

ТЕХНОЛОГИЯ



МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:**

Гл. редактор

В. А. Казаков

Н. П. Бирюкова

Р. С. Голов

В. Д. Горбач

С. Н. Григорьев

Б. В. Гусев

А. В. Дуб

В. М. Ермаков

А. С. Зубченко

А. В. Иванайский

Е. А. Калашников

В. В. Капустин

А. Л. Карунин

И. П. Ксенович

А. Е. Лигачев

А. А. Лозован

В. П. Лялякин

А. В. Медарь

Б. А. Никитин

Г. В. Самодуров

В. Н. Семенов

О. С. Сироткин

А. К. Скворчевский

Н. В. Смирнов

А. В. Телушкин

А. Н. Феофанов

В. А. Фролов

В. К. Шелег

И. Н. Шиганов

Редакция:

С. В. Богус,

Т. П. Маслик

Компьютерная верстка:

Е. В. Конова

Дизайн обложки:

Е. С. Благовидов

Специальные

корреспонденты:

А. Н. Иванов, А. В. Казаков,

Ан. А. Суслов

Редактор-переводчик

Е. О. Егорова

Корректор

Т. В. Арбузова

**10 (76)
Октябрь
2008**

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр

"Технология машиностроения"

Журнал издается при содействии

Министерства промышленности

и торговли РФ,

Министерства образования и науки РФ,

Российской инженерной академии,

Союза машиностроителей России,

ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»

Адрес редакции:

127015, Москва, ул. Большая Новодмитровская, 23.

Адрес для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 01.

Тел.: (495) 796 2491.

Тел./факс: (495) 748 0142.

Бухгалтерия: 8 910 414 9184.

E-mail: tekhmash@ic-tm.ru

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

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

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-7779

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

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

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



TEKHNLOGIYA

MASHINOSTROENIYA

REVIEW-ANALYTICAL, SCIENTIFIC-TECHNICAL
AND PRODUCTION JOURNAL

**EDITORIAL
BOARD:**

V. A. Kazakov
Editor-in-Chief

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

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

Computerized making-up:
E. V. Konova

Cover design:
E. S. Blagovidov

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

Editor-translator
E. O. Egorova

Proof-reader
T. V. Arbuzova

**10 (76)
October
2008**

FOUNDER:

Publishing Centre

"Tekhnologiya Mashinostroeniya"

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

Address of the editorial office:

B. Novodmitrovskaya, 23, Moscow.

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

Tel.: (495) 796 2491.

Tel./fax: (495) 748 0142.

Book-keeping: 8 910 414 9184.

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

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

Registration certificate ПИ № 77-7779

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Герасимов М. В. — Влияние неметаллов на электрохимическое поведение быстрозакаленных сплавов железа и титана. 5

ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Чертов В. М. — О структуре материала железнодорожных колес 9

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

Чепчуров М. С. — Обработка деталей с неравномерным по структуре материалом припуска 12

Федоренко М. А. — Механическая обработка крупногабаритных поверхностей вращения без их демонтажа в условиях эксплуатации 14

Погонин А. А., Дуюн Т. А., Гринек А. В. — Влияние технологических режимов на качество поверхности при отделочно-упрочняющей обработке коллекторов электродвигателей 17

Бойко А. Ф., Погонин А. А., Воронкова М. Н. — Оптимизация вылета электрода-инструмента при электроэрозионной прошивке микроотверстий 18

Козлов А. В., Шеркунов В. Г., Хилькевич Я. М. — Опыт гибки тонкостенных труб в холодном состоянии 21

СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Ширинская Т. Н., Губанов В. Ф., Орлов В. Н., Марфицын В. В. — Износостойкость минералокерамических и алмазных инденторов выглаживателей. 23

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА И РОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Гецкин О. Б., Полосков С. И., Ерофеев В. А., Витько О. П. — Имитационное моделирование особенностей управления переносом капель при сварке с короткими замыканиями 25

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ

Бузановский В. А. — Технология синтеза информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств веществ 30

Зуев А. К., Зуев А. А., Савинов Ю. П. — О методике расчета цилиндрических зубчатых колес 35

МЕТРОЛОГИЯ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Шевелев Ю. В. — Внедрение ГОСТ Р 8.624—2006 с использованием метрологического оборудования производства ОАО "НПП "Эталон". 36

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Сайфутдинов С. М. — Капиллярный контроль: история и современное состояние 39

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ, САПР

Михалев О. Н., Янюшкин А. С. — Программная реализация автоматизированного проектирования обработки точных отверстий на станках фрезерно-сверлильно-расточной группы с ЧПУ 44

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

Агамиров Л. В., Говорун М. В. — Методика моделирования сложных переходных зон при проектировании крупногабаритных элементов конструкций авиационной техники 49

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Глебов А. А. — Сертификация породоразрушающего бурового инструмента с применением методики сертификационных испытаний алмазных буровых долот. 53

ОХРАНА ТРУДА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Иванов Ю. В. — Исследование вибраций и результаты работ по их снижению в кузнечных цехах 56

ЭКОНОМИКА МАШИНОСТРОЕНИЯ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Хвастунов Р. М., Негримовская Н. П., Феофанов А. Н. — Способы отбора специалистов в состав экспертных групп 58

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Дудников С. В. — Роль и место службы занятости по трудоустройству выпускников учреждений профессионального образования 68

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Бернадский В. Н. — Новые рубежи Института сварки Франции. 69

Потапова Г. С. — Содержание зарубежных журналов. 72

ИНФОРМАЦИЯ

Иванов А. Н. — Международный форум "Высокие технологии XXI века" 76

CONTENTS

STRUCTURAL MATERIALS, METAL SCIENCE

- Guerasimov M. V.** — Influence of nonmetallics on the electrochemical behavior of rapidly chilled iron and titanium alloys 5

BLANK PRODUCTION

- Chertov V. M.** — On the structure of railway wheels 9

TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR MACHINING, PHYSICOTECHNICAL PROCESSING

NON-CUTTING SHAPING

- Chepchurov M. S.** — Processing of the parts with structurally non-uniform excess material 12

- Fedorenko M. A.** — Machining of the large-dimensioned revolution surfaces without their dismantling under running conditions 14

- Pogonin A. A., Duyun T. A., Grinek A. V.** — Operating practices effect on the surface condition at contact surface fine-strengthening treatment of the commutator motors 17

- Boyko A. F., Pogonin A. A., Voronkova M. N.** — Optimization of the EDM tool escape at microholes electroerosion broaching 18

- Kozlov A. V., Sherkunov V. G., Khilkevich Ya. M.** — Bending experience of cold thin-walled tubes 21

TOOLING PRODUCTION

- Shirinskaya T. N., Goobanov V. F., Orlov V. N., Marfitsyn V. V.** — Wear resistance of the mineral-ceramic and diamond indenters of smoothers 23

TECHNOLOGIES AND MACHINES FOR WELDING PRODUCTION AND RELATED PROCESSES

- Guetskin O. B., Poloskov S. I., Yerofeyev V. A., Vitko O. P.** — Simulation modelling of the droplet transfer control features at short circuit welding 25

SPECIAL TECHNOLOGIES

- Buzanovsky V. A.** — Synthesis technology of the information-measuring systems for the matter physicochemical composition and properties 30

- Zuyev A. K., Zuyev A. A., Savinov Yu. P.** — On the spur gear design procedure 35

METROLOGY AND MEASUREMENT ASSURANCE

- Sheveliov Yu. V.** — An introduction of the GOST R 8.624—2006 using metrological equipment made by "NPP "Etalon", JSC 36

TESTING AND DIAGNOSTICS METHODS IN ENGINEERING INDUSTRY

- Sayfootdinov S. M.** — Capillary control: history and state-of-the-art 39

PROCESSES AND PRODUCTION AUTOMATION AND CONTROL, CAD SYSTEMS

- Mikhailov O. N., Yanyushkin A. S.** — Software implementation of the precise hole making operations CAD using NC-machining technique of milling-drilling-boring group 44

MATHEMATICAL MODELLING, CALCULUS OF APPROXIMATIONS AND SOFTWARE SYSTEMS

- Agamirov L. V., Govoroon M. V.** — Modelling methods of complex transition zone at designing large-size constructional elements for aeronautical engineering 49

STANDARDIZATION AND PRODUCT QUALITY CONTROL

- Glebov A. A.** — Rock cutting boring tool certification by way of example of diamond drilling bit certification test procedure 53

LABOUR PROTECTION IN ENGINEERING INDUSTRY

- Ivanov Yu. V.** — Vibration analysis and working data on its reduction in forging shops 56

ECONOMICS OF THE ENGINEERING INDUSTRY AND PRODUCTION ORGANIZATION

- Khvastoonov R. M., Negrimovskaya N. P., Feofanov A. N.** — Personnel selection practice for the groups of experts 58

EDUCATION AND PERSONNEL TRAINING

- Doodnikov S. V.** — Function and position of the placement service at vocational education institutions 68

FOREIGN EXPERIENCE

- Bernadsky V. N.** — New advances of the Institute of welding, France 69

- Potapova G. S.** — Contents of the foreign journals 72

INFORMATION

- Ivanov A. N.** — International forum "High Technology of XXI" 76
-

М. В. ГЕРАСИМОВ, канд. техн. наук

Институт физической химии и электрохимии (ИФХиЭ) им. А. Н. Фрумкина РАН

Влияние неметаллов на электрохимическое поведение быстрозакаленных сплавов железа и титана

В сороковые годы XX века Бреннер получил первые аморфные покрытия никель—фосфор и кобальт—фосфор из растворов электролитов. Покрытия содержали от 10 до 30 % фосфора и обладали высокой коррозионной стойкостью по сравнению с обычными гальваническими никелевыми покрытиями. Данные аморфные покрытия не получили тогда широкого практического применения, и только появление способа закалки на быстро вращающийся диск и, соответственно, возможность получения аморфных сплавов в виде ленты дали толчок новым исследованиям в 80—90-е гг. XX века.

В настоящее время аморфные сплавы в основном применяют как магнитные магнитно-мягкие материалы [1, 2]: сердечники и головки магнитных устройств, электромагнитные экраны, антенны, реле и др., что, вероятно, обусловлено особенностями их получения (аморфных сплавов). Широко применяемая технология получения аморфных сплавов закалкой на быстро вращающийся диск позволяет получать их в виде ленты шириной до 50—80 мм и толщиной несколько десятков микрон. Данная геометрия материала затрудняет его использование в виде крупногабаритных изделий и, следовательно, не позволяет задействовать в полной степени широкий диапазон его свойств, таких как твердость, износостойкость, коррозионную стойкость. Между тем технология "быстрой закалки" позволяет получить уникальные составы, которые невозможно получить классической металлургической плавкой. В результате литья струи металлического расплава на поверхность быстро движущегося с линейной скоростью 20—30 м/с охлаждаемого медного диска реализуются высокие скорости охлаждения (до 10^6 °C/с), при-

водящие к быстрому охлаждению металлической ленты и получению сплава в аморфном состоянии. Аморфной структуре сплава соответствует разупорядоченная структура ближнего порядка, близкая жидкому состоянию. Аморфные материалы — это идеально однородные по составу сплавы, отличающиеся отсутствием границ зерен, дислокаций, включений и структурных неоднородностей.

Следует отметить возможность получения сплавов с очень высоким содержанием неметаллов (суммарное до 30 %), например, фосфора, углерода, кремния, бора и др. При введении в металл (Fe, Co, Ni, Cr, Ti) или систему металл—металл (Fe—Cr, Fe—Ni, Co—Ni, Ti—Cu) неметаллов P, C, B, Si кардинальным образом изменяются свойства и, особенно, коррозионная стойкость и пассивируемость. Если для сталей увеличение содержания фосфора или углерода с тысячных до десятых процента приводит к увеличению скорости коррозии в кислых средах [3, 4], то для аморфных сплавов повышение содержания фосфора или углерода от 5 до 20 % благоприятно сказывается на коррозионной стойкости.

Цель работы — выявление влияния неметаллических добавок, особенно фосфора, на электрохимическое и коррозионное поведение, а также пассивируемость быстрозакаленных аморфных сплавов на основе титана и железа.

Исследовали аморфные сплавы металл—металл $Ti_{65}Cu_{35}$, модельные сплавы металл—неметалл $Fe_{80}P_{20}$, $Fe_{80}P_{13}C_7$, $Fe_{80}B_{20}$ и фосфорсодержащие аморфные сплавы металл—металл—неметалл $Ti_{65}Cu_{30}P_5$, $Fe_{75}Cr_5P_{13}C_7$, $Fe_{75}Cr_5P_{10}C_{10}$, $Fe_{75}Cr_{10}P_{13}C_7$, полученные путем закалки на быстро вращающийся

диск, а также кристаллический фосфид хрома $Cr_{86}P_{16}$ *.

В качестве коррозионной среды использовали растворы 5, 10, 25 %-ной соляной кислоты (HCl), а также раствор 0,1н серной кислоты.

Для получения данных об электрохимическом поведении фосфида и аморфных сплавов получены потенциодинамические зависимости ток—потенциал при скорости развертки потенциала 1 мВ/с. Значения потенциала приведены относительно нормального водородного электрода. Измерения проведены в стандартной трехэлектродной ячейке с разделенными электродными пространствами при помощи потенциостата ПИ-50-1.

Потенциодинамические зависимости сняты от потенциала коррозии из катодной области в анодную. Все исследования проведены в азрированных электролитах при температуре 25 °C.

Селективное растворение аморфных сплавов $Fe_{75}Cr_5P_{13}C_7$, $Fe_{75}Cr_5P_{10}C_{10}$ исследовали на образцах, предварительно облученных нейтронами в реакторе в течение 48 ч. Потенциал навязывали сразу после погружения образца в раствор и в дальнейшем не изменяли, поддерживая при помощи потенциостата П-5827М. Из объема электролита периодически отбирали пробы, содержащие катионы железа и хрома, концентрацию которых определяли методом эталона по интенсивности линий γ -излучения хрома-51 и железа-59. Обработку пиков энергетических спектров (вычисление площади под пиком, анализ кривой фона и вычисление площади под ней, вычитание суммарной площа-

*Автор выражает благодарность Ю. Н. Смирскому (РНЦ Курчатовский институт) за помощь в проведении эксперимента.

ди фона) проводили по стандартной программе.

Содержание фосфора в пробах определяли методом эталона при помощи проточного пропорционального счетчика, регистрирующего β -излучение фосфора-32.

Распад радиоактивных элементов определяли по формуле

$$M = M_0 \exp(t - t_0/T_{1/2}),$$

где M, M_0 — масса радиоактивного элемента ко времени t и t_0 ; $T_{1/2}$ — период полураспада, равный для хрома-51, железа-51 и фосфора-32 соответственно 45, 30 и 14 дням.

Время измерения активностей хрома и фосфора составило от 10 до 20 мин в зависимости от активности проб, а с фосфором — от 60 до 120 с.

Селективность растворения сплава определяли коэффициентами селективного или избирательного растворения хрома Z_{Cr} и Z_P , равными отношению концентраций хрома и железа в растворе (соответственно фосфора и железа), деленному на отношение этих компонентов в объеме сплава. Коэффициент селективного растворения компонента A характеризует, во сколько раз происходит обеднение ($Z_A > 1$) и обогащение поверхности ($Z_A < 1$) сплава компонентом A в процессе растворения. При пропорциональном растворении $Z_A = 1$.

Особенно эффективным для повышения пассивируемости аморфных сплавов является введение фосфора в систему металл—металл, где один из металлов является хорошо пассивирующимся, например титан или хром. Так, при введении фосфора в систему титан—медь пассивируемость трехкомпонентного сплава значительно увеличивается. Если двухкомпонентный аморфный сплав металл—металл $Ti_{65}Cu_{35}$ (рис. 1, кривая 1), не пассивируется в 25 %-ной HCl при анодной поляризации, то фосфорсодержащий аморфный сплав $Ti_{65}Cu_{30}P_5$ имеет протяженную область пассивного состояния (рис. 1, кривая 2). Существуют различные точки зрения на влияние фосфора. Считалось, что он быстро, избирательно растворяясь в первые моменты коррозии, способствует обогащению поверхности более пассивирующимся металлом,

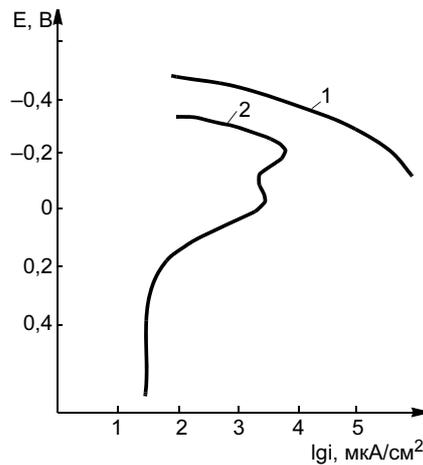


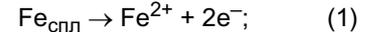
Рис. 1. Анодные поляризационные зависимости аморфных сплавов $Ti_{65}Cu_{35}$ (1) и $Ti_{65}Cu_{30}P_5$ (2) в 25 %-ной HCl

например хромом. Результаты исследования показали, что введение фосфора в сплав приводит к образованию группировок атомов, близких по природе связи к фосфидам, обладающих высокой пассивируемостью.

Оба сплава, $Ti_{65}Cu_{35}$ и $Ti_{65}Cu_{30}P_5$, при потенциале коррозии активно растворяются в данной среде, но при этом скорость коррозии фосфорсодержащего сплава в 7 раз меньше. Это, очевидно, обусловлено высокой энергией выхода катиона в раствор из-за появления в фосфорсодержащем сплаве новых связей титан—фосфор и медь—фосфор, имеющих выраженный ковалентный характер с вовлечением во взаимодействие d -электронов атомов титана, меди и p -электронов фосфора.

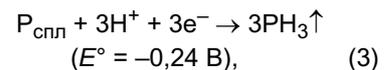
Аналогичные закономерности получены на модельном сплаве железо—фосфор. Так, в модельном сплаве $Fe_{80}P_{20}$ обнаружено обеднение поверхностных слоев железом и обогащение их фосфором после травления в 0,1 н серной кислоте. Это обусловлено более высокой химической стойкостью группировок атомов железо—фосфор и избирательным растворением железа из связи железо—железо. На поверхности менее коррозионно-стойкого сплава $Fe_{80}B_{20}$, по данным оже-анализа, слой ковалентного соединения не образуется. Борсодержащие аморфные сплавы в целом обладают худшей коррозионной стойкостью

и пассивируемостью, чем фосфорсодержащие. Таким образом, замена одного неметалла на другой приводит к изменению электрохимических и химических процессов при растворении и, соответственно, скорости коррозии. Железо и бор из сплава $Fe_{80}B_{20}$ в кислых средах могут растворяться по реакции



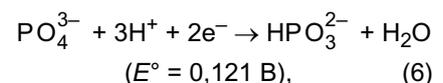
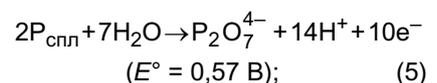
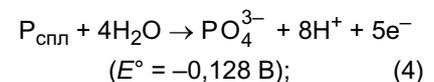
Для двухкомпонентного фосфорсодержащего аморфного сплава $Fe_{80}P_{20}$, обладающего лучшей пассивируемостью, чем борсодержащий сплав $Fe_{80}B_{20}$, характерны другие окислительно-восстановительные реакции, и их количество значительно больше. Быстрозакаленный аморфный сплав $Fe_{80}P_{20}$ является модельным и не обладает высокой коррозионной стойкостью и пассивируемостью. Однако на его примере можно проследить реакции, способствующие пассивации сплава, которые могут иметь место при введении третьего пассивирующегося компонента, например хрома.

Фосфор, содержащийся в аморфном сплаве $Fe_{80}P_{20}$, может участвовать в ряде окислительно-восстановительных реакций. Термодинамически возможна следующая реакция [5]:



выделение фосфина, где фосфор проявляет отрицательную степень окисления.

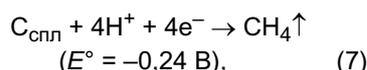
Данная катодная реакция должна существенно повышать склонность сплава к пассивации. Фосфор проявляет степень окисления -3 . При более положительных значениях потенциала возможно протекание следующих реакций:



где степень окисления фосфора увеличивается до 5.

Реакция (6) является катодной и способствует пассивации сплава, причем даже в условиях деаэрированных растворов (отсутствие кислородной деполаризации), понижая также кислотность приэлектродного слоя.

Пассивируемость фосфорсодержащих аморфных сплавов может быть увеличена при введении в сплав углерода. Так, на сплаве $Fe_{80}P_{13}C_7$ должны протекать катодные процессы не только с участием фосфора, но и углерода. К реакциям с участием фосфора может быть добавлена катодная реакция



которая протекает параллельно реакции (3) и значительно повышает эффективность катодного процесса.

Эффективный катодный процесс может способствовать смещению потенциала коррозии в область положительных значений потенциала и переходу сплава в пассивное состояние. Для кристаллических сплавов явление перехода в пассивное состояние при введении в сплав катодных добавок впервые было открыто в 1948 г. Н. Д. Томашовым [6] совместно с Г. П. Черновой и зарегистрировано как открытие в 1972 г. Установлено самопассивирование и резкое торможение растворения металлов (железа, титана, хрома и сплавов на их основе) при легировании электроположительными металлами (палладием, платиной, рутением) с низким катодным перенапряжением выделения водорода.

Например, процесс коррозии сплавов титан—палладий в кислых средах протекает по следующему механизму. При активном избирательном растворении основы сплава, титана, происходит значительное обогащение поверхности инертными частицами палладия размером 0,01—0,1 мкм (до 20 % общей поверхности сплава), что приводит к увеличению эффективности катодного процесса (перенапряжение выделения водорода на палладию меньше, чем на титане) и перемещению потенциала коррозии в область положительных значений, соответствующих пассивному состоянию. Скорость коррозии уменьшается на

несколько порядков. При этом достаточно 0,1 или 0,2 % палладия для перехода сплава титан—палладий в пассивное состояние в 10 и 20 %-ных растворах соляной кислоты соответственно, где чистый титан самостоятельно не пассивируется.

Аналогичные процессы могут протекать и при коррозии аморфных сплавов. При введении 5 % фосфора в аморфную систему титан—медь пассивируемость фосфорсодержащего сплава возрастает, вероятно, из-за образования группировок атомов со связями металл—фосфор, эффективность катодного процесса на которых выше. Данный эффект может реализоваться и при коррозии аморфных сплавов на основе железа, что объясняет anomalно высокую коррозионную стойкость сплавов железо—хром—фосфор—углерод.

Модельные аморфные сплавы системы железо—неметалл типа железо—фосфор, железо—бор, железо—фосфор—углерод не обладают высокой пассивируемостью и коррозионной стойкостью в растворах кислот. Особенно эффективным с точки зрения коррозионной стойкости является совместное введение в сплав фосфора и хрома. Так, первое пороговое содержание хрома в аморфной системе железо—хром—фосфор—углерод соответствует 5 %, в то время как для легированных сталей оно составляет 13 %. Коррозионная стойкость и пассивируемость всего сплава при достижении значений порогового содержания пассивирующегося элемента, например хрома, резко возрастают.

Установлено, что в активной области происходит обогащение по-

верхности аморфных сплавов $Fe_{75}Cr_5P_{13}C_7$, $Fe_{75}Cr_5P_{10}C_{10}$ хромом и фосфором, о чем свидетельствуют значения коэффициентов селективного растворения хрома и фосфора (см. таблицу). Видно, что обогащение поверхности фосфором относительно объемного содержания в сплаве происходит в большей степени, чем хромом. Коэффициенты селективного растворения фосфора $Z_P = 0,25 \div 0,4$, в то время как для хрома они равны 0,65—0,75. Поверхность сплава $Fe_{75}Cr_5P_{13}C_7$, обладающего более высокой пассивируемостью, чем $Fe_{75}Cr_5P_{10}C_{10}$, в большей степени обогащается фосфором. Степень накопления хрома для сплава $Fe_{75}Cr_5P_{13}C_7$, наоборот, даже чуть меньше, чем для $Fe_{75}Cr_5P_{10}C_{10}$, о чем свидетельствуют значения коэффициентов селективного растворения хрома Z_{Cr} (см. таблицу).

Эта закономерность проявляется в активной области растворения при различных потенциалах. Очевидно, что железо из сплавов избирательно растворяется и происходит обогащение поверхности группировками атомов, содержащих фосфор—хром. Химическая связь в данных группировках носит ковалентный характер, является сильной, с высокой энергией выхода иона в раствор. Эффективность протекания катодного процесса на данных соединениях высока, что способствует пассивации сплава аналогично введению палладия в титан.

Об образовании в аморфной структуре связи металл—фосфор косвенно свидетельствует сходство в электрохимическом поведении аморфного сплава $Fe_{75}Cr_5P_{13}C_7$

Коэффициент селективного растворения	Время, мин						
	15	30	45	60	75	90	120
Z_{Cr} сплава $Fe_{75}Cr_5P_{10}C_{10}$	0,67	0,69	0,66	0,70	0,71	0,72	0,74
Z_{Cr} сплава $Fe_{75}Cr_5P_{13}C_7$	0,65	0,69	0,70	0,73	0,74	0,74	0,75
Z_P сплава $Fe_{75}Cr_5P_{10}C_{10}$	0,54	0,40	0,37	0,34	0,39	0,44	0,40
Z_P сплава $Fe_{75}Cr_5P_{13}C_7$	0,41	0,27	0,33	0,29	0,32	0,30	0,25

Примечание. Приведены данные для селективного растворения аморфных сплавов в 10 %-ной HCl при фиксированном потенциале 0,04 В.

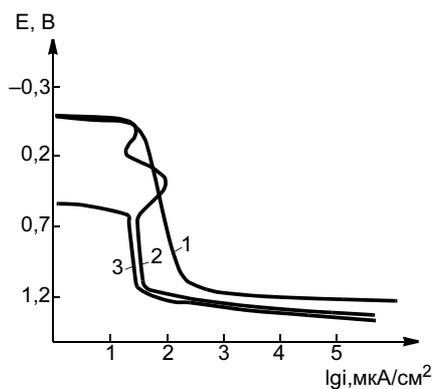


Рис. 2. Анодные поляризационные зависимости фосфида хрома $\text{Cr}_{86}\text{P}_{16}$ (1) и аморфных сплавов $\text{Fe}_{75}\text{Cr}_5\text{P}_{13}\text{C}_7$ (2), $\text{Fe}_{75}\text{Cr}_{10}\text{P}_{13}\text{C}_7$ (3) в 5 %-ной HCl

(рис. 2, кривая 2) и фосфида хрома $\text{Cr}_{86}\text{P}_{16}$ (рис. 2, кривая 1). Видно, что потенциал коррозии и потенциалы характерных областей анодной поляризационной кривой имеют близкие значения. Однако плотность тока для фосфида больше, чем для аморфного сплава, что может быть обусловлено кристаллической структурой фосфида.

Если в активной и активно-пассивной областях растворения происходит обогащение поверхности хромом и фосфором, то в пассивной области они растворяются равномерно. Содержание легирующих элементов в поверхностных слоях примерно соответствует их стехиометрическому содержанию в сплаве. Таким образом, проявляется определенная закономерность при последовательном прохождении характерных областей значений потенциала, активной, активно-пассивной и пассивной. В активной области происходят избирательное растворение железа и обогащение поверхности группировками атомов фосфор—хром с сильной химической связью, способствующих увеличению эффективности катодного процесса и частично закрытию (экранированию) поверхности сплава (содержание железа 75 %). Данные особенности селективного растворения должны способствовать переходу сплава в пассивное состояние.

В пассивной области потенциалов наблюдается растворение хрома, близкое к равномерному и даже избирательное, при значительно меньших скоростях коррозии, чем в активной области. Фосфор накапливается на поверхности и в пассивной области, что еще раз косвенно подтверждает тот факт, что он образует сильные связи с металлами сплава.

Большое влияние на пассивируемость сплавов оказывает углерод. Введение углерода в систему железо—хром—фосфор повышает пассивационные характеристики сплава. Так, пассивируемость сплава $\text{Fe}_{75}\text{Cr}_5\text{P}_{13}\text{C}_7$ выше, чем сплава $\text{Fe}_{75}\text{Cr}_5\text{P}_{20}$. Видимо, углерод повышает эффективность окислительно-восстановительных реакций и катодного процесса (что очень важно в области положительных значений потенциала), что улучшает пассивируемость сплава и стабильность пассивного состояния во времени.

Однако дальнейшее увеличение содержания углерода до 10 % и снижение содержания фосфора с 13 до 10 % приводит к снижению коррозионной стойкости и пассивируемости. Видимо, определенное соотношение фосфора и углерода (13:7) приводит к образованию группировок атомов Cr—P—C , имеющих определенную стехиометрию и придающих сплаву повышенную склонность к пассивации.

При увеличении содержания хрома от 5 до 10 % (сплав $\text{Fe}_{70}\text{Cr}_{10}\text{P}_{13}\text{C}_7$) пассивируемость и коррозионная стойкость резко возрастают (рис. 2, кривая 3). Коррозионное поведение аморфного сплава $\text{Fe}_{70}\text{Cr}_{10}\text{P}_{13}\text{C}_7$ соответствует поведению благородных металлов в растворах кислот. Так, сплав $\text{Fe}_{70}\text{Cr}_{10}\text{P}_{13}\text{C}_7$ самопроизвольно пассивируется даже в 10 и 20 %-ной HCl , где многие кристаллические сплавы не пассивируются.

Коррозионные и другие свойства перспективных составов аморфных сплавов могут быть использованы в полной мере лишь при получении объемных образцов либо при нанесении в виде покрытий на черные металлы и стали, например

способом ионно-плазменного напыления. Из лигатур для получения аморфных сплавов изготовлены катоды и на поверхность стали 40X ионно-плазменным способом нанесены составы $\text{Ti}_{75}\text{Cu}_{25}$ и $\text{Fe}_{70}\text{Cr}_{30}\text{C}_{20}$. Последние обладали значительно более высокой пассивируемостью и коррозионной стойкостью по сравнению с подложкой. Для защиты от атмосферной коррозии и создания товарного вида изделия достаточно нанесение тонких слоев (десятки микрон) аморфного сплава в виде покрытия, что может быть экономически выгодно для защиты больших площадей и отдельных деталей или узлов машин и механизмов.

Следует также отметить, что необязательно получать сплавы в аморфном состоянии. Нанокристаллические сплавы, получаемые закалкой на быстро вращающийся диск, по составу идентичны аморфным, обладают высокой коррозионной стойкостью в различных агрессивных средах, в частности в условиях промышленной атмосферы. Эта особенность, а также развитие и разработка новых технологий получения металлов и сплавов могут значительно расширить сферы применения аморфных и нанокристаллических материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стародубцев Ю. Н., Белозеров В. Я. Магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов. Екатеринбург: УрГУ, 2002. 179 с.
2. Кекало И. Б. Нанокристаллические магнитно-мягкие материалы. М.: МИСиС, 2000. 226 с.
3. Колотыркин Я. М., Фрейман Л. И. Роль неметаллических включений в коррозионных процессах // Итоги науки и техники. Коррозия и защита от коррозии. М.: ВИНТИ, 1978. Т. 6. С. 5—52.
4. О влиянии фосфора на межкристаллитную коррозию сверхчистой аустенитной нержавеющей стали X20H20 в азотнокислых средах / О. В. Каспаров, В. М. Мильман, В. И. Ширяев, Д. С. Каменецкая // Защита металлов. 1990. Т. 26. № 1. С. 108—113.
5. Справочник по электрохимии / Под ред. А. М. Сухотина. Л.: Химия, 1981. 488 с.
6. Томашов Н. Д. Титан и коррозионно-стойкие сплавы на его основе. М.: Металлургия, 1985. 80 с.

В. М. ЧЕРТОВ, инж.

Московский филиал ДониФЦ

О структуре материала железнодорожных колес

Введение

Повышение качества железнодорожных рельсов и нагрузки на колеса обусловило улучшение качества колес, выходящих из строя по разным причинам гораздо раньше рельсов, путем модернизации оборудования для термической обработки, перехода на сталь бейнитного класса, применения микрелегированной стали [1]. Это требует больших затрат и длительных испытаний. Требования к колесам и технология их термической обработки регламентированы стандартами (ГОСТ 9036—88, 10791—2004), так как необходимо обеспечение практически полной их надежности в течение всего срока эксплуатации. Кроме преждевременного износа, разрушение колес при эксплуатации чревато авариями и жертвами.

Действующая технология термической обработки колес

После получения колесных заготовок горячей механической обработкой, изотермической противоположенной выдержки с медленным охлаждением и предварительной механической обработки колеса подвергаются нагреву под закалку. Для изготовления колес применяют стали трех марок № 1—3, по химическому составу соответствующие сталям 50ГФ, 60Г и 60ГФ. В качестве базовой примем сталь № 2 (60Г), содержащую 0,55—0,65 % С и 0,5—0,9 % Мп. В кольцевой печи колеса нагревают целиком примерно до 860 °С (около $A_{с3} + (50—60) °С$) и передают в закалочную машину. Обод колеса подвергается в ней прерывистой закалке в течение 3 мин со спреерным охлаждением водой (диск и ступица водой не охлаждаются). При этом колесо вращается со скоростью 180 об/мин. Затем следуют передача в отпускную печь (разрыв не более 1 ч) и отпуск при 480 °С.

При такой технологии трудно обеспечить глубокую прокаливаемость, заданную стандартом: твердость на расстоянии 30 мм от поверхности катания должна быть не менее 255 НВ, а ударная вязкость — не менее 20 Дж/см². Разность значений твердости ободов на глубине 30 мм по периметру колес не должна превышать 20 НВ. Требуется обеспечить также временное сопротивление образцов, вырезанных из обода, в пределах 910—1100 МПа, относительное удлинение — не менее 12 % и относительное сужение — не менее 21 %. И, наконец, важнейшее требование к ободу колес при радиальной разрезке после термической обработки: сходимость не менее 1 мм и не более 5 мм (расходимость не допускается совсем). Это требование соответствует созданию в ободу только сжимающих напряжений определенного уровня.

Преимущество данной технологии — сравнительная простота и выполнение заданных требований при не очень точном соблюдении режимов нагрева и охлаждения. В то же время при спреерном кратковременном охлаждении на поверхности катания и в сердцевине обода (поперечное сечение 130 × 70 мм) образуется перлит с четкой прорисовкой пластинчатого строения. Это соответствует среднепрочному и среднепластичному состоянию, которое не может конкурировать с высокопрочным состоянием рельсов. Повышение температуры аустенитизации ведет к некоторому увеличению размера зерна аустенита, повышению прокаливаемости и твердости. Принятому способу охлаждения соответствует требуемый уровень остаточных напряжений, но в сердцевине обода в соответствии с диаграммой распада аустенита протекает только перлитное превращение.

Увеличение скорости охлаждения прямым потоком воды или другой закалочной жидкости недопустимо. Кроме увеличения прокаливаемости оно весьма существенно повысит уровень прочности и остаточных напряжений и снизит пластичность. Установили, что изотермическая закалка с выдержкой при 550 °С также существенно меняет субмикроструктуру перлита: в нем, вплоть до наноуровня, уменьшается межпластиночное расстояние [2, 3]. Это ведет к росту прочности и пластичности, но незначительно влияет на разницу в твердости колес и рельсов. Между тем эта разница постоянно растет и является одной из причин преждевременного выхода колес из строя [4]. Поэтому вероятность существенного улучшения качества колес при сохранении принятой технологии невелика. Отсюда — поиски другой стали, с иной структурой и разработка плана модернизации термического оборудования.

У сталей, применяемых для изготовления колес, диаграммы распада переохлажденного аустенита не только подобны между собой, но имеют близкие координаты с целым рядом диаграмм стали других марок. Так, по данным ряда исследователей, для стали 40С2 охлаждение до 600 °С должно производиться быстрее, чем за 1 мин, иначе начинается перлитное превращение. Аналогична ситуация при изотермическом превращении стали 60С2А (сталь перлитного класса) и стали 40Х. Даже более легированная сталь 70ХГФА требует во избежание начала перлитного превращения такой же скорости охлаждения. По этой причине, очевидно, целесообразнее изыскивать не новую марку стали, а способ ускоренного охлаждения изделий большого сечения в интервале субкритической температуры 700—450 °С. Обязательным условием остается сохранение высокой пластичности и определенного уровня остаточных сжимающих напряжений. Этим

требованиям отвечает способ изотермической закалки в расплаве смеси нитратов калия и натрия (селитры) с добавлением воды [5]. Безопасное добавление воды через простое приспособление охлаждает расплав и поддерживает требуемую температуру при закалке больших масс изделий — до 2 т при последовательной закалке (в печи-ванне размером $4 \times 2 \times 1,6$ м помещается до 19 т расплава). Интенсивное перемешивание расплава сжатым воздухом гарантирует равномерное охлаждение изделий. Скорость охлаждения в таком расплаве в 2—3 раза превышает скорость охлаждения в масле, например, пластины толщиной 70 мм охлаждаются до 500°C за 60 с. Таким способом можно прокалить изделия из конструкционной низколегированной стали сечением до 60—70 мм. Сдвиг начала превращения в интервал $450\text{—}350^\circ\text{C}$ означает существенное повышение прокаливаемости, переход к структуре нижнего бейнита с повышенной прочностью и пластичностью. Для стали 65Г после изотермической закалки во всем интервале температур $275\text{—}375^\circ\text{C}$ пластичность в 2—3 раза больше, чем после закалки в масле с отпуском при твердости 46 HRC. Результаты исследования стали 65Г (изделия малого сечения) с разработкой режима изотермической закалки и отпуска также подтвердили преимущества в части прочности и пластичности [6]. Устройство для дозированной подачи воды и печь-ванна для расплава с системой его воздушного охлаждения не сложны и доступны для изготовления на любом машиностроительном предприятии.

Применительно к колесам технология термической обработки может быть откорректирована следующим образом:

- аустенитизация перед закалкой производится при пониженной температуре (возможно, в печи с защитной атмосферой);

- охлаждение в расплаве селитры при $320 \pm 5^\circ\text{C}$ производится опусканием только обода (или всего колеса, если необходимо) с его вращением;

- время охлаждения обода в расплаве 4 мин, дальнейшее охлаждение на воздухе;

- уровень остаточных напряжений может оказаться более низким;

- необходимость проведения отпуска при более низкой по сравнению с традиционной температурой (порядка 350°C [6]) устанавливается по результатам всех испытаний колес после изотермической закалки. В работе [5] показано на примере ряда марок стали, в том числе легированной конструкционной и инструментальной, возможность отмены отпуска, не меняющего механические свойства изделий. Такая практика существовала и на ряде крупных машиностроительных предприятий. Однако при этом не оценено изменение уровня, хотя и пониженного, остаточных напряжений (косвенно это подтверждено при динамических испытаниях изотермически закаленных изделий);

- определение уровня и знака остаточных напряжений в узкой зоне перехода от обода, закаленного изотермически, к охлажденному на воздухе диску (это важно для оценки уровня напряжений именно в этом переходе [7]), а также уточнение требований стандарта по соотношению прочности обода и диска.

Преимущества технологии — сквозная или почти сквозная прокаливаемость обода, образование нижнего бейнита, малая деформация при закалке, повышенная прочность и высокая пластичность, повышение срока службы по сравнению с достигнутым для колес с перлитной структурой не менее, чем в 1,5 раза.

Возможно опробование вариантов изотермической закалки без применения расплава. При современном уровне изготовления печного оборудования быстрое охлаждение изделий с 850 до 300°C и дальнейшая изотермическая выдержка вполне осуществимы в установках с "кипящим" слоем катализатора [8]. Такой же режим может быть воспроизведен в печах с мощной вентиляцией [9].

Изотермическая закалка в расплаве смеси нитратов калия и натрия с добавлением воды имеет важное преимущество: для того чтобы убедиться в ее целесообразности, не нужно варить новую плавку стали, изготавливать колеса, проводить длительные лабораторные исследования и создавать новое оборудование. Необходимо только опробовать этот способ на колесах, закалив сначала по одному колесу для каждого варианта (только обод и только целое колесо) в селитровой ванне, и определить механические свойства.

Что касается разработки новой бейнитной стали для колес, то эта идея уже опробована применительно к рельсам [10]. Химический состав стали (%): 0,3 C; 1,5 Mn; 1,2 Si; 1,0 Cr; 0,2 Mo; 0,13 V (что соответствует стали 35ХГСМФА). При нормализации с прокатного нагрева головка рельсов толщиной 80 мм прокаливается насквозь с образованием бейнита, а после отпуска при 400°C приобретает временное сопротивление порядка 1280 МПа при относительном сужении 30 %. После повторной нормализации с отпуском бейнит имеет более тонкое строение и повышается ударная вязкость [4, 10]. Существенными недостатками рельсов из данной стали оказались чрезмерное коробление, появление высоких растягивающих напряжений, снижение ударной вязкости после правки (это и привело к повторной нормализации с отпуском). Можно полагать, что освоение производства колес из бейнитной стали будет сопряжено с весьма серьезными техническими и экономическими проблемами.

Механические характеристики колесной стали приведены в табл. 1.

Определим критерии разрушения для четырех указанных состояний материала колес согласно работе [11].

Таблица 1

Сталь	Структура	Предел текучести, МПа	Относительное сужение, %	Источник
60Г	ГПП	400	45	[2]
60Г	ТПП	790	50	[2]
60Г	ИНБ	1200	40	[5]
35ХГСМФ	НБ	1010	29	[9]

Обозначение. ГПП — грубопластинчатый перлит; ТПП — тонкопластинчатый перлит; ИНБ — изотермический нижний бейнит; НБ — нижний бейнит.

Предельная работа деформации

$$W_c = 0,5(\sigma_T + S_k)\varepsilon_{пред}$$

где $S_k = \sigma_T / (1 - \psi)$; $\varepsilon_{пред} = \ln(1 / (1 - \psi))$.

Коэффициент зарождения трещин

$$K_{зт} = W_c \sigma_T$$

Коэффициент распространения трещин

$$K_{рт} = W_c / \sigma_T$$

Как видно, эти критерии выражены через предел текучести, истинные напряжения при разрыве и относительное сужение, получаемые при испытании образцов на разрыв.

Результаты расчетов приведены в табл. 2. Видно, что для структуры ГПП — наименьшая предельная работа деформации; наибольшая вероятность зарождения и распространения трещин. Для структуры ТПП — средние предельная работа деформации и вероятность зарождения трещин; удовлетворительно малая вероятность распространения трещин. Для структуры ИНБ — наибольшая предельная работа деформации; наименьшая вероятность зарождения трещин; удовлетворительно малая вероятность распространения трещин. Для структуры НБ — средние предельная работа деформации и вероятность зарождения трещин; наименьшая вероятность распространения трещин.

