловушки, что по-

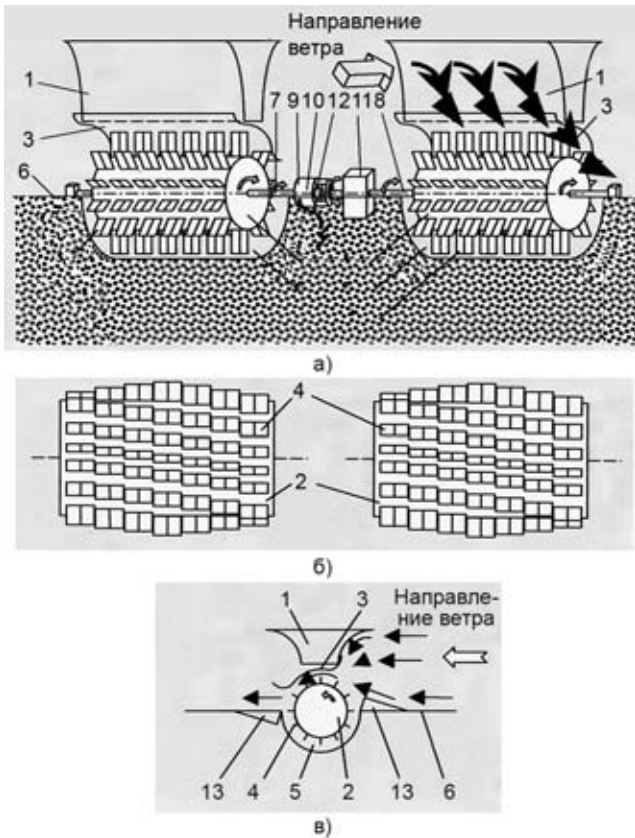


Рис. 4. Общая схема ветроэнергетической установки (а), положение лопастей на ветродвигателях (вид сверху) (б) и движение потоков ветра (в): 1 — неподвижные направляющие, ветроловушки; 2 — барабан ветродвигателя; 3 — нижние подвижные направляющие; 4 — радиальные лопасти; 5 — траншеи; 6 — уровень земли; 7, 8 — два соосных горизонтальных вала ветродвигателей; 9 — ротор генератора электрического тока; 10 — генератор электрического тока; 11 — система зубчатых передач; 12 — статор генератора электрического тока; 13 — подвижные поворотные козырьки

вышает КПД установки в 1,5—2 раза. Общая схема ветроэнергетической установки приведена на рис. 4.

ООО НТЦ "ТермоИзолит" (Москва) — новый суперматериал для прессовых технологий — прессовая компенсационная подушка "Прессинг" для формующего пресса. Применяется при прессовании в формующем прессе фольгированных и нефольгированных диэлектриков, стеклотекстолитов, многослойных печатных плат, конструкционных и декоративных бумажно-слоистых пластиков, фанеры, древесно-стружечных плит и др. Прессовая компенсационная подушка "Прессинг" разработана при финансовой поддержке Правительства РФ через Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Подушка представляет монолитную конструкцию из композиции теплостойких, теплопроводных материалов толщиной 1,5—3,5 мм, не требует изменения технологического процесса, экономичная,

обеспечивает 100 циклов прессования. Прессовая компенсационная подушка "Прессинг" не имеет аналогов.

Пушкинский научный центр РАН — фундаментальные исследования в области физико-химической биологии, молекулярной биологии, биоорганической химии, геномной и клеточной инженерии, биофизики, радиоастрономии, астрофизики и др.

Пушкинский научный центр объединяет девять институтов биологического профиля (Институт белка, Институт биологического приборостроения с опытным производством, Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г. К. Скрыбина, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения и др.) и Радиоастрономическую обсерваторию астрокосмического центра Физического института им. П. Н. Лебедева РАН.

Московский государственный университет прикладной биотехнологии — комплексная модификация отходов упаковочного производства, в основном отходов агропромышленного комплекса, с получением вторичного сырья и готовой продукции. Разработан проект ТУ на биоразлагаемые полимерные композиции и технического регламента на их производство.

ГНЦ РФ "Государственный научно-исследовательский институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов "ГНИИГЕНЕТИКА" (Москва) — разработка фундаментальных основ генетики и геномной инженерии промышленных микроорганизмов — продуктов аминокислот, витаминов, кормового белка и др.

ООО "Кировский БиоХимЗавод" — новое экологически безопасное топливо — пеллеты; топливный биоэтанол — добавка к бензину.