Из результатов работы [12] следует, что усиленный обдув диска колеса воздухом принципиально не изменяет структуру: она остается перлитной, но межпластиночное расстояние по сравнению со "штатной" уменьшается вдвое. За счет этого по сравнению с заводской технологией (охлаждение диска на спокойном воздухе) предел текучести возрастает от 445 до 510 МПа, относительное сужение — от 24 до 36 %. И это происходит, несмотря на чрезмерное повышение температуры аустенитизации перед закалкой до 890 °С. Учтем также, что после штамповки колеса не подвергают нормализации, видимо, полагаясь на динамическую рекристаллизацию аустенита [13]. Но действительное измельчение зерна аустенита наряду с изменением дисперсности перлита является резервом повышения вязкости колесной стали [14]. В заводских же условиях при сохранении действующей технологии проведение нагрева перед закалкой, который способствовал бы измельчению зерна и, естественно, повышению пластичности и вязкости, остается невыполненным.

Таблица 2

Состояние	W_c	$K_{зт}$	$K_{рт}$
ГПП	(326)	(130 000)	(0,8)
ТПП	479	373 000	0,6
ИНБ	848!	1 018 000!	0,7
НБ	417	421 000	0,4!

Примечание. Знак "!" соответствует наилучшим значениям, знак "(" — наихудшим.

Заключение

Технология термической обработки железнодорожных колес требует существенной переработки, результатом которой должно стать повышение комплекса механических характеристик материала при условии выполнения всех жестких требований стандарта и надежной эксплуатации.

Более приемлемым является не разработка микролегированной стали новой марки с сохранением способа обработки на перлит и практически существующего оборудования, не разработка и освоение производства колес из бейнитной стали, а применение известного способа "водно-селитровой" ускоренной изотермической закалки колес, изготовленных из стали существующей марки с получением структуры нижнего бейнита, соответствующего комплекса высоких механических характеристик и, по-видимому, отработкой иного перепада прочности между ободом и диском.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Производство предметов железнодорожного назначения. Колесопрокатное производство Выксунского металлургического завода. www.vsw.ru/ru/production/kolesa/7d9-8Bi9-1/.
2. Особенности деформации и разрушения колесной стали с различной дисперсностью перлита / В. И. Изотов, М. Е. Гетманова, Г. А. Филиппов и др. // Металлург. 2007. № 11. С. 33—37.
3. Гетманова М. Е., Ливанова О. В., Филиппов Г. А. Структурная неоднородность и вязкость разрушения перлитной стали // Прочность неоднородных структур. М.: МИСиС, 2006. С. 55.
4. Филиппов Г. А. Перспективные технологии производства металлопродукции для железнодорожного транспорта // Металлург. 2004. № 9. С. 55—58.
5. Бирюкова В. Н. Разработка, исследование и внедрение нового способа закалки в горячих средах изделий большого сечения. Дис. ... канд. техн. наук. Горький, 1966. 159 с.
6. Чертов В. М. Технология обработки пружинных шайб // Технология машиностроения. 2005. № 3. С. 11—13.
7. Исследование напряжений в цельнокатаных вагонных колесах / А. В. Сухов, А. С. Разумов, Ю. А. Базанов и др. // Металлург. 2007. № 12. С. 56—59.
8. Бобок А. Н. Термическая и химико-термическая обработка в "кипящем слое" катализатора // Мат. XXX Черновских чтений. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 12 с.
9. Сыропятов В. Я., Шабурова Т. А. Современные направления в термообработке, новейшие технологии и оборудование // Оборудование и термообработка. Солнечногорск: НПК "Накал", 2007. 68 с.
10. Железнодорожные рельсы из бейнитной стали / В. В. Павлов, Л. А. Годин, Л. В. Корнева и др. // Металлург. 2007. № 4. С. 51—53.
11. Скуднов В. А. Синергетика явлений и процессов в металловедении, упрочняющих технологиях и разрушении. Нижний Новгород: НГТУ, 2007. С. 66—68.
12. Влияние принудительного охлаждения воздухом на структуру и сопротивление разрушению металла диска железнодорожного колеса / М. Е. Гетманова, А. А. Севастьянов, Г. А. Филиппов и др. // Прочность неоднородных структур. М.: МИСиС, 2008. С. 214.
13. Терентьев Г. П., Голышков Р. А. Экспериментальное исследование давлений и сил при штамповке колесных заготовок // Заготовительное производство в машиностроении. 2007. № 7. С. 19—21.
14. Металлургические и структурные факторы повышения служебных свойств перлитной колесной стали / М. Е. Гетманова, Г. А. Филиппов, А. С. Гриншпон и др. // Прочность неоднородных структур. М.: МИСиС, 2008. С. 223.

М. С. ЧЕПЧУРОВ, канд. техн. наук

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

Обработка деталей с неравномерным по структуре материалом припуска

Восстановление крупногабаритных деталей связано с механической обработкой функциональных поверхностей, полученных наплавкой материала на изношенную поверхность. Наплавленный слой имеет неравномерную структуру, что сказывается на условиях работы режущего инструмента [1], возможно также и наличие пустот. На рис. 1 приведена микроструктура наплавленного слоя поверхности ролика тянуще-правильной машины непрерывной разливки стали. Данные анализа получены в ОАО "Оскольский электрометаллургический комбинат".

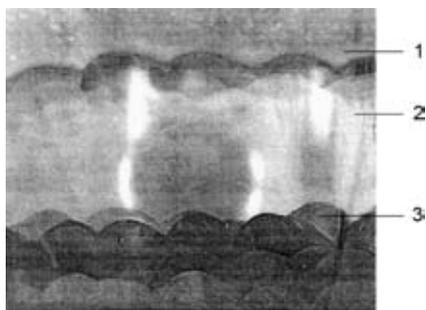


Рис. 1. Микроструктура наплавленного слоя поверхности ролика: 1 — сталь 20Х13 (основа); 2 — сталь 08Г2С (переходные слои); 3 — сталь 25Х5ФМС (рабочие)

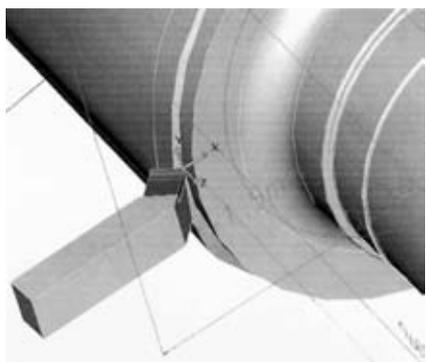


Рис. 2. Расчетная схема для определения механических напряжений в зоне резания

На рис. 1 четко прослеживается неравномерность слоев наплавленного материала, тогда как основа имеет равномерную структуру. Неравномерность структуры материала приводит к тому, что режущая часть инструмента подвергается переменной нагрузке, приводя к быстрой поломке инструмента.

Для избежания повышенного расхода инструмента деталь следует предварительно разогревать, а затем обрабатывать при постоянном подогреве плазмой. Эту технологию обработки широко применяют в настоящее время. Но она связана с большими энергетическими и временными затратами, что в конечном итоге увеличивает стоимость восстановления детали.

Альтернативным вариантом обработки деталей, имеющих неравномерную структуру материала припуска, по мнению автора, является назначение режимов обработки, учитывающих условия обработки. Это связано с проведением большого количества экспериментов по определению предельно допустимых контактных напряжений в зоне резания, значения которых в последующем позволят определить предельные значения назначаемых параметров режимов резания. Простая на первый взгляд задача превращается в комплекс проблем, связанных с проведением экспериментов, стоимость которых может превысить экономический эффект от внедрения технологии восстановления крупногабаритных деталей. Для определения контактных напряжений автор разработал методику их моделирования с использованием пакетов конечно-элементного анализа — APM WinMachin. Первый этап — составление схемы обработки. На рис. 2 приведена схема обработки ролика тянуще-правильной машины. Счита-

ем, что обработка ведется резцом с напайными пластинами из твердого сплава Т5К10 (ГОСТ 3882—74) плотностью 8300 кг/м³. Материал заготовки — сталь плотностью 8060 кг/м³. Для ускорения расчетов используем только часть заготовки, которую разбиваем на 10-узловые тетраэдры, для сплошного материала назначаем минимальный размер элемента 0,1 мм, максимальный — 6 мм. Назначаем ограничение перемещений элементов во всех направлениях, а также нагрузку в виде силы резания, направленную по нормали к площадке зоны резания. Назначаем каждому элементу свойства материала, данные по материалу берем из базы данных приложения Structure3D из пакета APM WinMachin.

Для сплошного материала проводили только статический расчет, что весьма ускорило время получения результатов. Для определения напряжений в материале, имеющем неравномерную структуру, части элементов назначаются свойства наплавленного материала. Элементы делятся пропорционально в соответствии с результатами анализа структуры (см. рис. 1). Результаты расчета для сплошного материала приведены на рис. 3, а, для материала с неравномерной структурой — на рис. 3, б.

Сравнение результатов расчета показывает, что при идеальном заполнении наплавленного материала механические напряжения не изменяются. Наплавленный слой имеет шлаковые включения, микропоры и т. п., которые могут оказывать уже более значительное влияние.

Выполним расчет механических напряжений и смещений в режущей части инструмента.

Назначают свойства материала элементов для сплава Т15К6 и про-

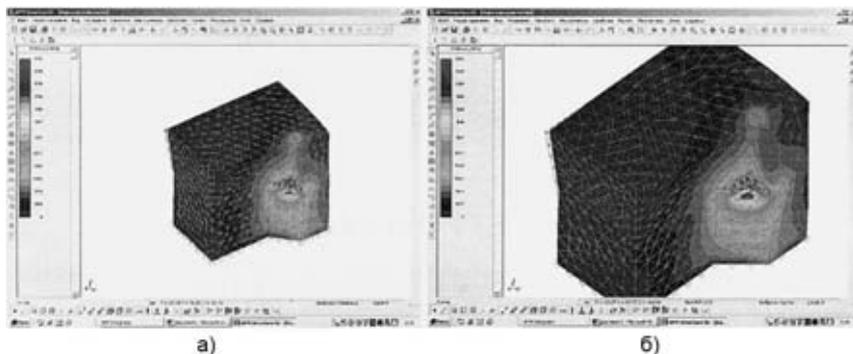


Рис. 3. Механические напряжения в зоне резания

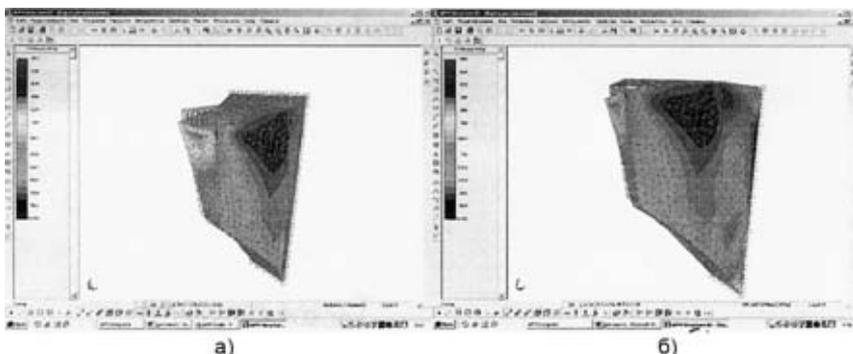


Рис. 4. Механические напряжения в режущей части инструмента при обработке сплошного материала (а) и материала с неравномерной структурой (б)

изводят расчеты с учетом динамического нагружения, т. е. времени действия усилий, возникающих при контакте режущей части инструмента с заготовкой с учетом размера элемента. Размер элемента должен выбираться только в пределах, обозначенных выше. Чем больше размер элемента, тем выше скорость расчета, но ниже точность. Результаты расчетов при обработке сплошного материала приведены на рис. 4, а, материала с неравномерной структурой — на рис. 4, б.

Как видно на рис. 4, б, смещения режущей части инструмента достигают величины, критической для твер-

дого сплава, а учитывая тот факт, что они (при неравномерной структуре) носят периодический характер, возможна быстрая поломка режущей пластины.

Для уточнения значений возникающих в режущей части инструмента напряжений требуется выполнение дополнительного комплекса конечно-элементных расчетов. При определении напряжений в зоне резания учитываем скорость резания и снимаемый припуск (глубину резания). Скорость резания учитывается во времени приложения нагрузки. Результаты расчета напряжений в зоне резания приведены в табл. 1.

С учетом данных, приведенных в табл. 1, рассчитывают смещения режущей кромки инструмента с одновременной проверкой на жесткость, т. е. по допустимой величине прогиба режущей кромки инструмента. Все расчеты проводят с использованием пакета APM WinMachin. Результаты расчетов при обработке материала с неравномерной структурой приведены в табл. 2.

Пересчет длительности действия усилия резания в скорость резания выполнен из условия: высота выбранного сегмента заготовки 20 мм. С учетом ограничений по перемещению эта высота оказывается достаточной для получения достоверных результатов [2].

Значения смещения, выделенные в табл. 2 жирным шрифтом, являются потенциально опасными смещениями режущей кромки инструмента [3]. При превышении смещения значения 0,17 мм происходит излом режущей части твердосплавной пластины, таким образом, инструмент становится непригодным для дальнейшей обработки.

В табл. 2 в одной из ячеек значение выделено серым цветом: значение не вписывается в общий ряд. Результаты анализа смещений показывают, что в сплошном материале это явление не наблюдается. Таким образом, можно считать, что это связано с неравномерностью структуры обрабатываемого материала. При обработке поверхностей, имеющих неравномерную структуру, неизменно возникают колебания режущей кромки инструмента [3], которые приводят к изменению усилий в зоне резания и абсолютного смещения режущей кромки.

Таким образом, предлагаемая методика определения напряжений

Таблица 1

Время приложения нагрузки, с	Напряжения в зоне резания, МПа, при глубине резания, мм									
	1,0	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
0,12	1453	1467	1478	1561	1567	1571	1578	1589	1695	1781
0,125	1564	1603	1634	1678	1699	1823	1834	1835	1856	1901
0,13	1671	1645	1677	1698	1713	1851	1876	1846	1869	1915
0,135	1734	1689	1704	1712	1719	1857	1889	1902	1937	1952
0,14	1785	1791	1803	1820	1838	1859	1895	1907	1939	1962
0,145	1789	1804	1816	1844	1857	1867	1904	1932	1976	2001
0,15	1799	1856	1878	1889	1899	1903	1912	1936	1987	2005
0,155	1854	1894	1921	1935	1967	1979	1995	2047	2065	2098
0,16	1945	1945	1977	1898	1999	2034	2045	2056	2079	2102
0,165	1997	2035	2087	2101	2123	2178	2234	2257	2371	2398

Таблица 2

Скорость резания, м/мин	Смещение режущей кромки инструмента, мм, при усилии резания, Н										
	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
100	0,1	0,127	0,134	0,137	0,141	0,143	0,145	0,151	0,153	0,154	0,16
110	0,12	0,128	0,135	0,143	0,145	0,154	0,161	0,171	0,174	0,178	0,19
120	0,123	0,129	0,139	0,145	0,153	0,157	0,163	0,173	0,178	0,181	0,193
130	0,124	0,136	0,143	0,147	0,156	0,162	0,167	0,176	0,181	0,184	0,197
140	0,127	0,141	0,146	0,148	0,064	0,169	0,173	0,18	0,186	0,189	0,199
150	0,13	0,145	0,148	0,149	0,165	0,172	0,176	0,183	0,188	0,19	0,22
160	0,132	0,147	0,149	0,151	0,167	0,177	0,178	0,185	0,191	0,195	0,23
170	0,145	0,149	0,153	0,158	0,172	0,183	0,183	0,187	0,193	0,197	0,24
180	0,156	0,152	0,161	0,165	0,175	0,189	0,191	0,189	0,195	0,199	0,25
190	0,167	0,155	0,165	0,169	0,178	0,19	0,196	0,193	0,197	0,21	0,27

в зоне резания при обработке материала, имеющего неравномерную структуру припуска, позволяет определить значение диапазона скоростей резания по величине предельно допускаемого прогиба режущего инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глуховченко А. А., Погонин А. А., Схиртладзе А. Г. Восстановление работоспособности роликов тянуще-правильных машин // Ремонт, восстановление, модернизация. 2005. № 3. С. 17—19.

2. Адлер Ю. П., Маркова Е. А., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1971. 284 с.
3. Подураев В. Н. Обработка резанием с вибрациями. М.: Машиностроение, 1970.

М. А. ФЕДОРЕНКО, канд. техн. наук

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

Механическая обработка крупногабаритных поверхностей вращения без их демонтажа в условиях эксплуатации

В горной, добывающей, химической и других отраслях промышленности для помола различных видов материалов используют мельницы трубного и барабанного типа, большого диаметра, длины и большой массы.

Цементные заводы России оснащены трубными мельницами с центральным приводным механизмом. Наиболее распространены мельницы следующих размеров: 3,2 × 15, 2,6 × 13 и 2,2 × 13 м, менее распространены — 3 × 14, 2,6 × 15 и 2,2 × 15 м, при этом их масса может достигать до 600 т.

Важнейшим фактором обеспечения сохранения длительной работоспособности и высокой надежности крупногабаритного оборудования являются точность его монтажа, профилактические своевременные ремонты, замена физически и морально устаревших узлов и агрегатов. Эти работы необходимо проводить по возможности в процессе эксплуатации оборудования, так как простои влекут за собой большие материальные потери. Остановка одного из агрегатов может прервать технологический процесс производства продукции, что влечет за собой остановку всего оборудования.

В процессе эксплуатации в результате нарушения технологии при изготовлении деталей и узлов, неточности монтажа, нарушения инструкций по эксплуатации, климатических условий и др. крупногабаритное оборудование теряет работоспособность из-за изменения геометрической формы входящих в него деталей.

В связи с этим для обеспечения дальнейшей эксплуатации оборудования необходимо производить своевременное восстановление изношенных поверхностей, но для осуществления этой задачи промышленное предприятие должно иметь специальное оборудование, которое обеспечивало бы ремонт деталей крупногабаритного оборудования в условиях эксплуатации без остановки технологического процесса производства продукции.

Следовательно, необходима прогрессивная технология ремонта с использованием специального оборудования (приставных станочных модулей), обеспечивающего быстрое, качественное и точное восстановление изношенных узлов, агрегатов и деталей крупногабаритного оборудования.

На рис. 1 приведена схема обработки крупногабаритных валов¹ в условиях эксплуатации при помощи приставного станочного модуля со сферическим основанием. На сферическую поверхность корпуса подшипника опоры мельницы 1, который имеет вогнутую сферическую поверхность, устанавливается основание 2 станка для обработки крупногабаритных поверхностей типа вращающегося вала. На основании находятся опорные ролики 3, закрепленные на валах стоек 4, на которых установлены направляющие с поперечным

¹ Патент 2242346 (РФ).

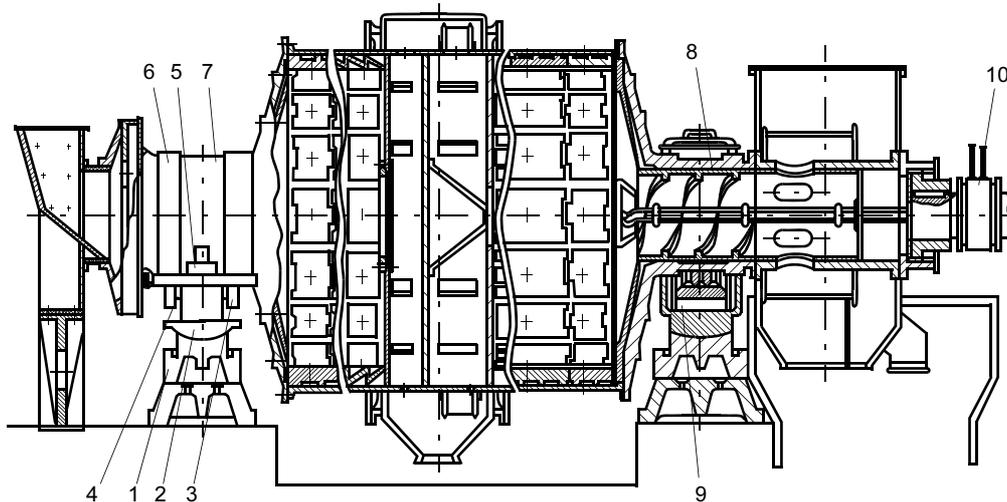


Рис. 1. Схема обработки крупногабаритных валов в условиях эксплуатации

суппортом 5. На опорные ролики буртами 6 устанавливают цапфу 7 трубной мельницы. Вторая цапфа мельницы находится на подвижной стационарной опоре 9 и соединена с электродвигателем 10, который вращает мельницу при обработке поверхности дефектной цапфы. При вращении мельничного агрегата в результате его большой массы и длины возникают колебания корпуса, вызывающие изменение положения геометрической оси мельницы. Изменения положения оси воспринимаются приставным станком и подвижной опорой в виду того, что они имеют подвижные части, выполненные в форме сферы, и их оси постоянно самоустанавливаются параллельно оси трубной мельницы. В результате резец движется параллельно оси и обеспечивает необходимую точность обрабатываемой поверхности. При необходимости получения поверхности высокого качества можно установить вместо резцедержателя шлифовальную головку.

Качество поверхности цапфы, определяющее надежность ее работы в узле, зависит от способа обработки поверхности. Параметр шероховатости рабочей поверхности цапфы $Ra = 2,5$ мкм, определяемый эксплуатационными требованиями при применении призматических резцов, не достигается. Поэтому после проточки необходимо проведение шлифования поверхности, что значительно усложняет обработку и увеличивает трудоемкость. Установлено, что требуемую шероховатость поверхности можно достичь, используя чашечные резцы, при этом образуется наклеп, повышающий твердость обработанной поверхности.

В результате исследований установлено следующее:

- большая длина круговой режущей кромки лезвия и непрерывное вращение его во время работы обеспечивают прерывность и кратковременность работы каждого его участка, охлаждение во время холостого пробега, меньшую истинную скорость резания по сравнению со скоростью главного движения, в результате температура в зоне резания снижается примерно до 40 %;
- небольшой линейный износ, который не накапливается как при обычной резании на неподвижном

участке лезвия, а равномерно распределяется по всей длине, хорошие условия теплоотвода от работающих участков лезвия в режущую чашку, имеющую большой радиус кривизны;

- уменьшение сил трения между рабочими поверхностями инструмента и обрабатываемым материалом, что обеспечивает повышение стойкости чашечных резцов в десятки раз по сравнению с традиционными инструментами при одновременном повышении режимов резания;

- увеличение скорости резания, что способствует повышению производительности обработки;

- высокое качество и хорошие эксплуатационные показатели обработанной поверхности, что позволяет исключить операцию шлифования; высокая размерная стойкость чашечных резцов позволяет применять их для обработки крупногабаритных изделий, к точности геометрической формы которых предъявляют высокие требования;

- микрорельеф обработанной поверхности формируется с округленными вершинами и впадинами микронеровностей и большой (в 1,2—1,3 раза) по сравнению с обработкой обычным режущим инструментом, в результате повышается износостойкость обработанной поверхности.

Следовательно, с целью получения требуемых шероховатости обработанной поверхности и геометрических размеров наклепа обработанной поверхности, увеличения производительности труда необходимо при восстановительной обработке цапф использовать чашечные резцы.

В процессе ротационного резания происходит непрерывная смена контактных поверхностей. Кинематические параметры ротационного резания определяют его основные особенности и закономерности, условия стружкообразования и работоспособность режущего инструмента.

Важным преимуществом ротационного резания при обработке длинных валов большого диаметра являются обеспечение высокого качества обработанной

поверхности и высокая стойкость резца. При высокой размерной стойкости резца обеспечивается геометрическая точность длинных валов, появляется дополнительный наклеп обработанной поверхности.

Невысокая температура в зоне резания при обработке роторным резцом позволяет увеличивать скорость обработки и производительность.

При обработке ротационным резанием на обработанной поверхности вала образуется характерный микрорельеф (рис. 2), который зависит от радиуса чашки, ее наклона относительно обрабатываемой поверхности, а также способа вращения, т. е. от самовращения или принудительного вращения.

Микронеровности обработанной ротационными резцами поверхности цапфы трубной мельницы имеют закругленные выступы и впадины, что повышает ее износостойкость, так как такая поверхность способствует сохранению масляного клина и позволяет увеличивать нагрузку на цапфу.

При обработке цапфы диаметром 1200 мм и длиной 950 мм по прямой и обратной схемам резания выявлено, что шероховатость выше при обратной схеме, а принудительное вращение режущей чашки обеспечивает лучшую шероховатость поверхности.

Профиль следов ротационного резца отличается от профиля поверхности, полученной призматическим резцом. Получаемый профиль позволяет не производить шабрение поверхности цапфы, так как формирование шероховатости поверхности способствует удержанию масла. Гребешки профиля полученным чашечным резцом скруглены, следовательно, они хорошо работают на смятие.

Ротационный резец в результате допусков на комплектующие детали имеет радиальное и осевое биение. Продольная волнистость совпадает с образующей цилиндрической поверхности и близка к углу наклона режущей кромки. По высоте продольные и поперечные волны отличаются незначительно, но отличаются по шагу.

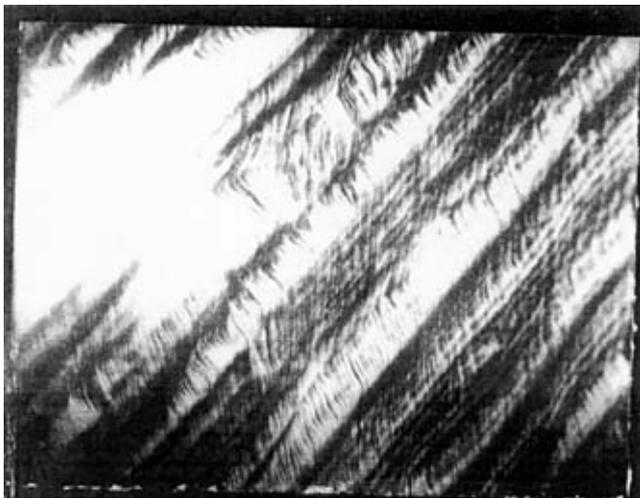


Рис. 2. Следы чашечного резца ($\times 10^6$)

При повышении скорости резания волнистость возрастает, но при обработке крупногабаритных валов при постоянной скорости вращения волнистость зависит от схемы резания и износа ротационного резца.

При обработке валов на приставных станочных модулях целесообразно применять прямую схему обработки.

При обработке цапф и образцов установлено, что изменение угла и силы резания приводит к изменению пластичной деформации в подрезцовой зоне, в результате изменяются степень и глубина наклепа поверхностного слоя. Увеличение кинематического переднего угла и уменьшение кинематического заднего угла вызывают увеличение нормальной силы и силы трения, и увеличивается пластическая деформация поверхностного слоя. Большое влияние на степень и глубину наклепа оказывает твердость исходного материала.

Обработанная поверхность вала имеет четко выраженную вытянутую структуру, которая образуется от взаимодействия нормальной силы и силы трения между задней поверхностью режущей чашки ротационного резца и обработанной поверхностью. Под действием этих сил происходит пластичное деформирование поверхностного слоя в направлении перемещения резца. На обработанной поверхности остаются направления следов. Угол наклона следов зависит от схемы, подачи и глубины резания. Угол наклона текстуры позволяет оценить способность резца к самовращению при различных режимах резания.

Результаты обработки цапф трубных мельниц приставными станочными модулями с призматическими резцами и чашечными с принудительным вращением, а также экспериментальных работ показали, что данный способ обработки обеспечивает необходимую геометрическую точность вала, а поверхность не требует дополнительной обработки, так как создаются хорошие условия для получения масляного клина.

Предлагаемый способ обработки по сравнению с существующими имеет следующие преимущества:

- обеспечивает точность обработки;
- возможность обработки крупногабаритных валов типа цапф трубных мельниц любых массы и размеров без их демонтажа, что существенно влияет на сокращение сроков ремонта и, как следствие, позволяет дополнительно выпускать продукцию;
- подвижные конструкции станка для обработки цапф и опоры при своем взаимодействии позволяют режущему инструменту отслеживать положение оси вращающейся мельницы с цапфами, в результате увеличивается точность обработки;
- данная конструкция станка позволяет использовать ротационные резцы или устанавливать шлифовальное устройство;
- простая конструкция станка и его мобильность позволяют производить профилактическую обработку валов типа цапф любого размера.

А. А. ПОГОНИН, д-р техн. наук, Т. А. ДУЮН, канд. техн. наук, А. В. ГРИНЕК, инж.
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

Влияние технологических режимов на качество поверхности при отделочно-упрочняющей обработке коллекторов электродвигателей

Надежность электрических машин постоянного тока во многом определяется надежностью щеточно-коллекторного узла, являющегося самым сложным и ответственным узлом коллекторных машин.

Процесс коммутации в скользящем контакте щеточно-коллекторного узла является сложным процессом и часто сопровождается искрением. Сильное искрение может перейти в круговой огонь, что является серьезным нарушением работы. Искрение может быть вызвано рядом причин различного характера: вибрацией, изменением геометрической формы коллектора, плохой стяжкой пластин, высокой шероховатостью и недостаточной поверхностной твердостью коллекторных пластин. Контакт коллектор—щеточка относится к скользящим электрическим контактам, такие контакты наиболее подвержены воздействию процессов трения и изнашивания, причем механическая часть изнашивания в них может занимать 30—50 % от всего износа. Качество контактной поверхности коллектора является одним из важных факторов, влияющих на процесс коммутации и надежность работы щеточно-коллекторного узла.

Традиционный технологический процесс изготовления включает операции черного и чистового точения, шлифования и полирования. При шлифовании в контактную поверхность коллектора внедряются частицы абразива, способствующие отрыву частиц меди при коммута-

ционных разрядах. При этом форма коллектора значительно зависит от точности шлифовальных колодок. При замене чистового точения и шлифования отделочно-упрочняющей обработкой эта составляющая износа коллектора отсутствует.

Анализ состояния поверхности приработанных коллекторов двигателей серии 4П с использованием графитовыми щетками ЕГ-74, ЕГ-71 показал, что твердость поверхности коллекторных пластин и исследуемых коллекторов данного типа 120—130 НВ, тогда как у новых коллекторов после механической обработки она составляет 75—85 НВ.

Отделочно-упрочняющая обработка существенно повышает твердость коллекторных пластин, обеспечивая качество поверхности, способствующее благоприятным условиям коммутации [1].

Для выявления зависимости параметра шероховатости от технологических режимов проведен полный факторный эксперимент 2^3 [2]. В качестве варьируемых факторов выбраны усилие прижатия накатного инструмента, подача и скорость вращения коллектора (частота вращения шпинделя).

Предварительное накатывание роликом радиусом 70 мм коллектора диаметром 240 мм (после обтачивания) показало, что при значениях усилия накатывания выше 1270—1470 Н упрочнения не происходит, а материал пластически деформируется в направлении, перпендикулярном направлению усилия

накатывания. Накатывание с силой 300—390 Н не создает поверхностного упрочненного слоя. Поэтому для выявления зависимости параметра шероховатости от технологических режимов при планировании эксперимента выбраны два значения усилия прижатия: 580 и 1100 Н.

Предположительно искомая зависимость имеет степенной вид

$$Ra(n, s, p) = Kv^\alpha s^\beta p^\gamma, \quad (1)$$

где K — свободный коэффициент; α, β, γ — показатели степени при каждом факторе.

Прологарифмируем выражение (1) и представим функцию в виде линейного полинома

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3, \quad (2)$$

где $\ln(Ra) = y$, $\ln v = x_1$, $\ln s = x_2$, $\ln p = x_3$, $\ln K = b_0$, $\alpha = b_1$, $\beta = b_2$, $\gamma = b_3$.

В таблице приведена матрица планирования эксперимента.

Кодированные факторы определяют следующим образом:

$$x_i = \frac{2(\ln x_i - \ln x_{i\max})}{\ln x_{i\max} - \ln x_{i\min}} + 1. \quad (3)$$

Натуральные значения основных уровней варьирования: $v_{\text{ср}} = 248$ м/мин, $s_{\text{ср}} = 0,283$ мм/об, $P_{\text{ср}} = 820$ Н. Коэффициенты линейного полинома определяют по результатам эксперимента:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j x_{ij}, \quad (4)$$

$$b_0 = -1,188, \quad b_1 = 0,186, \\ b_2 = 0,172, \quad b_3 = 0,291.$$

После подстановки полученных коэффициентов в полином (1) получим

$$\ln(Ra) = -7,023 + 0,406 \ln v + 0,493 \ln s + 0,960 \ln P. \quad (5)$$

Потенцируем уравнение (2):

$$Ra = e^{-7,023} v^{0,406} s^{0,493} P^{0,960}. \quad (6)$$

Доверительный интервал коэффициентов вычисляли на основе много-

Кодированные факторы				s, мм/об	v, м/мин	P, Н	Ra, мкм	y = ln(Ra)
X0	X1	X2	X3					
+1	-1	+1	-1	0,2	393	600	0,210	-1,561
+1	+1	+1	-1	0,4	393	600	0,330	-1,109
+1	-1	-1	-1	0,2	157	600	0,150	-1,897
+1	+1	-1	-1	0,4	157	600	0,260	-1,347
+1	-1	+1	+1	0,2	393	1100	0,420	-0,868
+1	+1	+1	+1	0,4	393	1100	0,590	-0,528
+1	-1	-1	+1	0,2	157	1100	0,310	-1,171
+1	+1	-1	+1	0,4	157	1100	0,360	-1,022

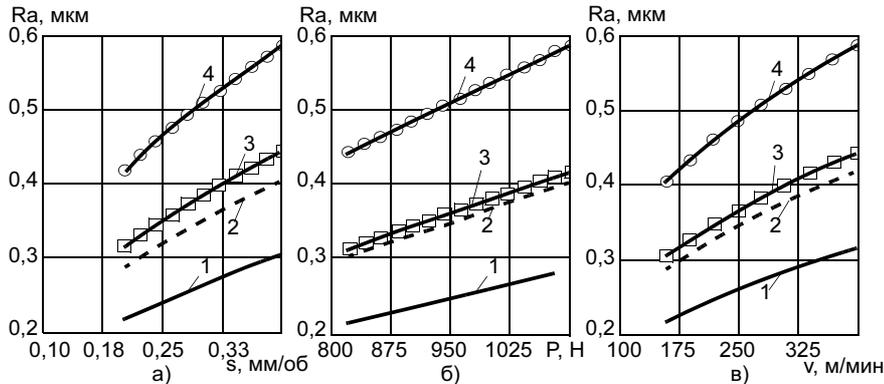


Рис. 1. Зависимости параметра шероховатости поверхности от подачи (а), усилия (б) и скорости (в) накатывания: а — 1, 2 — $v = 157$ м/мин, P равно 820 и 1100 Н соответственно; 3, 4 — 397 м/мин, 820 и 1100 Н соответственно; б — 1, 2 — $v = 157$ м/мин, s равна 0,2 и 0,4 мм/об соответственно; 3, 4 — $v = 397$ м/мин, 0,2 и 0,4 мм/об соответственно; в — 1, 2 — $s = 0,2$ мм/об, P равно 820 и 1100 Н соответственно; 3, 4 — 0,4 мм/об; 820 и 1100 Н соответственно

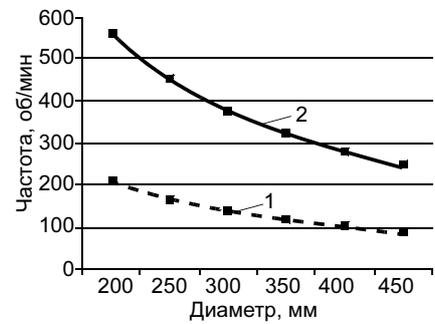


Рис. 2. Зависимость частоты вращения шпинделя при накатке от диаметра при $s = 0,2$ мм/об и $P = 820$ Н: 1, 2 — Ra соответственно равен 0,3 и 0,2 мкм

кратного измерения шероховатости поверхности на режимах основного уровня варьирования в центре плана:

$$\Delta b = \frac{t\sigma_y}{\sqrt{n}}, \quad (7)$$

t — критерий Стьюдента; σ_y — среднеквадратичное отклонение экспериментальных значений y от среднеарифметических значений y^* в опытах одной выборки в центре плана; n — число опытов в центре плана.

Доверительный интервал $\Delta b = 0,037$, значит все коэффициенты уравнения значимы, т. е. все рассматриваемые факторы имеют достаточную степень влияния на шероховатость при отделочно-упрочняющей обработке контактной поверхности коллектора.

Проверка адекватности модели по критерию Фишера показала,

что расчетное значение критерия ($F_p = 0,072$) меньше табличного ($F_T = 5,05$).

На рис. 1, а–в приведены зависимости параметра шероховатости от подачи, усилия и скорости накатывания при фиксированных значениях остальных факторов на верхнем и нижнем уровнях.

Минимальная шероховатость $Ra = 0,2 \div 0,3$ мкм обеспечивается на режимах, соответствующих нижнему интервалу варьирования факторов. Сочетания максимальных и минимальных значений параметров режимов обеспечивают параметр шероховатости $Ra = 0,3 \div 0,45$ мкм.

На рис. 2 приведен интервал частот вращения шпинделя при подаче 0,2 мм/об и усилие 820 Н.

Предлагаемая отделочно-упрочняющая обработка формирует со-

стояние поверхности, близкое по шероховатости и твердости к состоянию поверхности приработанного коллектора. Повышение твердости коллектора позволяет снизить износ щеточно-коллекторного узла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солдаткин А. В. Влияние качества механической обработки коллекторов машин постоянного тока на работу коллекторно-щеточного узла // Совершенствование технологических процессов ремонта и эксплуатации подвижных составов / Под ред. В. С. Смольянинова. Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2003. С. 48–51.
2. Адлер Ю. П., Маркова Е. А., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1971. 284 с.

А. Ф. БОЙКО, канд. техн. наук, А. А. ПОГОНИН, д-р техн. наук, М. Н. ВОРОНКОВА, канд. техн. наук
Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

Оптимизация вылета электрода-инструмента при электроэрозионной прошивке микроотверстий

Электроэрозионный метод получения отверстий диаметром 0,01–0,1 мм широко применяют в производстве инструмента для микросварки и микропайки интегральных микросхем и полупроводниковых приборов, деталей электронных приборов, травматических игл для

микрохирургии, деталей пневмо- и гидрорегулирующей аппаратуры и др.

Для прецизионной прошивки микроотверстий разработан специализированный электроэрозионный станок 04ЭП-10М, который показал высокую эффективность прошивки в воде отверстий вольфрамовыми

электродами-инструментами диаметром 0,01–0,1 мм [1, 2].

Для осуществления процесса электроэрозионной прошивки капиллярных отверстий серийно изготавливаемый станок 04ЭП-10М комплектуется набором омедненных вольфрамовых электродов указан-

ного диаметра. Практика прошивки отверстий данными электродами-инструментами показала существенную зависимость производительности процесса от вылета электрода-инструмента. Отсутствие удовлетворительных теоретических выкладок и практических рекомендаций по этому вопросу обусловили необходимость проведения исследования с целью установления взаимосвязи величины вылета электрода-инструмента с другими параметрами процесса и разработки практических рекомендаций по расчету оптимального вылета.

Как известно [3], перед электроэрозионной прошивкой медная оболочка с рабочего конца электрода-инструмента стравливается электрохимическим способом, при этом обнажается вольфрамовая электрод-проволока. Обнаженная часть образует вылет, величина которого, как показали исследования, должна определяться не только глубиной прошиваемого отверстия и износом электрода-инструмента, но и с учетом наибольшей скорости прошивки. Результаты исследования показали (рис. 1), что скорость прошивки с увеличением вылета до определенной величины заметно растет (зона I), далее становится мало изменяющейся (зона II) и затем в зоне III процесс становится нестабильным, скорость прошивки падает.

Таким образом, диапазон значений оптимального вылета соответствует зоне II: $I_{\text{опт min}} < I_{\text{опт}} < I_{\text{опт max}}$. Оптимальные значения вылета $I_{\text{опт}}$ зависят от многих факторов: диаметра электрода-инструмента, физико-механических и электрических свойств материала электрода-инструмента и электрода-детали, электрических режимов обработки.

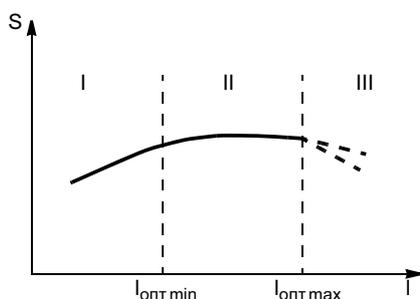


Рис. 1. Зависимость скорости прошивки S от вылета I электрода-инструмента

Применение в станке 04ЭП-10М в качестве источника технологического тока высокочастотного транзисторного генератора коротких импульсов¹ позволило получить еще одно важное преимущество по сравнению с RC-генератором импульсов: способность к самоликвидации значительной части случаев коротких замыканий (к. з.) без разведения электродов или в процессе разведения электродов (при затяжном к. з.). Сущность этого физического явления может быть объяснена следующим. Поскольку электроды-инструменты диаметром 0,01—0,1 мм имеют малую жесткость и не способны при к. з. создать хороший механический и электрический контакт с обрабатываемой деталью, то при определенных условиях под действием импульсов тока генератора механический контакт подвергается электроэрозионному разрушению и к. з. ликвидируется. В случае RC-генератора импульсов при к. з. прекращается генерирование импульсов тока в отличие от транзисторного генератора импульсов, поэтому электроэрозионного разрушения механического контакта не происходит, что требует обязательного разведения электродов до устранения механического контакта между ними, вследствие чего снижается производительность.

Рассмотрим, каким образом и в каких случаях происходит электроэрозионное разрушение механического контакта между электродами и, следовательно, прерывание к. з. при использовании в качестве источника технологического тока независимых генераторов импульсов.

Следует отметить, что при электроэрозионной прошивке отверстий электродами диаметром 0,01—0,1 мм в подавляющем большинстве случаев короткого замыкания механический контакт между электродами происходит в боковом зазоре (рис. 2).

При неудовлетворительных условиях удаления продуктов эрозии из межэлектродного промежутка в боковом зазоре концентрация эродированных частиц электрода-детали и электрода-инструмента может достигнуть такой величины, что наступит заклинивание частиц в боковом

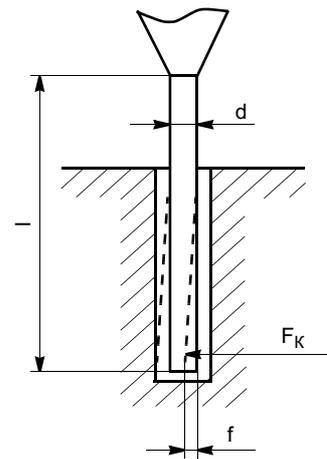


Рис. 2. Расчетная схема прогиба электрода-инструмента при коротком замыкании в боковом зазоре

межэлектродном зазоре и образование токопроводящего мостика. Заклинивание приводит к отгибанию электрода-инструмента на величину f . Таким образом, в точке образовавшегося механического контакта на электрод-инструмент действует сила F_k , вызывающая прогиб электрода-инструмента. Эти величины связаны между собой следующим соотношением:

$$F_k = \frac{3fEI}{l^3}, \quad (1)$$

где E — модуль упругости; I — момент инерции, равный $0,048ld_3^3$ (d_3 — диаметр электрода).

Известно, что при прохождении электрического тока через контакт в режиме кратковременного протекания тока к. з. (импульсный ток) существует предельное амплитудное значение тока импульса, при повышении которого происходит сваривание контакта или разрушение его под воздействием электрической эрозии, особенно при наличии жидкой межэлектродной среды. Ток сварки контактов можно определить по следующей формуле [5]:

$$I_{\text{св}} = \frac{2U_{\text{св}}}{\rho} \sqrt{\frac{nF_k}{\pi\sigma_{\text{см}}}}, \quad (2)$$

где $U_{\text{св}}$ — напряжение; ρ — удельное электрическое сопротивление; n — число площадок касания в контакте; $\sigma_{\text{см}}$ — сопротивление контактного материала смятию.

¹А. с. 884923 (СССР).

Тогда из выражения (2) с учетом уравнения (1) следует, что необходимым условием разрушения контакта и, следовательно, прерывания к. з. является выполнение следующего неравенства:

$$I_a \geq \frac{2U_{св}}{\rho} \sqrt{\frac{3nEI}{\pi\sigma_{см}l^3}}. \quad (3)$$

Откуда

$$I_{опт} \geq \left(\frac{2U_{св}}{I_a \rho} \sqrt{\frac{3nEI}{\pi\sigma_{см}l^3}} \right)^{2/3}. \quad (4)$$

Численное значение прогиба может изменяться от нуля до наибольшего значения, равного боковому межэлектродному зазору z_6 , который зависит от режима обработки и находится в пределах 0,003—0,012 мм.

Другие величины, входящие в формулу (4), зависят от физико-механических, электрических и геометрических свойств электродов. Для электроэрозионной прошивки отверстий вольфрамовыми электродами диаметром 0,01—0,1 мм в твердосплавных изделиях исходные данные для расчета следующие: модуль упругости $E = 400$ ГПа; сопротивление смятию $\sigma_{см} = 3$ ГПа; момент инерции сечения электрода-инструмента $I = 0,048I_a^3$; удельное электрическое сопротивление $\rho = 5,51 \cdot 10^{-5}$ Ом · мм; $U_{св} = 1,1$ В; $n = 1$, так как контакт является точечным.

После подстановки исходных данных в формулу (4) получим

$$I_{опт} \geq 2137 \left(\frac{d_3^3 \sqrt{z_6}}{I_a} \right)^{2/3}. \quad (5)$$

В табл. 1 приведены исходные данные d_3 , z_6 , I_a , соответствующие оптимальным условиям обработки, и результаты расчета минимального значения оптимального вылета электрода-инструмента.

Результаты исследований показали, что формула (5) позволяет теоретически рассчитывать значения $I_{опт min}$, отличающиеся от экспериментальных данных в пределах 10—15 %, что вполне пригодно для практических целей. Наибольшие

Таблица 1

d_3 , МКМ	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
I_a , А	3,4	4,4	6,0	8,0	8,0	10,0	10,0	14,0	14,0	18,0
z_6 , МКМ	3	4	5	6	6	7	7	10	10	12
$I_{опт min}$	0,3	0,7	1,0	1,3	1,7	2,1	2,5	2,7	3,2	3,3

Таблица 2

z_6 , МКМ	3	4	5	6	6	7	7	10	10	12
Относительное отклонение, %	6,7	6,2	13,2	6,2	14	4,6	4,7	3,5	0,3	0,6

Примечание. В числителе приведены экспериментальные значения, в знаменателе — расчетные.

значения оптимального вылета, как показывают многочисленные эксперименты, не имеют четкой границы и составляют $(2—3)I_{опт min}$.

Таким образом, оптимальный вылет находится в прямой зависимости от диаметра электрода-инструмента и бокового межэлектродного зазора и в обратной зависимости от амплитудного значения тока, измеренного в режиме к. з. Наибольшее влияние на величину оптимального вылета оказывает диаметр электрода-инструмента.

Полученные расчетные формулы (4), (5) позволяют, с одной стороны, рассчитывать оптимальные значения вылета электрода-инструмента, с другой — зная вылет, диаметр электрода-инструмента и амплитудное значение тока, прогнозировать величину бокового межэлектродного зазора, т. е. разбивку отверстия по диаметру и, следовательно, значение диаметра отверстия после электроэрозионной прошивки:

$$d_{отв} = d_3 + 2z_6,$$

$$\text{где } z_6 = 1,0247 \cdot 10^{-10} \frac{I_a^3}{d_3^4}. \quad (6)$$

Результаты экспериментальной проверки формулы (6) приведены в табл. 2.

Таким образом, отклонение расчетных значений, полученных по формуле (6), от экспериментальных не превышает 14 %, что допустимо для технологического прогнозирования результатов электроэрозион-

ной прошивки микроотверстий. Видно, что боковой зазор прямо пропорционально зависит от вылета электрода-инструмента и амплитуды тока и обратно пропорционально от диаметра электрода-инструмента. Наибольшее влияние на величину бокового зазора оказывает диаметр электрода-инструмента.

ВЫВОД

Теоретически полученные и экспериментально проверенные методы расчета оптимального вылета электрода-инструмента и межэлектродного бокового зазора целесообразно рекомендовать для назначения технологических режимов электроэрозионной прошивки отверстий диаметром 0,01—0,1 мм на станках 04ЭП-10М и аналогичных. При оптимальном вылете электрода-инструмента обеспечивается повышение производительности на 30—60 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойко А. Ф. Высокочастотная электроэрозионная прошивка отверстий малого диаметра // Электронная обработка материалов. 1980. № 1. С. 86—88.
2. Бойко А. Ф., Бративник Ю. М., Хукаленко Ю. А. Прецизионный станок 04ЭП-10М для высокочастотной электроэрозионной прошивки отверстий малого диаметра // Электронная обработка материалов. 1980. № 3. С. 76—78.
3. Станок электроискровой прошивочный мод. 04ЭП-10М. Паспорт БУЗ.599.048ПС, 1986.
4. Грудинский П. Г. Электротехнический справочник. М.: Энергия, 1974. Т. 1. С. 732—735.

А. В. КОЗЛОВ, канд. техн. наук, В. Г. ШЕРКУНОВ, д-р техн. наук
(Южно-Уральский государственный университет, Челябинск),
Я. М. ХИЛЬКЕВИЧ, канд. техн. наук
(Хайфа, Израиль)

Опыт гибки тонкостенных труб в холодном состоянии

Трубы широко применяют в промышленности и быту в качестве элементов трубопроводов, транспортирующих однородные жидкости и газы, пар, продукты, содержащие твердые частицы и др. Для широкого применения трубопроводов требуется максимальная механизация процессов изготовления большого числа их криволинейных участков, которые служат для рациональной компоновки трубопроводов.

Гибка труб является одной из основных операций технологического процесса изготовления криволинейных деталей трубопроводов. Ее применяют в различных областях общего и специального машиностроения: авто-, тракторо- и самолетостроении, нефтяной и газовой промышленности, коммунальном хозяйстве.

Проведем краткий сравнительный анализ технологий и оборудования для гибки труб.

Гибка труб малого диаметра (до 50 мм) холодным способом, как правило, не вызывает затруднений. Есть много несложных и недорогих приспособлений для ее выполнения, если речь не идет о высокой точности и малом радиусегиба. В последнем случае обычно применяют станки с дорнами. Для малых радиусовгиба применяют ложковые дорны и гибкие оправки. Станки с нагревом ТВЧ для малых труб применяют редко. Они очень дороги и энергоемки, и их применение оправдано лишь в случаях сложной пространственной и точной гибки.

Гибка труб средних диаметров (от 50 до 150 мм) холодным способом имеет значительно большие трудности и требует применения более сложного оборудования. Для точной холодной гибки на радиусы 2,5—3,5 диаметра трубы применяют установки с дорном массой 0,5—3,5 т. При меньших радиусах возникает необходимость применения станков с нагревом ТВЧ. Стоимость таких станков доходит до нескольких миллионов долларов.

При гибке труб большого диаметра (от 0,5 до 1,4 м) холодным способом без дорнов обеспечивается разворот торцев лишь на 6° при длине труб 12 м. При использовании раздвижных дорнов обеспечивается разворот торцев до 16—30°. Станки с нагревом ТВЧ обеспечивают уголгиба 10° на длине 1 м.

В ЮУрГУ разработаны не имеющие аналогов технология холодной гибки труб большого диаметра и оборудование для ее реализации, в основе которой лежит воздействие на изгибаемую трубу вращающегося раскатника¹. Сущность технологии гибки труб с раскатыванием заключается в следующем. При вращении раскатки (рис. 1, а), заведенного в трубу с большим натягом, в каждой точке кольцевой зоны раскатывания возникает знакопеременный изгиб (рис. 1, б), при котором изгибные напряжения кратко-

временно достигают предела текучести σ_T . В результате при приложении относительно небольшого изгибающего усилия происходит гибка в перемещающейся кольцевой зоне раскатывания.

Теоретические и экспериментальные исследования позволили изучить возможности нового метода гибки. В частности, качественный анализ сложнопластического состояния трубы при гибке с раскатыванием показал, что за счет этого может быть не менее чем в 2 раза снижено усилие гибки по сравнению с известными методами холодной гибки без дополнительного воздействия на изгибаемую трубу [1, 2]. Определены условия образования "пластических шарниров", минимально необходимый для гибки натяг, радиальные силы, действующие на раскатной инструмент. Результаты теоретических исследований подтверждены экспериментально.

Все это позволило разработать недорогое и простое по конструкции оборудование для холодной гибки труб $D = 20 \div 250$ мм с толщиной стенки 2—12 мм на радиус $(2,5 \div 1,5)D$ без гофрообразования и при минимальном искажении профиля поперечного сечения (рис. 2—4). Оборудование разрабатывали по двум направлениям: путем модернизации серийно выпускаемого оборудования для холодной гибки и создания оригинальных установок. В частности, была выполнена модернизация серийно выпускаемых Саранин-

¹Патент 818707 (РФ).

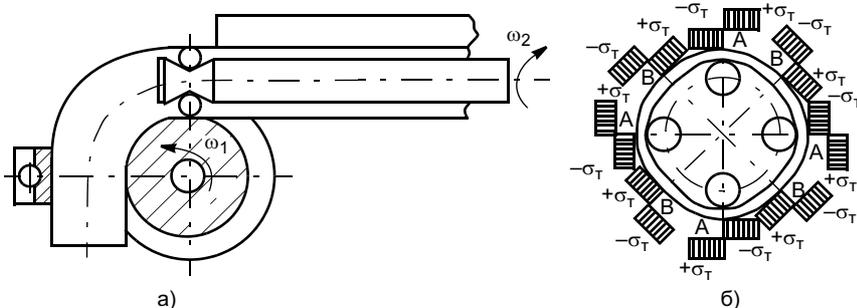


Рис. 1. Гибка труб с раскатыванием



Рис. 2. Модернизированный трубогиб ИВ-3430 для гибки труб диаметром 50—150 мм

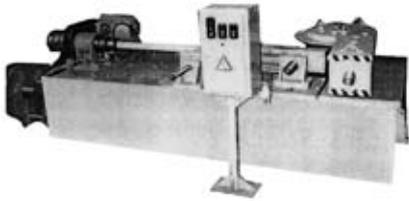


Рис. 3. Внешний вид станка для гибки труб диаметром 100—200 мм

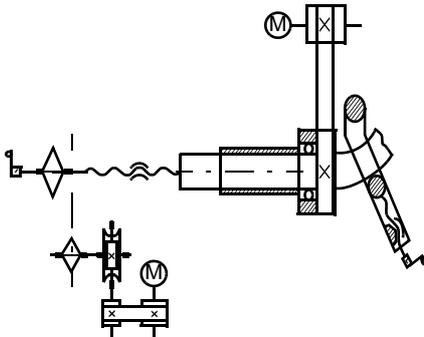


Рис. 4. Схема обкатной головки



Рис. 5. Отводы гнутые диаметром 100—150 мм

ским заводом кузнечно-прессового оборудования станков ИВ-3228 и ИВ-3430 (см. рис. 2). Установка на эти станки механизма раскатывания трубы позволила существенно повысить технологические возможности этих станков (см. таблицу).

Выполнена модернизация токарного станка ТР-6, позволившая осуществлять качественную гибку труб диаметром 20—50 мм. Разработано и внедрено в производство несколько оригинальных установок для гибки труб диаметром 15—30, 40—100 и 100—200 мм (см. рис. 3). Для гибки труб с внутренним покрытием, в частности полиэтиленовым, спроектирована опытно-промышленная установка для гибки труб диаметром до 200 мм с воздействием на изгибаемую трубу вращающегося обкатника (см. рис. 4).

Основные технические характеристики оборудования для гибки

Характеристика	СХГТ-1	СХГТ-2 (на базе ТР-6)	СХГТ-3 (на базе ИВ-3428)	СХГТ-4 (на базе ИВ-3430)	СХГТ-5	СХГТ-6
	С раскатыванием					С обкатыванием
Параметры трубы, мм:						
наибольший наружный диаметр	36	57	114	159	219	219
наименьший наружный диаметр	22	28	42	57	108	—
толщина стенки	2	3—4	2,5—6	2,5—8	5—10	5—10
наибольшая длина заготовки	400	1000	1700	2000	2500	6000
Радиус гiba			(1,5—2,5)D			(3—5)D
Наибольший угол гiba, °	180	180	180	180	90	90
Мощность электродвигателя, кВт:						
главного привода	1	3	2,2	2,2	14	14
привода инструмента	—	1	2,2	4,8	10	10
Охлаждение инструмента	—			Водяное		
Габаритные размеры, мм	900 × × 300 × × 600	3500 × × 1200 × × 1200	2600 × × 1400 × × 1200	3000 × × 1400 × × 1300	4500 × × 2300 × × 1300	6000 × × 2000 × × 1200

труб с раскатыванием и обкатыванием приведены в таблице.

Разработанные технологии и оборудование позволяют изготавливать из самых различных материалов пространственные гнутые участки, соответствующие по своим размерам отводам по ГОСТ 17375—83.

В процессе гибки труб по предлагаемой технологии в результате пластических деформаций происходит существенное изменение физико-химических и других свойств материала трубы: повышается прочность, изменяется структура металла и др. В связи с этим проведены комплексные исследования материала трубы на участке гiba [3]. Механические испытания показали, что прочность образцов повышается в среднем на 20—25 %, наблюдается некоторое снижение относительного удлинения. Гидравлические испытания давлением 40 МПа показали отсутствие разрывов, потения и течи. Ультразвуковой контроль не обнаружил дефектов трубы в виде трещин. Испытания выявили повышение коррозионной стойкости гнутых отводов на 25—30 %. Гнутые по предлагаемой технологии отводы выдерживают расчетное количество циклов при испытании на действие циклических нагрузок. В целом результаты комплексного исследования позволяют сделать вывод о возможности использования криволинейных элементов, получаемых гибкой с раскатыванием, в ответственных технологических трубопроводах. Выпущены технические условия (ТУ) на "Отводы гнутые".

Применение деталей, изготовленных по предлагаемой технологии, обеспечивает улучшение условий сборки-сварки трубопроводов за счет наличия прямых участков в зоне сварки и уменьшения в целом числа сварных участков, изготовление элементов теплообменников, компенсаторов и др. (рис. 5).

В целом технология гибки с раскатыванием обеспечивает практически те же показатели, что и гибка с нагревом ТВЧ, а стоимость оборудования незначительно превышает стоимость станков для холодной гибки с дорнами.

Новая технология и оборудование прошли производственные испытания и внедрены в производство на более чем 30 предприятиях России и СНГ.

На базе новой технологии холодной гибки труб может быть разработан широкий спектр трубогибов для труб диаметром 10—1400 мм, превосходящих по своим технологическим возможностям зарубежные и отечественные аналоги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов А. В., Хилькевич Я. М. Технология и оборудование для холодной гибки труб // Сб. докл. 29-й Междунар. конф. по металлообработке. Хайфа (Израиль): Технион, 2003.
2. Козлов А. В., Хилькевич Я. М. Оценка натягов и усилий при гибке труб с раскатыванием // Вестник ЮУрГУ. 2004. № 5 (34).
3. Козлов А. В., Чуманов И. В., Бобылев А. В. Изучение влияния холодной гибки труб с раскатыванием на структуру и свойства металла // Известия вузов. Черная металлургия. 1999. № 6.

СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Т. Н. ШИРИНСКАЯ, инж., В. Ф. ГУБАНОВ, канд. техн. наук,
В. Н. ОРЛОВ, канд. техн. наук, В. В. МАРФИЦЫН, канд. техн. наук
Курганский государственный университет

Износостойкость минералокерамических и алмазных инденторов выглаживателей

На параметры качества деталей при выглаживании большое влияние оказывает износостойкость используемого инструментального материала. От износостойкости инструментального материала зависят качественные характеристики обработанной поверхности, продолжительность стабильного обеспечения которых во многом обуславливает время на доводку инструмента, что в свою очередь влияет на время всего технологического процесса, а следовательно, производительность и экономическую эффективность производства [1].

Выбор того или иного инструментального материала должен быть оптимальным и обеспечивать заданные параметры процесса, и в первую очередь качественные [2]. В качестве инструментальных материалов для инденторов выглаживателей применяют алмазы, минералокерамику и термоупрочненные стали [3].

Исследовали стойкость выглаживателей из минералокерамики ВОК-60 и синтетических алмазов АСПК-3.

Процесс выглаживания совмещали в одной операции с точением проходными резцами с многогранными неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава Т15К6. Выглажива-

ние осуществляли с жестким закреплением инструмента при использовании в качестве смазочно-охлаждающей жидкости индустриального масла ИГА-32. Минералокерамический выглаживатель имел цилиндрическую форму с радиусом рабочей поверхности 6,5 мм, алмазный выглаживатель — сферическую форму радиусом 3,5 мм. Для стабилизации упругих свойств рабочей части выглаживателя державку изготовляли из закаленной стали У8 твердостью 44—48 HRCэ. Параметр шероховатости рабочей части индентора $Ra = 0,015 \pm 0,020$ мкм. Диаметр обрабатываемых деталей 80 мм, обрабатываемые материалы — стали 45 (197 НВ), 20 (163 НВ), 9ХС (241 НВ). Для настройки выглаживающего инструмента на нулевой натяг использовали способ, описанный в работе [4].

Исследование стойкости проводили при сглаживающе-упрочняющем режиме выглаживания.

Режим выглаживания минералокерамическим индентором: натяг $h_3 = 25$ мкм; подача $S_0 = 0,07$ мм/об; частота вращения шпинделя $n = 200$ мин⁻¹; скорость выглаживания $V = 50,3$ м/мин; среднее арифметическое отклонение профиля (исходное) $Ra_{и} = 1$ мкм. Режим выглаживания

алмазным индентором: $h_3 = 25$ мкм; $S_0 = 0,07$ мм/об; $n = 50$ мин⁻¹; $V = 12,6$ м/мин; $Ra_{и} = 1,6$ мкм.

В качестве критерия износа рабочей части выглаживателя приняты значение среднего арифметического отклонения профиля шероховатости выглаженной поверхности, превышающее на один уровень (ГОСТ 2789—73) значение Ra при выглаживании доведенным (неизношенным) индентором [3]. Шероховатость выглаженной поверхности определяли при помощи профилографа-профилометра "Калибр" модели 252.

Результаты исследования стойкости минералокерамического индентора приведены в табл. 1—3 и на рис. 1. В результате анализа полученных данных для трех обрабатываемых материалов деталей получены формулы зависимости параметра шероховатости Ra от времени обработки:

сталь 45

$$Ra = 0,103 + 0,006t - 0,0003t^2; \quad (1)$$

сталь 20

$$Ra = 0,162 + 0,0079t - 0,00041t^2; \quad (2)$$

сталь 9ХС

$$Ra = 0,092 + 0,0087t - 0,0007t^2. \quad (3)$$

Таблица 1

Время выглаживания t , ч	0,1	1	2	3	4	5	6	7
Параметр шероховатости Ra , мкм	0,102	0,111	0,114	0,118	0,122	0,125	0,127	0,131
Примечание. Сталь 45 (197 НВ).								

Таблица 2

Время выглаживания t , ч	0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ra , мкм	0,161	0,171	0,177	0,182	0,187	0,191	0,194	0,197	0,198	0,201
Примечание. Сталь 20 (163 НВ).										

Таблица 3

Время выглаживания t , ч	0,1	1	2	3	4	5	6
Ra , мкм	0,091	0,104	0,106	0,112	0,115	0,118	0,120
Примечание. Сталь 9ХС (241 НВ).							

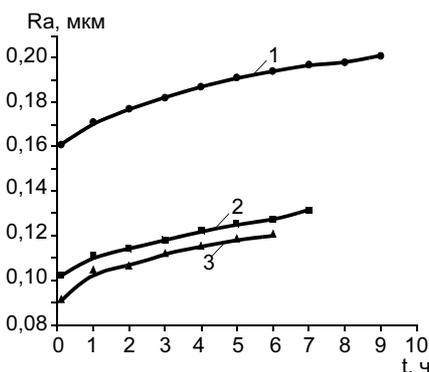


Рис. 1. Зависимость параметра Ra от времени выглаживания без доводки минералокерамического индентора: 1—3 — стали 20, 45 и 9ХС соответственно

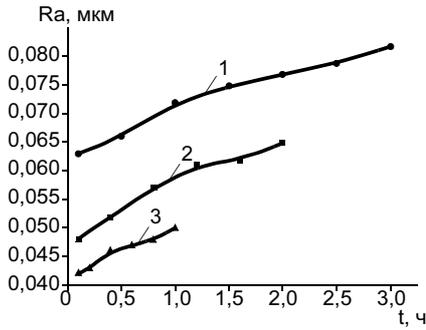


Рис. 2. Зависимость параметра Ra от времени выглаживания без доводки алмазного индентора: 1—3 — см. рис. 1

Результаты исследования стойкости алмазного индентора приведены в табл. 4—6 и на рис. 2.

Для трех обрабатываемых материалов деталей выведены формулы зависимости параметра шероховатости Ra от времени обработки:

сталь 45

$$Ra = 0,046 + 0,015t - 0,003t^2; \quad (4)$$

сталь 20

$$Ra = 0,062 + 0,0104t - 0,0013t^2; \quad (5)$$

сталь 9ХС

$$Ra = 0,041 + 0,013t - 0,004t^2. \quad (6)$$

Из полученных результатов следует, что наибольшая стойкость ин-

струмента наблюдается при выглаживании мягких материалов, а наименьшая — твердых. Наибольший рост высотных параметров шероховатости поверхности вследствие интенсивного износа инструмента наблюдается в фазе "приработки" индентора: при выглаживании минералокерамическим индентором — от 0 до 1 ч обработки, а при выглаживании алмазным индентором — от 0 до 0,8 ч. Данные выводы согласуются с теоретическими положениями.

Рекомендуемое при перечисленных выше условиях выглаживания время, через которое необходимо осуществлять доводку инструмента для обеспечения необходимого значения параметров шероховатости поверхности деталей из сталей 45, 20 и 9ХС, составляет для минералокерамического выглаживания 7, 9 и 6 ч соответственно, а для алмазного выглаживания — 2, 3 и 1 ч соответственно.

Значения стойкости инденторов выглаживателей можно перевести в километры пути выглаживания. Полученные результаты приведены в табл. 7.

Стойкость минералокерамических инденторов выглаживателей примерно в 16 раз выше, чем инденторов

выглаживателей из синтетического алмаза, в то время как стоимость их примерно одинакова. Однако параметр Ra, полученный в результате выглаживания алмазным индентором, в среднем в 2 раза меньше, чем параметр Ra после обработки минералокерамическим, а исходная шероховатость Ra_и при выглаживании алмазом в 1,6 раза больше. Различны и радиусы рабочей поверхности инденторов (у индентора из алмаза АСПК-3 — 3,5 мм, минералокерамики ВОК-60 — 6,5 мм). Известно, что чем меньше радиус, тем больше распределенная нагрузка и выше износ индентора, что было частично компенсировано разницей в скоростях выглаживания (чем выше скорость, тем выше износ индентора). Кроме того, индентор цилиндрической формы более устойчив к изнашиванию рабочей поверхности, чем индентор сферической формы [1]. Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод о том, что скорректированная стойкость минералокерамических инденторов примерно в 3 раза выше, чем стойкость инденторов из синтетических алмазов.

Таким образом, проведенные исследования показывают предпочтительное применение в качестве инструментальных материалов выглаживателей из минералокерамических сплавов, которые по сравнению с АСПК способны при довольно длительном времени выглаживания обеспечивать заданные параметры качества поверхностного слоя деталей.

Таблица 4

Время выглаживания t, ч	0,1	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0
Ra, мкм	0,048	0,052	0,057	0,061	0,062	0,065
Примечание — см. табл. 1.						

Таблица 5

Время выглаживания t, ч	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Ra, мкм	0,063	0,066	0,072	0,075	0,077	0,079	0,082
Примечание — см. табл. 2.							

Таблица 6

Время выглаживания t, ч	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Ra, мкм	0,042	0,043	0,046	0,047	0,048	0,050
Примечание — см. табл. 3.						

Таблица 7

Материал рабочей части индентора	Радиус рабочей части выглаживателя, мм	Материал обрабатываемой детали	Стойкость, км пути выглаживания
Синтетический алмаз АСПК-3	3,5	Сталь 45 (197 НВ)	1,5
		Сталь 20 (163 НВ)	2,3
		Сталь 9ХС (241 НВ)	0,8
Минералокерамика ВОК-60	6,5	Сталь 45 (197 НВ)	21,1
		Сталь 20 (163 НВ)	27,2
		Сталь 9ХС (241 НВ)	18,1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Торбило В. М. Алмазное выглаживание. М.: Машиностроение, 1972. 104 с.
2. Управление качеством поверхности при финишной обработке деталей выглаживанием / В. Ф. Губанов, В. В. Марфицын, В. Н. Орлов, А. Г. Схиртладзе: Учеб. пособие. Курган: Изд-во Курганского государственного университета, 2007. 84 с.
3. Марфицын В. В. Обеспечение параметров качества наружных поверхностей цилиндрических деталей при выглаживании инструментами из минералокерамики и термоупрочненных сталей. Дис. ... канд. техн. наук. Курган, 2000. 146 с.
4. Орлов В. Н., Марфицын В. В., Губанов В. Ф. Настройка инструмента на токарных станках при выглаживании // Технология машиностроения. 2004. № 2. С. 8—9.

О. Б. ГЕЦКИН, инж.
(НПП "Технотрон"),
С. И. ПОЛОСКОВ, д-р техн. наук
(ОАО "Стройтрансгаз"),
В. А. ЕРОФЕЕВ, канд. техн. наук
(ТулГУ),
О. П. ВИТЬКО, инж.
(ИСК "Росатомстрой")

Имитационное моделирование особенностей управления переносом капель при сварке с короткими замыканиями

Короткие замыкания (КЗ) дугового промежутка при сварке плавящимся электродом обеспечивают относительно раздельное плавление электродного металла и тепло-вложение в сварочную ванну [1]. Благодаря этому процесс сварки с КЗ успешно применяют при орбитальной сварке [2]. Однако даже незначительные возмущения, например при работе сварочных источников от автономных источников энергии [3], могут перевести процесс сварки с КЗ в режим капельного переноса с повышенным разбрызгиванием или вызвать "примерзание" электрода. Для расширения области устойчивых режимов разрабатывают специальные источники [4], которые целенаправленно реализуют управляемый каплеперенос (УКП) электродного металла. Разработка подобных источников стала возможной благодаря развитию микропроцессорной техники и созданию мощных транзисторных ключей, позволяющих осуществлять быструю коммутацию сварочного тока.

Вместе с тем алгоритм управления коммутацией тока — сложная инженерная задача, обусловленная необходимостью учета быстротекущих явлений процесса сварки. Так как исходные зависимости представляют физические закономерности, то их целесообразно изучать на физико-математических моделях с имитацией быстротекущих элементов реального процесса, ко-

торые сложно описать другими методами. Достоинством имитационного моделирования является различие временных факторов в реальных процессах и их моделях, что позволяет анализировать процессы в ускоренном или замедленном темпе и даже останавливать в какой-то момент времени для изучения характерных особенностей.

Цель работы — имитационное моделирование быстротекущих явлений при сварке плавящимся электродом с КЗ дугового промежутка для определения параметров УКП электродного металла.

Результатом исследований УКП [5—8] стал "идеальный" цикл сварки с УКП, в котором отдельные фазы цикла управляются по собственным алгоритмам (рис. 1). При этом большинство авторов выделяют пять характерных фаз УКП: образование капли при плавлении электродной проволоки, успокоение капли, КЗ и слияние капли с ванной с разрывом перемычки в зоне капля—проволока.

Фаза τ_1 плавления электродной проволоки характеризуется большим значением тока дуги I_a , что обеспечивает рост капли. В этой фазе капля испытывает сильное электродинамическое давление и давление реактивной отдачи пара. Флуктуация активного пятна дуги по поверхности капли и неустойчивое направление действия давлений приводит к формированию капель неправиль-

ной формы, что может вызывать их отталкивание от поверхности ванны, приводящее к разбрызгиванию электродного металла. Это обстоятельство ограничивает длительность фазы τ_1 и максимальные значения тока дуги в период роста капли. Установлено [9], что устойчивый тепло-массоперенос капель достигается в том случае, когда их размер в конце этой фазы составляет $(1,2—1,7)d_f$ (d_f — диаметр проволоки).

В фазе успокоения τ_2 целесообразно уменьшить ток до минимального значения I_0 , при котором обеспечивается устойчивое горение дуги. Электродинамическое и реактивное давление на поверхности капли исчезают, а капля приобретает устойчивую сферическую форму под действием сил поверхностного натяжения. Плавление и рост объема капли прекращаются, а длина дуги I_a уменьшается при уменьшении скорости подачи проволоки.

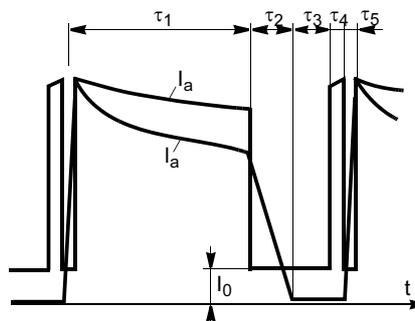


Рис. 1. Фазы процесса дуговой сварки с периодическими КЗ

В начале фазы КЗ τ_3 поверхность капли соприкасается с поверхностью сварочной ванны и в точке соприкосновения возникает значительная сила поверхностного натяжения, которая может либо втянуть металл капли в ванну, либо оттолкнуть каплю от ее поверхности. Распределение тока в капле в момент КЗ сильно изменяется, что изменяет направление электродинамической силы, которая в данной фазе препятствует перетеканию капли в ванну. Поэтому ток поддерживается на минимальном уровне I_0 и необходим только для получения информации о ходе процесса. Окончанием этой фазы считают момент достижения равновесного состояния общей поверхности расплава.

В конце фазы КЗ τ_4 перетекание расплава в сварочную ванну продолжается благодаря наличию сил инерции. В этой фазе электродинамическое давление способствует перетеканию расплава и ток I_a желателно значительно увеличить. Моментом окончания этой фазы является уменьшение площади поперечного сечения перемычки расплава до значений, при которых ток не вызывает кипения металла в перемычке. Перемычка расплава разрывается под действием сил инерции, длина дуги I_a быстро увеличивается и возбуждается дуга. В фазе τ_5 значение тока должно быть минимальным, но достаточным для стабильного возбуждения дуги.

Описанный алгоритм управления процессом сварки с УКП может реализовываться различными аппа-

ратными средствами. Наиболее просто в реализации системы управления (рис. 2) на основе быстродействующего ключа, который шунтирует дуговой промежуток в фазах, в которых ток желателно значительно уменьшить либо совсем отключить.

Шунтирование дугового промежутка обеспечивает более благоприятные условия работы коммутирующих элементов источника, так как исключает влияние эдс самоиндукции сварочной цепи на работу электронных коммутаторов. В фазе формирования капли дуговой промежуток подключен к источнику напряжения U , что обеспечивает эффективное саморегулирование длины дуги с компенсацией нестабильности скорости подачи электродной проволоки изменением тока дуги I_a . Перед КЗ дуговой промежуток кратковременно замыкается транзисторным ключом K . В начальной фазе КЗ ключ K замкнут и ток через него нарастает до значения I_a . При КЗ ток ограничен электрическим сопротивлением R и индуктивностью L сварочной цепи. В момент, когда сопротивление дугового промежутка достигнет минимума, ключ K размыкается и импульс тока I_a сбрасывает каплю. Перед разрывом перемычки, когда напряжение на дуговом промежутке достигнет 8—10 В, ключ K снова замыкается. Для повторного возбуждения дуги через дуговой промежуток непрерывно подается небольшой ток I_0 . Диоды $D1$, $D2$ гальванически развязывают цепи питания основной и дежурной дуг.

Такой подход может быть реализован по двум вариантам:

— ключ K разомкнут в течение заданного времени, затем замыкается, что приводит к укорочению дуги и короткому замыканию. Затем после возбуждения дуги ключ размыкается;

— ключ K разомкнут в течение заданного времени, затем замыкается, что приводит к укорочению дуги и короткому замыканию. Ключ размыкается при КЗ в момент, когда сопротивление перемычки начинает увеличиваться. Ключ повторно замыкается перед разрывом перемычки по сигналу об увеличении напряжения дуги до значения, равного по-

ловине сумме падений напряжений в анодной и катодной областях дуги. По истечении времени задержки, длительность которого задана, ключ снова размыкается.

Для определения параметров такой системы управления и параметров процесса сварки с УКП дополнена ранее разработанная физико-математическая модель [10] под виртуальное воспроизведение процесса сварки с КЗ, в которой учтены как параметры процесса формирования капли и перехода ее в ванну, так и процессы коммутации тока в цепи питания дуги.

Имитационное моделирование параметров УКП. Предложенная в работе [10] физико-математическая модель процессов сварки плавящимся электродом описывает особенности плавления электродной проволоки дугой с учетом подогрева ее вылета и условия переноса капли с электрода в сварочную ванну под действием сил тяжести, поверхностного натяжения, электромагнитной силы и силы реактивной отдачи пара металла. Однако эта модель не учитывает динамические изменения тока и напряжения дуги при сварке с КЗ и поэтому нуждается в уточнении. Существенным дополнением модели является учет электрических процессов, обеспечивающих управление током дуги в зависимости от фазы цикла сварки с УКП.

Ток I_k , протекающий через ключ,

$$I_k = \frac{1}{L} \int_0^t (U_{xx} - U_k - R_{max}(I, I_0)) dt, (1)$$

где L , R — индуктивность и сопротивление сварочной цепи; U_{xx} — напряжение холостого хода источника питания; U_k — напряжение на ключе; I_0 — ток дежурной дуги; t — текущее время процесса.

Алгоритм моделирования процессов сварки с КЗ по уточненной физико-математической модели с расширенными возможностями приведен на рис. 3.

По первому варианту напряжение на ключе изменяется в следующих пределах:

$$U_k = \begin{cases} U_D & \text{при } \tau < \tau_{и}; \\ 0 & \text{при } \tau > \tau_{и}, \end{cases} (2)$$

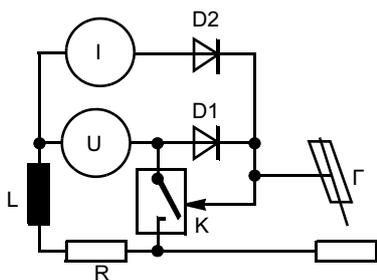


Рис. 2. Электрическая схема управления переносом капель при сварке с КЗ (I — источник тока дежурной дуги, U — источник напряжения питания основной дуги, R , L — электрическое сопротивление и индуктивность сварочной цепи, K — транзисторный ключ, управляемый напряжением дуги, Γ — сварочная горелка)

где U_D — напряжение на дуговом промежутке; $\tau_{и}$ — заданная длительность импульса в фазе плавления проволоки; τ — время, отсчитываемое от момента возбуждения дуги.

По второму варианту напряжение на ключе изменяется в соответствии с логической функцией управления:

$$U_k = \begin{cases} U_D \text{ при } \tau_0 < \tau < \tau_{и} \cup \\ \cup \frac{dR_k}{dt} > 0 \cap U_D < \frac{U_{ак}}{2}; \\ 0 \text{ при } 0 > \tau > \tau_0 \cup \tau > \tau_{и} \cup (3) \\ \cup \frac{dR_k}{dt} < 0 \cap U_D < \frac{U_{ак}}{2}, \end{cases}$$

где τ_0 — заданная задержка времени отключения ключа после возбуждения дуги; R_k — сопротивление дугового промежутка в фазе КЗ; U_a — суммарное падение напряжения в анодной и катодной областях дуги.

Напряжение дугового промежутка в фазе горения дуги определяется ее ВАХ, а в фазе КЗ — падением напряжения в вылете и перемычке расплава. При моделировании учитывается расположение центра масс капли Z_k при ее перемещении в сварочную ванну под действием сил поверхностного натяжения, тяжести и электродинамической силы. В моменты соприкосновения капли с ванной и при ее отрыве от электрода сопротивление жидкой перемычки весьма значительно. Общее сопротивление перемычки R_k равно сумме двух сопротивлений: контакта капли с ванной и капли с торцом электродной проволоки. Размеры контактов соотносятся с координатой Z_k центра масс капли [10]. Это позволяет описать сопротивление перемычки следующей функцией:

$$R_k \approx \rho_k \frac{D}{d_f \sqrt{(D - 2Z_k)(D + d_f - 6Z_k)}}, \quad (4)$$

где ρ_k — удельное сопротивление расплава; D — диаметр капли в момент КЗ.

На рис. 4 приведена зависимость сопротивления от координаты центра масс капли. Характер изменения и значения сопротивления совпадают с результатами работы [11].

Модель реализована в компьютерной программе для имитацион-

ного моделирования особенностей управления каплепереносом при сварке с КЗ.

Результаты имитационного моделирования УКП. Имитационное моделирование по модели, приведенной на рис. 2, позволяет определить изменение во времени множества взаимосвязанных параметров процесса сварки в фазах КЗ, плавления электрода и формиро-

вания капли при разных алгоритмах управления каплепереносом. Моделирование выполнено для сварки в CO_2 стальной проволокой диаметром 1,2 мм при скорости ее подачи 120 мм/с. Сварочный источник имел постоянный угол наклона ВАХ, равный 0,08 В/А. Наиболее наглядно прецизионные условия стабильного УКП выявлены, когда моделирование выполнили для замыкания

Исходные данные: характеристики электродной проволоки, источника питания, электрической дуги		
Начальное состояние: короткое замыкание дугового промежутка		
Цикл имитации: эволюции физических процессов плавления электрода и горения дуги с малым шагом времени		
Определение фазы процесса		
Короткое замыкание	Горение дуги	Обрыв дуги
Расчет сил на перемычке, ускорения, скорости и координат центра тяжести, сопротивления перемычки	Расчет тепловой мощности дуги, размера капли, воздействий на каплю	Расчет минимального тока обрыва
Расчет длины дугового промежутка		
Расчет напряжения и тока в сварочной цепи		
Расчет нагрева вылета электрода		
Анализ условий завершения микроцикла сварки		
Разрыв перемычки	Отрыв капли	Короткое замыкание
Повторение цикла имитации		

Рис. 3. Алгоритм имитационного моделирования особенностей процесса сварки с КЗ

Таблица 1

Вариант управления	Алгоритм управления	$U_{хх}$, В	τ_1 , мс	τ_5 , мс	I_0 , А
1	С полным ограничением тока короткого замыкания	35	20	0,5	40
2	С подачей импульса тока при коротком замыкании	35	20	0,5	40
3	Без активных воздействий	30	—	0	0

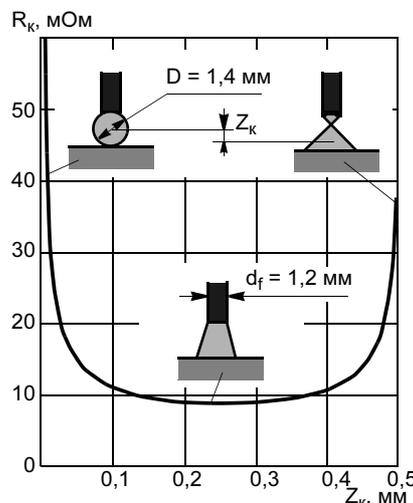


Рис. 4. Зависимость сопротивления перемычки R_k расплава от координаты Z_k

Таблица 2

Параметр	Вариант управления		
	1	2	3
Максимальный ток, А	270	265	210
Среднее значение тока, А	172	185	198
Максимальная длина дуги, мм	0,9	0,9	0,62
Средняя длина дуги, мм	0,48	0,47	0,19
Длительность КЗ, мс	5,6	5,4	4
Период переноса капель, мс	33	33	16
Диаметр капель, мм	1,65	1,65	1,25
Температура капель, °С	1780	1750	1680
Температура прогрева вылета, °С	336	368	372

ключа (см. рис. 1) на весь период КЗ, а также при кратковременном размыкании ключа в завершающей фазе КЗ. Для сравнения выполнена имитация процесса сварки без активных воздействий на каплеперенос для тех же значений диаметра и скорости подачи электродной проволоки. В этом случае для получения режима КЗ уменьшали U_{xx} источника питания сварочной дуги.

Исходные параметры процесса сварки с КЗ (U_0 , I_0 , длительность импульса тока плавления τ_1 и задержки включения тока τ_5 после КЗ) при трех разных вариантах управления приведены в табл. 1.

В табл. 2 приведены основные результаты расчета технологических характеристик процесса сварки с КЗ при различных алгоритмах УКП электродного металла.

На рис. 5—7 приведены результаты компьютерной имитации процесса сварки с КЗ в виде графиков синхронного изменения сварочного тока, напряжения и длины дуги нескольких последовательных микроциклов переноса электродного металла в сварочную ванну.

Визуализация модели УКП показала, что при импульсном вводе энергии период каплепереноса, размер капель и максимальная длина дуги существенно больше, чем при непрерывном режиме при отсутствии управляющих воздействий. Однако средние значения тока дуги различаются несущественно, что можно объяснить отсутствием подгрева вылета проволоки при ограничении тока КЗ. Существенное увеличение размера капель и максимальной длины дуги обусловлено увеличением тока дуги в фазе формирования капли, что в свою очередь является следствием повышения U_{xx} источника при импульсном управлении по сравнению с непрерывным режимом сварки. Увеличение периода переноса капель и длительности КЗ является прямым следствием ограничения максимального размера и массы капель. При замыкании управляющего ключа на весь период КЗ длительность этой фазы несколько больше, чем при подаче импульса тока в заключительной фазе КЗ, создающего электродинамическую силу, которая ускоряет

разрыв перемычки между электродной проволокой и каплей.