Государственный координационно-аналитический центр развития "живых систем":

— координационные информационно-аналитические работы по приоритетному направлению развития науки, техники и технологии РФ "Живые системы";

— организация мероприятий, способствующих активизации инновационной деятельности;

— координация работ, направленных на развитие и внедрение отечественных разработок в различных отраслях биологии, биотехнологии и геномной инженерной деятельности.

ГНЦ РФ ФГУП "НАМИ" (Москва) — научные разработки:

— снижение выбросов вредных веществ с отработавшими газами транспортных средств и снижение потребления традиционных топлив;

— автомобиль ВАЗ-11173 "Калина" — "Биоэтанол" для передвижения в мегаполисах. Применение на данном автомобиле двигателя, работающего на

биоэтаноле, позволяет снизить выбросы парниковых газов (CO₂) и удовлетворяет требованиям Евро-4.

Преимущества: реагент для подачи в систему нейтрализации вырабатывается на борту автомобиля из топлива, т. е. не требуется заправка дополнительного вещества (например мочевины) для системы нейтрализации (рис. 5).

Некоммерческое партнерство "Национальная ассоциация водородной энергетики" (Москва):

— разработка автомобиля (ГАЗ 330232 "Газель"), работающего на бензоводородных композициях с электронной системой подачи топлива. Технология позволяет использовать водород в двигателях внутреннего сгорания с искровым зажиганием современных транспортных средств;

— комплект многотопливной аппаратуры для переоборудования серийных автомобилей для работы на водороде, природном газе, биоэтаноле, а также на смеси природного газа с водородом, бензине с добавками водорода и других водородсодержащих топливных композициях. Преимущества: при переоборудовании автомобилей, соответствующих требованиям Евро-3, возможно достижение уровня Евро-4, уменьшается расход бензина в 1,5—2 раза, улучшается топливная экономичность в условиях городской эксплуатации на 20—25 %, простота монтажа, надежность и универсальность бензоводородной системы питания.

ООО "Экс-Авиа НН" (Нижний Новгород) — разработка и производство самолетов с шасси на воздушной подушке (СШВП) безаэродромного базирования, способных взлетать (садиться) с любой относительно ровной поверхности: бетона, грунта, пашни, песка, снега, льда, воды, болота (рис. 6). Самолет прошел сертификационные испытания, получен опыт эксплуатации в различных средах.

Назначение самолета: облет линий электропередач, газопроводов, обслуживание геологических партий, метеостанций, доставка мелких грузов. Может использоваться для различных транспортных операций (туризм, отдых и др.). Проработана возможность создания самолетов с шасси на воздушной подушке различной вместимости (четырёхместный, масса груза 60 кг, дальность 1200 км, скорость

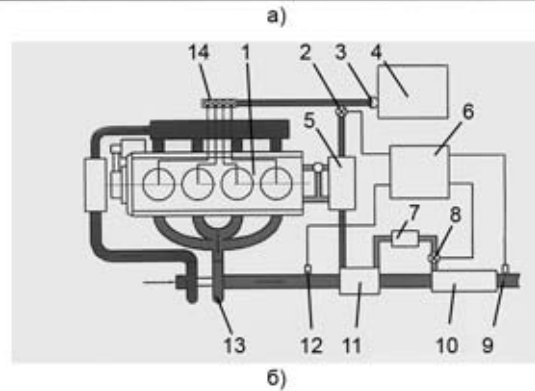


Рис. 5. Общий вид автомобиля ВАЗ-11173 "Калина" — "Биэтанол" (а) и система снижения выбросов оксида азота (б): 1 — двигатель; 2 — электромагнитный клапан; 3 — топливopодкачивающий насос; 4 — топливный бак; 5 — теплообменник; 6 — блок управления; 7 — аккумулирующая камера; 8 — электромагнитный клапан; 9 — датчик оксидов азота; 10 — каталитический нейтрализатор; 11 — термореактор; 12 — датчик температуры; 13 — турбокомпрессор; 14 — топливный насос высокого давления

крейсерская 180—220 км/ч, полезная нагрузка 480 кг, масса топлива 100 кг).

Астраханский государственный университет — сепараторы автономные проточного типа для нефтешламов, нефтепродуктов и сточных вод. Предназначены для улавливания, сбора и выгрузки механических примесей при перекачке нефтешламов,



Рис. 6. Безаэродромный четырехместный самолет с шасси на воздушной подушке

полученных в результате зачистки нефтехранилищ от донных отложений, нефтепродуктов и сточных вод. Конструкция сепараторов выгодно отличается от известных устройств отсутствием электромеханического привода и возможностью монтажа сепаратора на любом участке перекачивающего трубопровода, а также сочетанием эффективной очистки продукта от механических примесей и возможности освобождать накопитель от механических примесей, не прерывая процесс перекачки. Проект в стадии разработки.

Центр экологических инициатив "ПРЕСС-ТОРФ", ЗАО "Маркетинг бюро" (г. Киров) — комплексная технология ликвидации последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Технология включает:

- гидрофобный торфоминеральный сорбент "СОРБОНАФТ" для сбора нефти и нефтепродуктов на воде и почве;

- способ и средства нанесения сорбентов (наносятся на нефтезагрязненную поверхность в струе воды под давлением с использованием штатных технических средств);

- способ и средства утилизации сорбента с использованием технологии его переработки в торфо-нефтяные топливные брикеты, а также микробиологический способ утилизации.

Комплексная технология — лауреат "Национальной экологической премии—2007".

Федеральное космическое агентство, ФГУП "Центр Келдыша" (Москва) — микрофильтрационные элементы на основе трековых мембран. Предназначены для эксплуатации в составе водоподготовительных установках в технологических схемах очистки воды для систем водоснабжения хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения. Принцип очистки основан на мембранной технологии отделения загрязняющих веществ из воды и заключается в фильтрации исходной воды, прокачиваемой под давлением через трековую мембрану.

Для производства трековых мембран используются полимерные пленки различной толщины. Отличаются по размеру пор, производительности, габаритным размерам и массе.

Дмитровградский институт технологии, управления и дизайна — филиал Ульяновского ГТУ — очистка воды с помощью цеолитовых (группа породообразующих минералов, водных алюмосиликатов, главным образом кальция и натрия) фильтров-сорбентов.

Разработаны три технологии очистки воды:

- очистка питьевой воды: фильтрация и удаление вредных примесей, доведение воды до нормального содержания в ней макро- и микроэлементов;

- подготовка воды для производства: очистка воды до уровня ТУ производства (гарантия отсутствия образования накипи в оборудовании и механизмах);

- очистка сточных вод: полная ликвидация загрязнений от деятельности производства и быта, получение возможности оборотного водоснабжения.

Преимущества цеолитовых фильтров-сорбентов: малогабаритность, низкая стоимость, высокая производительность, срок службы без замены сорбента более 10 лет.

Институт проблем химической физики РАН (г. Черноголовка Московской обл.) — переработка промышленных и бытовых отходов методом фильтрационного горения со сверхадиабатическим разогревом. Разработан двухстадийный способ использования низкосортных топлив для получения тепловой и электрической энергии: газификация в сверхадиабатическом режиме, сжигание полученного энергетического газа в энергетических установках. Применим для переработки промышленных и бытовых отходов с получением энергии. Разработано промышленное оборудование (реакторы-газификаторы) для реализации процесса в периодическом и непрерывных процессах. Разработаны соответствующие технологии переработки отходов.

Разработка защищена патентами, удостоена золотой медали Салона изобретений "Брюссель—Эврика" (Швеция).

Инновационно-инвестиционный фонд Самарской обл. — технология переработки многотоннажных отходов (органоминеральных шламов, сопутствующих очистке стоков на предприятиях машиностроительного комплекса, а также образуемых при нефтедобыче и технологической переработке нефти) в строительные материалы. Преимущества: широкая область применения данной технологии, широкая номенклатура создаваемых строительных материалов. Стадия разработки: доведение до промышленного уровня.

Фирма "Экоаналитика" (Калуга):

- экологическое проектирование (проекты нормативов ПДВ, ПДС, образования отходов и лимиты на их размещение, документы по оценке действия на окружающую среду действующих и проектируемых предприятий и др.);

- разработка программных продуктов в области охраны окружающей среды (программно-аналитический комплекс "воздух—город", "отходы—город (регион)", "отходы—предприятие");

- разработка и обслуживание очистных сооружений и др. Фирма имеет необходимые лицензии на проведение природоохранных работ на территории РФ.