Анализ технологических преимуществ процесса сварки с УКП.

Главным недостатком неуправляемого процесса дуговой сварки с КЗ является относительно узкий диапазон параметров, в котором реализуется устойчивый процесс переноса электродного металла в сварочную ванну [3]. Причиной этого является невозможность регулирования размера капли при касании ее поверхности ванны и величины перемычки (шейки капли) при ее разрыве. При сварке с УКП общая длительность временного интервала формирования капли задана, что позволяет управлять процессом ее формирования, регулируя ток импульса. Если одновременно задавать напряжение на сварочном источнике, то можно дополнительно использовать эффект саморегулирования дуги. Это обеспечивает автоматическую корректировку тока при изменении скорости подачи электродной проволоки, а также ослабляет влияние нестабильности ее подачи на длину дуги, размер и период следования

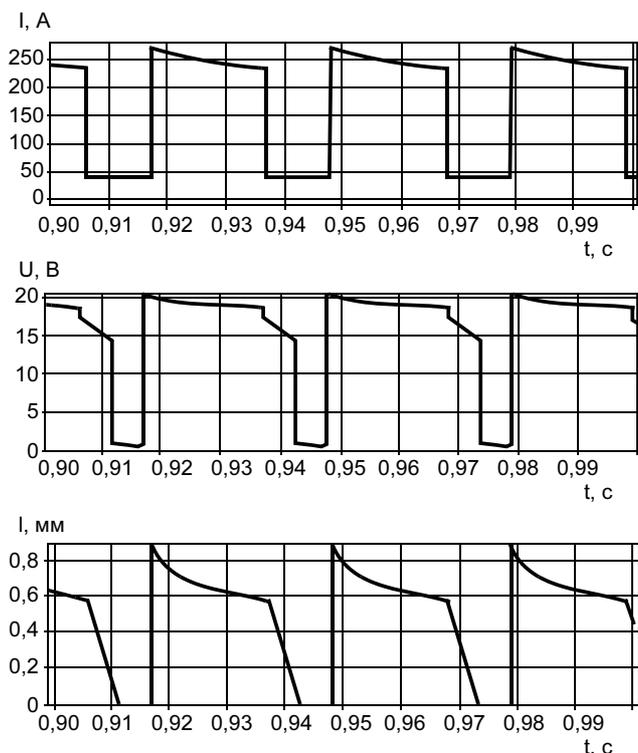


Рис. 5. Результат имитации процесса сварки с УКП при полном ограничении тока КЗ

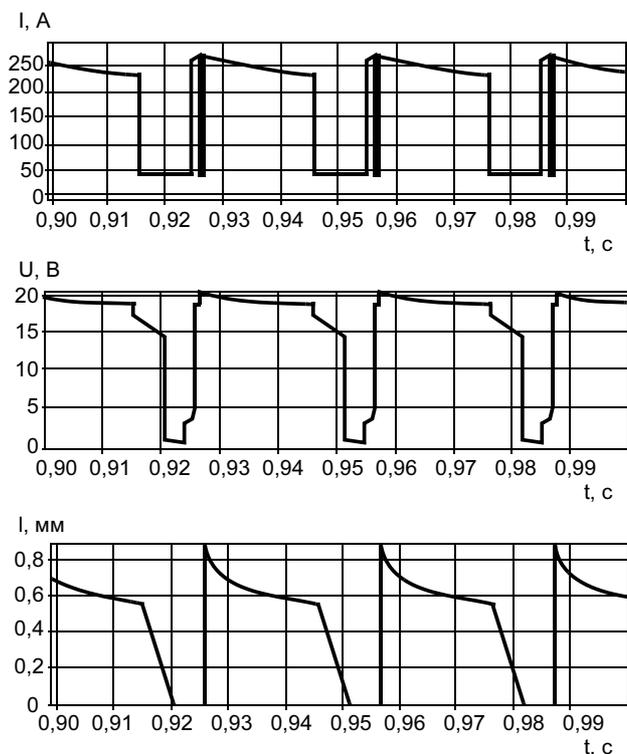


Рис. 6. Результат имитации процесса дуговой сварки с УКП с подачей импульса тока в завершающей фазе КЗ

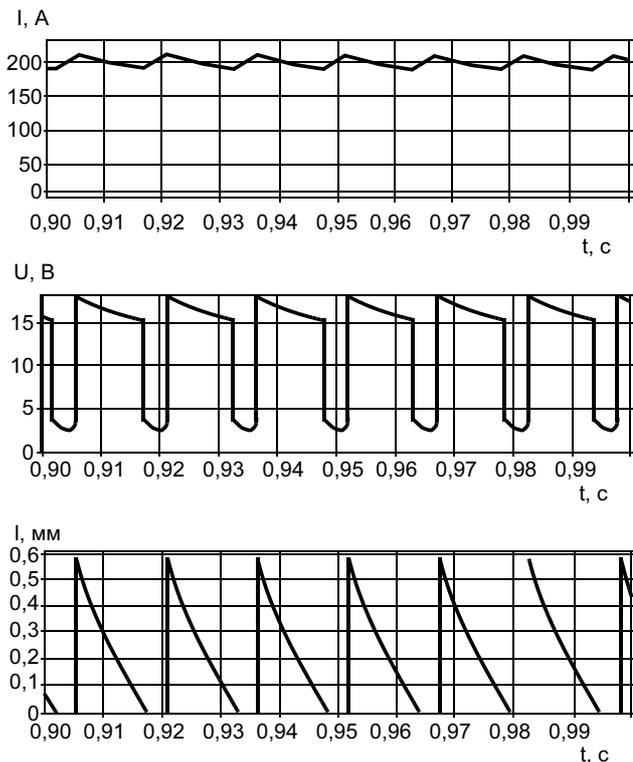


Рис. 7. Результат имитации процесса дуговой сварки с КЗ без активных воздействий на характер каплепереноса

капель. Последнее улучшает стабильность формирования и качества сварных соединений.

Указанные преимущества расширяют область параметров, при которых реализуется процесс сварки с УКП. Ограничением длительности и амплитуды импульса тока в фазе формирования капли является ее максимальный размер, при котором капля удерживается на электроде. Максимальное значение U_{xx} источника питания не ограничено, а минимальный ток дежурной дуги ограничен только условием поддержания размеров сформировавшейся капли. Имитация процесса сварки показала, что при управлении микроциклом одним ключом, шунтирующим дуговой промежуток, нет возможности произвольно устанавливать ток КЗ, так как он определяет ток в фазе формирования капли. Существенно уменьшить длительность КЗ, кратковременно размыкая ключ в его завершающей фазе, можно, только существенно увеличив ток в фазе формирования капли, для чего необходимо увеличить U_{xx}

источника с одновременным уменьшением длительности импульса тока.

Выявленные закономерности необходимо учитывать при конструировании различных видов высокотехнологичного оборудования для механизированной и автоматической сварки плавящимся электродом.

ВЫВОДЫ

1. Для определения параметров управляемого каплепереноса, которые необходимо учитывать при конструировании различных видов высокотехнологичного оборудования для сварки плавящимся электродом, выполнено имитационное моделирование особенностей переноса капель электродного металла при сварке с короткими замыканиями дугового промежутка.

2. Имитация процесса сварки с короткими замыканиями показала, что при управлении микроциклом сварки нет возможности произвольно устанавливать ток КЗ, так как он определяет фазу формирования капли. Существенно уменьшить дли-

тельность КЗ можно только путем увеличения тока в фазе формирования капли, кратковременного увеличения напряжения источника и синхронного уменьшения длительности импульса тока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ланкин Ю. Н. Автоматическое управление процессом сварки плавящимся электродом в CO_2 с периодическими замыканиями дугового промежутка (обзор) // Автоматическая сварка. 2007. № 1. С. 3—10.
2. Stava E. K. New surface transfer tension process speeds pipe welding // Pipe Line & Gas Industry. 1999. Vol. 82. N 9. P. 55—57.
3. Гецкин О. Б., Кудров Н. В., Яров В. Н. Особенности работы сварочных инверторов от автономных источников питания // Сварочное производство. 2004. № 4. С. 53—55.
4. Лебедев В. К. Тенденции развития источников питания и систем управления (по материалам патентов США) // Автоматическая сварка. 2004. № 1. С. 40—48.
5. Патон Б. Е., Лебедев А. В. Управление плавлением и переносом электродного металла при сварке в углекислом газе // Автоматическая сварка. 1988. № 11. С. 1—5.
6. Mao W., Ushio M. Measurement and theoretical investigation of arc sensor sensitivity in dynamic state during gas metal arc welding // Science and Technology of Welding & Joining. 1997. Vol. 2. N 5. P. 191—198.
7. Сравнительный анализ технологических возможностей новых установок для механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах / М. В. Карасев, Д. Н. Работинский, В. В. Соляник и др. // Сварщик в России. 2006. № 2. С. 33—37.
8. Pendant droplet oscillation during GMAW / B. Y. B. Yudodibroto, M. J. M. Hermans, Y. Hirata et al. // Science and Technology of Welding & Joining. 2006. Vol. 11. P. 308—314.
9. Особенности управляемого тепломасопереноса при сварке плавящимся электродом с короткими замыканиями дугового промежутка / С. И. Полосков, Ю. С. Ищенко, В. А. Лебедев, О. Б. Гецкин // Сварочное производство. 2002. № 7. С. 6—13.
10. Физико-математическая модель системы "источник питания — дуга" для сварки плавящимся электродом в защитных газах / О. Б. Гецкин, С. И. Полосков, В. А. Ерофеев, О. П. Витько // Тяжелое машиностроение. 2008. № 6. С. 18—20.
11. Orszach P., Kim Y. C., Horikawa K. Short-circuit transient phenomena in GMA / CO_2 Welding (I): Through-the-wire sensor for feedback torch height control // Transactions of JWRI. 1997. Vol. 26. N 1. P. 49—67.

В. А. БУЗАНОВСКИЙ, канд. техн. наук
НПО "Химавтоматика" (Москва)

Технология синтеза информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств веществ

Информационно-измерительные системы физико-химического состава и свойств веществ широко применяют в промышленности, сельском хозяйстве, обороне и др. Синтез данных систем связан с определением схем построения, удовлетворяющих предъявляемым требованиям, установлением условий их технической реализуемости и проведением работ по реализации названных схем систем. Перечисленные вопросы обсуждаются на протяжении не одного десятилетия. Круг рассматриваемых аспектов расширяется и детализируется. Вместе с тем относительная частность и односторонность рассмотрения, а также отдельная бессистемность их изучения часто приводят к необоснованному занижению технико-экономических характеристик синтезируемых систем. При этом основополагающие вопросы технологии разработки — общие принципы синтеза — систем указанного класса продолжают находиться на стадии становления, оставаясь научной проблемой, имеющей важное хозяйственное значение.

Для формирования общих принципов синтеза информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств веществ требуется:

- провести классификацию названных систем;
- выделить базовые системы, проанализировать и обобщить их структурные схемы;
- исследовать технико-экономические характеристики базовых систем;
- классифицировать задачи синтеза систем рассматриваемого класса и разработать обобщенные алгоритмы решения типовых задач синтеза.

Классификация систем. При классификации информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств веществ в качестве отличительного признака выбрана совокупность выполняемых ими функций и данный класс систем разделен на три подкласса:

- информационно-измерительные системы первого уровня;
- информационно-измерительные системы второго уровня;
- управляющие информационно-измерительные системы.

Подкласс управляющих информационно-измерительных систем характеризуется наличием функций организации и управления потоками информации, поступающей от систем второго уровня.

Системы второго уровня осуществляют получение и обработку измерительной информации. Этот подкласс систем может быть разделен на две группы — системы с комплексной и основной обработкой информации. Системы с комплексной обработкой информации используют комбинации основных видов ее об-

работки — формирование и представление в виде документов заданного образца, программных продуктов, световой и (или) звуковой сигнализации.

Подкласс систем первого уровня предназначен только для получения измерительной информации. Вследствие этого системы данного подкласса часто называют измерительными системами (ГОСТ Р 8.596—2002). Системы первого уровня подразделяются на две главные группы — системы разноименных и одноименных веществ. Системы разноименных веществ являются объединением нескольких систем одноименных веществ.

Системы одноименных веществ в свою очередь разделяются на две основные группы — многоточечные и одноточечные системы. Если в многоточечных системах не используется переключение точек измерений, то они являются объединением одноточечных систем, число которых равно числу точек измерений. При применении названного переключения многоточечные системы содержат одну одноточечную систему или являются объединением многоточечных систем с переключением меньшего числа точек измерений и (при необходимости) одной одноточечной системы.

Одноточечные системы могут получать измерительную информацию по методикам выполнения измерений (МВИ), базирующимся на совместном проведении прямых, косвенных и совокупных измерений (группа комбинированных систем), или по МВИ, основанным на их раздельном выполнении (группа базовых систем). Комбинированные системы являются объединением базовых систем, а группа базовых систем распадается на три подгруппы — системы на основе прямых, косвенных и совокупных измерений.

Следует отметить, что при определении физико-химического состава и свойств веществ прямые измерения составляют значительную часть. Косвенные измерения также широко применяют при определении физико-химического состава и свойств веществ (в частности, при отсутствии возможности проведения прямых измерений или несоответствии их характеристик предъявляемым требованиям косвенные измерения имеют особое значение). Совокупные измерения получили ограниченное распространение, в то время как совместные измерения практически не применяют.

В зависимости от того, предусматривают ли МВИ операции по преобразованию пробы, каждая подгруппа базовых систем разделяется на системы трех типов (табл. 1).

Системы первого уровня обязательно присутствуют в составе информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств веществ либо в качестве автономных измерительных систем, либо

Таблица 1

Обозначение типов базовых систем	МВИ, реализуемые базовыми системами, на основе					
	прямых измерений		косвенных измерений		совокупных измерений	
	Без преобразования пробы	С преобразованием пробы	Без преобразования пробы	С преобразованием пробы	Без преобразования пробы	С преобразованием пробы
1.1		•				
1.2	•					
1.3	•	•				
2.1				•		
2.2			•			
2.3			•	•		
3.1						•
3.2					•	
3.3					•	•

в качестве измерительных подсистем систем второго уровня или управляющих информационно-измерительных систем. Помимо этого получение любой измерительной информации о физико-химическом составе и (или) свойствах веществ осуществляется системами, являющимися или содержащими в своем составе базовые системы девяти типов.

Обобщенные структурные схемы базовых систем. При анализе структурных схем базовых систем установлено, что их основными функциональными частями являются подсистемы: отбора пробы, преобразования пробы, прямых измерений, пересчета результатов прямых измерений, расчета результатов косвенных измерений и совокупных измерений.

Указанные подсистемы объединяют технические средства для выполнения операций и правил, регламентируемых МВИ. В основе всех МВИ (в том числе косвенных и совокупных измерений) лежат операции и правила, направленные на проведение прямых измерений.

Объединение подсистем, предназначенных для получения информации при прямых измерениях, является простым измерительным каналом, а объединение простых измерительных каналов и подсистемы расчета результатов косвенных (совокупных) измерений — сложным измерительным каналом (ГОСТ Р 8.596—2002). Число простых измерительных каналов систем совпадает с числом параметров исследуемого вещества, определяемых на основе прямых измерений, а число сложных измерительных каналов — с числом параметров вещества, определяемых на основе косвенных (совокупных) измерений.

Простые измерительные каналы могут осуществлять "анализ он-лайн" ("analysis on-line") или "анализ оф-лайн" ("analysis off-line"). Отличие указанных видов анализа заключается в том, что при проведении "анализа оф-лайн" получение измерительной информации осуществляется с изъятием части исследуемого вещества (с отбором пробы), а при проведении "анализа он-лайн" изъятие не производится.

Простой измерительный канал для проведения "анализа он-лайн" содержит только подсистему прямых измерений, главной составной частью которой обычно является средство физико-химических измерений. Простой измерительный канал для выполнения "анализа оф-лайн" может содержать:

- подсистемы отбора пробы и прямых измерений (при неизменности физико-химического состава пробы при ее отборе);

- подсистемы отбора пробы, прямых измерений и пересчета результатов прямых измерений (при изменении физико-химического состава пробы при отборе);

- подсистемы отбора пробы, преобразования пробы, прямых измерений и пересчета результатов прямых измерений [1].

Подсистемы отбора пробы чаще всего реализуют:

- отбор части вещества в его естественном (газообразном, жидком, твердом) состоянии;

- отбор и фильтрацию части газообразного (жидкого) вещества;

- отбор части жидкого вещества и добавление в нее консерванта;

- отбор и абсорбцию (хемосорбцию) части газообразного вещества жидким поглотителем;

- отбор и экстракцию части жидкого (твердого) вещества жидким реактивом;

- отбор и адсорбцию части газообразного (жидкого) вещества твердым поглотителем.

При этом только первый способ отбора пробы не связан с изменением физико-химического состава отбираемой части вещества.

Подсистемы преобразования пробы используются в случаях, когда:

- измерения информативных параметров пробы не могут быть выполнены непосредственно средствами физико-химических измерений, в том числе если диапазоны измерений указанных средств не соответствуют значениям информативных параметров пробы;

- точность информации о параметрах пробы, получаемой непосредственно с помощью средств физико-химических измерений, не отвечает предъявляемым требованиям, например из-за недостаточной чувствительности и (или) селективности названных средств [1].

Отметим, что под преобразованием пробы понимается широкий круг операций (проведение химических реакций, сорбция, экстракция, разбавление и др.), осуществление которых приводит к изменению ее информативных и неинформативных параметров.

Подсистемы пересчета результатов прямых измерений предназначены для перевода измерительной информации о физико-химическом составе пробы, полученной в подсистеме прямых измерений, в результаты измерений информативных параметров исследуемого вещества. Указанные подсистемы обычно реализуются на базе технических средств подсистем прямых измерений, однако в ряде случаев они могут быть реализованы и на базе средств вычислительной техники подсистем расчета результатов косвенных (совокупных) измерений.

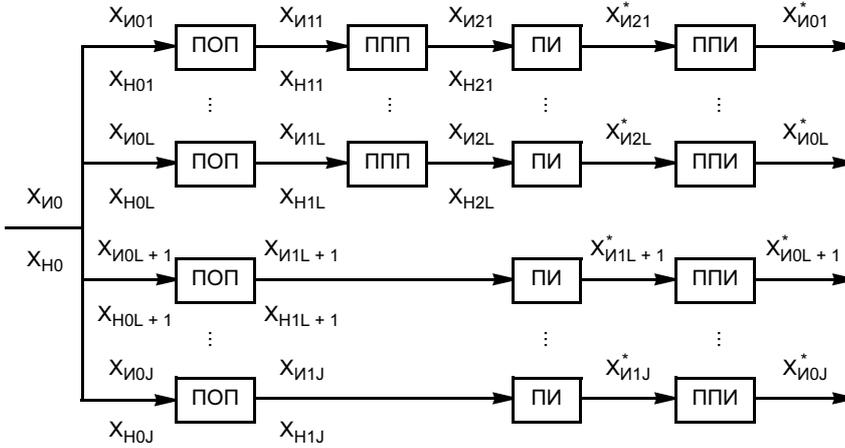


Рис. 1. Обобщенная структурная схема базовых систем типа 1.3 ($X_{И0}, X_{Н0}$ — множества информативных и неинформативных параметров вещества; $X_{И0t}, X_{И1t}, X_{И2t}$ — параметры вещества, пробы и преобразованной пробы, информативные для t -го простого измерительного канала; $X_{Н0t}, X_{Н1t}, X_{Н2t}$ — множества параметров вещества, пробы и преобразованной пробы, неинформативных для t -го простого измерительного канала; $X_{И0t}^*, X_{И1t}^*, X_{И2t}^*$ — результаты измерений параметра вещества, пробы, преобразованной пробы, информативного для t -го простого измерительного канала; J — число информативных параметров вещества, определяемых на основе прямых измерений (число простых измерительных каналов системы); L — число простых измерительных каналов, содержащих подсистему преобразования пробы)

В результате анализа, систематизации и обобщения структурных схем базовых систем определены их обобщенные структурные схемы. Последние отражают общие операции и правила получения измерительной информации, вследствие чего на их основе может быть создано большое число систем, соответствующих названным операциям и правилам, но имеющих различное техническое воплощение (рис. 1).

Технико-экономические характеристики систем и варианты предъявляемых требований. Изучение, анализ и систематизация результатов исследований технико-экономических характеристик базовых систем позволили сделать следующие выводы:

- технико-экономические характеристики систем (показатели погрешности измерений, надежности, быстродействия, материалоемкости, энергопотребления, стоимости) зависят от соответствующих технико-экономических показателей технических средств систем;
- совокупности технических средств, используемые в составе систем, определяются структурными схемами систем;
- технико-экономические характеристики систем могут зависеть от режимных параметров технических средств систем, т. е. параметров технических средств, позволяющих изменять режимы функционирования систем.

Таким образом, синтез информационно-измерительной системы физико-химического состава и свойств веществ должен заключаться в нахождении структурной схемы, совокупности технических средств и значений их режимных параметров или в определении только структурной схемы и совокупности технических средств системы, обеспечивающих соответствие ее технико-экономических характеристик предъявляемым требованиям.

Выделены пять вариантов требований, которые могут предъявлять к синтезируемой системе:

- к технико-экономическим характеристикам системы о соответствии их величин заданным значениям (ограничения синтеза);
- к обеспечению наименьшей (наибольшей) величины одной из технико-экономических характеристик системы (критерий синтеза) при отсутствии требований к ее остальным технико-экономическим характеристикам;

— к обеспечению наименьшего (наибольшего) значения одной из технико-экономических характеристик системы (критерий синтеза) при наличии требований к другим ее технико-экономическим характеристикам о соответствии их величин заданным значениям (ограничения синтеза);

— к обеспечению наименьшей (наибольшей) величины технико-экономической характеристики системы (второй критерий синтеза) при обеспечении наименьшего (наибольшего) значения ее другой технико-экономической характеристики (первый критерий синтеза) и отсутствии требований к остальным технико-экономическим характеристикам;

— к обеспечению наименьшей (наибольшей) величины технико-экономической характеристики системы (второй критерий синтеза) при обеспечении наименьшего (наибольшего) значения ее другой технико-экономической характеристики (первый критерий синтеза) и наличии требований к остальным технико-экономическим характеристикам о соответствии их величин заданным значениям (ограничения синтеза).

Отметим, что при втором и третьем вариантах требований критерий синтеза информационно-измерительной системы физико-химического состава и свойств веществ может как зависеть, так и не зависеть от значений режимных параметров ее технических средств. При четвертом и пятом вариантах требований первый критерий синтеза должен зависеть только от структурной схемы и совокупности технических средств системы, а второй критерий синтеза — от ее структурной схемы, совокупности технических средств и значений режимных параметров. При первом, третьем и пятом вариантах требований ограничения синтеза системы зависят от ее структурной схемы и совокупности технических средств, но также могут как зависеть, так и не зависеть от значений режимных параметров.

Типовые задачи синтеза систем и обобщенные алгоритмы их решения. Проведена классификация задач синтеза информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств веществ,

Таблица 2

Обозначение типов задач	Число критериев синтеза	Наличие ограничений синтеза	Определение		
			структурной схемы	совокупности технических средств	значений режимных параметров
1 : 1	0	●	●	●	●
1 : 2	1	●	●	●	●
1 : 3	1	●	●	●	●
1 : 4	2	●	●	●	●
1 : 5	2	●	●	●	●
2 : 1	0	●	●	●	Заданы
2 : 2	1	●	●	●	"
2 : 3	1	●	●	●	"
3 : 1	0	●	●	●	Отсутствуют
3 : 2	1	●	●	●	"
3 : 3	1	●	●	●	"

результатом которой явилось выделение 11 типов задач синтеза (табл. 2).

Согласно данным, приведенным в табл. 2, задачи синтеза первого рода (типы 1:1 — 1:5) состоят в нахождении структурных схем, совокупностей технических средств и величин режимных параметров технических средств систем. Задачи синтеза второго (типы 2:1 — 2:3) и третьего (типы 3:1 — 3:3) рода заключаются в определении только структурных схем и совокупностей технических средств систем. При этом задачи синтеза второго рода распространяются на системы, в которых значения режимных параметров технических средств заданы реализуемыми МВИ, а задачи синтеза третьего рода — на системы, технические средства которых не имеют режимных параметров.

Разработано обобщенное математическое описание задач синтеза выделенных типов. В частности, обобщенное математическое описание задач синтеза типа 1:5 имеет вид

$$\{G^{\wedge*}\} = \arg \inf [Z_2(S^*, N^*, G^{\wedge\Box}, X_{И0}, X_{Н0}^{\wedge})];$$

$$\{S^*, N^*\} = \arg \inf [Z_1(S_i^{\Box}, N_i^*, X_{И0}, X_{Н0}^{\wedge})],$$

$$N^* \rightarrow S^*, G^{\wedge\Box} \rightarrow N^*;$$

$$\{S_i^{\Box}, N_i^*\} = \arg \inf [Z_1(S_i^{\Box}, N_{iu}^{\Box}, X_{И0}, X_{Н0}^{\wedge})], G_i^{\wedge\Box} \rightarrow N_i^*;$$

$${}^1R_m^{\Box} \leq R_m(S_i^{\Box}, N_{iu}^{\Box}, G_{iu}^{\wedge\Box}, X_{И0}, X_{Н0}^{\wedge}) \leq {}^2R_m^{\Box},$$

$$m = 1, \dots, M;$$

$$N_{iu} \rightarrow S_i, G_{iu}^{\wedge} \rightarrow N_{iu}, u = 1, \dots, \check{U}_i, i = 1, \dots, \check{I};$$

$${}^1X_{И0}^{\Box} \leq X_{И0} \leq {}^2X_{И0}^{\Box}, {}^1X_{Н0}^{\Box} \leq X_{Н0}^{\wedge} \leq {}^2X_{Н0}^{\Box},$$

где S^*, N^*, G^{\wedge} — структурная схема, совокупность технических средств и значения их режимных параметров, соответствующие наименьшим значениям критериев синтеза системы; Z_1, Z_2 — первый и второй критерии синтеза системы; G — множество величин режимных параметров совокупности технических средств, соответствующей наименьшему значению первого критерия синтеза системы; N_i^* — совокупность техни-

ческих средств, соответствующая наименьшей величине первого критерия синтеза системы, построенной по i -й структурной схеме; G_i — множество значений режимных параметров совокупности технических средств, обусловленной i -й структурной схемой системы и соответствующей наименьшей величине первого критерия синтеза системы; R_m — m -е ограничение синтеза системы; ${}^1R_m, {}^2R_m$ — границы допускаемых значений m -го ограничения синтеза системы; M — число ограничений синтеза системы; S_i — символ i -й структурной схемы системы; N_{iu} — символ u -й совокупности технических средств, соответствующей i -й структурной схеме системы; G_{iu} — множество величин режимных параметров u -й совокупности технических средств, соответствующей i -й структурной схеме системы; I — число возможных структурных схем системы; \check{U}_i — число возможных совокупностей технических средств (количество множеств возможных значений режимных параметров технических средств), соответствующих i -й возможной структурной схеме; ${}^1X_{И0}, {}^2X_{И0}$ — границы допускаемых величин информативных параметров исследуемых веществ; ${}^1X_{Н0}, {}^2X_{Н0}$ — границы допускаемых значений неинформативных параметров исследуемых веществ.

Символами " \wedge ", " \Box " и " \square " соответственно обозначены номинальные, заданные и удовлетворяющие ограничениям синтеза параметры; символ " \rightarrow " обозначает операцию соответствия.

В результате анализа, систематизации и обобщения типовых задач синтеза установлено, что в общем случае синтез информационно-измерительной системы физико-химического состава и свойств веществ должен содержать следующие стадии:

- анализ МВИ;
- разработку возможных структурных схем системы;
- определение возможных совокупностей ее технических средств;
- оценку технико-экономических характеристик системы;
- выбор варианта ее построения.

В зависимости от предъявляемых требований синтез может заканчиваться определением одного или нескольких вариантов построения системы, а также отсутствием вариантов построения, соответствующих предъявляемым требованиям.

При отсутствии вариантов построения системы могут быть:

- проанализированы и изменены требования к ее технико-экономическим характеристикам;
- определены требования к новым техническим средствам, позволяющим обеспечить требуемые технико-экономические характеристики системы, и проведена разработка названных технических средств;
- определены требования к МВИ, позволяющим создать систему, соответствующую предъявляемым требованиям, и осуществлена разработка указанных МВИ.

На основе изложенного разработаны обобщенные алгоритмы решения задач синтеза первого, второго и третьего рода (рис. 2).

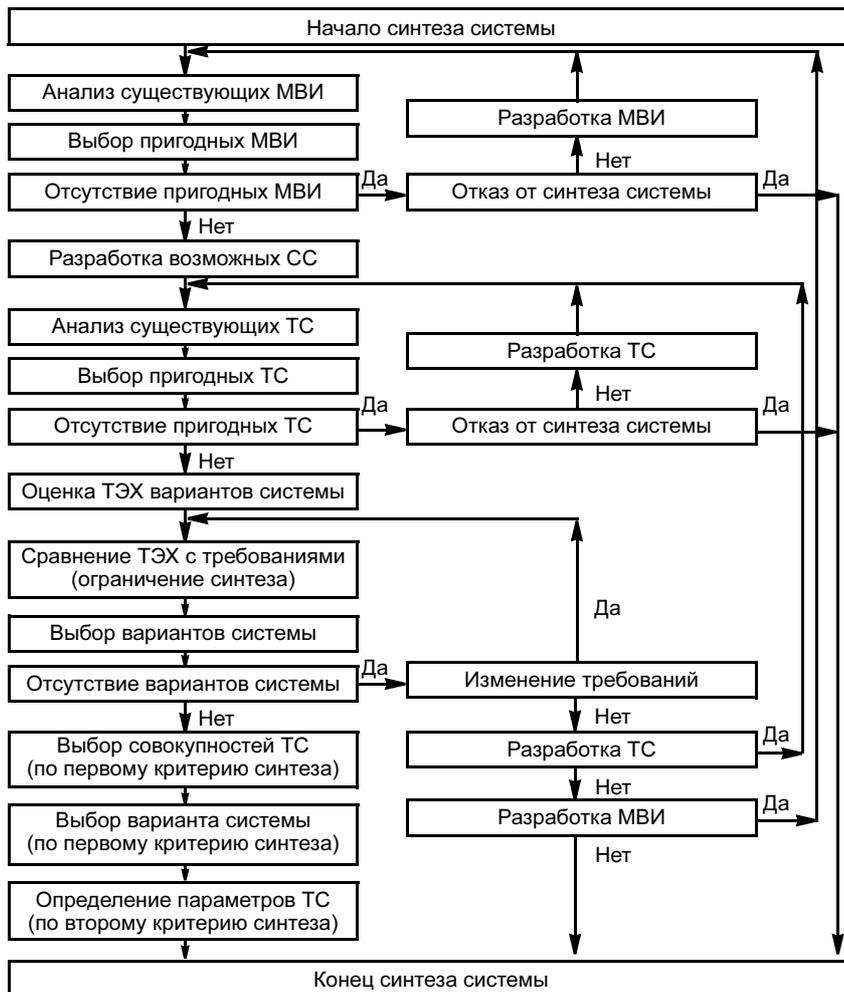


Рис. 2. Блок-схема обобщенного алгоритма решения задачи синтеза типа 1:5 (СС — структурная схема; ТС — техническое средство; ТЭХ — технико-экономическая характеристика)

Представленные результаты позволили сформулировать общие принципы синтеза информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств веществ:

- выбор или разработка МВИ, соответствующих требованиям к назначению систем (принцип определения методического обеспечения систем);
- разработка структурных схем систем, позволяющих реализовать выбранные или разработанные МВИ (принцип составления структурных схем систем);
- разработка вариантов построения систем в результате выбора или разработки совместимых технических средств, соответствующих структурным схемам систем и требованиям к условиям их применения (принцип составления функциональных схем систем);
- оценка технико-экономических характеристик вариантов построения систем на основе математического моделирования или экспериментального исследования (принцип оценки технико-экономических характеристик систем);
- выбор варианта построения систем, удовлетворяющего требуемым технико-экономическим характе-

ристикам (принцип выбора варианта построения систем).

Следует отметить, что перечисленные принципы конкретизируют аспекты разработки промышленных изделий (отражаемые стандартами ЕСКД) применительно к системам рассматриваемого класса и позволяют создавать системы с требуемыми технико-экономическими характеристиками независимо от их назначения или области применения. В частности, данные принципы были использованы при разработке:

- автоматизированных систем высокоскоростного анализа нитратов, аммония, марганца, алюминия, магния, кальция, фосфора и калия в почвах АСВА-П(Ц), АСВА-П(Ч), АСВА-П(М) и АСВА-П(К) [2];
- информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств природного газа АСИК "Метан", АСК "Бентонит", АКР "Севан" и АКР "Севан-2" [3];
- автоматических хемилюминесцентных устройств для детектирования оксидов азота, аммиака, озона, арсина и фосфина в атмосферном воздухе, воздухе рабочей зоны и газовых выбросах Клен-1, Клен-2, Клен-1-01, Клен-1-02, Клен-2-01, Клен-2-02, Клен-3, Клен-4, Платан-8 и Платан-8-01 [4];
- рентгенофлуоресцентных химико-аналитических комплексов для определения концентраций тяжелых металлов в объектах экологического контроля ИНЛАН-РФ [5];
- автоматической системы контроля содержания кислорода в воздухе помещений станции заправки образцов ракетно-космической техники 13Ш34.01;
- установки автоматического измерения концентраций азота и гелия в компонентах жидкого ракетного топлива УК-РГ.05.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузановский В. А. Типизация аналитических систем // Автоматизация химических производств. 1990. № 6. С. 28—31.
2. Бузановский В. А. Синтез агрохимических информационно-измерительных систем // Датчики и системы. 2008. № 3. С. 12—15.
3. Бузановский В. А., Овсепян А. М. Информационно-измерительные системы физико-химического состава и свойств природного газа // Газовая промышленность. 2008. № 2. С. 27—31.
4. Бузановский В. А., Булаев А. А. Хемилюминесцентные газоаналитические устройства для контроля вредных веществ в воздухе рабочей зоны // Безопасность труда в промышленности. 2007. № 12. С. 39—46.
5. Бузановский В. А., Попов А. А. Рентгенофлуоресцентный химико-аналитический комплекс // Экология и промышленность России. 2008. № 1. С. 4—6.

А. К. ЗУЕВ, д-р техн. наук, А. А. ЗУЕВ, канд. техн. наук, Ю. П. САВИНОВ, канд. техн. наук
Новосибирская государственная академия водного транспорта

О методике расчета цилиндрических зубчатых колес

Контактные напряжения обычно рассчитывают по общеизвестной формуле Герца [1]

$$\sigma_H = \sqrt{q \frac{E_{\text{пр}}}{\rho_{\text{пр}}(1 - \mu^2)}} \quad (1)$$

Эта формула составлена для случая контакта двух цилиндрических поверхностей, образующие которых параллельны оси вращения колес. Обычно при изложении методики расчета не упоминается о наличии избыточных связей в таких механизмах, существенно искажающих реальную картину нагружения и деформаций. Согласно формуле Сомова — Малышева [2], число избыточных связей в прямозубой цилиндрической передаче

$$W = 6(n - 1) - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1 = 6(3 - 1) - 5 \cdot 2 - 4 \cdot 1 = -2. \quad (2)$$

Формула Чебышева [2]

$$W = 3(n - 1) - 2P_5 - P_1 \quad (3)$$

не может быть применена, так как она подходит только для идеальных механизмов, находящихся в плоскопараллельном движении.

Три избыточных связи [2] (согласно приведенной выше формуле Сомова — Малышева) предполагают кинематическую пару четвертого класса в виде цилиндрического шарнира с возможностью проскальзывания колес вдоль оси этого шарнира. Однако цилиндрический шарнир превращает пару зубчатых колес в неподвижный механизм (форму в виде треугольника со сторонами: два радиуса этих колес плюс межцентровое расстояние). Если предположить, что в зоне контакта зубьев колес кинематическая пара третьего класса (это шар в сфере или параллелепипед на плоскости), исчезнет понятие контакта двух линейчатых поверхностей по их общей образующей, а две избыточные связи остаются. Можно утверждать, что при точном изготовлении зубчатых колес влияние избыточных связей становится несущественным, но почему же существует операция "фланкирование зубьев" [1]. Цель этой операции — устранение скалывания металла и попадания обломков вместе с маслом в зону зацепления.

Очевидно, что скалывание металла на кромках зубьев подтверждает факт отсутствия общей образующей двух эвольвентных линейчатых поверхностей и контакт этих поверхностей точечный. Можно привести факт, подтверждающий данный вывод. Так, поломки зубьев прямозубых цилиндрических колес происходят обычно в зоне торцевых участков колес, там, где податливость зуба больше (а жесткость меньше). Если бы контакт зубьев был не точечным и нагрузка распределялась бы более или менее равномерно по всей длине контактной линии, то поломка зубьев происходила бы в средней части зуба (там, где жесткость зуба самая большая).

Вывод из приведенных выше рассуждений — использовать приведенную формулу Герца для расчета на контактную прочность прямозубых цилиндрических колес нельзя. В прямозубых цилиндрических передачах нет общей образующей двух эвольвентных линейчатых

поверхностей (если колеса абсолютно твердые). Есть только точка контакта на том или другом торце колеса (там и выкрошивается зуб).

Можно поставить одно из колес на сферический шарнир и зафиксировать его от проворачивания на сфере специальной шпонкой. Тогда равномерное распределение нагрузки по всей длине контактной линии будет обеспечено. В таком механизме избыточных связей нет: $W = 6(4 - 1) - 5 \cdot 2 - 4 \cdot 1 - 3 \cdot 1 = 1$, и "фланкирование" не потребуется. Традиционная методика обретает смысл, утерянный из-за избыточных связей.

Не следует применять данную методику при расчете косозубых цилиндрических колес. Там отсутствует контактная линия. Расчет таких колес необходимо начинать с определения характеристик соприкасающихся поверхностей. Это поверхности двоякой кривизны и контактируют они только в точке, если тела абсолютно твердые (это кинематическая пара 1-го класса).

Избыточные связи отсутствуют: $W = 6(3 - 1) - 5 \cdot 2 - 1 \cdot 1 = 1$, и рассуждения о концентрации напряжений на контактной линии теряют смысл. Ведь контактируют тела, имеющие поверхности двоякой кривизны, которые в первом приближении можно принять в виде эллипсоидов с малыми неравными полуосями. Есть смысл оставить без внимания и рассуждения о растянутом (за счет коэффициента перекрытия) пятне контакта эллипсоидов, которые основаны на понятиях абсолютного твердого тела и идеального соблюдения параллельности валов колес, что в принципе недостижимо.

ВЫВОДЫ

1. Традиционные методики расчетов прямозубых цилиндрических колес на контактную прочность будут достоверными, если устранить избыточные связи в ступени, содержащей пару зубчатых колес.

2. Методика расчета цилиндрических косозубых (шевронных) колес базируется на геометрической модели, отличающейся от реальных очертаний рабочих поверхностей зубьев. Повышенная работоспособность косозубых и шевронных колес объясняется не увеличенным числом зубьев на "эквивалентном колесе", а устранением избыточных связей. Профили зубьев косозубых цилиндрических колес — это поверхности двоякой кривизны и контактируют они (могут контактировать как абсолютно твердые тела) только в одной точке.

3. Можно высказывать возражения, что зубья косозубых цилиндрических колес не эллипсоиды и могут иметь на рабочих поверхностях участки не только выпуклые, но и вогнутые и даже линейчатые. Но если контакт двух звеньев происходит в двух точках (даже бесконечно близких друг другу), кинематическая пара 1-го класса сразу превращается в пару 2-го класса, а зубчатый механизм приобретает избыточные связи со всеми недостатками, отмеченными выше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов М. Н. Детали машин. М.: Высшая школа, 1967.
2. Левитская О. Н., Левитский Н. И. Курс теории механизмов и машин. М.: Высшая школа, 1978. С. 16.

Ю. В. ШЕВЕЛЕВ, инж.
ОАО "НПП "Эталон" (Омск)

Внедрение ГОСТ Р 8.624—2006 с использованием метрологического оборудования производства ОАО "НПП "Эталон"

С 1 января 2008 г. в РФ введены в действие новые национальные стандарты ГОСТ Р 8.625—2006 и Р 8.624—2006, устанавливающие технические требования и методику поверки для рабочих термометров сопротивления (ТС). Сложность внедрения данных стандартов обусловлена тем, что в стандарте ГОСТ Р 8.624 появился термин "неопределенность измерений", который требует больших математических расчетов и более осмысленного применения, чем старый термин "погрешность измерений". Математические расчеты на современном уровне развития вычислительной техники не вызывают особых проблем.

ГОСТ Р 8.624—2006 формулирует требования как к отдельным видам средств поверки (п. 6.3 — эталонные термометры сопротивления, п. 6.4 — термостаты и калибраторы, п. 6.5 — аппаратура для реализации реперных точек, п. 6.6 — измерительная аппаратура), так и ко всему комплексу поверочного оборудования (п. 6.8). Какими же требованиями должен руководствоваться поверитель при выборе средств измерений для поверки термометров сопротивления. По мнению автора, поверитель должен выполнять требование п. 6.8 ГОСТ Р 8.624: "Перед использованием средств поверки ТС необходимо провести расчет ожидаемой расширенной неопределенности поверки ТС по данным свидетельств о поверке термостата или калибратора и о поверке всех остальных используемых средств измерений по методике, изложенной в разделе 11. Рассчитанная расширенная неопределенность поверки ТС (или предел погрешности поверки) должна быть в 2 раза меньше требуемого допуска ТС по ГОСТ Р 8.625." При этом следует понимать, что нормируется расширенная неопределенность поверки, в которую входит много составляющих, что позволяет при разных значениях этих составляющих получить результирующее значение расширенной неопределенности поверки одним и тем же.

Рассмотрим данное утверждение на примере из приложения В ГОСТ Р 8.624.

Задача: оценить расширенную неопределенность поверки ТС класса А при температуре 95 °С с применением жидкостного термостата.

Поверяемый термометр — термометр сопротивления типа ТСП, условное обозначение НСХ — Pt100, класс А по ГОСТ Р 8.625, допуск при 95 °С $\pm 0,34$ °С.