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН (Новосибирск) — экологически чистый теплогенератор. Принцип действия теплогенератора основан на двухстадийном сжигании жидкого или газообразного топлива (природного газа). На первой стадии осуществляется факельное сжигание топлива. Полученные топочные газы с помощью центробежного вентилятора разбавляют воздухом до достижения необходимой температуры и подают смесь во вторую камеру, где установлена кассета с блочным катализатором сетевой структуры. На каталитической кассете при температуре 400—800 °С протекает глубокое окисление продуктов неполного сгорания топлива и оксида углерода, а также восстановление оксидов азота.

Техническая характеристика теплогенератора мощностью 90 кВт: расход природного газа 9,1 м³/ч, производительность по воздуху 5000 м³/ч, нагрев воздуха не менее 110 °С. Коэффициент полезного использования теплоты 99 %. Теплогенератор обеспечивает экономию и экологическую чистоту сгорания топлива, имеет пониженную металлоемкость, надежен в эксплуатации. Область применения: обогрев теплиц, хранилищ, производственных и вспомогательных помещений небытового назначения (рис. 7).

Институт автоматизации и электрометрии "ИАиЭ" (Новосибирск):

— оптоволоконные мультисенсорные системы. Преимущества: дистанционный контроль (до нескольких километров) без подвода электрического питания к датчикам, пожаро- и взрывобезопасность, повышенная стойкость против коррозии. Область применения: контроль параметров протяженных объектов в угольной (конвейеры в шахтах) и нефтегазовой (скважины, трубопроводы, хранили-



Рис. 7. Экологически чистый теплогенератор для обогрева теплиц

ща) отраслей, строительных конструкций и объектов энергетики;

— лазерные технологии для микрообработки и прецизионного вывода изображений моделей (лазерное гравирование, резка, перфорирование, послойный синтез из порошковых материалов, лазерная запись многоуровневого изображения);

— шаговые линейные высокоэнергоемкие микродвигатели. Преимущества: микроэлектронные конструкция и технология изготовления, высокая удельная энергоемкость до 50—100 Вт/кг, гибкое управление величиной шага и мощностью двигателя. Область применения: микроэлектроника, шаговые микро- и нанопозиционеры, скоростные микросканеры, микронасосы, микроботы, искусственные мускулы, сенсоры и др.

Рязанский институт — филиал МГОУ — инновационный проект: "Система автоматизированного нормирования маршрутно-операционных технологических процессов". Система предназначена для автоматизации работ технологических подразделений машиностроительных предприятий. Обеспечивает процесс интерактивного диалогового расчета режимов резания и норм основного, вспомогательного и подготовительно-заключительного времени для работ, выполняемых на различном станочном оборудовании в условиях единичного, мелко- и среднесерийного производства. Система может быть легко адаптирована для работы в условиях конкретного предприятия.

ООО НПК "Генезис знаний" (Самара) — разработка программного обеспечения на основе инновационных информационных технологий: заказное программное обеспечение, системы автоматизированного управления предприятием, управления логистикой, для электронной коммерции, интернет-порталы и сайты любой сложности, обучающие системы, тренажеры, продажа и внедрение программного обеспечения.

Всероссийский институт научной и технической информации "ВИНИТИ" (Москва) — обработка документов по естественным, точным, техническим и прикладным наукам, разным отраслям народного хозяйства и некоторым комплексным проблемам. Базы данных ВИНИТИ доступны в сети Интернет.

Отличительная черта салона — достаточно широкое представительство организаций, фирм и компаний по оказанию услуг в области инновационной деятельности (более 40). Ниже приведены некоторые из них.

Ассоциация "Российский дом международного научно-технического сотрудничества" (некоммерческая организация) (Москва) — формирование банка данных о российских технологиях,

не имеющих аналогов за рубежом. Трансфер отечественных технологий за рубеж с целью создания на их основе совместных производственных предприятий.

Белорусский инновационный фонд (некоммерческая организация) (Минск) — комплексная поддержка инновационной деятельности в Республике Беларусь.

Компания "Бюро венчурных инвестиций" (Москва) — полный комплекс бизнес-услуг в инновационной сфере (привлечение финансирования, разработка бизнес-планов, юридические услуги в инновационной сфере, маркетинговые исследования, патентные услуги и др.).

Бюро управления инновационными проектами (БУИП) (Москва) — создание в рамках программ Международного фонда технологий и инвестиций (IFTI) как системного организатора и управленца малых инновационных предприятий.

Государственная некоммерческая организация "Инвестиционно-венчурный фонд Республики Татарстан" (Казань) — повышение инновационного потенциала Республики Татарстан, развитие наукоемких производств и внедрение новых прогрессивных технологий, поддержка инноваций, создание условий для увеличения числа предприятий венчурного капитала, совершенствование системы поддержки малого и среднего бизнеса.

Инновационное бюро "Эксперт" (Москва) — консультационные, информационные и аналитические услуги на российском инновационном рынке. Бюро проводит конкурсы инновационных проектов — "Конкурс русских инноваций" (ежегодно с 2001 г.), а также конкурс для студентов "Лучший бизнес-план инновационного проекта".

Государственное учреждение "Нижегородский инвестиционный бизнес-инкубатор" — сервисная поддержка инновационных проектов на раннем этапе развития (консалтинговые услуги, содействие в поиске инвесторов, предоставление на льгот-

ных условиях в аренду офисных помещений, организаторские и другие услуги).

ОАО "Центр акционирования инновационных разработок" — ЦАИР (Москва) — поиск и оценка перспективных результатов исследований для создания на их основе малого бизнеса, поиск инвестиций для продвижения проектов, оценка инновационного потенциала научных организаций и регионов, практическая подготовка инновационных менеджеров.

Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Москва) — оказание прямой безвозмездной финансовой помощи малым инновационным предприятиям, реализующим проекты по разработке и освоению новых видов наукоемкой продукции и технологий на основе интеллектуальной собственности. Идеология программ: выработка и практическая реализация инструментов содействия коммерциализации научного потенциала РФ через малые предприятия.

Определенный интерес у специалистов и посетителей салона вызвали национальные экспозиции Республики Татарстан и Республики Беларусь, а также ряд стендов зарубежных стран.

Инвестиционно-венчурный фонд Республики Татарстан:

— организация производства оборудования по модификации поверхностей изделий из металлов и сплавов при помощи многоканального плазменного разряда. Разработанный метод — решение сложных проблем финишной обработки металлов и сплавов (рис. 8). Преимущества: совмещение в одной технологической установке операций обезжиривания, травления, полировки и модификации поверхности, высокая скорость обработки, в 5—6 раз более экономичен, чем аналогичные методы — ЭПО и др.;

— организация производства нового вида щелочных аккумуляторов. Реализация проекта: разработаны, изготовлены и испытаны макетные образцы

новых аккумуляторов и материалов с характеристиками, превышающими известные мировые аналоги. Ужесточение экологических требований к выбросам вредных веществ в автомобилестроении (Евро-3, 4, 5) при производстве, утилизации, эксплуатации автомобилей, а также переход на бортовое напряжение 36 В для легковых и 42 и 48 В для грузовых автомобилей, повышает возможность использования более эффективных источников тока. Преимущества: увеличение срока службы аккумуля-



Рис. 8. Общий вид деталей до (а) и после (б) электролитно-плазменной обработки (ЭПО)

торной батареи до 7 лет, использование экологически чистого аккумулятора вместо свинцово-кислотного, уменьшение массы и габаритных размеров аккумулятора в 3 раза, что позволит в грузовых автомобилях разместить аккумуляторную батарею в кабине водителя и др.;

— организация производства по переработке отходов металлургического производства ОАО "Камаз—металлургия". Технология направлена на утилизацию техногенных отходов литейного и кузнечного производств, получение из них продукции, используемой в собственном производстве и дорожном строительстве, экономии природного сырья. В отличие от известных способов брикетирования, где процесс происходит при наличии посторонних связующих материалов, разрабатываемая в проекте технология предполагает получение брикетов с применением отходов предприятия. Отличительной особенностью технологии брикетирования является возможность изготовления брикетов из шихтовых смесей (максимально приближены к традиционной шихтовой плавке, не вносят вредных примесей от связующих материалов). Получаемая продукция из железосодержащих отходов: железобрикет, дробь стальная литая, чугуновый скрап, минеральный порошок. Преимущества: более низкая стоимость выплавляемого металла, замена чугунного и стального лома, повышение производительности, уменьшение потерь шихты и др.

Республиканский Центр трансфера технологий (РЦТТ) Республики Беларусь — содействие сотрудничеству между разработчиками, предпринимателями и инвесторами.

Белорусский государственный университет (научно-инвестиционный отдел) (Минск):

— термостойкие композиционные материалы. Некоторые составы успешно использованы в узлах ракетно-космической системы "Энергия—Буран". Предлагаются теплоизоляционные и футеровочные материалы, огнеупоры, покрытия, клеевые композиции, связующие краски.