Средства измерений, используемые при поверке:
случай 1:

- водяной термостат

— нестабильность температуры $\Delta_{\text{СТ}} = \pm 0,02$ °С;
— неравномерность температуры в рабочем объеме $a_F = \pm 0,01$ °С;

- эталонный термометр
— расширенная неопределенность (или доверительная погрешность при доверительной вероятности 95 %) при 100 °С $U_3 = \pm 0,12$ °С;

— нестабильность за межповерочный интервал $a_3 = \pm 0,05$ °С;

- мост постоянного тока
— предел основной допускаемой погрешности $\Delta_{\text{пр}} = \pm 0,002$ Ом;

- СКО результата измерения сопротивления 100-омного ТС в поверочной лаборатории при 95 °С $u(r_{\text{lab}}) = 0,005$ Ом;

случай 2:

- термостат регулируемый TP-1M-300
— нестабильность температуры $\Delta_{\text{СТ}} = \pm 0,03$ °С;
— неравномерность температуры в рабочем объеме $a_F = \pm 0,02$ °С;

- эталонный термометр ЭТС-100 3-го разряда
— расширенная неопределенность (или доверительная погрешность при доверительной вероятности 95 %) при 100 °С $U_3 = \pm 0,03$ °С;

— нестабильность за межповерочный интервал $a_3 = \pm 0,01$ °С;

- вольтметр универсальный цифровой В7-34
— предел основной допускаемой погрешности, %, равен $\pm [0,015 + 0,002(R_x/R_k - 1)]$, в данном случае $\Delta_{\text{пр}} = \pm 0,038$ Ом;

- СКО результата измерения сопротивления 100-омного ТС в поверочной лаборатории при 95 °С $u(r_{\text{lab}}) = 0,005$ Ом.

Бюджет неопределенности измерения температуры в термостате эталонным термометром приведен в табл. 1, а измерения сопротивления поверяемого ТС — в табл. 2. Рассчитанные значения суммарной стандартной неопределенности поверки и расширенной неопределенности поверки приведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, значения расширенной неопределенности поверки в обоих случаях сравнимы и более чем в 2 раза меньше допуска поверяемого ТС. Таким образом, и первый, и второй комплекты оборудования могут использоваться для поверки данного термометра сопротивления.

В рассматриваемом примере подбирали оборудование для поверки термометра сопротивления класса А в одной точке диапазона. Однако, по мнению автора,

Таблица 1

Источник неопределенности и метод расчета	Случай 1			Случай 2		
	Оценка стандартной неопределенности	Коэффициент влияния	Вклад в суммарную стандартную неопределенность	Оценка стандартной неопределенности	Коэффициент влияния	Вклад в суммарную стандартную неопределенность
Случайные эффекты при измерении (по пяти измерениям) $u(\delta r_{lab-5}) = u(\delta r_{lab})/\sqrt{5}$	0,0022	1/0,385	0,0058	0,0022	1/0,385	0,0058
Нестабильность температуры в термостате $u(t_s) = \Delta_{CT}/\sqrt{3}$	0,0116	1	0,0116	0,0173	1	0,0173
Градуировка эталонного термометра $u(\delta t_c) = U_g/2$	0,06	1	0,06	0,0150	1	0,0150
Электроизмерительная установка $u(\delta r_s) = \Delta_{np}/3$	0,00067	1/0,385	0,0017	0,0127	1/0,385	0,0329
Нестабильность эталонного термометра за межповерочный интервал $u(\delta t_r) = a_g/\sqrt{3}$	0,0289	1	0,0289	0,0058	1	0,0058
Суммарная стандартная неопределенность температуры $u_c(t_x)$, °C			0,068			0,041

Таблица 2

Источник неопределенности и метод расчета	Случай 1			Случай 2		
	Оценка стандартной неопределенности	Коэффициент влияния	Вклад в суммарную стандартную неопределенность	Оценка стандартной неопределенности	Коэффициент влияния	Вклад в суммарную стандартную неопределенность
Случайные эффекты при измерении (по пяти измерениям) $u(\delta r_{lab-5}) = u(\delta r_{lab})/\sqrt{5}$	0,0022	1	0,0022	0,0022	1	0,0022
Электроизмерительная установка $u(\delta r_k) = \Delta_{np}/3$	0,00067	1	0,00067	0,0127	1	0,0127
Перепад температур в рабочем объеме $u(\delta t_F) = a_F/\sqrt{3}$	0,0058	0,385	0,0022	0,0115	0,385	0,0044
Суммарная стандартная неопределенность сопротивления $u_c(R_k)$, Ом			0,0032			0,0136

Таблица 3

Расчитанные значения	Случай 1	Случай 2
Суммарная стандартная неопределенность поверки $u_c(R)$, Ом	0,0262	0,0208
Расширенная неопределенность поверки при $k = 2$ u_r , °C	0,136	0,108

Таблица 4

Температура, °C	Допуск ТСП при этой температуре по ГОСТ Р 8.625, °C				Расширенная неопределенность поверки с помощью данного термостата + ЭТС-100 + В7-57/3, °C (пригодность для поверки ТСП класса, указывается самый точный класс)						
	AA	A	B	C	ТН-2М	ТП-2	КР-40-2	КР-190	ТР-1М-300	ТР-1М-В	ТР-1М-У1
-190	—	—	1,25	2,5	—	—	—	0,140 (B)	—	—	—
-60	—	0,27	0,6	1,2	—	—	—	0,134 (A)	—	—	—
-40	0,168	0,23	0,5	1,0	—	—	0,056 (AA)	—	—	—	—
0	0,1	0,15	0,3	0,6	0,052 (A)	—	0,052 (A)	—	—	—	—
40	0,168	0,23	0,5	1,0	—	—	0,057 (AA)	—	0,057 (AA)	—	0,057 (AA)
100	0,27	0,35	0,8	1,6	—	0,87 (AA)	—	—	0,058 (AA)	0,058 (AA)	0,058 (AA)
200	0,44	0,55	1,3	2,6	—	—	—	—	0,065 (AA)	0,065 (AA)	0,065 (AA)
300	—	0,75	1,8	3,6	—	—	—	—	—	0,076 (A)	0,076 (A)

Таблица 5

Температура, °С	Допуск ТСП при этой температуре по ГОСТ Р 8.625, °С				Расширенная неопределенность поверки с помощью АРМ ПТС, °С (пригодность для поверки ТСП класса, указывается самый точный класс)		
	АА	А	В	С	10П	100П	1000П
0	0,1	0,15	0,3	0,6	0,05 (АА)	0,05 (АА)	0,05 (АА)
100	0,27	0,35	0,8	1,6	0,063 (АА)	0,063 (АА)	0,063 (АА)

самым актуальным на данном этапе является вопрос, можно ли с помощью предлагаемого на рынке в настоящее время метрологического оборудования осуществлять поверку термометров сопротивления в соответствии с требованиями нового стандарта ГОСТ Р 8.624 в требуемом диапазоне температур.

В табл. 4 приведены значения расширенной неопределенности поверки платинового ТС с НСХ 100П с использованием эталонного термометра сопротивления ЭТС-100 3-го разряда, вольтметра универсального В7-54/3 и серийно выпускающихся термостатов и криостатов производства ОАО "НПП "Эталон". Анализ значений, приведенных в табл. 4, позволяет сделать вывод о том, что, правильно выбрав комплекс поверочного оборудования, можно поверять ТС классов А, В, С и даже самого точного класса АА с выполнением требований нового стандарта ГОСТ Р 8.624 с тем оборудованием, которое разрабатывали для выполнения требований ГОСТ 8.461 [3] и в настоящее время серийно выпускается.

В том случае, когда производитель предлагает полностью укомплектованный комплекс оборудования для поверки ТС, необходимо удостовериться, что все требования нового ГОСТ Р 8.624 выполняются, так как заменить какую-либо часть комплекса очень сложно.

Рассмотрим автоматизированное рабочее место для поверки термометров сопротивления (АРМ ПТС), выпускаемое ОАО "НПП "Эталон".

Требование п. 9.3 ГОСТ Р 8.624 "Экспериментальная оценка неопределенности единичного измерения сопротивления в условиях конкретной поверочной лаборатории" выполняется в АРМ ПТС по отдельной команде сервисного меню. ГОСТ Р 8.624 рекомендует использовать при этой операции термостатированные меры сопротивления, реперные точки или высокостабильные жидкостные термостаты, поэтому, учитывая отсутствие реперных точек или высокостабильных жидкостных термостатов в большинстве региональных метрологических центров, в АРМ ПТС предусмотрено использование мер сопротивления или высокоточного магазина сопротивлений. Для каждого канала изме-

рения производится 50 измерений и автоматически рассчитывается СКО результата измерения. Данная информация сохраняется в защищенном файле.

При проведении поверки программа на основании данных о типе подключенного ТС и реализуемой в термостате температурной точке автоматически выбирает требуемое значение СКО единичного измерения, которое используется для расчета бюджета неопределенностей в соответствии с ГОСТ Р 8.624.

Согласно требованию п. 10.3.1.3 ГОСТ Р 8.624, критерием достижения стабильного состояния является изменение сопротивления ТС не более чем на 1/10 допуска за 5 мин. Данное требование выполняется в АРМ ПТС автоматически, оператор только должен указать, какого класса термометры он собирается поверять.

В п. 10.3.1.3 ГОСТ Р 8.624 требуется, чтобы при использовании автоматических мостов результат каждого измерения был получен как среднее арифметическое значение не менее чем из пяти отсчетов. Цикл измерений должен повторяться не менее 2 раз. Температура эталонного термометра за все время измерений не должна измениться более чем на 1/5 допуска поверяемых ТС. Все эти требования автоматически выполняются в АРМ ПТС.

Согласно требованию п. 10.3.5 ГОСТ Р 8.624, программа АРМ ПТС на основании информации о применяемом оборудовании автоматически рассчитывает расширенную неопределенность поверки ТС и присваивает класс допуска поверенным ТС.

В табл. 5 приведена оценка расширенной неопределенности поверки различных ТС с помощью АРМ ПТС.

На основании данных табл. 5 можно сделать вывод, что с помощью АРМ ПТС можно поверять ТС классов А, В, С и даже самого точного класса АА с выполнением требований нового стандарта ГОСТ Р 8.624.

Таким образом, в настоящее время можно проводить поверку термометров сопротивления всех классов допуска по ГОСТ Р 8.624—2006 с использованием АРМ ПТС или отдельных термостатов производства ОАО "НПП "Эталон".

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ

С. М. САЙФУТДИНОВ
ООО "АТГ" (С.-Петербург)

Капиллярный контроль: история и современное состояние

Капиллярный метод является одним из самых старых и одним из самых чувствительных методов НК поверхностей (ширина раскрытия несплошности 1 мкм и менее) и поэтому широко используется в промышленности в тех случаях, когда невозможно использовать магнитопорошковый метод (также весьма чувствительный, более дешевый, в настоящее время автоматизируемый) (табл. 1).

Метод контроля проникающими веществами, который часто именуют как капиллярный метод НК, основан на явлениях капиллярного проникновения (пенетрации) индикаторных жидкостей (пенетрантов) в полости поверхностных и сквозных несплошностей материала ОК и регистрации образующихся индикаторных следов визуальным способом или с помощью преобразователя. Проникающая способность является комплексным свойством жидкостей, на которое влияет множество факторов, зависящих от характера поверхности и вида контролируемого материала, типа пенетранта, температуры и наличия или отсутствия загрязнений.

Физические свойства проникающих веществ:

- вязкость;
- поверхностное натяжение;
- смачиваемость;
- удельный вес;
- летучесть;
- точка воспламенения (температура вспышки);
- растворимость;
- чувствительность к загрязнениям;
- токсичность;
- запах;
- инертность.

Основным показателем проникающей способности пенетранта является поверхностное натяжение. Чем ниже поверхностное натяжение, тем выше проникающая способность. Другим термином, используемым в литературе по пенетрантам, является "эффективность удерживания дефекта". Этот термин отражает способность пенетранта образовывать индикаторный рисунок так, чтобы его размеры были достаточны для визуального обнаружения.

Основной состав пенетрантов:

- высококипящие растворители;
- поверхностно-активные вещества (ПАВ);
- связующие;
- ингибиторы коррозии;
- красители (люминофоры).

Впервые материалы для капиллярного контроля были приведены в 1956 г. в военной спецификации MIL-1-25135, которая впоследствии (1996 г. и переиздание в 2002 г.) трансформировалась в AMS-2644 (American Material Specification). Затем с середины шестидесятых годов начали использоваться высокочувствительные водосмываемые пенетранты. Кроме того, потребовалось учитывать гидрофильные эмульгаторы, пенетранты с чувствительностью более высокого уровня, а также распознавание различий в чувствительности сухих, водных и безводных мокрых проявителей. Экологические требования и необходимость совместимости также привели к появлению новых материалов, новых технологий и нового оборудования.

Основной метод капиллярного контроля не изменялся в течение многих лет. Внедрение современных новых материалов и технологий в основном было на-

Таблица 1

Метод	Время контроля	Ограничения	Чувствительность	Надежность	
				Оборудование	Оценка
Капиллярный	Среднее	Только дефекты, выходящие на поверхность	Высокая (в зависимости от проникающего вещества)	Высокая	Органолептически
Магнитопорошковый	Короткое	Только ферромагнитные материалы. Ограниченная глубина	Очень высокая	"	Органолептически, возможна автоматизация
Радиография	От среднего до длительного	Практически нет	Средняя	Средняя	Органолептически/инструментально
Ультразвуковой	То же	То же	"	"	Органолептически, возможна автоматизация
Вихре-токовый	Короткое	Специфические типы дефектов	Высокая	"	То же

правлено на расширение диапазона чувствительности и повышение качества контроля. Имеется достаточное количество материалов, которые позволяют провести выбор и разработку методов, удовлетворяющих, по существу, любым требованиям чувствительности, совместимости или экологии.

Необходимость в технических требованиях на материалы для капиллярного контроля стала очевидной при проведении военной приемки. Технические условия MIL-1-25135 были подготовлены в 1955 г. Первый Лист качества продукции (ныне именуемый QPL SAE AMS-2644) был издан в 1957 г. и с тех пор регулярно пополняется новыми материалами.

Наряду с упомянутым документом в мировой практике капиллярного контроля также руководствуются американскими стандартами (ASTM E 1417 — стандартный процесс пенетрантного контроля; ASTM E 165-95 — стандартный метод пенетрантного контроля; ASTM E1209-99 — стандартный метод пенетрантного контроля флуоресцентными водосмываемыми пенетрантами) и европейскими (EN ISO 3452-2 — неразрушающий контроль. Капиллярный контроль. Ч. 2. Испытание проникающих жидкостей; EN 571-1:1997 — неразрушающий контроль. Капиллярный контроль. Общие принципы).

Также ряд известных производителей авиационных двигателей (Pratt & Whitney, Rolls-Royce, General Electric, Aerospatiale) используют собственные стандарты, которые, впрочем, полностью основаны на перечисленных — главных.

В России, как на всем постсоветском пространстве, в практике капиллярного контроля используется в качестве основного ГОСТ 18442—80.

Сущность требований к капиллярному контролю в перечисленных нормативных документах принципиальных различий не имеет, кроме чувствительности (табл. 2).

В зависимости от способа смывания и характера визуализации пенетранты разделяют на группы. В соответствии с AMS-2644 пенетранты в QPL разделены на группы следующим образом.

Группа I: Органосмываемый цветной пенетрант.

Группа II: Цветной пенетрант последующего эмульгирования.

Группа III: Водосмываемый цветной пенетрант.

Группа IV: Водосмываемый флуоресцентный пенетрант (низкая чувствительность).

Группа V: Флуоресцентный пенетрант последующего эмульгирования (средняя чувствительность).

Группа VI: Флуоресцентный пенетрант последующего эмульгирования (высокая чувствительность).

Группа VII: Органосмываемый флуоресцентный пенетрант KIT (представляющий собой пенетрант группы VI, совмещенный с растворителем и безводным мокрым проявителем).

Чувствительность групп I—III примерно соответствует чувствительности группы IV. Эти сравнения уровня чувствительности являются корректными только в тех случаях, когда используются одинаковые типы проявителя. Различные типы проявителей оказывают разное влияние на чувствительность пенетрантов.

Весь предшествующий опыт позволил учесть в упомянутых стандартах наиболее современные способы применения капиллярного контроля, удовлетворяющие по качеству MIL-1-25135. Большинство же материалов, перечисленных в QPL, превышают минимальные требования MIL-1-25135. Таким образом, выделены шесть различных методов капиллярного контроля, которые выглядят следующим образом.

Тип I. Флуоресцентные методы:

метод А: водосмываемый (группа IV);

метод В: последующего эмульгирования (группы V и VI);

метод С: органорастворимый (группа VII);

Тип II. Цветные методы:

метод А: водосмываемый (группа III);

метод В: последующего эмульгирования (группа II);

метод С: органорастворимый (группа I).

Размер индикаторного рисунка зависит от объема поглощенного несплошностью пенетранта. Более длинная несплошность (более длительное время проникновения) удерживает большее количество пенетранта, который остается в трещине и, поступая в проявитель, образует индикаторный рисунок. Кроме влияния, оказываемого объемом пенетранта, длина несплошности обычно является основным параметром размера индикаторного рисунка, обеспечивая его различение невооруженным глазом. Очень тонкие повреждения или трещина, вызванная коррозией, могут привести к появлению индикаторного рисунка, который слишком узок для визуального определения, поскольку его длина недостаточна для обнаружения. Проведенное в 1970 г. исследование показало, что люминесцентный индикаторный рисунок длиной 0,25 мм может быть обнаружен примерно в 45 % случаев при достоверности 95 %; а длиной 1,1 мм — в 90 % случаев с достоверностью 95 %.

Значение свойств пенетрантов для капиллярного контроля велико. Однако не следует забывать о правильном выборе проявителя. Именно качество проявителя определяет его способность обеспечить ровное покрытие поверхности для обеспечения хорошего фона индикаторным рисунком. Высокие сорбционные свойства проявителя являются залогом надежного "вытягивания" пенетранта из несплошности в процессе проявления. Проявители, в сущности — сорбенты из соединений кремния, белого цвета, химически ней-

Таблица 2

Ширина раскрытия дефекта, мкм	Уровень (класс) чувствительности по ГОСТ 18442	Уровень (класс) чувствительности по AMS-2644
<1	I	IV
1—10	II	III
10—100	III	II
100—500	IV	I
Не нормируется	Технологический	1/2

тральные. Различают проявители сухие и мокрые, последние в свою очередь делятся на водные и не водные (в органических растворителях), в виде суспензии либо раствора. Так, для обнаружения дефектов с шириной раскрытия менее микрона (например, для контроля вращающихся частей газотурбинных двигателей) в соответствии со стандартом AMS требуются флуоресцентный пенетрант и сухой порошковый проявитель. Такой проявитель в силу высокой дисперсности позволяет при электростатическом или вихревом нанесении обеспечить тонкий равномерный слой для уверенного вытягивания малого количества пенетранта из мелких дефектов и образования индикаторного рисунка. Мокрые проявители могут не обеспечить равномерность тонкого слоя, и малая толика пенетранта из мелкого дефекта может остаться в толще проявителя, не обеспечив индикацию.

Важную роль в практике капиллярного контроля играет качественная и правильная очистка поверхности ОК до нанесения пенетранта. Механическая, химическая очистка поверхности и даже в ряде случаев травление являются неотъемлемой частью технологического процесса капиллярного контроля.

Капиллярное давление обеспечивает более быстрое проникание в более тонкую чистую несплошность, чем в широкую трещину. В практических условиях многие несплошности содержат различного вида загрязнения. Это особенно заметно на деталях, которые находились в эксплуатации и имеют усталостные трещины, загрязненные нефтепродуктами и влагой (рис. 1). Трещины коррозии под напряжением и вызванные межкристаллитной коррозией заполнены к тому же продуктами коррозии или другими оксидами. Очистка может уменьшить загрязнения нефтепродуктами и влагой, однако при этом практически не удаляются плотно прилегающие продукты коррозии. Поскольку часть объема трещины заполнена указанными веществами, потенциальный объем проникающего пенетранта уменьшается. По этой причине в некоторых случаях требуется до 4 ч полной продолжительности контакта пенетранта с поверхностью ОК при обнаружении трещин коррозии под напряжением и вызванных межкристаллитной коррозией.

Вода имеет более высокое поверхностное натяжение, чем большинство углеводородов, составляющих основу пенетрантов. Если загрязняющее вещество, содержащее влагу, находится в дефекте, вода может смешиваться с водосмываемым пенетрантом, что мо-

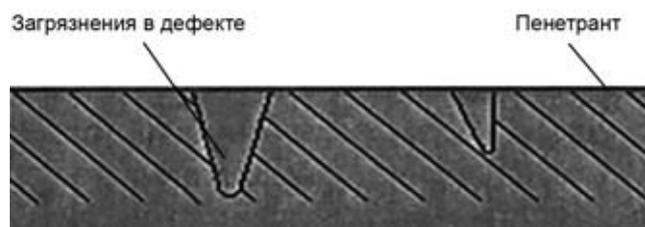


Рис. 1. Пенетрант не проникает в загрязненный дефект

жет увеличить краевой угол смачивания и таким образом уменьшить скорость пропитки и чувствительность контроля. Подобные результаты могут наблюдаться также при использовании некоторых пенетрантов последующего эмульгирования.

Шероховатость поверхности влияет на скорость распространения пенетранта. Растекание нефтепродуктов по поверхности происходит в две стадии. Сначала появляется невидимый мономолекулярный слой жидкости, который распространяется по фронту видимого основного слоя. Тонкие царапины на поверхности могут образовать щели, обеспечивающие капиллярное действие мономолекулярного слоя; это может увеличить поток пенетранта по поверхности детали. Если стенки несплошности и поверхность контролируемой детали покрыты мономолекулярным слоем нефтепродукта (что может получиться после парового обезжиривания), сопутствующее капиллярное действие, возникшее в результате появления такого слоя нефти, может способствовать увеличению скорости движения пенетранта (вторая стадия).

Видимость индикаторных рисунков зависит от типа красителя в пенетранте, его концентрации и степени обесцвечивания при его нагревании, действии химических загрязнений или ультрафиолетового излучения. Увеличение концентрации красителя или насыщенности его цвета либо яркости люминесценции повышают его видимую чувствительность.

Процесс эмульгирования может воздействовать на эффективность обнаружения дефектов. Шероховатость поверхности детали оказывает большое влияние на время пропитки. Деталь с гладкой механически обработанной поверхностью не требует большого времени эмульгирования. При использовании липофильного эмульгатора достаточно 1/2 или 3/4 мин с момента нанесения на деталь эмульгатора до времени ее промывания разбрызгиванием. Если необходимо, деталь может быть снова погружена в эмульгатор и медленно промыта для уменьшения чрезмерного фона. Такой способ обеспечивает лучший контроль процесса эмульгирования, чем повторная обработка детали пенетрантом с последующим увеличением времени эмульгирования.

Фон представляет собой фактор, который рассматривался в документации по обработке деталей материалами в течение ряда лет. Многие документы устанавливают, что деталь должна быть эмульгирована и промыта до такой степени, чтобы после нанесения проявителя не появился фон. Однако при магнитопорошковом контроле всегда имеется некоторый люминесцирующий фон. Яркость индикации должна превышать яркость фона с тем, чтобы индикаторные рисунки могли быть легко обнаружены. Поскольку многие из контролеров, проводящих капиллярный контроль, участвуют также в выполнении магнитопорошкового контроля, они привыкли к таким условиям контраста яркости на контролируемой поверхности. Отсутствие какого-либо фона объясняется некоторыми специалистами как свидетельство повышенного эмульгирования и чрезмерной промывки.

Эмульгирование и промывка являются двумя из наиболее затруднительных технологических операций капиллярного контроля. Они могут уменьшить эффективность обнаружения дефектов; промывка с целью удаления фона также может способствовать уменьшению общей чувствительности.

Технологический процесс современной системы пенетрантного контроля

Примером типичного современного технологического процесса капиллярного контроля может послужить линия LPM-409 производства компании ATG, успешно работающая в Санкт-Петербурге на Заводе турбинных лопаток концерна "Силовые машины".

Внедрение полуавтоматической линии флуоресцентного капиллярного контроля было обусловлено тем, что прежний участок капиллярного контроля уже не отвечал современным требованиям, а именно:

- недостаточный уровень автоматизации требовал постоянного присутствия оператора на линии подготовки к контролю;
- чувствительность контроля соответствовала II классу и не удовлетворяла требованиям заказчиков продукции;
- линия подготовки под контроль морально устарела.

Вновь установленная линия LPM-409 позволяет контролировать лопатки размером от 30 до 1200 мм с уровнем чувствительности III—IV (по ASTM) или I по ГОСТ 18442—80.

На контроль поступают лопатки, как прошедшие механическую обработку, так и после литья. Лопатки, поставляемые на участок, загружаются в специальные транспортные корзины. Далее они помещаются в прокалочную печь, где нагреваются до 120 °С и после перемещаются на позиции охлаждения. Затем технологическую корзину передвигают на позицию иммерсионного нанесения водосмываемого пенетранта. Концепция построения линий капиллярного контроля ATG базируется на идее проектирования линии, чувствительность которой можно варьировать, меняя лишь пенетрант и/или применяя различные проявители.

Лопатки, имеющие внутренние конструктивные полости, для предотвращения вытекания в пенетрант загрязняющих остатков могут подвергаться нанесению пенетранта распылением. После выдерживания лопаток в пенетранте в течение требуемого времени, о чем сигнализирует таймер, автоматически открывается крышка, и подъемная платформа поднимает корзину из пенетранта. Окончание процесса стекания избытка пенетранта также сопровождается звуковым сигналом таймера. После этого корзина с лопатками перемещается на позицию мойки.

Ванна для мойки ОК также оборудована автоматизированной подъемной платформой, которая способна под управлением контроллера совершать несколько циклов подъема-опускания в воду для ускорения удаления избытка пенетранта с поверхности ОК. Значительно повышает эффективность промывки при этом подаваемая в толщу воды в ванне струя профильтро-

ванной предварительно в системе очистки стоков и подогретой воды. Промытые лопатки поступают в сушильную печь проходного типа с автоматическим регулированием температуры и влажности процедуры сушки до $T = 60$ °С. О завершении процедуры также извещает звуковым сигналом таймер.

Отличительной особенностью этой линии является применение двух видов проявителя (мокрого и сухого) в зависимости от требуемого уровня чувствительности. Так, при уровне чувствительности I по ГОСТ применяется сухой проявитель ARDROX 9D4A в вихревой камере. Корзина с лопатками после сушки перемещается на управляемую контроллером платформу ванны с сухим проявителем. Оператор запускает автоматический режим работы, при этом платформа опускается, закрывается крышка, срабатывает электромеханический замок, предотвращающий несанкционированное открывание крышки на время нанесения проявителя, включается привод вентиляторов и наносится проявитель. По истечении времени нанесения и осаждения проявителя подается звуковой сигнал, отпирается электронный замок, открывается крышка и платформа поднимает корзину. Остатки проявителя удаляются из пистолета воздухом под давлением 0,3 бар. Далее корзина с лопатками поступает на визуальный контроль под УФ-лампой в инспекционной кабине.

Для лопаток при контроле по II уровню достаточно мокрого проявителя ARDROX 9D75. На платформу ванны с мокрым проявителем корзина поступает непосредственно с операции промывки. Платформа также под управлением контроллера погружается в проявитель на 5 мин, автоматически поднимается, происходит стекание избытка проявителя, и корзина поступает в печь для сушки лопаток и далее в инспекционную кабину 1 для визуального контроля.

Нанесение пенетранта и проявителя может производиться не только иммерсионным способом. В современных линиях все чаще применяется электростатическое оборудование, позволяющее равномерно и экономно наносить дорогостоящие дефектоскопические материалы на контролируемые поверхности. На рис. 2

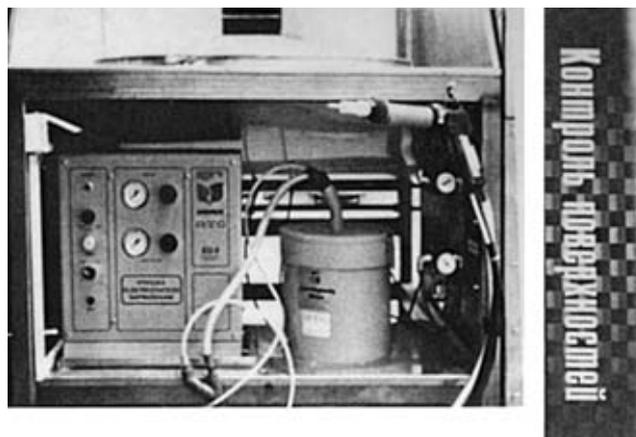


Рис. 2. Установка для электростатического нанесения сухого проявителя

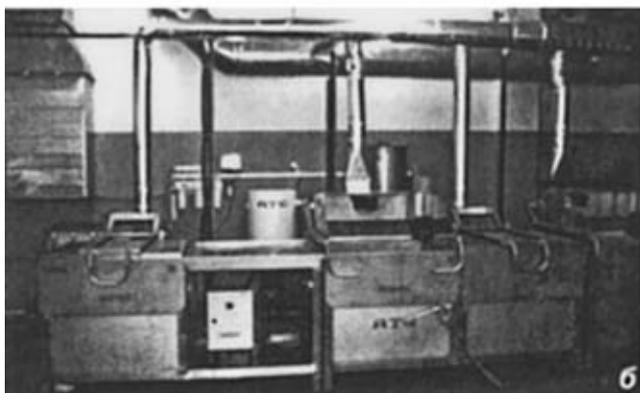


Рис. 3. Фрагменты линии LPM-400 для авиакомпаний "Аэрофлот" (а) и "Сибирь" (б)

приведена электростатическая установка для нанесения сухого проявителя.

Важным фактором качества работы линии является обеспечение качества промывочной воды, так как соли жесткости, железа и др. способны осаждаться на ОК и способствуют появлению ложных дефектов, что в конечном итоге снижает производительность контроля. Поэтому для очистки воды, предназначенной для промывки лопаток, в состав оборудования была включена установка осмотической фильтрации воды, обеспечивающая производительность до 50 л/ч практи-

чески дистиллированной воды с проводимостью 20—23 мкСм/м.

Экологический аспект на современном предприятии является важным фактором производства. Сточная вода (после промывки ОК от пенетранта) на всех линиях капиллярного контроля, поставляемых компанией АТГ, комплектуется системой очистки, в которую входят один накопительный буферный бак (объемом 100—250 л) или два в зависимости от производительности линии и колонна с активированным углем. Автоматика системы после заполнения буферной емкости включает насос, продавливающий под давлением стоки через фильтр в колонне. Очищенная таким образом вода совершенно безопасна, так как не содержит пенетранта и может быть направлена в канализацию, либо в варианте "замкнутой системы" — в промывочную ванну, что позволяет экономить на предприятии воду.

Описанная линия не является единственной, поставленной на российские предприятия. Практика капиллярного контроля показывает, что каждая установка капиллярного контроля, будь то сложная, автоматизированная с различными пенетрантами или проявителями или простой локальный участок, строится для определенных ОК. Примером нескольких линий для контроля простых деталей вращения типа колес может послужить линия, поставленная АТГ в компанию "Аэрофлот" (рис. 3). Подобного типа линии относительно просты и надежны. Они изготовлены под водосмываемую или последующего эмульгирования пенетрантные системы. Чувствительность их можно варьировать. Перемещение ОК между позициями и манипуляции на позициях производятся тельфером также в специальной корзине. При этом такие линии значительно дешевле первой из рассмотренных за счет отсутствия автоматизации некоторых процессов. При этом все эти линии удовлетворяют требованиям стандарта ASTM E 1417.

Особенность современных средств капиллярного контроля заключается в широком применении новых технологий. Так, использование качественных дефектоскопических материалов существенно повышает чувствительность, внедрение в процесс управления технологией капиллярного контроля средств автоматизации позволяет обеспечить точное соблюдение технологических режимов — время, давление и температуру воды и др.; новые способы очистки воды позволяют улучшить качество процессов и экологию на производстве.

Думается, недалеко то время, когда средства видеонаблюдения, обработки изображения смогут уменьшить нагрузку на оператора-дефектоскописта, позволят повысить достоверность и надежность обнаружения дефектов, протоколировать, архивировать, хранить и оперативно передавать результаты капиллярного контроля по каналам связи.

"В мире неразрушающего контроля", 2008, № 1

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ, САПР

О. Н. МИХАЛЕВ, аспирант, А. С. ЯНЮШКИН, д-р техн. наук
Братский государственный университет

Программная реализация автоматизированного проектирования обработки точных отверстий на станках фрезерно-сверлильно-расточной группы с ЧПУ

Обработка отверстий, к которым предъявляют высокие требования по точности размера, формы и расположения, по-прежнему остается одной из актуальных проблем современного машиностроения. Значительную долю общей трудоемкости при изготовлении деталей на станках фрезерно-сверлильно-расточной группы с ЧПУ составляет обработка точных отверстий.

При изготовлении корпусных деталей обязательно присутствуют операции обработки точных отверстий, без этого невозможно представить изготовление корпусных и целого ряда других изделий. Следует отметить, что 40—70 % общей трудоемкости изготовления корпусных деталей на многоцелевом станке с ЧПУ составляет обработка основных отверстий, служащих базовыми поверхностями для установки валов, осей, подшипников и др.

При изготовлении деталей пресс-форм и штампов трудоемкость обработки отверстий как части технологической операции, выполняемой на многоцелевом станке с ЧПУ, составляет более 40 %.

Высокая трудоемкость обработки отверстий на станках с ЧПУ обусловлена не столько наличием их в большом количестве в обрабатываемых деталях, сколько трудностями в обеспечении высоких требований к параметрам точности размера, формы и расположения. Трудность обеспечения точности обработки отверстий на станках фрезерно-сверлильно-расточной группы с ЧПУ в основном заключается в отсутствии направляющих элементов технологической системы для режущих инструментов.

Для обеспечения высоких параметров точности применяют различные технологические схемы обработки отверстий. Обычно назначают до семи переходов различными инструментами. Кроме того, в области обработки точных отверстий постоянно появляются новые и совершенствуются существующие методы обеспечения точности их размеров, формы и расположения. В связи с этим оптимальный выбор технологического процесса, инструмента и их характеристик приобретает все большую значимость на этапе проектирования обработки точных отверстий, что чрезвычайно образом усложняет сам процесс проектирования и вполне обуславливает высокие сроки технологической подготовки производства (ТПП) на станках с ЧПУ.

При проектировании обработки точных отверстий в современных CAD/CAM-системах до сих пор многие

задачи приходится решать вручную. Степень автоматизации CAD/CAM-систем при проектировании данной обработки по-прежнему остается на низком уровне.

Анализ современных CAD/CAM-систем показал следующие серьезные недостатки:

— CAD/CAM-системы не ориентируются на точность и качество поверхности отверстий при программировании их обработки, в связи с чем технологам приходится вручную назначать оптимальную технологическую схему их обработки, операционные припуски, выбирать необходимые режущие инструменты и др.;

— CAD/CAM-системы не могут создавать технологическую документацию, необходимую для наладки станка с ЧПУ в автоматизированном режиме, а лишь ориентируются на генерацию УП, хотя для комплексной ТПП одной УП недостаточно.

Автоматизация вышеприведенных проблем позволит резко сократить трудоемкость и продолжительность проектирования обработки точных отверстий на станках с ЧПУ. Главными целями подобного сокращения являются значительное снижение сроков проведения ТПП и в целом всего срока вывода новых изделий на рынок, а также повышение их качества при сохранении приемлемых цен на них, что является основным условием конкурентоспособности любого предприятия.

Для достижения поставленных целей необходимо комплексно автоматизировать все этапы данного проектирования:

— назначение технологической схемы обработки отверстий в зависимости от показателей точности их размера, формы и расположения;

- назначение операционных припусков на обработку;
- назначение необходимых инструментов;
- расчет режимов резания для каждого перехода;
- генерацию карты наладки в графической системе;
- создание исходной информации для последующей генерации УП.

Причем все данные этапы должны решаться практически полностью в автоматическом режиме без участия человека. Для этого проектирование должно осуществляться именно в данной последовательности, так как результаты проектирования каждого этапа являются исходными данными для проектирования следующего. Именно такой подход к автоматизации данных задач сделает возможным проектирование обработки точных отверстий в считанные минуты.

Автоматизация назначения технологической схемы обработки точного отверстия

Определение рационального числа и последовательности переходов является сложной комбинаторной задачей, которую эффективно можно решить, используя методы эвристического программирования.

Обработка ступенчатого отверстия может производиться по различным схемам. Например, наиболее оптимальная схема черновой обработки ступенчатого отверстия приведена на рис. 1, б. По этой схеме обработка ступенчатого отверстия производится последовательно, начиная от наименьшего диаметра и заканчивая наибольшим.

При построении алгоритма последовательности переходов обработки ступенчатого отверстия необходимо стремиться обрабатывать деталь за меньшее число переходов и рабочих ходов.

Алгоритм выбора последовательности переходов сверления в операции обработки точного ступенчатого отверстия учитывает исключение одинаковых и других нерациональных переходов сверления.

В качестве исходных данных используют диаметр всех ступеней D_i , длину всех ступеней L_i , точность диаметральных размеров T_i , параметр шероховатости поверхности всех ступеней Ra_i , точность межосевого размера T_a и количество ступеней в отверстии N .

Проектирование полуступенчатых и чистовых операций обработки точных отверстий представляет более сложную задачу. Анализ различных работ показал, что в настоящее время отсутствует обоснованная методика обеспечения точности обработки отверстий. Результаты различных исследователей имеют противоречивый характер, авторы рекомендуют обрабатывать одни и те же отверстия по различным схемам. Наиболее достоверные маршруты обработки точных отверстий приведены в работе¹.

Реализация автоматизированного подбора оптимальной схемы полуступенчатой и чистовой обработки точных отверстий потребовала создания базы данных технологических схем. Последняя отражает последовательность переходов, а также операционные припуски в зависимости от показателей точности диаметрального размера, межосевого размера и шероховатости поверхности отверстия.

Таким образом, при программировании обработки точного отверстия необходимая схема полуступенчатой и чистовой обработки будет установлена из базы дан-

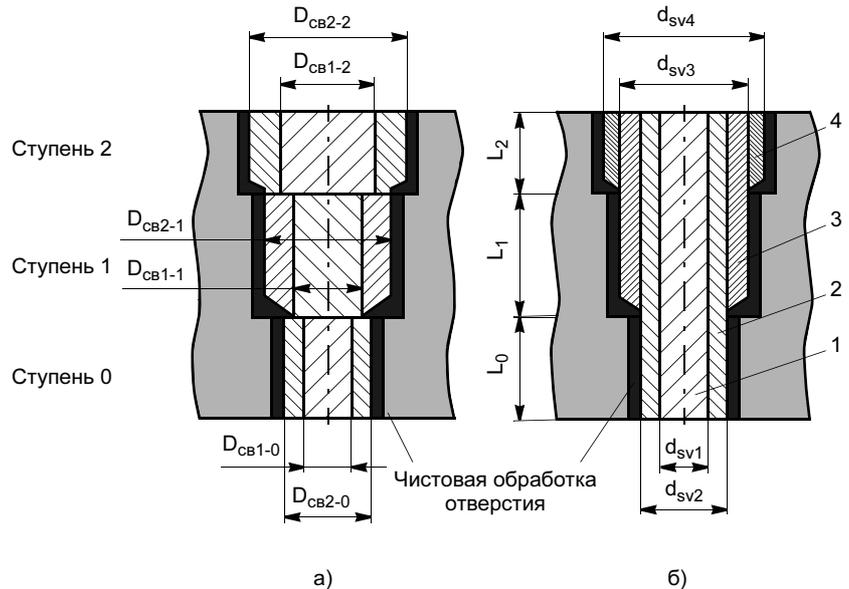


Рис. 1. Последовательность переходов черновой обработки ступенчатого отверстия (D_{cb1-0} , D_{cb2-0} — диаметры первого и второго сверления ступени № 0; d_{sv1} , d_{sv2} , d_{sv3} , d_{sv4} — диаметры сверления ступенчатого отверстия; L_0 , L_1 , L_2 — длина ступени соответственно № 0, 1 и 2)

ных методом перебора одновременно с назначением припусков на каждом переходе.

После установления общей схемы обработки точного отверстия необходимо произвести выбор оптимальных режущих инструментов, причем исходной информацией для этого будет являться принятая схема с назначенными операционными размерами.

Автоматизация назначения режущих инструментов

Назначение режущего инструмента (РИ) является наиболее важным при проектировании технологических переходов операции. Сложность назначения РИ вызвана, во-первых, большим разнообразием конфигураций инструмента и его типоразмеров, а во-вторых, неполной формализацией задачи его назначения.

Методика определения РИ, предложенная Д. Д. Куликовым, предусматривает три этапа:

- выбор вида режущего инструмента;
- выбор типоразмера инструмента;
- определение возможности использования найденного типоразмера инструмента для рассматриваемого перехода.

При выборе вида инструмента может быть найдено несколько его видов, которые могут быть использованы для обработки заданного отверстия. Поэтому в выходных параметрах необходимо зафиксировать номер выбранного инструмента, который будет означать приоритет выбора. Чем больше номер, тем выше приоритет.

Набор всех видов режущих инструментов (сверло, зенкер, развертка и др.) приведен в табл. 1. По данным этой таблицы может быть установлен необходимый вид режущего инструмента и его ГОСТ для осу-

¹ Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм и др.; под общ. ред. А. А. Панова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2004. 784 с.

Таблица 1

Код инструмента	Инструмент	ГОСТ	Материал	Приоритет	D_{max}	$L_{раб.ч}$	2φ
035-2300	Сверло	2И20-1—80	P18	1	20	140	118
...
0,35-2320	Зенкер	14953—80	P18	1	20	205	—
...

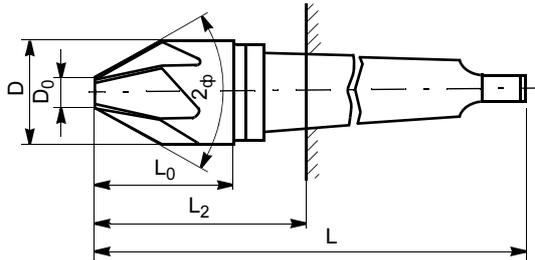


Рис. 2. Набор основных размеров зенковок в базе данных

ществления конкретного перехода обработки точного отверстия. Данный набор может быть расширен дополнительными размерами для инструментов с большим числом размеров, влияющих на выбор инструмента.

После определения вида РИ из табл. 1 необходимо установить его типоразмер из базы данных выбранного инструмента. Для РИ каждого вида разрабатывается индивидуальная база данных, которая должна содержать все необходимые их размеры для осуществления выбора требуемого типоразмера. Например, для зенковок набор основных размеров приведен в табл. 2 (рис. 2).

При автоматизированном выборе РИ необходимо кроме диаметральных размеров также проверять длину его рабочей части, длину вылета инструмента, угол при вершине и др. По данным табл. 2 можно произвести автоматизированный выбор подходящей зенковки, удовлетворяющей всем необходимым размерам отверстия.