Материалы негорючи, нетоксичны, экологически чистые, безотходное производство не требует сложного оборудования. Область применения: металлургия, производство огнеупоров, керамики, строительных материалов, космическая техника;

— разработаны и изготовлены образцы уникальных патронных фильтров из новых пленочно-тканевых материалов для очистки артезианских и поверхностных вод, доочистки водопроводной холодной и горячей воды, различных технологических растворов, хозяйственно-бытовых и производственных стоков от песка, механических примесей и других загрязнений. Преимущества фильтров по сравнению с другими аналогами: высокая произво-



а)



б)

Рис. 9. Н°ТЕХМА-фильтр (BSU): а — общий вид; б — материал фильтра

дительность (1—100 м³/ч), тонкая фильтрация (1—10 мкм), сверхмалые размеры (от 90 × 120 до 800 × 800 мм), многократные регенерируемые Н°ТЕХМА-фильтры (BSU) (рис. 9). Новые фильтры устойчивы к действию микроорганизмов, горячей воды и перегретого пара, разбавленных кислот и щелочей, выдерживают химическую и температурную стерилизацию. Материалы фильтров нетоксичны и разрешены Минздравом РБ к использованию в пищевой промышленности;

— программно-аппаратный комплекс оценки технического состояния изделий машиностроения (компрессоры, прокатные станы, насосы, подшипниковая продукция и др.). За счет современных методов обработки вибрационных сигналов обеспечивается достоверное выявление дефектов на ранних стадиях развития и возможность функционирования комплекса в автономном режиме, в том числе без присутствия эксперта. Встроенные средства телеметрии обеспечивают удаленный контроль технического состояния объекта диагностики, позволяют вести протоколирование работы оборудования, оперативно реагировать на изменение режимов его работы.

Научно-исследовательский институт физико-химических проблем БГУ — технология непрерывного получения дизельного топлива из рапсового масла для транспорта, энергетики, сельского хозяйства. Биотопливо представляет смесь метиловых эфиров высших жирных кислот, вязкая жидкость светло-желтого цвета, легко растворимо в неполярных и хлорированных органических растворителях, мало растворимо в воде. Организовано производство метиловых эфиров жирных кислот (дизельное биотопливо) мощностью 500 тыс. т и смесевое дизельное биотоплива 100 тыс. т на базе ОАО "Гродно Азот".

Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Республики Беларусь (Минск):

— установка лазерной маркировки и гравировки изделий из металла, пластика и керамики, а также изделий с лакокрасочным и другими покрытиями. Предназначена для использования в заводских условиях машиностроительной, приборостроительной и металлообрабатывающей отраслях промышленности.

Техническая характеристика: потребляемая мощность 4 кВт, длина лазерного излучения 1,06 мкм (возможна модификация 10,6 мкм), минимальная высота гравировочных знаков 0,6 мм, габаритные размеры 1900 × 900 × 1200 мм, масса 250 кг;

— установка для лазерной резки металлов. Предназначена для использования в заводских условиях машиностроительной и металлообрабатывающей отраслях промышленности. Техническая характеристика: толщина разрезаемого металла (стали) до 5 мм, масса обрабатываемой детали до 10 кг, длина волны излучения 1,06 мкм, мощность лазерного излучения до 150 Вт, режим работы — импульсный.

Набор оборудования: блоки для вращения обрабатываемой детали вокруг вертикальной и поперечной осей, световодная приставка для транспортировки лазерного излучения, аппарат визуального контроля и контроля видеокамерой, трехосевой стол;

— оптические профилометры для контроля поверхности цилиндрических изделий в машино-

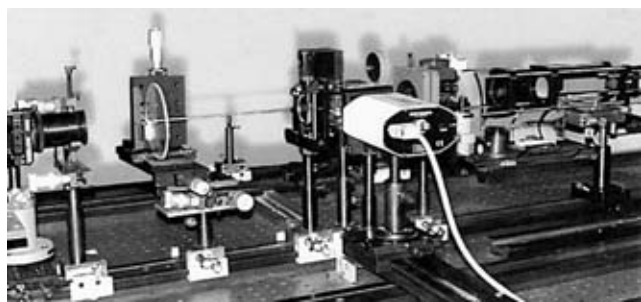


Рис. 10. Лабораторный макет профилометра

строении. Разработанные оптические профилометры, основанные на применении конических пучков, перспективны для экспресс-анализа и контроля промышленных изделий на машиностроительных предприятиях (рис. 10).

Профилометры осуществляют параллельное измерение всей цилиндрической поверхности, что исключает необходимость вращения объекта в процессе измерения. Преимущества профилометров данного типа: высокое быстродействие, виброустойчивость одноплечевых схем профилометров, возможность профилометрии шероховатых поверхностей, высокая точность измерений отклонений профиля от цилиндрического.

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого — технология магнитоэлектрического упрочнения быстроизнашиваемых деталей машин (элементов технического оборудования, рабочих органов строительной и дорожной техники и др.). Установка состоит из сварочного трансформатора, электромагнитной катушки и специальной оснастки и монтируется на базе универсальных станков (токарного или фрезерного). Техническая характеристика: ток 75—150 А, напряжение холостого хода генератора 18—50 В, магнитная индукция в зазоре 0,05—0,40 Тл, производительность 10 225 см²/мин, толщина наносимого слоя 0,25—0,50 мм. В качестве наплавочных материалов используют порошки (ферробор, легированные стали и чугуны, самофлюсующие порошки на железной основе) с частицами сферической или неправильной формы размером от 0,315 до 0,630 мм. Преимущества: простота используемого технологического оборудования, низкая себестоимость наплавочных материалов и покрытий, гетерогенная (микроскопическая неоднородная физико-химическая система/структура), высокая износостойкость в различных условиях эксплуатации.

Национальное республиканское унитарное предприятие "Научно-технологический парк при Белорусском национальном техническом университете (БНТУ) "МЕТОЛИТ" (Минск) — новые материалы (порошки и защитные покрытия с аморфно-кристаллической структурой). Назначение и область применения: порошки и защитные покрытия для изготовления изделий методами порошковой металлургии, изготовления гибких шнуровых материалов, нанесения покрытий газотермическими методами, для газотермического упрочнения и восстановления деталей, эксплуатируемых в экстремальных условиях. Получение порошков осуществляется плазмохимическим синтезом композиционных частиц на основе тугоплавких соединений. Композиции, содержащие в своей структуре аморфные фазы, позволяют получать материалы с уникальными

свойствами (например, газотермические покрытия многофункционального назначения: износостойкие, ударо- и коррозионно-стойкие, жаростойкие, теплоизоляционные). Восстановление шпинделей в ОАО "Минский подшипниковый завод" позволяет снизить их стоимость в 3—7 раз.

На экспозиции выставки были представлены фирмы зарубежных стран: **ЕСОАССИАИ SpA** (Италия) — охрана окружающей среды, альтернативные источники энергии; **Ассоциация венгерских изобретателей** (Будапешт) — трансфер венгерских изобретений на мировой рынок, а также импорт зарубежных изобретений и новых изделий; **Корейская ассоциация продвижения интеллектуальной собственности** (Сеул); **Государственная организация "Национальный совет Таиланда по**

научным исследованиям" (Бангкок) — разработка государственной политики в области научных исследований; фирма **"Ист Вест технолоджи Трансфер"** (Германия) — содействие трансферу российских технологий за рубеж и юридическая помощь в патентовании российских изобретений в других странах.

В рамках салона были организованы мероприятия под девизом "Национальные приоритеты развития России: образование, наука, инновации". Лучшие инновационные и инвестиционные изобретения и товарные знаки награждены специальными призами, медалями и дипломами международного жюри и оргкомитета салона.

Ан. А. СУСЛОВ, канд. техн. наук

10-я Международная научно-практическая конференция "Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки"

15—18 апреля 2008 г. в Санкт-Петербурге состоялась 10-я Международная научно-практическая конференция "Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки", организованная научно-производственной фирмой "Плазмацентр" и Санкт-Петербургским государственным политехническим университетом.

В работе конференции участвовали около 550 представителей различных предприятий и организаций России, Республики Беларусь, Украины, Казахстана, Азербайджана, Молдавии и Армении. Около 40 периодических изданий являлись ее информационными партнерами.

Работа конференции осуществлялась по четырем взаимосвязанным направлениям: технологии восстановления первоначальной (заданной) геометрии поверхности и сварки изделий; конструкционные и эксплуатационные методы повышения долговечности, триботехника, обработка поверхности изделий; технологии упрочнения и восстановления физико-механических свойств поверхности; технологии дефектации, диагностики, мойки и очистки.

Во вступительном слове полномочный представитель Президента Российской Федерации в Северо-Западном Федеральном округе И. И. Клебанов отметил, что данная конференция — это значительное событие в научно-промышленной сфере, направ-

ленное на обеспечение функционирования используемой промышленной продукции, а также средств технического и технологического оснащения производств. Проведение в Санкт-Петербурге конференции по данной тематике является авторитетным мероприятием в области технологий ремонта оборудования.