В случае неудовлетворения хоть одного из размеров инструмента всем условиям его выбора необходимо проверить наличие инструмента другого вида, имеющего более низкий приоритет и подходящего для данного перехода.

Таким образом, весь процесс назначения необходимого РИ осуществляется без участия человека. Вмешательство человека может понадобиться только в случае отсутствия подходящего инструмента в базе данных, когда будет необходимо ввести его вручную.

Расчет параметров каждого перехода

После установления последовательности переходов обработки точного ступенчатого отверстия, выбора всех инструментов необходимо произвести проектирование каждого перехода в отдельности, для чего необходимо выполнить расчет координат опорных точек по оси Z перемещения инструмента; выбор оптимального цикла для каждого перехода; назначение шага для глубокого сверления и величины отвода резца для

Таблица 2

Номер	D	D ₀	L ₀	L ₂	L	φ	konus Morze	ГОСТ
2353-0121	16	3,2	24	35	97	60	1	14953—80
2353-0122	20	4	28	45	120	60	2	14953—80
...

растачивания; расчет режимов резания и других необходимых параметров.

Для каждого перехода необходимо установить вид цикла и соответствующую ему G-функцию. Например, для переходов сверления могут быть выбраны следующие циклы: глубокого сверления G83; высокоскоростного глубокого сверления G68; простого сверления G81, G82. Выбор необходимого цикла сверления зависит от многих параметров, в том числе и от марки обрабатываемого материала, диаметра и глубины сверления.

В итоге после расчета всех вышеперечисленных параметров должен быть установлен набор данных в виде таблицы: номер и наименование перехода, вид цикла, диаметр, координаты точек Z и R, пауза P, шаг Q, подача S (мм/мин), частота n (об/мин), охлаждение, номер и наименование инструмента.

Автоматизация проектирования УП

Получение набора данных еще недостаточно для генерации УП в САМ-системе. Для того чтобы автоматизированно спроектировать УП для станка с ЧПУ, необходимо представить ее в виде исходных данных конкретной САМ-системы. Кроме того, необходимо задать координаты исходной точки и всех одинаковых отверстий, обрабатываемых на данной операции.

Например, в системе автоматизированного программирования УП для обрабатывающих центров — "Проект ОЦ" v. 1.0 исходная информация представлена в виде двух связанных таблиц определенной структуры, заполнение которых может производиться полностью в автоматизированном режиме по набору данных².

В системе "Проект ОЦ" используются индивидуальные постпроцессоры, которые последовательно считывают строки таблицы и по найденной информации в строке формируют кадры УП с учетом требований к структуре кадров.

² Свидетельство 2007611271 (РФ).

Автоматизация проектирования карты наладки

При технологической подготовке производства на станках с ЧПУ необходимо подготовить ряд технологической документации: карты наладки (КН), расчетно-технологическую (КРТ), настройки инструмента (КНИ), операционную, операционные эскизы, управляющую программу (УП) и т. д.

В карте наладки станка указывают относительное положение приспособления на столе станка и показывают размерную связь координатных систем заготовки, приспособления и станка. Кроме этого в карте приводят номенклатуру применяемого РИ с указанием требуемых размеров настройки в осевом и радиальном направлениях.

По созданным КН, КНИ слесарь инструментально-го отделения заранее осуществляет подготовку комплекта инструментов, необходимых для выполнения обработки изделия, производит их настройку к определенному сроку в соответствии с планом подготовки инструментальных наладок. Рабочий-наладчик осуществляет наладку станка согласно той же КН.

Самым трудоемким при создании КН в ручном режиме являются подбор и вычерчивание необходимых режущих и вспомогательных инструментов в соответствии с их точными размерами для установления линейных размеров вылета каждого инструмента, а также вычерчивание элементов крепления детали на станке или их условные обозначения. Чертеж же самой детали переносится с конструкторского чертежа.

При выборе инструмента изначально известны только основные их геометрические размеры — диаметр, длина рабочей части, общая длина и др. Однако для построения чертежа инструмента этих размеров недостаточно, необходимо знать все его геометрические размеры.

Для хранения всех размеров инструмента используется специальная база данных. Так как инструменты обладают большим количеством размеров, то такая база данных становится весьма объемной. Однако целый ряд их размеров можно получить методом математических расчетов. Поэтому в базу данных необходимо сводить только определенные размеры, с помощью которых могут быть получены все остальные, необходимые для получения чертежа инструмента. Данный способ значительно снижает объем базы данных инструментов.

Таким образом, используя базу данных и математическую модель инструмента, автоматизированное построение его чертежа несложно.

Методом последовательного вычерчивания всех необходимых инструментов подобным образом можно легко создавать карты наладки и другие графические документы целиком. Все графические объекты в них будут сформированы автоматизированно, поэтому основное время создания КН будет занимать более рациональное расположение графических объектов на форматном листе. Это занимает значительно меньше времени, чем их ручное вычерчивание в графической системе.

САПР ТПП ЧПУ

Все вышеприведенные методы автоматизации проектирования обработки точных отверстий легли в основу системы автоматизированного проектирования технологической подготовки производства на станках с числовым программным управлением (САПР ТПП ЧПУ). Данная САПР работает в среде отечественной системы "Компас-3D" компании "АСКОН".

Известно, что система "Компас-3D" является открытой для расширения путем создания приложений, функционирующих в ее среде. Для этого предназначены библиотеки "Компас-Мастер", представляющие интерфейс прикладного программирования (API) для доступа к возможностям системы "Компас-3D" из внешних программ, написанных на различных языках программирования.

Блок-схема САПР ТПП ЧПУ приведена на рис. 3. Видно, что данная САПР состоит из нескольких компонентов: модулей "Инструмент", "Обработка точных отверстий", системы "Проект ОЦ", а также различных баз данных. Все компоненты связаны между собой и определенным образом с системой "Компас-3D".

Основные функции модуля "Инструмент":

- быстрый и наглядный поиск необходимого инструмента в базе данных;
- ввод в БД нового инструмента;
- быстрое вычерчивание режущих и вспомогательных инструментов в системе "Компас-3D" в соответствии с их точными размерами согласно ГОСТ, ОСТ или ТУ.

Модуль "Инструмент" (рис. 4) можно широко использовать технологом для быстрого создания операционных эскизов в системе "Компас-3D". Чертеж детали в них переносят с конструкторского чертежа. Данный модуль может работать автономно как подключаемая библиотека для системы "Компас-3D". Он значительно экономит время при создании графических документов, в которых присутствуют режущие и вспомогательные инструменты.

Модуль "Обработка точных отверстий" (рис. 5) предназначен для проектирования операций обработки отверстий, к которым предъявляют высокие требования по параметрам точности размера, формы и расположения на станках фрезерно-сверлильно-расточной группы с ЧПУ.

Данный модуль способен автоматизированно спроектировать технологическую схему обработки точного

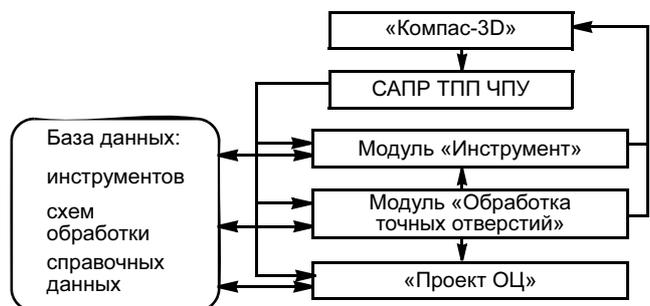


Рис. 3. Блок-схема САПР ТПП ЧПУ и ее связь с системой "Компас-3D"



Рис. 4. Модуль "Инструмент"

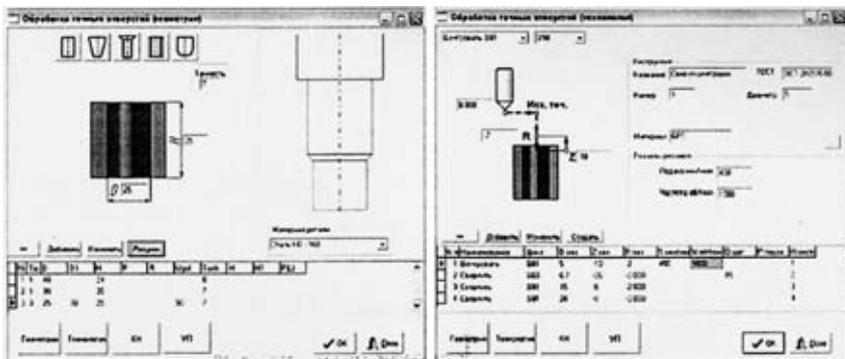


Рис. 5. Модуль "Обработка точных отверстий"

отверстия любой формы, назначить операционные припуски, подобрать необходимые инструменты из базы данных, рассчитать режимы резания, подготовить исходные данные для САМ-системы с целью последующей генерации УП для конкретного станка с ЧПУ, а также сформировать карту наладки в графической системе "Компас-3D". Это довольно большой спектр задач для решения полностью в автоматизированном режиме.

Особенностью вышеприведенных модулей является то, что подобными возможностями в настоящее время не обладает ни одна из современных CAD/CAM-систем.

К основным результатам создания САПР ТПП ЧПУ относятся:

- сокращение времени проектирования обработки точных отверстий до 50 % по сравнению с другими САМ-системами;

- сокращение срока подготовки полного комплекта технологической документации, необходимой для проведения операций на станках с ЧПУ;

- повышение степени автоматизации CAD/CAM-систем при программировании обработки точных отверстий;

- снижение сроков проведения ТПП и повышение ее качества.

Разработка САПР ТПП ЧПУ позволила проектировать обработку отверстий с выдачей полного комплекта технологической документации в считанные минуты путем нажатия нескольких клавиш. Теперь проектировать обработку точных отверстий может каждый, несмотря на многочисленность ее сложности. Это новый инструмент значительно расширяет возможности технологов, снижая время технологического проектирования и всего этапа подготовки производства к выпуску новых изделий.

Работа САПР ТПП ЧПУ именно в среде графической системы "Компас-3D" дает максимальный эффект, так как конструктор создает чертеж детали именно в системе "Компас-3D" и передает его технологу, тоже работающему в этой же системе и создающему в ней свою технологическую документацию. В этом случае тесная интеграция позволяет объединить проектирование детали и технологическую подготовку производства в один цикл, выполняемый в единой графической среде "Компас-3D".

Таким же путем должны решаться и все остальные задачи технологов и конструкторов машиностроительных предприятий. Жесткие рамки CAD/CAM-систем должны быть расширены таким образом, чтобы системы работали без участия человека. Подобные модули и способствуют решению данной задачи.

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ!

Напоминаем, что оформить подписку на журнал можно с любого месяца

в любом почтовом отделении связи.

Подписной индекс в каталоге Агентства "Роспечать" — 79494,

в Объединенном каталоге "Пресса России" — 27869,

в каталоге "Почта России" — 60190.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

Л. В. АГАМИРОВ, д-р техн. наук, М. В. ГОВОРУН, аспирант
"МАТИ" – РГТУ им. К. Э. Циолковского

Методика моделирования сложных переходных зон при проектировании крупногабаритных элементов конструкций авиационной техники

В настоящее время разработчики всех видов техники достигли значительных успехов в повышении производительности, скорости, грузоподъемности, безопасности, комфортабельности, экологичности своей продукции.

Создание современных военно-транспортных и пассажирских самолетов представляет технически сложный, длительный и дорогостоящий процесс. Глобализация рынка авиационных производителей и обострение конкурентной борьбы диктует новые, еще более жесткие требования к разработчикам. В связи с этим перспективы развития авиационной техники данного класса, связанные с модернизацией находящихся в эксплуатации самолетов, представляются весьма актуальными.

Цель модернизации авиационной техники — повышение технического уровня, надежности, долговечности и ресурса элементов авиационных конструкций при обеспечении максимального экономического эффекта от эксплуатации летательных аппаратов при минимизации вложенных в модернизацию затрат. Применительно к транспортным самолетам это снижение массы самолета за счет внедрения новых перспективных материалов, модернизация планера, установка более совершенных двигателей, бортовых систем, внедрение новых вычислительных систем управления летательным аппаратом и др. Данная работа посвящена совершенствованию методологии конечно-элементного (КЭ) моделирования [1] модернизированного крыла для военно-транспортных самолетов. Для решения поставленной задачи используются следующие принципы:

- внешняя геометрия, конструктивно-силовая схема и взлетно-посадочная механизация крыла модернизируемого самолета в основном должны быть неизменными (как и на самолетах семейства Ил-76), возможны лишь незначительные изменения внешних обводов исходя из технологических требований, конструктивные изменения силового кессона с целью приближения к схеме крыла Ил-96;
- несущая способность нового крыла должна быть не ниже, чем крыла самолета Ил-76, поэтому геометрические параметры силового набора должны подбираться из условий равнопрочности сечений обих крыльев;
- оптимизация функциональных и силовых схем систем и узлов самолета;
- внедрение современных моделей и расчетных методик, эффективных конструкционных материалов,

обладающих повышенной прочностью, жесткостью, технологичностью и пониженной плотностью, а также эффективных технологий, обеспечивающих получение повышенных свойств материалов и изделий из них.

С целью обеспечения прочности крыла при его проектировании необходимо выполнить проектировочные расчеты для подготовки рабочих чертежей крыла, поверочные расчеты для обоснования статической, циклической прочности крыла, аэроупругих свойств, а также необходимые экспериментальные исследования.

Расчеты выполняли с использованием программных продуктов MSC.PATRAN и MSC.NASTRAN [2].

Проектировочная КЭ модель крыла включает:

- верхнюю панель крыла и центроплана с разбивкой по каждому стрингеру и нервюре;
- нижнюю панель крыла и центроплана с упрощенной моделью люков-лазов с разбивкой по каждому стрингеру и нервюре;
- упрощенные модели узлов навески пилонов двигателей и закрылков (для возможности совместного решения);
- модели лонжеронов и всех нервюр;
- модель должна стыковаться с существующей КЭ моделью фюзеляжа самолета Ил-76МД.

В качестве исходной информации для детальных расчетов модифицированного крыла использовали результаты расчета поверочной КЭ модели крыла.

В настоящее время существует много мощных инструментов для создания и редактирования КЭ сеток, но при модернизации самолетов возникает проблема моделирования, появляющаяся в большинстве КЭ моделей, а именно в организации зоны несовпадающих КЭ сеток.

Один из обычных методов такого перехода [3] — это организация пояса из треугольных элементов (рис. 1).

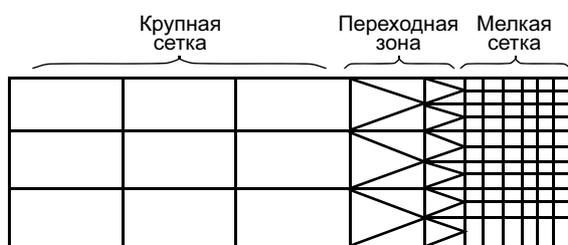


Рис. 1. Организация переходной зоны

Второй способ [3] — выборочное исключение узлов на ребрах элементов высокого порядка (например четырехугольный элемент с восьмью узлами "CQUAD8") и использование этих элементов как перестыковочных элементов. Данный способ приводит к большим аномалиям в напряженном состоянии в элементах переходной зоны. При использовании элементов высокого порядка общим правилом наоборот является использование всех узлов. Четырехугольный элемент с восьмью узлами "CQUAD8" с устраненными узлами на ребрах является чрезмерно жестким и интерферирует с четырехугольными элементами с четырьмя узлами "CQUAD4".

Главный и существенный недостаток переходных сеток — избегать использования в интересующих зонах конструкции, а также в зонах с большим градиентом напряжений. Вследствие несовместности различных элементов переход от одного типа элементов к другому, даже от четырехугольного элемента с четырьмя узлами "CQUAD4" к треугольному элементу с тремя узлами "CTRA3", может привести к аномалиям в напряженном состоянии. Обычно эти аномалии локализуются и сходят на нет вдали зоны перехода. При этом

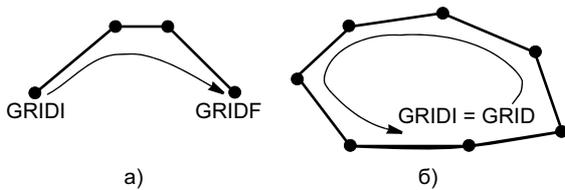


Рис. 2. Открытые (а) и закрытые (б) границы

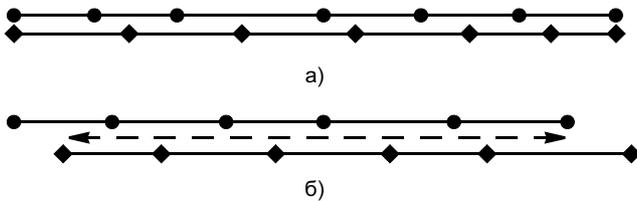


Рис. 3. Совпадающие (а) и несовпадающие (б) граничные узлы

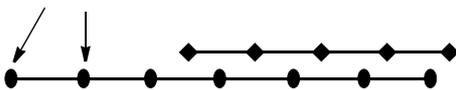


Рис. 4. Вырожденные узлы

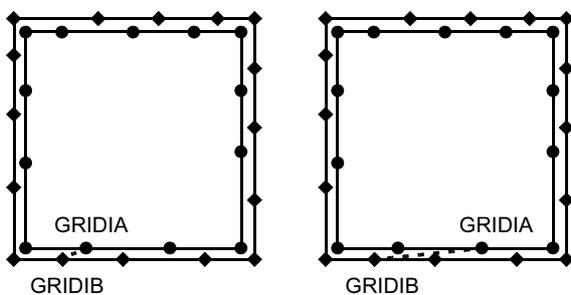


Рис. 5. Замкнутые границы

качество перехода падает, если треугольные элементы имеют сильно искаженную форму.

Еще одна возможность организации переходных зон [3] состоит в применении сплайн-элементов. В MSC.NASTRAN имеется элемент RSPLINE для упругой интерполяции, он соединяет n концевых узловых точек. Перемещения промежуточных узловых точек интерполируются исходя из уравнения упругой балки, проходящей через узловые точки. Сплайн-элемент производит линейную интерполяцию для перемещений и кручения относительно оси сплайна, квадратичную — для перемещений вращения, нормальных к оси сплайна, и кубическую — для перемещений, перпендикулярных оси сплайна.

Метод организации перехода с помощью элемента RSPLINE дает более качественные результаты, чем пояс из треугольных элементов. Но организация перехода с помощью данного метода трудоемка.

В связи с вышеуказанным в данной работе предлагается новый метод организации зоны несовпадающих КЭ сеток путем создания стыкового элемента при модернизации существующих самолетов, позволяющий

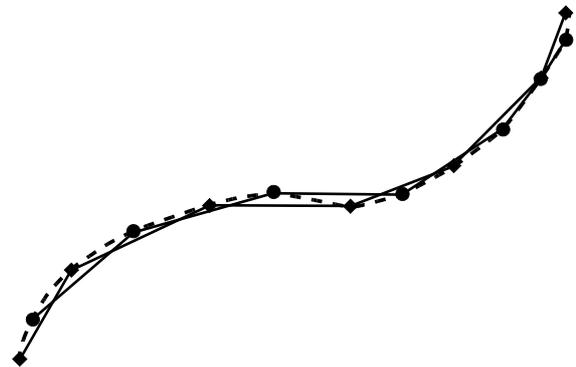


Рис. 6. Кривые границы

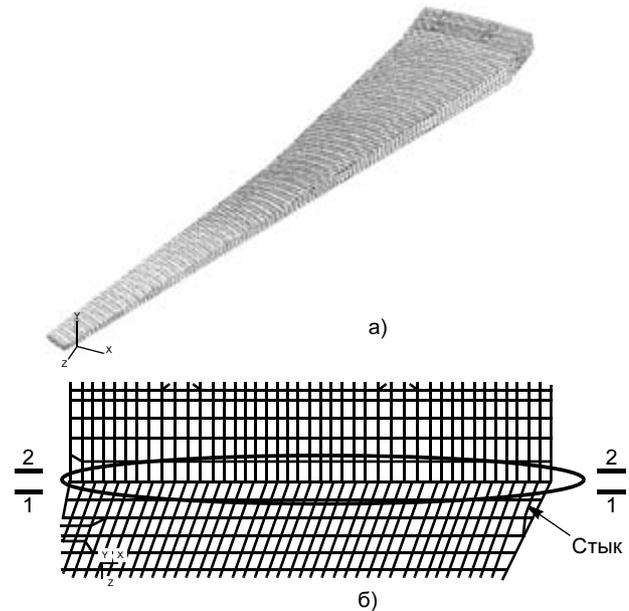


Рис. 7. КЭ модель модернизируемого изделия: а — общий вид; б — зона перехода несовпадающих КЭ сеток

представить простой и работоспособный инструмент в построении более гибкой КЭ модели. Технология стыкового элемента не повышает общую точность решения, но позволяет совместить зоны стыка несовпадающих разбивок двух или более независимо разбитых областей.

Предлагается использовать стыковой элемент в следующих случаях:

- КЭ модель составная, например стык фюзеляжа с крылом самолета. КЭ модель фюзеляжа имеет свою разбивку, а крыло имеет разбивку, отличающуюся от разбивки фюзеляжа;
- в определенной области модели из-за высоких градиентов напряжений требуется подробная разбивка, в то время как остальная часть области модели требует только грубую разбивку для соблюдения баланса между вычислительными ресурсами и точностью решения;
- некоторые части модели требуют постоянных изменений или модификаций, в то время как остальные этого не требуют.

Во время задания стыкового элемента требуется указать границу, на которой все степени свободы узлов будут приняты как независимые. Степени свободы, ассоциированные с узлами на других границах или границах, на которые ссылается стыковой элемент, принимаются зависимыми. В терминологии контактной механики границы стыкового элемента разделяются на первичные и вторичные. Узлы на первичной границе — это независимые узлы, а узлы на вторичной границе — зависимые. Стыковой элемент схож со склеенным или затянутым соединением, который соединяет несовпадающие разбивки.

Обычный способ для определения зависимости или отношения первичности-вторичности границ стыка — когда границы с подробной разбивкой скреплены с границами с грубой разбивкой. Другими словами, границы с подробной разбивкой выбираются как зависимые или вторичными границами, а те, что с грубой разбивкой, как независимые или первичными границами. Этот способ, однако, иногда приводит, видимо, к жесткому соединению вдоль стыка. В этом случае в данной работе предлагается получить лучшие решения при помощи замены соотношения первичности-вторичности на границах стыка.

Стыковой элемент предназначен для линейного, а не для суперэлементного анализа. Он не должен использоваться для тепловых задач.

Стыковой элемент имеет две или более границы. Каждая граница определяется набором узлов, последовательно перечисленных от начального до конечного узла в основном разделе программы (Bulk Data). Список узлов стыкового элемента должен начинаться с начальных узлов и завершаться конечными.

Одна из границ стыкового элемента указывается как независимая. Если в наличии три и/или более границы стыкового элемента, то внутренние границы

Format

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CINTC	EID	TYPE							
	LIST = (BID1(INTP1), BID2(INTP2), ..., BIDn(INTPn))								

Example:

CINTC	1001	CRDLIST							
	LIST = (101, 102(Q), -103(Q), 104(L))								

Рис. 8. Формат карточки (EID — номер элемента (целое число от 0 до 100 000 000); TYPE — тип элемента (по умолчанию GRDLIST); BIDi — номера узлов; INTPi — интерполяционная схема (по умолчанию "L"), INTP="L": линейная интерполяция; INTP = "Q": квадратичная интерполяция)

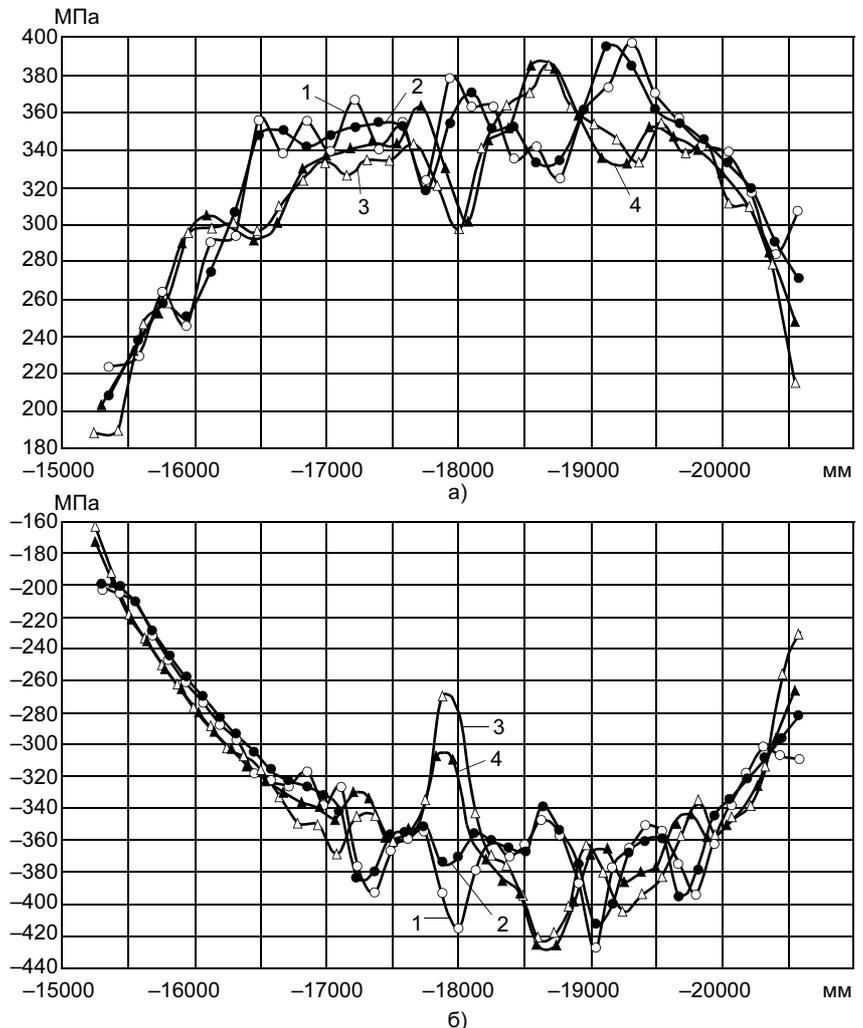


Рис. 9. Сравнение продольных напряжений в переходной зоне со стыковым элементом и без него: а, б — нижняя и верхняя панели соответственно; 1, 3 — стыковой элемент, сечение 1—1 и 2—2 соответственно; 2, 4 — узел в узел, сечение 1—1 и 2—2 соответственно

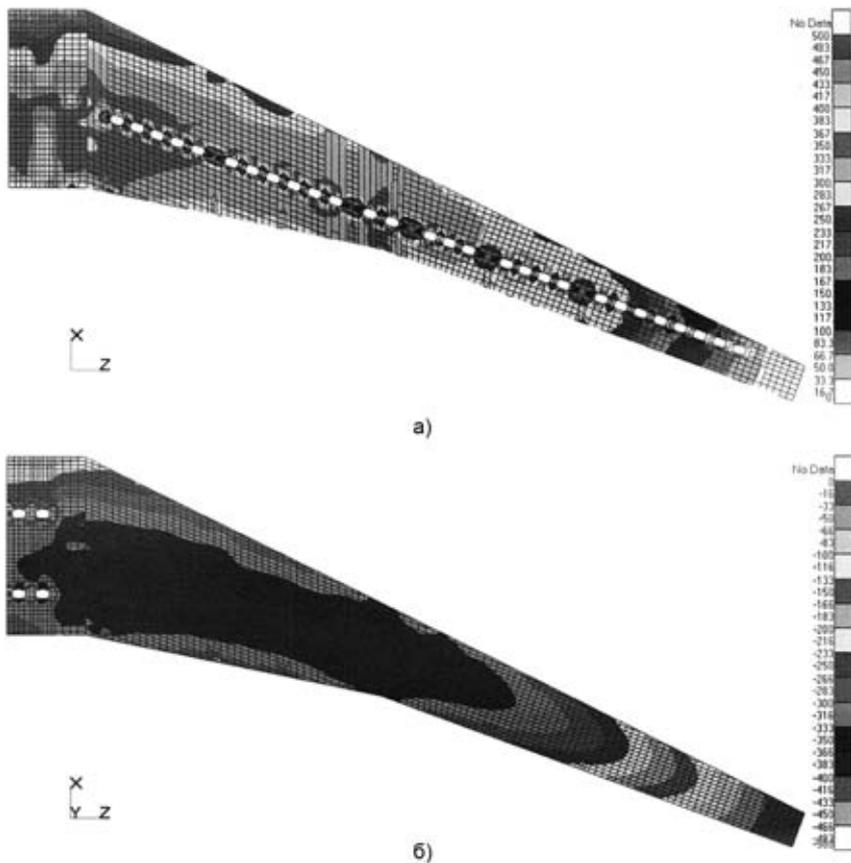


Рис. 10. Продольные напряжения в панелях крыла модернизируемого изделия: а, б — см. рис. 9

группируются по парам "зависимая — независимая". Таким образом имеем $n - 1$ пару границ, где n — общее число границ стыкового элемента. MSC.NASTRAN генерирует уравнения жесткой связи между зависимыми и независимыми узлами на паре границ.

Граница может быть открытая, т. е. начальные или конечные узлы не совпадают, либо закрытой — начальный и конечный узлы одинаковые (рис. 2). Это требование для минимального числа узлов в границе. Для этого должны присутствовать хотя бы два узла для линейной и три — для квадратичной схемы.

Обе зависимые и независимые открытые границы могут включать либо начальные, либо конечные узлы, либо и те, и другие. Указывая одинаковый конечный узел в паре границ, пользователь имеет больше возможностей в создании стыкового элемента, когда один элемент соединяется или пересекается с другим. Однако это не работает для закрытых границ.

Границы стыкового элемента могут быть либо совпадающими, либо несовпадающими (рис. 3). Несовпадающие границы имеют по меньшей мере один свободный конечный узел. Объединенная линия стыкового элемента проходит вдоль дуги, входящей в обе границы. Лишние свободные узлы (рис. 4) автоматически не входят в описание стыкового элемента.

При выборе начальных узлов стыкового элемента с замкнутыми границами требуется особая точность. Ввиду того, что начальный узел может быть любым на замкнутой границе, необходимо, чтобы оба начальных

узла как на зависимой, так и на независимой закрытых границах были как можно ближе друг к другу (рис. 5). Когда одна из границ открыта, этот метод не подходит.

Когда стыковой элемент имеет кривые границы (рис. 6), граничные узлы стыкового элемента должны быть расположены вдоль действительной линии структурной геометрии.

На рис. 7 приведены две независимо разбитые панели крыла, соединенные с использованием предложенной методики и созданным стыковым элементом. Последний определен в основном разделе программы Bulk Data, формат карточки приведен на рис. 8.

На основании разработанной модели стыкового элемента проведен расчет напряженно-деформированного состояния модернизируемого крыла. На рис. 9 приведены подходящие и отходящие продольные напряжения в элементах в зоне стыка со стыковым и бесстыковым элементами. Видно, что максимальное отклонение напряжений в переходной зоне с использованием стыкового элемента от организации зоны "узел в узел" не превышает 7 %.

На рис. 10 приведены продольные напряжения в панелях крыла модернизируемого изделия. Для

верхней панели $\sigma_{\text{доп}} = 420$ МПа, для нижней — $\sigma_{\text{доп}} = 390$ МПа. Видно, что расчетные напряжения не превышают допускаемых.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная методика организации зоны несовпадающих конечно-элементных сеток путем создания стыкового элемента при модернизации существующих самолетов представляет простой и работоспособный инструмент в построении гибкой конечно-элементной модели.

2. Методика моделирования сложных переходных зон элементов конструкций летательных аппаратов с большим градиентом напряжений позволяет строго соблюдать геометрию конструкции, совместить зоны стыка несовпадающих разбинок двух или более независимо разбитых областей, повышает качество расчетов напряженно-деформированного состояния, существенно сокращает время на проектирование и расчет составных конечно-элементных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов. М.: Мир, 1981. 304 с.
2. Рыбников Е. К., Володин С. В., Соколов Р. Ю. Инженерные расчеты механических конструкций в системе MSC.PATRAN-NASTRAN. М., 2003. Ч. 1. 130 с. Ч. 2. 174 с.
3. MacNeal R. H., Gockel M. A. MSC.NASTRAN Handbook for Linear Analysis. Version 64. Los Angeles: The MacNeal-Schwendler Corporation, 1985.

А. А. ГЛЕБОВ, аспирант
РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина

Сертификация породоразрушающего бурового инструмента с применением методики сертификационных испытаний алмазных буровых долот

В XXI веке в связи с бурным развитием экономики государств мирового сообщества резко возросла потребность в углеводородном сырье — нефти и газе.

Динамическое развитие экономики России невозможно без повышения качества конкурентоспособности отечественных товаров и услуг на рынке. В настоящее время, когда Россия стремится выйти со своей продукцией на мировые рынки, вопросы сертификации приобретают особую актуальность. Сертификация продукции, работ и услуг заключается в подтверждении соответствия продукции установленным требованиям и напрямую связана с качеством. Она является одним из инструментов обеспечения качества. Некачественная продукция не может быть сертифицирована [1].

Все работы по проведению обязательной сертификации осуществляются системой сертификации, возглавляемой Госстандартом РФ, на который возложена обязанность проведения межотраслевой координации по вопросам метрологии, стандартизации и обязательной сертификации на основании Федерального закона "О техническом регулировании" 2002 г. [2].

Буровые алмазные долота (рис. 1) входят в состав реестра Госстандарта как продукция, подлежащая обязательной сертификации, поэтому независимо от того, какой тип, размер или конструкция долота выпускается, при его продаже необходимо иметь сертификат соответствия и безопасности продукции.

Применение алмазных долот существенно влияет на продолжительность и себестоимость бурения. Укоренившаяся практика использования их единично на многих площадях для разбуривания отдельных интервалов скважин способствует сокращению продолжительности и снижению себестоимости бурения отдельных скважин, но не может существенно повлиять на показатели бурения в целом [3].



Рис. 1. Алмазное долото

Для достижения максимального эффекта от применения алмазных долот следует с определенной для каждой площади глубины переходить на сплошное алмазное бурение во всех скважинах. Это помимо улучшения результатов разбуривания глубоких интервалов позволит значительно сократить капитальные затраты на оборудование, ускорить ввод площади в эксплуатацию, повысить производительность труда.

Общие положения и определения

Типовая методика для проведения сертификационных испытаний является нормативно-методическим организационным документом, рекомендуемым для выполнения всеми предприятиями и организациями, принимающими участие в сертификационных испытаниях шарошечных долот независимо от их ведомственной принадлежности.

Сертификационные испытания — контрольные испытания продукции, проводимые с целью установления соответствия характеристик ее свойств национальным и (или) международным нормативно-техническим документам.

Испытания для целей сертификации проводятся в аккредитованных испытательных лабораториях. При этом в область аккредитации лаборатории должны входить те испытания, которые предусмотрены нормативной документацией на продукцию, и методы ее испытаний при проведении сертификации.

Отсутствие испытательной лаборатории, аккредитованной на техническую компетентность и независимость, или ее значительная удаленность допускают проведение испытаний для целей сертификации в лабораториях, которые аккредитованы только на техническую компетентность. Такие испытания проводятся под контролем представителя органа по сертификации.

Испытания — техническая операция, заключающаяся в определении одной или нескольких характеристик данной продукции, или процесса в соответствии с установленной процедурой.

Условия испытаний — совокупность воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта при испытаниях.

Образец для испытаний — продукция, непосредственно подвергаемая эксперименту при испытаниях.

Выборка — часть совокупности продукции, представленной на испытание.

Результат испытаний — оценка характеристики свойств объекта, установление соответствия объекта заданным требованиям по данным испытаний.

Протокол испытаний — документ, содержащий необходимые сведения об объекте испытаний, применяемых методах, средствах и условиях испытаний, результаты испытаний.

Методика сертификационных испытаний

Цель сертификационных испытаний основных параметров алмазных буровых долот — получение объективной и достоверной информации о фактических значениях показателей ее качества и соответствии их нормативно-технической документации.

Методика испытаний может использоваться как при проведении обязательной, так и добровольной сертификации.

Результатом сертификационных испытаний является выдача протокола испытаний.

К основным контролируемым параметрам алмазных буровых долот относятся: диаметр долота; натяг конической замковой резьбы.

Испытательная лаборатория должна располагать необходимыми средствами, позволяющими проводить сертификационные испытания. Все средства измерений должны быть поверены органами Государственной метрологической службы (ГМС) или другими уполномоченными органами и организациями с целью определения и подтверждения соответствия средств измерений установленным техническим требованиям. На всех средствах измерения должен быть нанесен оттиск поверительного клейма и (или) выдается "Свидетельство о поверке".

Средства измерения:

- стенд для проверки выходных параметров долот;
- калибр-кольцо (проходное);
- калибр-кольцо (непроходное);
- индикатор часового типа с ц. д. 0,01 мм (ГОСТ 577—68);
- штангенрейсмасс (ГОСТ 164—90);
- резьбовое калибр-кольцо для контроля ниппельной резьбы;
- резьбовая калибр-пробка для контроля муфтовой резьбы;
- шаблон-щупы (для проверки натяга);
- индикаторный нутромер с ц. д. 0,01 мм (ГОСТ 868—89).

Порядок проведения сертификационных испытаний

Перед проведением испытаний долота должны быть тщательно очищены от загрязнений и протерты ветошью. Все резьбы перед замерами должны быть очищены. Если замеры производятся после транспортировки, с резьбы должна быть удалена предохраняющая смазка при помощи щетки, ветоши с использованием подходящего растворителя, после очистки на резьбу наносится тонкий слой жидкого масла.

Затем долото поступает в испытательную лабораторию для контроля. Контроль долота происходит на стенде (рис. 2), который предназначен для проверки основных параметров алмазных буровых долот. С помощью гидравлического подъемного крана долото устанавливается и закрепляется на станине стенда. Затем приступают к измерениям.

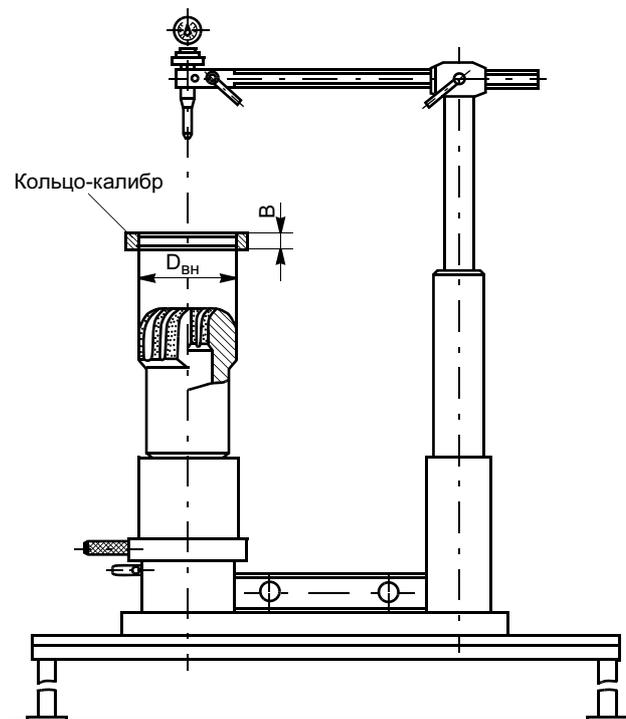


Рис. 2. Стенд для контроля наружного диаметра алмазного долота

Диаметр долот контролируется с помощью предельных калибров колец. Толщина кольца-калибра из стали $B = 25,4$ мм; проходной калибр: $D_{\text{вн.пр}} = 215,9 + 0,051 = 215,951$ мм, предельное отклонение $+0,076$ мм. Внутренний диаметр проходного кольца-калибра $D_{\text{вн.пр}} = 215,951^{+0,076}$ мм.

Непроходной калибр:

$$D_{\text{вн.не}} = 215,9 - 0,051 = 215,889_{-0,076} \text{ мм.}$$

Наружный диаметр калибра для алмазного долота определяется номинальным диаметром 214,3 мм, предельное отклонение $-0,051$ мм: $D_{\text{нар}} = 214,3 + 38,1 = 252,4$ мм.

Толщина кольца из стали $B = 25,4$ мм, $D_{\text{вн.пр}} = 214,3 + 0,051 = 214,351^{+0,076}$; $D_{\text{вн.не}} = 214,3 - 0,051 = 214,249_{-0,076}$.

Определение натяга конической резьбы алмазных долот

Проверка геометрических размеров и параметров резьбовых соединений должна осуществляться с помощью универсальных измерительных средств в соответствии с технической документацией, утвержденной в установленном порядке.

Натягом называется расстояние h от измерительной плоскости калибра-кольца до упорного уступа долота. Натяг присоединительной резьбы контролируется рабочими резьбовыми калибрами-кольцами и шаблонами-щупами. Технические требования к калибрам — ГОСТ 24672. Натяг конической замковой резьбы $15^{+0,25}_{-0,80}$ мм (ГОСТ 26474—85).

Для определения натяга долото устанавливают и закрепляют горизонтально в специальное устройство (рис. 3). Резьбовые поверхности калибра и долота не должны иметь

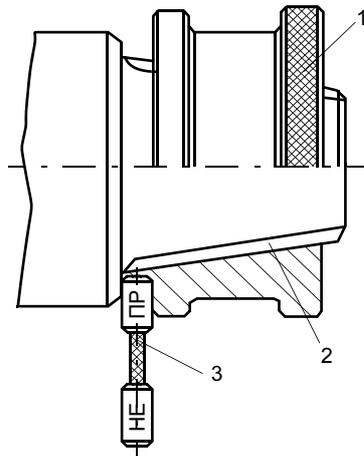


Рис. 3. Определение натяга конической резьбы долота: 1 — калибр-кольцо (ГОСТ 8867—89); 2 — резьба ниппельная 3-117 (ГОСТ Р 50864—96); 3 — щуп для контроля натяга

видимых признаков загрязнения. Все калибры-кольца должны быть закаленными и шлифованными. Твердость должна быть 60—63 HRC. На поверхность резьбы наносится тонкий слой жидкого масла.

Калибр-кольцо навинчивается на резьбовую ниппель долота усилием одного человека с применением рычага 150 мм. Величина натяга измеряется двухпредельными шаблонами-щупами с двух диаметрально противоположных сторон.

Калибры-кольца для контроля ниппельной резьбы и калибры-пробки для контроля муфтовой резьбы должны проходить периодические повторные испытания в соответствии с порядком для обеспечения поддержания калибров в пределах границ натягов.

Натяг положителен, если измерительный торец калибра-пробки выступает над упорным торцом корпуса долота (рис. 4). Натяг равен нулю, если измерительный торец калибра-пробки и упорный торец корпуса долота находятся в одной плоскости. Натяг отрицателен, если измерительный торец калибра-пробки заходит (утопает) за упорный торец корпуса долота. Натяг для муфтовой конической резьбы 3-117 должен быть $0^{+0,35}_{-0,25}$ мм.