Открывая конференцию, генеральный директор НПФ "Плазмацентр" П. А. Тополянский, отметил, что наряду с масштабностью и значимостью проводимой в Санкт-Петербурге конференции главным ее отличием является участие в ее работе не только ученых, преподавателей и разработчиков технологий ремонта, восстановления, упрочнения и повышения долговечности оборудования, но и представителей промышленности — непосредственных потребителей данных технологий из разных областей России и стран СНГ. Именно прямое общение разработчика и непосредственного потребителя инновационных проектов характерно для данных конференций, основной целью которых является внедрение технологий. Лозунг конференции — "Руководителей надо учить", так как повышение качества, надежности и долговечности выпускаемой продукции зависит не от отдела технического контроля, а именно от руководителя, который должен знать основы создания конкурентоспособной продукции. Особенностью проводимых конференций

является их практическая направленность, возможность внедрения технологий ремонта, восстановления и упрочнения, демонстрация и презентация нанесения износостойких покрытий на изделия. На конференциях всегда присутствуют студенты и аспиранты, которым наглядно демонстрируется необходимость и востребованность их знаний на современном этапе развития.

На конференции было заслушано более 70 пленарных докладов. Каждая организация, представившая доклад, была отмечена почетным дипломом. Доклады и их аннотации представлены на сайте www.plasmacentre.ru.

На конференции распространяли компакт-диск "Энциклопедия технологий ремонта, восстановления и упрочнения", содержащий материалы предшествующих конференций с компьютерной программой поиска (по ключевым словам) информации для решения производственных задач. Была проведена презентация монографии Н. А. Соснина, С. А. Ермакова, П. А. Тополянского "Плазменные технологии".

Для участников конференции было организовано посещение промышленных участков по восстановлению и нанесению функциональных покрытий с использованием технологий газотермического напыления и наплавки. На выставочных площадях демонстрировалось оборудование нового поколения, разработанное специалистами НПФ "Плазмацентр" для финишного плазменного упрочнения инструмента и деталей технологической оснастки.

В рамках конференции была организована школа-семинар "Все методы повышения стойкости инструмента, штампов, пресс-форм и другой технологической оснастки", где освещались практически все известные в России и за рубежом технологии упрочнения инструмента и оснастки. Участникам школы-семинара продемонстрировали новый процесс финишного плазменного упрочнения с нанесением алмазоподобного покрытия, обеспечивающий многократное повышение стойкости изделий за несколько минут обработки. Производилось также упрочнение привезенного слушателями инструмента и технологической оснастки.

Участники конференции отметили существенную активизацию работ по применению новых наукоемких технологий для ремонта, и особенно для упрочнения ответственных деталей и инструмента; широкое применение плазменных, лазерных и других высокоэффективных электрофизических процессов для продления ресурса работы деталей, инструмента и технологической оснастки; расширение применения нанотехнологий для упрочнения различных изделий и совместную работу ученых и практиков различных стран СНГ.

Международные конференции подобного формата являются эффективным средством, способствующим развитию практически всех секторов экономики как России, так и других стран.

Участники конференции приняли следующее постановление. Учитывая накопленный многолетний опыт проведения конференций по данной тематике, наличие обширной информации, поступающей от заказчиков по проблемам ремонта, а также технической базы в области данных технологий, поддержать инициативу организатора данной конференции — НПФ "Плазмацентр" — по созданию в Санкт-Петербурге Центра технологий ремонта, восстановления и упрочнения. Основная цель функционирования центра — оказание информационных услуг по проблемам ремонта, восстановления и упрочнения и предоставление информации об исполнителях данных работ.

На сайте НПФ "Плазмацентр" (www.plasmacentre.ru) открыть постоянно действующий форум "Проблемы ремонта, восстановления и упрочнения", сформировать банк данных исполнителей технологий ремонта, восстановления и упрочнения.

Ежегодно проводимая в Санкт-Петербурге конференция, посвященная технологиям ремонта, восстановления и упрочнения, является важным звеном для обоюдной интеграции науки и производства.

К открытию конференции был издан сборник ее материалов в двух томах.

П. А. ТОПОЛЯНСКИЙ, канд. техн. наук
ООО "НПФ "Плазмацентр"

Издательский центр "Технология машиностроения"

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 01.04.2008. Подписано в печать 20.05.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 12,63. Заказ 06/08.

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"