Рабочий калибр должен периодически повторно испытываться на натяг парный и взаимозаменяемый в сравнении с сертифицированным эталонным калибром. Частота повторных испытаний рабочего калибра полностью зависит от срока использования и должна гарантировать, что натяг парный и взаимозаменяемый поддерживается в пределах требований.

Перпендикулярность упорного уступа ниппеля относительно оси резьбы

Контроль перпендикулярности упорного уступа ниппеля относительно оси резьбы выполняется одновременно с проверкой натяга. На секционных долотах перпендикулярность определяют как отсутствие перекаса плоскости упорного уступа долота по отношению к измерительной плоскости калибра-кольца, навинченного на резьбу.

Перекас проверяют индикаторным нутромером (ГОСТ 868—82) или наименьшим размером предельного

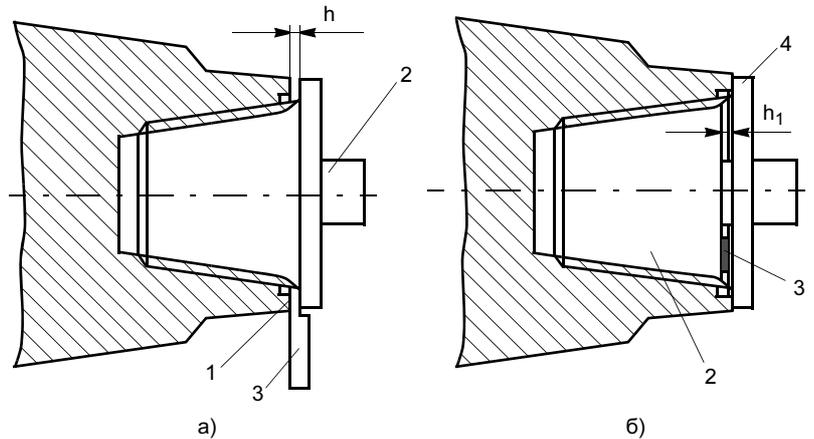


Рис. 4. Определение положительного (а) и отрицательного (б) натяга: 1 — упорный торец; 2 — калибр-пробка; 3 — щуп; 4 — линейка

шаблона (щуп для определения натяга) с добавлением щупов (ТУ 2-034-225—87).

Натяг проверяют в двух местах в двух взаимно перпендикулярных плоскостях по окружности. Разность наибольшего и наименьшего натяга характеризует неперпендикулярность.

Допуск перпендикулярности упорного уступа ниппеля относительно оси резьбы на корпусных долотах

Контроль перпендикулярности упорного торца муфты относительно оси резьбы также проверяется одновременно с проверкой натяга.

Перпендикулярность определяется как отсутствие перекаса плоскости упорного торца муфты к измерительной плоскости резьбового калибра-пробки, ввернутого в муфту.

Используются калибр-пробка и приспособление с индикаторной головкой часового типа.

Проверка перпендикулярности производится индикаторным прибором путем измерения в нескольких точках по окружности. Основание корпуса прибора при измерениях устанавливается на измерительную поверхность калибра-пробки. Наконечник измерительного стержня индикатора должен касаться измеряемой поверхности торца.

Разность наибольшего и наименьшего показаний индикатора в диаметрально противоположных сечениях (под углом 180°) характеризует удвоенную величину перпендикулярности. Допуск перпендикулярности упорного торца муфты к оси резьбы должен быть не более 0,1 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сертификация в нефтегазовом машиностроении. Отечественная, зарубежная и международная практика / Под ред. В. Я. Кершенбаума, А. Г. Дубицкого. М.: АНО "ТехноНефтеГаз", 2001. 650 с.
2. Основные положения стандартизации, метрологии и сертификации нефтегазового оборудования / Под ред. В. Я. Кершенбаума. М.: АНО "ТехноНефтеГаз", 2001. С. 250.
3. Буровой инструмент: Справочник / Под ред. И. К. Масленникова. М.: Недра, 1989. С. 430.

Ю. В. Иванов, канд. техн. наук
НПО "Средства охраны труда" (Ижевск)

Исследование вибраций и результаты работ по их снижению в кузнечных цехах

Кузнечно-штамповочное производство занимает ведущее место среди заготовительных производств машиностроения. В то же время оно является одним из наиболее травмоопасных. Основные причины этого — наличие неблагоприятных факторов среды, особенно шумов и вибраций, действующий уровень которых значительно превышает допустимые санитарные нормы. Источником данных неблагоприятных факторов является существующий парк кузнечно-прессового оборудования.

Результаты исследований показали, что наибольшие вибрации создаются штамповочными и ковочными молотами, представляя собой неустановившиеся импульсные процессы с максимальными значениями виброперемещений фундамента, достигающих 1,5 мм, а виброскорости — 100 мм/с. Уровень вибраций превышает нормируемые значения на рабочем месте кузнеца в 5—15 раз и более. Спектральные составляющие возбуждаемых вибраций находятся в интервале частот 8—50 Гц. При распространении вибраций по грунту наблюдается расплывание волнового пакета, при этом волны возмущения, достигающие элементов зданий, формируют возбуждение резонансных колебаний несущих элементов конструкции здания, что приводит к появлению признаков разрушения.

Комбинированное действие вышеуказанных неблагоприятных факторов в сочетании с существующими условиями

производственного микроклимата приводит к снижению работоспособности, повышению вероятности возникновения травмоопасных ситуаций и, как следствие, развитию профзаболеваний персонала.

Защиту персонала кузнечных цехов от указанных неблагоприятных факторов следует осуществлять с учетом организационно-технических, производственно-технологических и медицинских мероприятий. Ослабление вибраций на пути их распространения относится к мерам пассивной виброизоляции и основывается на экранировании волн в грунтах. Для ослабления действующих вибраций в кузнечных цехах применяют методы активной виброизоляции, а именно, различные конструкции виброизолирующих установок молотов. Традиционно используемые с установкой молота на громоздкий, виброизолированный, инерционный блок, они являются дорогостоящими по исполнению и затруднительными по эксплуатации [1].

Наиболее эффективны методы подшаботной виброизоляции штамповочных молотов, в которых ослабление вибраций осуществляется установкой амортизаторов непосредственно под шабот молота [2]. Для этого применяют винтовые и гофрированные пружины, резиновые амортизаторы и рессоры. Данные виброизолирующие установки успешно эксплуатируются как у нас в стране, так

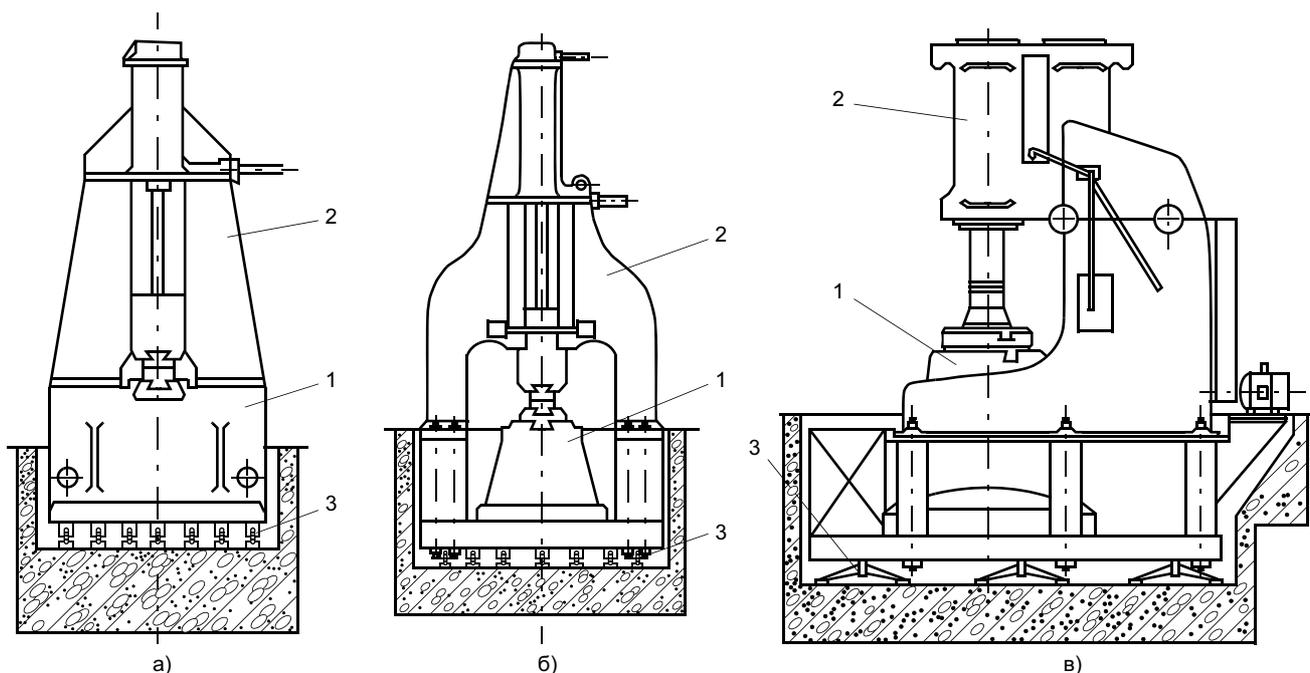


Рис. 1. Конструктивные схемы виброизолирующих установок кузнечных молотов: а — штамповочный; б — ковочный; в — ковочный пневматический; 1 — шабот; 2 — станина молота; 3 — рессоры

и за рубежом. Существующие конструкции имеют недостаточный ресурс долговечности амортизаторов из-за их перегрузки вследствие ограниченных технических возможностей по размещению упругих элементов под шаботами, особенно тяжелых молотов. Кроме того, для ковочных молотов вследствие технической разобщенности шабота молота отдельно от станины существуют определенные трудности в обеспечении необходимой виброизоляции шабота без уменьшения КПД удара молота и возможности выполнения необходимых технологических операций. При данной установке шабот при ударе поворачивался относительно стоек, неподвижно закрепленных на фундаменте, что приводило к сбрасыванию поковки с нижнего штампа [3].

Разработаны и внедрены в производство конструкции виброизолирующих установок всей гаммы ковочных и штамповочных молотов, в которых реализованы схемы виброизоляции при использовании железнодорожных рессор (рис. 1). Применение многолистовых, железнодорожных рессор (рис. 2) в качестве амортизаторов в случае отсутствия их перегрузки зарекомендовало себя с наилучшей стороны по простоте и надежности. Разработанные конструкции виброизолирующих установок молотов прошли апробацию в течение длительного срока эксплуатации, составляющего более 15 лет, и показали эффективные результаты эксплуатации.

Для тяжелых штамповочных молотов, имеющих составные шаботы массой 200 т и более, применяют комбинированные рессорно-пневматические амортизаторы, что обеспечивает настройку парциальных частот, разгрузку рессор и эффективную длительную их эксплуатацию. Ковочные молоты имеют разомкнутую станину, в которой шабот молота не связан со стойками станины. При виброизоляции отдельно шабота с низкой частотой, нанесении технологических ударов происходит снижение КПД удара

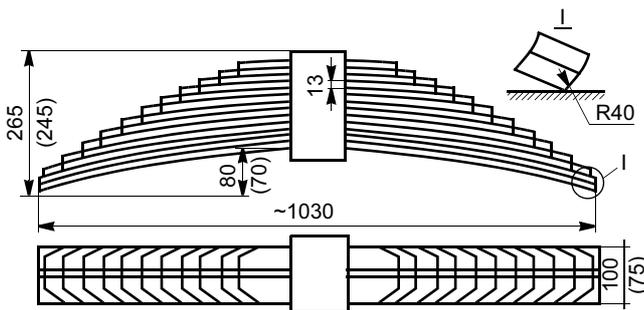


Рис. 2. Железнодорожные рессоры для виброизоляции молотов

и сброс поковки со штампа из-за раскочки. Для устранения данных негативных явлений в конструкциях виброизолирующих установок ковочных молотов используют опорную сварную раму, которая опирается на амортизаторы и создает жесткую связь между шаботом и стойками станины, как в случае штамповочных молотов. Шабот на раме установлен на прокладке из конвейерной ленты и снабжен ограничителями смещения с клином. Виброизолирующие установки пневматических, ковочных молотов также используют опорную сварную раму. Особенность данной конструкции состоит в том, что используется дополнительная установка груза-уравновешивателя, которая с учетом С-образной станины молота смещает центр масс к оси приложения нагрузки виброизолирующей установки, что устраняет раскочку машины.

Конструктивные параметры виброизолирующих установок следующие: статическая осадка молота до 40 мм; динамическое смещение машины после удара 10—15 мм; время до затухания колебаний 0,3 с; парциальная частота колебаний конструкции 3—4 Гц; виброперемещение фундамента 0,15 мм; виброскорость фундамента 5 мм/с. Замеры уровня действующих вибраций подтвердили эффективность виброизоляции молотов: парциальная частота колебаний виброизолирующей установки снижается в 4—7 раз, амплитуда колебаний фундамента молота — до 10 раз, виброскорость — до 20 раз.

Эксплуатация виброизолирующих установок молотов за счет соответствующей частотной настройки позволяет уменьшить негативные вибрации не только на рабочих местах, но и в помещениях административных служб кузнечных цехов, что особенно важно в условиях слабых грунтов размещения элементов зданий, испытывающих наибольшие резонансные колебания. При этом вибрации в источнике удается снизить в 4—6 раз и привести их параметры в соответствии с требованиями санитарных норм, соответственно повышается безопасность существующих условий труда на рабочих местах. Предложенные конструкции рекомендуются к широкому внедрению в кузнечных цехах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование, строительство и эксплуатация виброизолированных фундаментов для штамповочных и ковочных молотов с весом падающих частей до 16 т. Воронеж: ЭНИКМАШ, 1967. 83 с.
2. Климов И. В., Кошелев В. П., Носов В. С. Виброизоляция штамповочных молотов. М.: Машиностроение, 1979. 134 с.
3. Жачкин Ю. В., Лапин С. К. Фундамент ковочного молота с м. п. ч. 3 т мод. М134А с подрессоренным шаботом // Кузнечно-штамповочное производство. 1976. № 3. С. 22—24.

Р. М. ХВАСТУНОВ, д-р техн. наук, **Н. П. НЕГРИМОВСКАЯ**, инж., **А. Н. ФЕОФАНОВ**, д-р техн. наук
МГТУ "Станкин"

Способы отбора специалистов в состав экспертных групп

Наиболее важный вопрос, связанный с организацией квалиметрической экспертизы, состоит в том, чтобы исходя из основной задачи экспертизы и условий конкретной ситуации (возможностей выбора экспертов, тех или иных ограничений ресурсов и др.) найти оптимальный принцип отбора экспертов. Причем этот принцип (или способ отбора) придумать нетрудно — трудно обосновать его оптимальность.

Оптимальность проверяется в конечном счете результативностью экспертизы. Но экспертизу проводят за редким исключением экспертной группой, сформированной одним каким-то способом, и поэтому ее результаты не с чем сравнивать (если только нет явного провала). Да и решать вопрос о способе отбора экспертов приходится не после того, как получены результаты, а на начальном этапе экспертизы, когда результаты еще неизвестны. Каково же может быть обоснование способа отбора экспертов?

Надежных рекомендаций пока нет.

По мнению авторов, обоснованность может быть обеспечена тем, что по отношению к применяемому способу отбора не может быть выдвинуто ни одно из возражений следующего характера:

- некомпетентность всех или части экспертов по предмету экспертизы;
- возможная заинтересованность всех или части экспертов в определенном решении;
- отсутствие в экспертной группе специалистов, способных рассмотреть объект с определенной стороны, существенной для его оценки;
- квалиметрическая некомпетентность — отсутствие у некоторых экспертов знаний, подготовки, навыков, необходимых для простановки оценок и участия в работе экспертной группы;
- отсутствие стремления всех или части экспертов принять активное участие в работе (например из-за психологической несовместимости с другими экспертами);
- другие возражения.

Именно при формировании экспертной группы организатор должен тщательно обосновать способ формирования группы и рассмотреть с позиций общих требований каждую кандидатуру в отдельности, так как если по окончании работы возникнут неустранимые критические замечания в адрес способа формирования экспертной группы в целом или хотя бы отдельных экспертов, то и вся выполненная группой работа может оказаться бесполезной.

Пример. В НИИ конструкторского профиля для оценки качества проектных решений (выбор одного из проектов для дальнейшей разработки, премирование лучших работ и др.) в начале года была сформирована конкурсная комиссия. Учитывая возможность возникновения конфликтов, для ее формирования применили способ "выдвиже-

ния подразделениями", рекомендуемый для этой ситуации в квалиметрии. Однако в конце года, когда комиссия представила результаты своей работы, руководители ряда подразделений выразили несогласие с ними. Основу возражений составляло то, что в течение года некоторые члены комиссии по разным причинам вышли из ее состава, а относительно некоторых других в коллективах изменилось мнение. В итоге вместо предупреждения конфликта работа комиссии привела к его возникновению. При формировании комиссии организаторы не учли длительный характер ее работы и не предусмотрели необходимость систематического обновления состава.

Помимо указанных требований обоснованности на выбор принципа отбора экспертов могут оказать влияние:

- финансовые и временные ограничения;
- структура формируемой экспертной группы (с ведущим экспертом или без него, с различием ролей экспертов или без различия и др.);
- планируемый способ работы экспертной группы (однократное или многократное собрание, использование для получения информации анкет, интервью или деловых игр и др.).

Следует отметить, что в реальных условиях, когда экспертизу проводят в относительно небольшой организации, применение различных способов отбора экспертов приводит к тому, что в состав экспертной группы войдут в значительном количестве одни и те же лица. Совпадение может составлять до 75 %. Это свидетельствует о том, что правильным выбором способа отбора можно улучшить результаты оценивания до некоторого предела. Остальное будет зависеть от правильности руководства работой экспертной группы.

Сейчас уже никто не возражает против использования групповой экспертизы в задачах квалиметрии, прогнозирования, управления делами и др. Однако по отношению к применению групповой экспертизы для решения важных задач, связанных с крупными затратами, иногда высказывается возражение, что привлекаемые эксперты не объединены необходимостью действовать в единой упряжке, у них нет ответственности за точность своих оценок и они мало заинтересованы в тщательном обдумывании проблемы.

Эти утверждения не совсем верны, во-первых, в работе группы экспертов существенно не чувство "ответственности" отдельного эксперта, но его желание и возможность предложить наиболее обоснованные оценки с учетом суждений других специалистов. Во-вторых, именно правильный выбор способа формирования экспертной группы предопределяет возможность привлечения экспертов, способных и желающих выполнять необходимые обязанности. В-третьих, если специалист неоднократно

участвует в работе экспертной группы, то по результатам его деятельности может быть рассчитан рейтинг, с повышением которого растут репутация и зарплата специалиста, но при значительном снижении специалист может быть исключен из состава экспертной группы. Этот способ автоматически обеспечивает подбор "ответственных лиц" или экспертов, суждения которых наиболее часто соответствуют истине.

Наконец, даже одно знание того, каким способом сформирована экспертная группа и почему специалист попал в число экспертов, оказывает влияние на психику эксперта и надежность производимых им оценок. Уже поэтому следует тщательно подходить к выбору способа формирования экспертной группы.

Способы отбора экспертов следует разделить в первую очередь на две группы: определения первоначального круга экспертов (или "кандидатов в эксперты") и отбора экспертов из числа этих кандидатов для участия в конкретной экспертизе.

Способы первой группы предполагают использование только тех сведений о специалистах, которые можно получить в отделе кадров соответствующей организации, или же тех неформализованных данных о профессиональном уровне, характере, инициативности специалистов и др., которые приводят начальники или коллеги.

Способы второй группы ориентированы на использование специально собираемых данных о специалистах — кандидатах в эксперты. Эти сведения заносят в специально создаваемый банк данных. Конечно, к участию в экспертизе могут быть привлечены и все специалисты, найденные одним из способов 1-й группы, и, таким образом, сразу осуществлен окончательный отбор экспертов. Но это может быть удобно лишь для одноразовой экспертизы. Если же иметь в виду необходимость систематического проведения экспертизы качества определенной продукции, то целесообразно создание банка кандидатов в эксперты с последующим автоматизированным отбором требуемых по ситуации экспертов.

В дальнейшем способы формирования первоначальному кругу экспертов, а также отбора экспертов разделены на небольшие группы по сходству методики выполнения. Для каждого способа приведены рекомендации по его применению.

Способы определения первоначального круга кандидатов в эксперты

Непосредственное назначение заказчиком экспертизы. Членов экспертной группы назначает ответственное лицо (руководитель организации, отрасли), по распоряжению которого проводится экспертиза, но лично в ней не участвующее.

При этом могут быть достигнуты следующие цели:

— в число экспертов попадают в основном специалисты, заинтересованные в проведении экспертизы и склонные к коллективной работе (так как руководитель знает характер своих сотрудников);

— руководитель обязательно назначит авторитетных лиц, решение которых не вызовет сильных возражений у других сотрудников;

— решение такой экспертной группы будет авторитетно для самого заказчика.

Если цель экспертизы состоит в подготовке некоторого важного заключительного документа — о качестве некоторой дорогостоящей продукции, предлагаемых к исполнению разработок (например для получения грантов) и др., то при использовании способа назначения в эксперты попадают руководители высокого ранга, которые имеют право принимать решения в силу служебного положения. Однако вырабатываемое этой экспертной группой решение, как правило, не наиболее обоснованное и зачастую далеко не оптимальное. Руководители, особенно высокого уровня, часто не имеют времени, а иногда и желания (полагаясь на свою интуицию) решать задачи непривычными методами. Организатор, проводящий работу с такими экспертами, часто сталкивается со скрытым саботажем, причиной которого является некомпетентность отдельных экспертов или их стремление избежать нежелательной нагрузки. В ряде случаев эксперт, зная руководителя, распоряжением которого создана группа, может стремиться выразить в ответах не свое подлинное суждение, а суждение, соответствующее предполагаемым ожиданиям этого руководителя. Тем не менее, решение, выработанное такой экспертной группой, будет являться авторитетным как для руководителя, так и для других лиц, использующих результаты экспертизы.

Но надо подчеркнуть еще раз, что способ назначения всегда приведет к созданию экспертной группы, решение которой соответствует ожиданиям руководителя, назначившего группу, и никогда не будет им противоречить.

Например, руководство Министерства науки РФ в период активной перестройки вынуждено было провести экспертизу правильности своей научной политики, т. е. правильности выбора финансируемых направлений исследований. Независимой организации было предложено выполнить экспертизу, причем подбор ориентирующей информации, постановку вопросов, опрос экспертов и все остальные операции осуществляла эта организация, но экспертов, весьма компетентных специалистов из числа директората институтов, назначали руководители соответствующих отделов министерства. Нетрудно представить себе, как оценили эти эксперты научную политику министерства.

Более обоснованные результаты могут быть достигнуты с применением способа назначения в тех случаях, когда цель экспертизы состоит в отработке предложений эвристического характера, выборе новых направлений деятельности фирм, новых изделий для производства и др. В этих случаях в экспертную группу в основном попадают люди инициативные, склонные к работе в условиях конкуренции, как правило, невысокого служебного положения и поэтому не пренебрегающие освоением новой информации.

Например, в европейских отделениях компании SONY способом назначения систематически создаются конкурирующие между собой группы, разрабатывающие проекты новых изделий и исследований. Члены этих групп получают полную свободу высказывания предложений и суждений. Поощрение их работы мало зависит от того, будут ли приняты их предложения или же предложения конкурирующей группы. Высокий энтузиазм и эффективность работы этих групп позволяют компании сохранять лидирующее положение на европейском рынке.

Таким образом, способ назначения рекомендуется в двух ситуациях:

— когда вы приступаете к работе по проведению экспертизы в некоторой организации и стремитесь получить результат, желаемый заказчиком (чтобы создать себе в его глазах хорошую репутацию);

— когда цель экспертизы состоит в поиске новых, нетрадиционных решений и члены экспертной группы не рискуют своей репутацией или служебным положением, какие бы суждения они ни высказывали.

Назначение по выбору эксперта-руководителя группы. Руководитель организации назначает фактически одно лицо — руководителя экспертной группы или ведущего эксперта, который подбирает членов экспертной группы, ориентируясь на собственные неформальные критерии, а затем весь состав утверждается (назначается) приказом руководителя. При этом могут быть достигнуты следующие цели:

— удается собрать специалистов, хорошо сработавших между собой и потому высокоэффективных в совместной деятельности;

— в экспертной группе не будет лишних людей, что позволит сэкономить средства и время;

— при способном руководителе в такой экспертной группе могут быть достигнуты иногда выдающиеся результаты.

Так, в 70-е годы группа специалистов, отобранных известным впоследствии доктором Деннисом Медоузом, в короткое время разработала сценарий количественных и качественных изменений предстоящей жизни человечества — "Пределы роста". Этот выдающийся результат (хотя он относится более к прогнозированию, чем к квалиметрии, но в данном случае важна организационная сторона его достижения) был обусловлен как правильным выбором экспертов, так и правильной организацией работы группы, что представляло несомненную заслугу организатора.

Однако назначение по выбору ведущего эксперта может привести к следующим нежелательным последствиям:

— безусловно, в экспертную группу войдут специалисты одной научной школы, склонные к одностороннему подходу к решению проблемы экспертизы, совпадающему с подходом руководителя группы;

— поскольку руководитель экспертной группы почти наверняка не сможет привлекать к работе экспертов выше себя по служебному положению, то авторитетность этой группы в глазах заказчика будет зависеть только от авторитетности руководителя.

Способ может быть рекомендован для тех ситуаций, когда требуется провести оперативный анализ проблемы и найти какое-либо эффективное решение. Но при этом, как правило, не может быть обеспечен широкий охват проблемы и многие возможные подходы могут остаться без рассмотрения.

Способ назначения руководителем экспертной группы удобен для создания временной или долговременной "поисковой" группы, способной быстро оценить оперативную ситуацию в сфере деятельности организации, фирмы, быстро найти решения, близкие к оптимальным (например по коррекции деятельности фирмы).

Назначение комиссией, состоящей из руководителей экспертных групп. Если в организации предполагается неоднократно проводить экспертизу примерно одного и того же назначения (например, по оценке качества сходных видов продукции или услуг, качества организации производственной деятельности в подразделениях фирмы и др.), то целесообразно создать постоянную комиссию из специалистов — руководителей экспертных групп. При необходимости проведения очередной экспертизы руководители экспертных групп независимо друг от друга составляют списки кандидатов в эксперты (учитывая характер предстоящей работы), после чего в действительную экспертную группу включают тех экспертов, которые названы большинством руководителей. Дальнейшее руководство экспертной группой может осуществлять один или двое из членов комиссии.

Цели, которые могут быть достигнуты при этом:

— в экспертную группу могут быть привлечены необходимые специалисты различного профиля, которых не мог бы найти никто из экспертов-руководителей, действуя в одиночку; благодаря этому может быть обеспечена многосторонность анализа проблемы;

— благодаря тому, что перед каждым проведением экспертизы экспертную группу формируют заново, появляется возможность отобрать именно тех экспертов, которые лучше знают конкретную проблему и готовы к работе именно в данный момент;

— личная ответственность эксперта повышена благодаря тому, что он ожидает критику со стороны представителей других школ. Это обеспечивает и взаимный контроль оценок и результатов.

Однако данный способ сопряжен и с возможностью нежелательных явлений:

— продуктивность работы экспертной группы может оказаться невысокой из-за противоречий во взглядах представителей различных школ; на устранение противоречий может уйти значительное время;

— могут возникнуть трудности со сбором экспертов в одну группу из-за их разобщенности в пространстве и плохой психологической совместимости некоторых из них друг с другом.

Рассмотренный способ назначения оказывается особенно удобным при формировании экспертных групп отраслевого уровня, когда необходимо подготовить решения, затрагивающие интересы нескольких организаций близкого профиля. Далее рассмотрен альтернативный способ, который именно в этой ситуации приводит к худшим результатам. Тем не менее, его тоже иногда приходится использовать.

Документальные способы. Способы отбора экспертов по их "объективным" (документальным) показателям на первый взгляд представляются наиболее естественными и их применяют относительно часто. При этом документальными показателями могут быть:

- стаж, возраст, ученая степень;
- показатели, характеризующие область знаний, науки, техники и др., в которой специализируется эксперт, основные направления его работ;
- показатели, определяемые инструкцией по профессиональной аттестации;
- количество научных трудов, монографий, изобретений;

- частота участия в конференциях;
- количество ссылок на работы эксперта;
- количество премий, поощрений за результаты работ.

Хотя в документах могут быть отражены и другие показатели, но обычно документальными считают только вышеуказанные, о которых можно найти сведения в материалах отдела кадров.

Отбор по критерию максимальной авторитетности.

В экспертную группу отбирают специалистов, занимающих наиболее высокое должностное положение или же имеющих высокие ученые степени и звания.

При применении этого способа могут быть достигнуты следующие цели:

— созданная экспертная группа обладает максимальной авторитетностью в глазах лиц, ничего не понимающих в групповой экспертизе. Именно из этих лиц состоит почти каждая, особенно высшая администрация. Поэтому такая группа представительна для обоснования любых решений, заказываемых "сверху";

— дополнительным (кажущимся) преимуществом является независимость суждений экспертов от мнения начальства.

На самом же деле отечественная научная администрация до сих пор на 90 % состоит из лиц, выдвинувшихся не на основании своих достижений в науке. Чаще всего это бывшие партийные и комсомольские функционеры, современные политические и административные деятели. Выступая в роли экспертов, эти люди будут руководствоваться не требованиями научной объективности, а конъюнктурными соображениями, зависящими от их настоящего положения.

Члены такой экспертной группы, безусловно, компетентны в знании нормативных и правовых актов, директив, суждений и намерений руководства. То есть, если речь идет об экспертизе объектов с этих позиций, то результаты будут заслуживать доверия.

Но есть и сомнительные стороны и нежелательные особенности этого способа:

— проведенные опыты показали, что эксперты, отобранные документальным способом, могут оценивать более широкий круг объектов, чем менее авторитетные специалисты, но оценки первых ничуть не точнее, чем вторых;

— в случае появления разногласий в сформированной таким способом группе весьма трудно добиться согласования оценок, так как эксперты зачастую отказываются участвовать в обсуждениях и игнорируют предоставляемую дополнительную информацию;

— при применении документального способа весьма мала вероятность попадания в экспертную группу инициативных специалистов, согласных и способных решать задачи нетрадиционными методами; по данным авторов, их доля в сформированной группе, как и при использовании способа непосредственного назначения, составляет 10—15 %;

— в последние годы получила распространение практика покупки дипломов (в том числе докторских и академических), преподнесения ученых степеней и званий в качестве "подарков" политическим деятелям, финансовым магнатам и т. п. Понятно, что пытаться использовать их в качестве экспертов — дело безнадежное. К чести этих людей, надо сказать, они понимают свою научную значи-

мость и стараются уклониться от участия в подобных работах.

В целом отбор по способу максимальной авторитетности не представляет заметных преимуществ перед способом непосредственного назначения, который требует меньших трудозатрат и приводит к формированию более работоспособных экспертных групп.

Отбор по условию полноты охвата проблемы.

Предварительно специалист по организации групповой экспертизы путем консультаций выделяет в объекте экспертизы стороны, анализ каждой из которых требует участия представителей разных специальностей. Затем по документальным данным о сотрудниках данной организации (или же ориентируясь на профиль нескольких разных организаций) организатор производит отбор требуемых специалистов.

Например, при оценке качества выполненных разработок новой техники с целью их представления на выставку организаторы отбирают экспертов, знакомых не только с сущностью решенных научно-технических проблем, но и администраторов, знакомых с возможностями производства соответствующих изделий, привлекают специалистов-менеджеров, способных оценить перспективы внедрения изделий на внутреннем и внешнем рынках. Таким образом осуществляют многостороннюю оценку выполненных разработок.

При этом могут быть достигнуты следующие цели:

— при правильном определении необходимых сторон анализа осуществляется всестороннее рассмотрение объекта;

— по документальным характеристикам (например по тематике опубликованных работ) удается найти экспертов узкого и широкого профиля. Участие первых в экспертизе обеспечивает подробность анализа, участие вторых — увязку между собой оценок различных сторон (свойств) объекта.

Возможны проявления следующих нежелательных свойств этого способа отбора:

— ввиду невозможности привлечь многих специалистов одного профиля подход некоторых экспертов может быть односторонним, отражающим позицию одной школы;

— возможна несовместимость некоторых экспертов в группе ввиду их несработанности;

— не исключено, что организаторы допустят решающую ошибку при выборе совокупности тех сторон, с которых следует рассматривать проблему.

Способ отбора экспертов из условия полноты охвата проблемы часто применяют при экспертной оценке качества образцов продукции, предназначенных к массовому выпуску. В этом случае заранее разрабатывают некоторую инструкцию по аттестации отраслевой продукции, в которой указывают состав специалистов, привлекаемых в экспертную группу. Здесь могут быть ведущие специалисты предприятия, представитель министерства, сотрудники предприятий-поставщиков, дизайнеры и др.

В зарубежных методиках рассматриваемый способ отбора применяют на уровне руководства компаний, обладающих многими филиалами и предприятиями для оценки целесообразности производства той или иной продукции (при этом специалистов подбирают по группам оце-

ниваемых сторон, таким как возможности производства, транспорта, хранения, реализации продукции и др.).

Способ взаимных рекомендаций ("снежного кома"). Вначале опрашивают одного специалиста по объекту экспертизы. Он должен назвать других лиц, которые, по его мнению, должны войти в состав экспертной группы. Эти специалисты вновь должны назвать возможных экспертов, может быть, включая и первого, рекомендовавшего их (при этом способе обычно соблюдают анонимность рекомендаций) и т. д. Постепенно круг взаимных рекомендаций замыкается, все потенциальные эксперты названы.

Способ взаимных рекомендаций позволяет найти "незримый коллектив" сработавшихся между собой сотрудников одной или разных организаций, успешно работающих с продукцией или проблемой, подлежащей оцениванию независимо от служебного положения. Такая экспертная группа может провести наиболее глубокий анализ качества продукции или другого объекта.

Однако этот способ приводит иногда к слишком большому численному составу экспертной группы — 200 человек и более. Приходится отбирать тех экспертов, которые рекомендованы большинством, или же применять другие ограничивающие меры. Поэтому способ взаимных рекомендаций наиболее удобен при анализе продукции относительно узкого использования или таких проблем оценивания качества, когда заранее известно, что число потенциальных экспертов невелико.

Одна из таких типовых проблем, часто встречающаяся при выполнении новых разработок, — выбор соисполнителя, когда требуется распределить задания, составляющие общую работу, между несколькими организациями-соисполнителями. Эти специалисты (выступая на равных правах с первым) предлагают свои составы соисполнителей и т. д. Дополнительное достоинство способа взаимных рекомендаций проявляется здесь в том, что эксперты, рекомендованные в качестве соисполнителей, могут выступать с конкурирующими предложениями, что позволяет найти оптимальный вариант распределения заданий.

К недостаткам способа относится возможность получения слишком большого числа потенциальных экспертов. Поэтому приходится либо вводить некоторое "правило останова", когда дальнейший опрос кандидатов в эксперты прекращается, либо по сформировании круга потенциальных экспертов применять другие способы для отбора действительных экспертов из их числа.

Недостатком "незримого коллектива" является его условно односторонний подход к решаемой квалитметрической задаче: члены этого коллектива всегда являются представителями одной "школы".

Способ взаимных выборов отличается от способа взаимных рекомендаций тем, что одновременно с формированием полного списка потенциальных экспертов каждый эксперт знакомится со всем имеющимся на момент его опроса списком экспертов и отмечает тех кандидатов, с которыми он хотел бы сотрудничать в составе экспертной группы, и тех, сотрудничество с которыми он считал бы нецелесообразным.

При этом возможно образование в списке потенциальных экспертов двух и более подгрупп, внутри которых специалисты склонны к сотрудничеству друг с другом, но меж-

ду подгруппами количество взаимных выборов невелико. Конечно, в этом случае для экспертизы надо использовать представителей какой-нибудь одной подгруппы или же проводить работу с каждой подгруппой отдельно. Последний вариант требует значительно большей работы, но зато возникает возможность взаимного контроля результатов. Хорошо, если результаты работы различных групп экспертов не будут сильно различаться. Но если расхождение окажется существенным, то провести согласование оценок будет почти невозможно.

Способ взаимных выборов не вполне удобен потому, что лишь некоторые кандидаты в эксперты знакомятся со всем списком и осуществляют выбор из этого списка. Большинство же специалистов получают список на стадии его составления и потому не могут в полной мере выразить свой выбор. Лучше было бы предъявить каждому специалисту полный список, но это требует дополнительного цикла опросов. Кроме того, такой способ уже является не способом формирования первоначального круга экспертов, а способом отбора экспертов из сформированного банка.

Способ последовательных рекомендаций ("прогнозного дерева"). Один эксперт, являющийся крупным специалистом по анализируемой проблеме (виду создаваемой продукции, направлению деятельности фирмы и др.), должен указать условия, при которых проблема может быть решена (достигнута некоторая цель) и при которых он лично мог бы взять на себя ее решение. После того, как эти условия (промежуточные цели) установлены, эксперт должен назвать лиц, которые могли бы обеспечить достижение указанных им промежуточных целей. Эти лица выступают в качестве экспертов во 2-м туре опроса, когда выясняются условия достижения промежуточных целей и определяются лица, способные обеспечить достижение этих промежуточных целей и т. д.

Например, руководство фирмы предполагает начать выпуск продукции, превосходящей по качеству не только существующие, но и перспективные образцы аналогичного назначения, способной завоевать рынок и обеспечить процветание фирмы в перспективе. В этом случае способ последовательных рекомендаций является, пожалуй, единственным, позволяющим не только предвидеть изменение требований к качеству продукции, но и создать организационный аппарат, способный реализовать намеченные цели.

Применением этого способа достигается повышенная ответственность эксперта за свои рекомендации, поскольку он не может ожидать, что его рекомендации будут скорректированы другими членами экспертной группы, но, возможно, подлежат исполнению самим экспертом. Способ последовательных рекомендаций был впервые успешно применен для экспертизы возможности реализации заданий в так называемом "нормативном прогнозировании", когда производится экспертная оценка возможностей и сроков достижения определенных целей. Поэтому его называют еще способом "прогнозного дерева".

Основным недостатком данного способа является то, что поскольку эксперты подбираются непосредственно под конкретную проблему, причем в минимально необходимом количестве, то сформированная экспертная группа с самого начала способна выработать и осуществить единственный вариант решения без выдвижения и ана-

лиза каких-либо альтернативных вариантов. Хотя можно, конечно, сформировать две-три альтернативные экспертные группы для дальнейшего сравнения предложенных ими вариантов.

Поэтому способ "прогнозного дерева" можно рекомендовать не для оценочных решений (связанных с анализом современного рынка продукции), а для экспертирования перспективных вариантов действий, направленных на значительное повышение качества выпускаемой продукции и завоевание рынка в условиях конкуренции.

Выдвижение экспертов коллективами подразделений в состав экспертной группы может быть проведено коллективами подразделений данной организации путем открытого или же тайного голосования. Таким способом могут быть отобраны эксперты, пользующиеся всеобщим доверием и уважением независимо от их служебного положения и не обязательно наиболее квалифицированные. Как показывает опыт, такие эксперты коммуникабельны и хорошо работают в составе экспертной группы.

Способ выдвижения коллективами целесообразно применять в тех случаях, когда решение задачи экспертизы требует учета не только объективных показателей, характеризующих объект оценивания, но и добросовестности исполнителей, сложности выполняемой задачи, условий, в которых выполнялась работа и других дополнительных факторов, связанных с моралью, добросовестностью, этикой. К таким задачам относятся, например, оценивание качества работы подразделений организации с целью премирования лучших, определение изделия-победителя конкурсной разработки и т. п., в общем то, что связано с возможным возникновением конфликтных ситуаций внутри данной организации. Применяют также двухэтапную процедуру выдвижения, при которой на 1-м этапе выдвигают кандидатов в экспертную группу, число которых больше заранее обусловленного числа членов экспертной группы. На 2-м этапе члены совета директоров или заведующие подразделениями соответствующей организации проводят тайное голосование, например способом ранжирования, и на основе обобщенной ранжировки определяют окончательный состав экспертной группы.

При этом на 1-м этапе подразделения заинтересованы в выдвижении объективных и квалифицированных сотрудников, так как в противном случае их кандидаты будут скорее всего отвергнуты на 2-м этапе и, следовательно, подразделение не сможет иметь своих представителей в экспертной группе. На 2-м этапе ведущие специалисты имеют возможность судить о квалификации выдвинутых кандидатов. Большое число голосующих позволяет смягчить эффект возможных личных предубеждений к отдельным кандидатам.

Основной недостаток способа состоит, конечно, в узости области его применения: экспертизу, требующую объединения обширных знаний, типа прогноза требований к качеству продукции или оценивания качества продукции отраслевого использования такая экспертная группа выполнить не сможет.

Выдвижение экспертов заинтересованными организациями. Если решение проблемы экспертизы требует участия представителей нескольких различных организаций, фирм и др., тем более находящихся в разных городах, а иногда и в разных странах, то отбор экспертов по

их документальным данным, а тем более выбор по личностным характеристикам становится практически невозможным. В этой ситуации единственным средством найти и привлечь к экспертизе специалистов является обращение к руководству соответствующей организации с просьбой о командировании представителей и указанием на них характеристик (профессиональных и личностных), которые представляются желательными для участия в данной экспертизе. Данный способ, как правило, приводит к появлению в составе экспертной группы специалистов с трудно совместимыми позициями, так как каждый из них помимо достижения цели экспертизы стремится к достижению тех или иных, не высказываемых открыто целей, поставленных перед ним руководством его организации. Ситуация несколько улучшается, если экспертизу, для которой формируют экспертную группу, предполагается проводить систематически. Например, это может быть ежегодное составление прогнозов потребностей потребителей к продукции отрасли, потребностей закупаемой или выпускаемой продукции и т. п. Тогда удастся организовать обучение выдвинутых в эксперты специалистов и выбрать общеприемлемые формы экспертизы и сформировать путем некоторой селекции стабильный состав экспертной группы.

Но в целом этот способ приводит, во-первых, к появлению экспертной группы, которой трудно управлять, и, во-вторых, к результатам, сопряженным с большой вероятностью ошибки. Так, известно, что прогнозы, выполненные специалистами стран СЭВ, собранными данным способом, почти всегда были грубо ошибочными. Весьма квалифицированные специалисты, представлявшие разные страны, стремились предлагать суждения и оценки, соответствующие не их действительному мнению, а наиболее выгодные, в каком-то смысле, направившему их руководству.

Встречаются рекомендации привлечь в экспертную группу наиболее квалифицированных специалистов разных организаций сходного профиля для выявления непредвзятого мнения. Нельзя доверять этим рекомендациям. По указанным выше причинам данный способ лучше не применять. Его можно использовать с целью провала некоторой работы. Для этого в письмах руководству привлекаемых организаций следует намекнуть на ответственность предстоящих решений и обязательность их выполнения. Тогда будут присланы "непробиваемые" специалисты, которые не пойдут ни на какие компромиссы.

Способ максимального соответствия. Встречаются ситуации, когда члены экспертной группы должны отражать не свою собственную точку зрения на объект экспертизы, а позицию определенной категории населения, социально-экономической группы, группы потребителей и т. п. Такова, например, экспертиза отношений населения к появлению новой продукции, введению нового вида услуг, к планируемым изменениям качества городской среды (снос или возведение зданий, сооружение памятников), изменениям природной среды (в результате некоторых эколого-гигиенических мероприятий) и др.

Собственно говоря, проблема выявления суждений групп населения не относится к квалиметрической экспертизе, а скорее это объект социологии или социометрии. Определение суждений групп населения становится

задачей квалиметрической экспертизы в тех случаях, когда ее решение находится в плоскости повышения качества какой-либо продукции, потребляемой населением, составления квалиметрических прогнозов или повышения качества жизни самого населения.

При этом специалисты-квалиметрологи не проводят опросы более или менее случайно выбранных респондентов, но используют обычные формы работы с экспертами: формируют группы, используют различные способы опроса и т. п.

Так или иначе работа по повышению качества продукции иногда связана с необходимостью выявить отношение населения к тем или иным объектам производства или производственным решениям, и поэтому рассмотрены некоторые способы выявления этого отношения.

Для применения способа максимального соответствия необходимо предварительно составить стратификацию исследуемого контингента населения по социальным группам, которые, как можно предположить, могут иметь обособленную от других групп общую позицию по отношению к объекту экспертизы. Эта стратификация вручается всем научно-техническим и административным работникам той организации, которой предстоит осуществить планируемое мероприятие. Каждый сотрудник должен указать коллег, наиболее способных имитировать позицию определенной социальной группы, входящей в стратификацию.

Требования к такому специалисту трудно сформулировать формально, и способность удовлетворять им зависит почти исключительно от личностных черт человека. Приблизительно требования выглядят следующим образом:

- этому специалисту предстоит освоить значительный объем новой информации, касающейся потребностей социальной группы, к которой он скорее всего не принадлежит. Поэтому он не должен обладать заранее сформировавшейся жесткой позицией по предмету экспертизы, но должен иметь желание усвоить и разумно отстаивать суждения, возможно, чуждые ему лично;
- его работа в экспертной группе заключается в отстаивании определенной позиции. Это несколько сходно с участием специалиста эксперта в деловых играх. Поэтому он должен быть способен к участию в такой форме работы экспертной группы.

Ввиду указанных особых требований, которым может удовлетворять далеко не каждый, отбор кандидатов в экспертную группу не может быть осуществлен по формальным критериям. В анкете-стратификации, заполняемой сотрудниками организации, содержится просьба указать лиц, наиболее соответствующих той роли, которую им придется выполнять. Отсюда и название способа.

Наибольшая трудность при реализации способа максимального соответствия — подготовка информации, входящей в анкету для опроса, а именно самой стратификации и указаний по характеру требований, предъявляемых к кандидатам в эксперты. Нужен большой опыт, чтобы правильно разделить население на заинтересованные группы, причем проверить эту правильность почти невозможно. Специалисты, выдвигаемые кандидатами в эксперты, как правило, коммуникабельны, но склонны к пространным рассуждениям. Необходим опытный орга-

низатор работы экспертной группы для проведения экспертизы в разумные сроки.

При рациональной стратификации и хорошо организованной работе экспертная группа выносит всесторонне обоснованное заключение, отражающее мнение, которое могло бы быть получено путем сплошного опроса изучаемого контингента, т. е. экспертиза дает значительную экономию времени и средств.

Способ "фокус-групп". "Фокус-группа" — это 7—10 человек, проводящих дискуссию по заранее составленному плану и направленную на выявление суждений представителей различных социальных групп по квалиметрическому вопросу в условиях непринужденной, "безопасной" обстановки. В отличие от способа максимального соответствия фокус-группу формируют из числа представителей общественных и профессиональных организаций, которые могут быть заинтересованы в решении поставленного перед экспертизой вопроса. Способ фокус-групп предназначен для выявления суждений преобладающей части населения некоторого региона, поэтому отбор представителей производят путем обращения в общественные и профессиональные организации, находящиеся на данной территории, особенно располагающие средствами массовой информации: союзы потребителей, редакции соответствующих газет, профессиональные объединения (типа союза экспортеров нефти) и др.

Заседания фокус-групп проводят 2—5 раз, частично или полностью меняя состав участников. Обязательна запись заседания на магнитофон. Желательно использовать таблички с именами, поставленные перед каждым участником. Перед началом работы фокус-группы следует еще раз встретиться с заказчиком экспертизы, обсудить состав участников, порядок работы, содержание обсуждаемых вопросов.

Дискуссию проводят по плану, составленному организатором. Обсуждаемые вопросы должны идти от общих к частным, причем их формулировка должна быть нейтральной — не ориентировать участника на тот или иной ответ.

Вопросы во всех случаях следует ставить так, чтобы участники не могли догадаться о взглядах организатора.

Ввиду непрофессиональности состава экспертов фокус-группы особенно важно систематически задавать вопрос "Почему?", чтобы отделить действительные факторы, влияющие на предпочтения опрашиваемых, от их эмоционального обрамления. Организатор должен внимательно слушать и отмечать не только ответы, но и замечки и уклонения от ответов. Окончательные результаты экспертизы организатор оформляет после проведения всех заседаний и анализа аудиозаписей в виде описания факторов и показателей, влияющих на предпочтения представителей исследованных социальных групп.

С учетом сказанного о способах максимального соответствия и фокус-групп должно быть понятно, что опрос населения, проведенный без стратификации, продуманной процедуры отбора экспертов, тщательного выяснения их суждений, предварительной подготовки как содержания, так и формы предлагаемых вопросов, путем привлечения отдельных лиц из очередей или прохожих, является лишь потерей времени и средств, но никак не квалиметрически грамотным исследованием.

Способы отбора экспертов из сформированного банка данных по кандидатам в эксперты

Способы, основанные на использовании коэффициентов компетентности. Коэффициенты компетентности экспертов можно получить следующими способами:

- оцениванием со стороны коллег;
- формальным расчетом по некоторой формуле, учитывающей документальные данные;
- по результатам тестирования (вариант: по результатам участия в деловых играх);
- самооценкой;
- по результатам длительной систематической работы в составе экспертной группы (путем расчета рейтинга эксперта).

Оценивание со стороны коллег. Следует отметить, что рассмотренные выше способы выдвижения по существу являются способами оценивания со стороны коллег. Суть этих способов состоит в том, что специалист выдвигает тем или иным числом коллег в круг потенциальных экспертов и исходя из того или иного критерия либо включен в этот круг, либо нет. При этом специалист, вошедший в потенциальные эксперты, во всех дальнейших операциях считается равно компетентным со всеми остальными потенциальными экспертами, т. е. никакой "весовой" оценки, используемой для коррекции его оценок, ему не присваивают.

Эти способы можно без изменений применить и для отбора экспертов из уже сформированного банка данных о кандидатах. Например, получив задание на экспертизу качества некоторого объекта, можно предложить одному из экспертов указать коллег (из числа уже имеющихся в банке), которых наиболее рационально привлечь для оценивания именно данного объекта, затем обратиться с тем же вопросом к ним и т. д. Эта операция отбора, как нетрудно видеть, аналогична способу взаимных рекомендаций, но круг возможных экспертов ограничен содержанием банка данных.

В некоторых работах упомянута возможность получения оценки компетентности эксперта со стороны коллег в виде некоторого балла. Такие оценки нельзя рекомендовать для использования при отборе экспертов по следующим причинам:

- оценка со стороны коллег может оказаться лишь оценкой взаимоотношений экспертов. Особенно ярко это проявляется в тех случаях, когда эксперты принадлежат к нескольким разным школам. Никакой эксперт не оценит представителя чужой школы выше, чем своей;
- сама попытка как-то "взвесить" компетентность эксперта неэтична как по отношению к оцениваемому специалисту, так и по отношению к оценивающему. Кандидат в эксперты, зная, что его суждению придадут меньший "вес", склонен отказаться от участия в экспертизе;
- нет никаких экспериментальных доказательств того, что оценки экспертов, имеющих большие коэффициенты компетентности, точнее или надежнее, чем оценки экспертов с меньшими коэффициентами.

Коэффициент компетентности как функция документальных оценок. Обычно применяемая формула для расчета коэффициента компетентности имеет вид

$$K = \sum m_i x_{ij},$$

где m_i — коэффициенты "весомости" стажа, "остепененности", публикуемости и др., приписанные с точки зрения предполагаемой важности этих свойств для члена экспертной группы; x_{ij} — значения оценок, весьма произвольно приписываемых эксперту за производственный стаж, ученую степень, количество публикаций и т. п.

Например, ГОСТ 23554.1—79 "Экспертные методы оценки качества промышленной продукции" рекомендуют формулу

$$K = 0,4k_{\text{арг}} + 0,6k_{\text{сам}},$$

где $k_{\text{арг}}$ — коэффициент аргументированности, рассчитываемый пропорционально числу научных командировок за рубеж, числу прочитанных книг и др.; $k_{\text{сам}}$ — коэффициент знакомства, который эксперт назначает себе сам.

По мнению авторов, опираться на подобные расчеты коэффициентов компетентности не следует.

На включение специалиста в экспертную группу (если исходить только из требования его компетентности) могут влиять не общие сведения о печатных трудах и т. п., но только те данные, которые характеризуют его отношение к объекту предстоящей экспертизы. Это могут быть его печатные работы в направлениях, имеющих отношение к объекту экспертизы. Однако может оказаться, что эксперт хорошо знает объект экспертизы, но опубликовал в этом направлении мало работ или вообще ничего не опубликовал. То есть, оценка его компетентности по документальным данным окажется неверной.

Весовые оценки компетентности, находимые по документальным данным, присваивают эксперту без учета того состояния, в котором он находится в момент опроса. Однако точность оценки эксперта может резко колебаться в момент опроса под влиянием обстановки, отсутствия стимулов проявлять компетентность и т. п. То есть, и с этой точки зрения оценки компетентности не гарантируют высокой точности и обоснованности оценок эксперта.

В настоящее время нет достаточной ясности в определении того, что такое компетентность эксперта, каким образом она может быть измерена и как следует использовать оценку компетентности, если она будет получена. Попытки разработать меру компетентности, которая могла бы быть использована для улучшения отбора экспертов, не привели к успеху.

Литературные данные и опыт практической работы свидетельствуют, что результативность работы эксперта значительно больше зависит от заинтересованности в результатах работы, добросовестного отношения к работе как со стороны экспертов, так и в первую очередь со стороны организатора, чем от введения каких-либо коэффициентов компетентности. Только сам специалист должен судить о своей компетентности в отношении объекта экспертизы, своим желанием дать правильную оценку и на основе его самооценки (учитывая и другие его качества) можно принимать решение о его включении в экспертную группу.

Отбор экспертов по результатам тестирования.

Тестирование кандидатов для отбора в эксперты может быть осуществлено следующими способами.

По результатам решения тестовых задач

Этот способ целесообразно применять в тех случаях, когда членам формируемой экспертной группы предстоит многократно решать однотипные задачи, требующие знания многочисленных правил и инструкций, юридических положений и др. Например, если экспертной группе, предстоит систематически оценивать качество проектных решений строительных фирм с эколого-гигиенических позиций.

Психометрическое тестирование

Психометрические способы тестирования применяют в тех случаях, когда для участия в экспертизе требуется некоторый минимум развития психофизиологических функций. Например, предстоит оценивание качества нового типа экранов дисплеев для ЭВМ. Понятно, что помимо хорошего знания условий производства и использования этих экранов эксперт должен иметь физиологическую возможность оценить четкость и контрастность изображения, качество цветопередачи и т. п.

Тестирование по результатам оценивания тестового объекта

Группа уже сложившихся экспертов оценивает некоторый объект, поступивший на экспертизу, и фиксирует его достоинства и недостатки, а также дает оценки по частным показателям. Затем анализ того же объекта проводят кандидаты в эксперты. По числу совпавших оценок судят о пригодности кандидатов для предстоящей экспертизы.

Способами тестирования удается отобрать экспертов с пониженной инициативой, но умеющих хорошо соблюдать заданные правила, использовать профессиональные методики, положения и т. п.

Отбор экспертов по результатам участия в деловых играх можно рассматривать как один из способов тестирования кандидатов в эксперты. Обычно в деловых играх принимают участие лица, реально осуществляющие функции управления — администраторы предприятий, работники аппарата управления отраслей народного хозяйства, лица, готовящиеся на должности руководителей фирм или отдельных производств и др. Деловые игры позволяют специалисту испробовать себя в разных должностях и лучше понять возможности и трудности каждой из них.

Успешность деятельности игрока в деловой игре фиксируют в виде некоторой суммы выигрыша, по какой и судят о его способности исполнять ту или иную должность. Этот показатель может служить и для оценивания его способностей исполнять обязанности эксперта в решении соответствующих задач. Деловые игры помимо того, что позволяют получить оценки способностей эксперта, развивают и тренируют его инициативу и необходимые профессиональные навыки.

Однако, во-первых, трудно разработать деловую игру, в которой достаточно полно проявились бы необходимые способности кандидата в эксперты. Во-вторых, не всегда специалист, успешно выступивший в деловой игре, хорошо проявит себя в реальной обстановке.

Деловые игры применяют для отбора экспертов на задачи оценивания качества функционирования сложных

структур — органов управления, подразделений или филиалов организаций, финансовых органов и т. п.

Вариантом деловой игры, требующим меньших затрат со стороны разработчика, является "кейс-метод". При этом каждый кандидат в эксперты должен найти оптимальное решение в ряде стандартных ситуаций, которые моделируют для него организатор и другие участники.

Использование "рейтинга" эксперта. В тех случаях, когда специалиста неоднократно привлекают для участия в экспертизе и есть возможности ретроспективно оценить степень соответствия его прошлых оценок и суждений истине, может быть построена величина, характеризующая "качество" эксперта, его рейтинг (R).

Правила расчета рейтинга могут быть различными. Вначале нужно составить словесное описание процедуры изменения рейтинга.

Например, изначально, при включении в банк, всем экспертам присваивают одинаковый рейтинг (100 баллов). Если специалист участвовал в некоторой экспертизе и его оценка впоследствии оказалась соответствующей истине, то рейтинг может быть повышен. Допустим, за каждую оценку или суждение, признанные очень хорошими, R возрастает на 5 баллов. За оценку, признанную хорошей, но не наилучшей, R повышается на 3 балла. Напротив, ошибочная оценка или рекомендация снижают рейтинг на определенное число баллов. Могут быть введены изменения рейтинга за предоставляемую дополнительную информацию, немотивированный отказ от участия в экспертизе и т. п.

Спустя некоторое время эксперты приобретают различные значения рейтинга и их отбор для дальнейшего участия в экспертизе может быть проведен с использованием этой величины. Так, в первую очередь могут быть выбраны эксперты с высоким рейтингом. Оплата работы эксперта также может зависеть от рейтинга. Может быть предусмотрен критерий отказа от дальнейшего привлечения специалиста к работе в экспертной группе. Например, если его R снизится до 20 баллов.

Если эксперт отобран для участия в экспертизе, его суждения должны быть приняты на равных с суждениями остальных специалистов.

Отбор экспертов по их самооценке. В тех случаях, когда экспертизу поступающих объектов проводят неоднократно (периодически или по мере поступления объектов), причем объекты экспертизы можно разделить на направления так, что экспертиза каждого направления требует привлечения особой группы специалистов, применяют следующий способ. Организаторы подразделяют всю область возможной экспертизы на направления и каждый кандидат в эксперты отмечает те направления в работе, по которым он хотел бы участвовать, и те, свое участие в которых он считал бы нецелесообразным. Эти сведения заносят в банк. При поступлении на экспертизу очередного объекта организаторы определяют направление, к которому объект принадлежит, и отбирают соответствующих специалистов в экспертную группу.

Положительные особенности данного способа следующие:

- в экспертную группу попадают специалисты, чувствующие себя уверенно в отношении объекта экспертизы;
- при условии систематической работы в экспертной группе квалификация специалиста как эксперта растет;

— способ самооценки по направлениям удобен для автоматизированного отбора экспертов в тех случаях, когда число потенциальных экспертов весьма велико и они разобщены территориально так, что при отборе приходится учитывать фактор доступности.

Недостатки, присущие способу самооценки по направлениям, следующие:

— технический секретарь может неточно определить направления, к которым относится представленный на экспертизу объект, и тогда экспертная группа окажется неверно сформированной, неспособной всесторонне оценить объект;

— эксперты, отобранные в соответствии с оценками, сделанными ими, быть может, задолго до экспертизы, к моменту экспертизы могут изменить ориентацию своей работы и по этой или другим причинам не желают участвовать в предстоящей экспертизе.

Способ, основанный на самооценке по конкретному объекту экспертизы, состоит в том, что кандидатам в эксперты объявляют задачу и знакомят с объектом предстоящей экспертизы, после чего каждый из них принимает решение участвовать в работе экспертной группы или же нет.

Способ самооценки по объекту экспертизы лишен недостатков, присущих предыдущему способу самооценки по направлениям, но труднее в реализации, так как требует проведения опроса всех кандидатов, включенных в банк, в кратчайшее время. Кроме того, количество отобранных экспертов может оказаться либо слишком большим, либо слишком малым, и потребуются дополнительные меры по корректировке ее состава.

Поэтому способ самооценки по экспортируемому объекту трудно реализовать при наличии большого банка экспертов, тем более находящихся в разных учреждениях или даже городах. Комбинация способов самооценки по

направлениям и самооценки по объекту экспертизы, возможно, будет лишена недостатков обоих способов, сочетая их достоинства.

Способы, основанные на минимизации расхода ресурсов. Ограничения по ресурсам, расходуемым финансам и продолжительности работы могут иметь место при реализации любого способа формирования круга кандидатов в эксперты или отбора экспертов из числа рассмотренных выше. Однако возможны ситуации, когда процедура отбора экспертов жестко связана с лимитированием финансов или продолжительности работы.

В таких ситуациях вначале определяют число экспертов, которых можно включить в работу исходя из расчетов, учитывающих прошлый опыт, или же исходя из удобства управления экспертной группой, а затем производят их отбор так, чтобы минимизировать ограничиваемый ресурс.

Практически задача такого отбора не требует сложных вычислений и решается моментально. Достоинством способов отбора, проводимых с минимизацией ресурсов, является именно эта минимизация. Возможных недочетов при применении этих способов, конечно, много. Из-за того, что привлекаемые эксперты в основном базируются в организации, проводящей экспертизу, возможно появление "школы", состоящей из экспертов, придерживающихся преимущественно одного из возможных подходов к качеству объекта экспертизы. Из-за лимитирования количества экспертов в группе может не оказаться специалистов того или иного профиля и потому не будет обеспечен всесторонний анализ объекта экспертизы и т. д. Наконец, результаты работы слишком маленькой экспертной группы могут не вызвать доверия заказчика экспертизы.

Поэтому экспертизу в условиях жесткого лимитирования ресурсов лучше не проводить, а искать другие пути решения стоящей перед экспертизой задачи.

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.

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

С. В. ДУДНИКОВ

Управление федеральной государственной службы занятости населения по городу Москве

Роль и место службы занятости по трудоустройству выпускников учреждений профессионального образования

Молодежь нашей страны, составляющая примерно пятую часть населения, призвана играть большую роль в социальных переменах, в реализации курса реформ, поскольку молодежь — это не только будущий, но и действующий потенциал общества. По данным ООН, к концу XXI века люди в возрасте до 30 лет составят почти 60 % населения Земли. Следовательно, с молодыми людьми и их мнением необходимо считаться уже сегодня как с силой, в значительной мере определяющей политические, экономические и социальные настроения общества. Между тем именно молодежь является одной из уязвимых групп населения на рынке труда города.

Основными направлениями деятельности службы занятости населения по Москве в области молодежной занятости являются: профилактика безработицы среди молодежи; оказание содействия в трудоустройстве молодежи; организация временной занятости студенческой и учащейся молодежи в период каникул и в свободное от учебы время; профподготовка и переподготовка безработной молодежи по специальностям, пользующимся устойчивым спросом на рынке труда города; создание и сохранение рабочих мест для подростков и молодежи, в том числе не имеющей квалификации.

Все эти направления нашли отражение в межведомственных программах, формирующих и реализующих молодежную политику в городе.

Федеральная служба занятости реализует программу по организации временного трудоустройства безработных граждан от 18 до 20 лет из числа выпускников начального и среднего профессионального образования, ищущих работу впервые. Центры занятости населения административных округов заключают договоры с организациями различных форм собственности для временного трудоустройства безработных граждан, предполагающие совместное финансирование из средств работодателя (заработная плата) и федерального бюджета (материальная поддержка для безработных и несовершеннолетних граждан). Помимо заработной платы безработным гражданам — участникам работ предусмотрена материальная поддержка из средств федерального бюджета при условии отработки месячного баланса рабочего времени.

Раньше существовала практика трудоустройства молодых специалистов после окончания вузов. На сегодняшний день нет служб, занимающихся оказанием помощи выпускникам в прохождении производственной практики и распределении. В связи с этим возникла необходимость тесного контакта государственной высшей школы с предприятиями и государственными службами в целях возможности трудоустройства выпускников, а также маркетинговыми связями с предприятиями для возможности вписаться в рыночные отношения.

Нельзя не отметить работу, которая проводится совместно с Советом ректоров вузов. В рамках постановления Правительства Москвы № 853-ПП/СР-06/04 от 7 декабря 2004 г. "О взаимодействии с московскими вузами феде-

рального подчинения в 2004/2005 учебном году" Управление федеральной государственной службы занятости по городу Москве продолжает реализацию мероприятий Программы сотрудничества вузов и работодателей. В рамках этого постановления проходит организация и проведение международных выставок "Образование и карьера — XXI век".

В целях совершенствования работы по оказанию содействия трудоустройству высококвалифицированным молодым специалистам из числа выпускников престижных вузов Москвы Управлением ФГСЗН по Москве совместно с Советом ректоров высших учебных заведений Москвы и Московской области и кадровой консалтинговой компанией "Джи Ар Пи-Сервис" проводятся ярмарки вакансий "Карьера-Шанс".

Отличительной особенностью такого мероприятия является то, что здесь реализован принцип "От кандидатов — к компаниям", а не "От компаний — к кандидатам" (общепринятый при проведении городских ярмарок, которому предшествовал большой подготовительный период. В результате предварительного (интерактивного) знакомства соискателей и работодателей определяются взаимные притяжения и пожелания. Проводится масштабная рекламная кампания в лучших вузах Москвы и Подмосковья, в средствах массовой информации ("Ведомости", "The Moscow Times", "Работа и зарплата", "Работа сегодня", "Акция", "Гид молодого специалиста" и др.), в Интернет. При подготовке мероприятия были созданы эффективные тренинговые программы по вопросам развития карьеры. Разработанная электронная анкета соискателя помогает выявить наиболее талантливых, квалифицированных специалистов, которые получают затем именное приглашение на ярмарку, осуществляется подбор под сформированный контингент соответствующих организаций.

Кроме того, работодатели также имеют возможность проведения презентаций своих фирм, семинаров, тренингов, деловых игр по программам: "Прохождение успешного интервью", "Навыки составления резюме", "Навыки ориентации на рынке труда", "Навыки эффективных коммуникаций лидера", "Построение карьеры", "Самопрезентация" и т. д., пользующиеся огромным успехом у молодежи.

Для молодых специалистов, окончивших вузы, в большинстве случаев невыполнимо требование, которое, как правило, возглавляет перечень условий приема на работу — наличие стажа работы по специальности. Этот фактор обуславливает более низкую конкурентоспособность данной группы граждан. Низкая социально-профессиональная мобильность молодых специалистов чаще обусловлена невысокой квалификацией по основной специальности и узкой специализацией, полученной во время обучения.

Исходя из этого, трудоустройство молодых граждан остается сложной, но актуальной задачей в работе службы занятости. Проблема настолько остра и многогранна, что исключает разовые акции, нужны скоординированные действия всех заинтересованных ведомств.

В. Н. БЕРНАДСКИЙ, канд. техн. наук
ИЭС им. Е. О. Патона

Новые рубежи Института сварки Франции¹

Институт сварки Франции (ИСФ) (рис. 1), организованный в 1930 г. в Париже на бульваре де ля Шапель как Институт автогенной сварки, в настоящее время является крупным научно-техническим центром в области сварки и родственных технологий с современной научно-экспериментальной и лабораторно-испытательной базой и высокопрофессиональным научно-инженерным потенциалом. Особенно заметно вырос институт за последнее десятилетие — на конец 2006 г. численность его сотрудников превысила 720 чел., что в 1,5 раза больше численности персонала ИСФ в 1996 г. Площади его экспериментально-технологической и испытательной базы превышают 8000 м².

В 2005 г. руководство института приняло решение о серьезной реорганизации общей структуры и менеджмента ассоциативной группы ИСФ. В результате уже в 2006 г. институт в своей многосторонней деятельности перешел от "вертикальной" структуры и системы управления к структуре "горизонтально-региональной". Такой подход предусматривал в интересах промышленности перенос основной деятельности в региональные представительства ИСФ во всех департаментах Франции и в зарубежные филиалы. При этом их руководителям делегировались определенные права и обязанности. Был разработан соответствующий план технико-коммерческой деятельности ИСФ в новых условиях. План ориентирован в первую очередь на максимальное приближение структур и сотрудников института к своим непосредственным партнерам и заказчикам с целью досконального изучения текущих и перспективных проблем производителей сварных конструкций и максимально быстрого реагирования на запросы производителей и фирм, эксплуатирующих сварные конструкции и сооружения, а главное — на расширение круга партнеров и рост объема заказов. Одновременно в ре-

гиональных и зарубежных отделениях ИСФ предусматривалось резкое расширение научно-технических услуг: по диагностике сварных конструкций и неразрушающему контролю сварных соединений, обучению, переподготовке и аттестации рабочих кадров и высокопрофессиональной научно-инженерной экспертизе при проектировании, изготовлении и эксплуатации сварных конструкций и сооружений.

При всех организационных изменениях ИСФ сохранил традиционную ориентацию своей деятельности на сварочное производство таких перспективных и инженероёмких отраслей, как нефтехимия, газотранспортные системы, энергетика, включая атомную, авиастроение, а также промышленное строительство.

Наиболее серьезным структурным изменением в процессе реорганизации стало преобразование крупного комплексного подразделения "Службы" (созданного в 1948 г. на правах филиала) в "Институт сварки — промышленность" (рис. 2) с достаточно широкой автономностью и даже со своим, несколько отличным от основного, логотипом. В состав "ИС — промышленность" вошли подразделения и специалисты, занимающиеся диагностикой и неразрушающим контролем, сварочно-технической инспекцией и сертификацией рабочего персонала, технологическим сопровождением, экспертизой и другими инженерно-техническими услугами в области сварочного производства промышленных предприятий и строек Франции и других стран ЕС.



Рис. 1. Логотип Института сварки Франции



Рис. 2. Логотип "Институт сварки — промышленность"

Собственно ИСФ при данной реорганизации сохранил за собой проведение научных исследований и технологических разработок инновационного характера, лабораторно-аналитических исследований, учебные структуры высшего (ESSA) и среднего (EAPS) профессионального образования с присвоением выпускникам квалификации "международный инженер-сварщик" и др., сертификацию персонала по сварке и неразрушающему контролю, систему информационного обеспечения научной и производственно-коммерческой деятельности всего комплекса, а также издание журнала "Soudage et Techniques Complexes" и бюллетеня "Infos Members. Bull'Doc". В последние годы ИСФ совместно с DVS и TWI издает журнал "Welding and Cutting".

В рамках новой структуры была расширена и активизирована уже имевшаяся ранее региональная система ИСФ, включающая в настоящее время 36 технических офисов-представительств и 12 центров профессиональной подготовки и аттестации рабочих-сварщиков во всех восьми департаментах Франции. Группу технических офисов и учебных центров ИСФ в каждом департаменте возглавляют региональные директора.

Новый шаг в развитии деятельности ИСФ представила амбициозная зарубежная политика института по внедрению своих разработок и деятельности своих специалистов на предприятиях в активно развивающихся регионах мира. С этой целью ИСФ в 2006 г. открыл три постоянных филиала в Марокко, Катаре и Иране. В ближайшей перспективе предполагается создание новых филиалов и в Азии. Зарубежные филиалы быстро оправдали свою техническую и экономическую целесообразность, постоянно присутствуя в соответствующих регионах, они получили доступ к новым и заинтересованным потребителям, увеличили приток заказов. Кроме того, мобильные группы экспертов, технологов и дефектоскопистов периодически работают по контрактам с предприятиями более чем в 30 странах мира. Та-

¹ Автор выражает свою признательность Н. Г. Хоменко (ИЭС им. Е. О. Патона) за участие в подготовке статьи и Катрин Леви (ИСФ) за предоставленные материалы.

кая активная форма деятельности ИСФ по обслуживанию зарубежных партнеров обеспечила в 2006 г. почти 15,2 % общего оборота института, а прирост этих поступлений в 2006 г. по сравнению с 2005 г. возрос на 40 %.

В результате целенаправленной деятельности всех подразделений, входящих в ассоциативную группу ИСФ, общий оборот института в 2006 г. составил 65,5 млн евро, что почти в 2 раза превышает объем его финансирования в 1996 г. Об эффективности работы ИСФ можно судить также по величине чистой прибыли в размере 1,57 млн евро на конец 2006 г., прирост которой по сравнению с 2005 г. увеличился на 11 %. Доля вклада подразделений в общий фонд финансирования ИСФ за 2006 г. в разрезе основных направлений его деятельности:

- исследования и разработки в интересах промышленности. 7,9 %
- диагностика, инспекция и неразрушающий контроль сварных конструкций и сооружений. 69,4 %
- расчеты, проектирование, экспертизы и консультации. 3,6 %
- профессиональное обучение и аттестация сварочного персонала всех уровней. 13,7 %
- прочие инженерно-технические услуги и коммерческие операции. 5,4 %.

Руководство института совместно с руководителями его подразделений в процессе реорганизации стимулировало повышение личной инициативы и ответственности в коллективах сотрудников, уделяло внимание улучшению условий труда, воспитанию умения работать в меняющемся составе исполнителей по проектам, оперативности выполнения заданий и, главное, развитию творческого подхода к инновациям в своей деятельности. В частности, проводились рабочие совещания по темам, коллективные обсуждения результатов, индивидуальные собеседования, была пересмотрена система материального поощрения.

С целью повышения значения и уровня научно-технической экспертизы в современном наукоемком производстве в 2006 г. была принята программа "Fellow", в соответствии с которой создана постоянно действующая группа экспертов ИСФ, ориентированных на высокопрофессиональную оценку и отбор наиболее прогрессив-

ных технологий и других технических решений в интересах заказчика. В состав группы вошли четыре эксперта в ранге заместителя директора ИСФ и 26 инженеров-экспертов. Сфера их деятельности охватывает все региональные представительства в стране и зарубежные филиалы по следующим четырем тематическим направлениям: "Материалы и способы соединения", "Конструкции, расчет, экспертиза", "Диагностика и неразрушающий контроль", "Технологический надзор, нормативные акты и стандартизация".

Прикладная исследовательская тематика в области традиционных технологий сварки и сварочных материалов массового применения, как правило, связана с решением сугубо конкретных задач, возникающих в промышленности, в частности, рационализацией сварных конструкций и их технологичностью, повышением производительности, улучшение качества сварных соединений и снижением экологической нагрузки от применения сварки. Такие разработки позволяют активно использовать научно-технологический задел и инновационные возможности ИСФ и содействовать повышению технического уровня национального сварочного производства и конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Оригинальные научные исследования и разработки ИСФ, как правило, ориентированы на новые наиболее прогрессивные технологии соединения и методы их контроля. В настоящее время проводятся исследования технологических возможностей соединения различных материалов с применением сварки трением с перемешиванием, электронно-лучевой, лазерной и лазерно-гибридной, сварки плавлением способом К-TIG и пайки, свариваемости новых сталей и сплавов и их разнородных сочетаний. Эти работы в основном ведутся в отделе технологических исследований и разработок, лабораторно-экспериментальная база которого расположена в Ютце (департамент Мозель) и фактически является исследовательско-технологическим центром ИСФ. В этом центре площадью 6000 м² расположены лаборатории лучевых процессов, техники и технологии сварки плавлением, исследований прочности и механики разрушения СК, коррозии и неразрушающих методов контроля и др., оснащенных современным ла-



Рис. 3. Лабораторный корпус технологического центра в Ютце

бораторным, испытательным и технологическим оборудованием, что позволяет ИСФ достаточно широко участвовать в крупных исследовательских программах, в том числе в рамках ЕС (рис. 3). В центре работают 75 инженеров и техников.

В настоящее время в центре значительное внимание уделяется технологическим исследованиям лазерных и лазерно-гибридных процессов сварки на базе шести лазерных источников мощностью более 1,0—1,2 кВт каждый. Прикладные исследования, в частности по конкретным заказам, направлены на разработку промышленной технологии сварки хромомолибденовых и высокоуглеродистых сталей широкого диапазона толщин. К технологически перспективным относятся исследования в области промышленного применения лазерной сваркопайки чугунов. В рамках общеевропейской партнерской (семь соисполнителей) программы SOFI в 2006 г. начаты комплексные исследования по сравнительной оценке новейших способов сварки тонких листов углеродистых сталей, сталей с покрытиями, коррозионно-стойких сталей высокой прочности и сплавов Ti и Al. Цель данных исследований — разработка технологических рекомендаций по оптимальному применению конкретных способов соединения применительно к автомобильному производству и котлостроению.

Специалисты центра участвуют в европейском проекте Nipro-TIG по исследованию технологических особенностей нового К-TIG-процесса — односторонней стыковой сварки металла толщиной до 12—15 мм со сквозным "кинжальным" проплавлением, обеспечивающей высокую производительность и стабильное качество соединения. Для К-TIG-процесса

характерно применение больших значений сварочного тока (500—1000 А) и погружение электрода в образующее сквозное отверстие свариваемого шва (рис. 4). Эксперименты проводили на образцах из коррозионно-стойкой стали, никелевых и титановых сплавов толщиной 12 мм. Установлено значительное (до 10 раз) повышение производительности при хорошем качестве соединения, снижение разбрызгивания и газопылевых выделений (по сравнению с обычным TIG-процессом).

Сварка трением с перемешиванием (FWS) как одна из передовых инновационных технологий всесторонне исследуется и отрабатывается для конкретных областей применения во втором специализированном технологическом центре ИСФ в Метце. Этот центр также входит в состав отдела промышленных исследований и разработок института, в нем работают семь

инженеров и три техника. Опытно-лабораторный цех центра площадью 1300 м² оснащен двумя 10-тонными мостовыми кранами, имеет металлографическую лабораторию и цеховую компьютерную систему САПР-АСУТП с программным обеспечением Cartia-V5. В лабораторном корпусе установлены две современные установки с цифровым управлением и стендами длиной 12 и 19 м для сварки трением с перемешиванием протяженных швов как плоских элементов (в двух координатах), так и объемных узлов или фрагментов конструкций высотой до 4,5 м (в трех координатах) (рис. 5). В 2006 г. здесь был проведен завершающий цикл исследования FWS-процесса в рамках проекта EuroSTIR, в котором принимали участие 40 партнеров из стран ЕС, в том числе шесть французских. Итоговые исследования подтвердили технологические преимущества FWS-процесса по сравнению с дуговым и лучевыми процессами. Исполнители проекта разработали принципиальные рекомендации для промышленных предприятий о рациональных областях применения данного процесса сварки для соединения сплавов алюминия, меди, магния, цинка и разнородных сочетаний Al—Cu и Al—сталь. Представленные технологические рекомендации отвечают основной цели проекта EuroSTIR — внедрению процессов сварки трением с перемешиванием в европейское транспортное машиностроение (судостроение, авиастроение, подвижной ж.-д. состав, автомобилестроение) и строительство.

Другой крупной разработкой ИСФ в области сварки трением с перемешиванием является реализация контрактного проекта Wel Air. Проектом предусмотрена отработка промышленной технологии приварки панелей различной кривизны размером до 12×2,4 м к рамам и шпангоутам самолетных конструкций; отрабатывается технология сварки точечных, прорезных и стыковых швов на авиационных алюминиевых сплавах толщиной 1—30 мм. Промышленная FWS-технология сварки объемных и объемно-монтажных соединений в автоматическом режиме ориентирована на последующее ее применение в производстве с использованием сварочных роботов-манипуляторов сварочным инструментом, в том числе и специального, с двойным "запечником".

Следует отметить, что в технологических центрах ИСФ проводятся не только исследования и опытно-промышленная разработка технологий соединения, но и выполняются небольшие заказы отдельных предприятий на изготовление сварных деталей и узлов с применением прогрессивных процессов сварки на современном оборудовании.

Значительный объем в общей деятельности ИСФ занимают еще два направления: первое — это диагностика, инспекция и контроль сварных конструкций и сооружений с целью оценки и продления их эксплуатационной работоспособности; второе — периодическая работа непосредственно на предприятиях, где производятся ответственные сварные конструкции, заключающаяся в высококвалифицированном технологическом сопровождении и инспекции на всех этапах изготовления конструкций (заготовительных операциях, сборке, сварке, контроле). Примером такой деятельности может служить участие специалистов ИСФ на всех стадиях цикла изготовления уникальной сферической камеры "Laser Megajoule" (рис. 6) для французского термоядерного центра. Как правило, это направление деятельности реализуется специалистами региональных отделений и филиалов под руководством и при участии соответствующих экспертов ИСФ.

Представляет интерес принятая в ИСФ краткосрочная (на 5 лет) программа приоритетной тематики конкретных технологических исследований и разработок в области сварки и родственных технологий непосредственно в интересах промышленных предприятий и отраслей, включающая:

- разработку методов неразрушающего контроля сварных (стационарных и бортовых) баллонов и резервуаров для хранения водорода;
- разработку методики мониторинга процесса старения сварных конструкций и оценки их повреждаемости в процессе эксплуатации;
- разработку промышленных технологий сварки новых конструкционных материалов: легированных сталей с высоким пределом упругости, высокопрочных алюминиевых сплавов и мультиматериалов для гибридных конструкций;
- повышение производительности и уровня автоматизации процессов

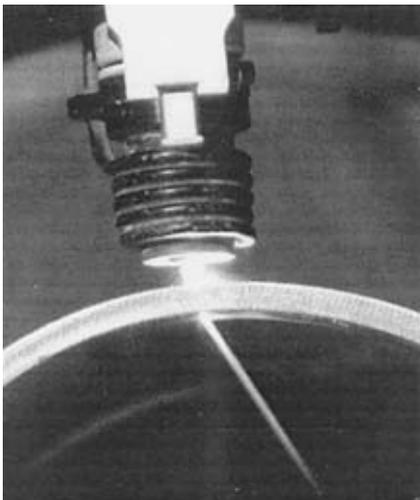
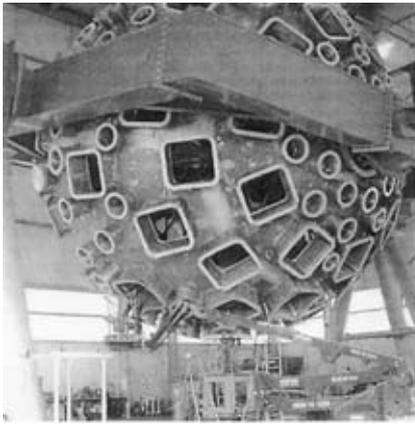


Рис. 4. К-TIG-сварка поворотного стыка трубы толщиной 13 мм



Рис. 5. Машина для сварки трением с перемешиванием (длина шва 14 м)



а)



б)

Рис. 6. Сварная сферическая камера "Laser Megajoule" (диаметр 11,0 м, масса ~100 т) для комплекса термоядерных исследований: а — сварка и контроль в цехе; б — готовая камера подготовлена к транспортировке

сварки за счет расширения объемов применения самоадаптивной и гибридной сварки, а также интенсивной роботизации сварочного производства;

— развитие методов цифрового моделирования технологий сварки и наплавки, в том числе исключаящих последующую термическую обработку.

Генеральный директор ИСФ г-н Ален Удар заявляет, что на ближайшую перспективу институт останется верен своим традициям в части непрерывного повышения инновационного уровня исследований, активного трансфера прогрессивных технологий и других новаций в производство, дальнейшего развития сети зарубежного представительства ИСФ, установления новых и укрепления сложившихся партнерских отношений с заказчиками ведущих отраслей Франции для решения проблем современного развития сварки и родственных технологий.

Мощная система информационно-обеспечения основных сфер дея-

тельности ИСФ постоянно совершенствуется, в нее включены 34 из 36 региональных офисов-представительств и зарубежных филиалов, вся система корреспондируется с веб-сайтом института (www.isgroupe.com). В 2006 г. проведена актуализация базового пакета прикладных программ (EXP) управления системой, которая имеет ряд тематических БНД. Система позволяет накапливать и анализировать всю информацию об имеющихся или потенциальных заказчиках, включая первые контакты, конкретные запросы, заявки на сметную стоимость контрактов, перечень перспективных задач и услуг и др. В БНД информационной системы зафиксированы более 8000 партнеров-заказчиков, значительную часть которых составляют так называемые действительные члены ИСФ — крупные промышленные объединения, концерны и фирмы Франции, Бельгии, Германии и других стран. Ассоциативными членами ИСФ являются Немецкое

общество сварки и родственных технологий DVS и Британский институт сварки TWI.

Действительные члены ИСФ от промышленности имеют льготный доступ к ряду услуг со стороны подразделений института, в частности:

— открытый телефонный доступ к библиографической БД, содержащей более 14 000 аннотаций международных технических публикаций в области сварки, сварных конструкций и неразрушающего контроля;

— пользование систематически актуализируемой БД о нормативных актах, технических рекомендациях, стандартах и другой национальной и международной нормативной документации;

— оперативное обеспечение технологических консультаций или рекомендаций и ежеквартальное получение подборки текущей технологической документации в виде бюллетеня "Infos Members, BullDoc";

— возможность ознакомления с результатами отдельных НИР, выполненных по контрактам с промышленными предприятиями и стройками;

— приглашение на участие в 10 проводимых в течение года научно-технических семинарах, тематических обсуждениях и демонстрациях;

— бесплатное резервирование места (веб-узлов предприятий) на веб-сайте ИСФ.

Главным девизом в работе с партнерами и заказчиками — промышленными предприятиями и стройками стран ЕС, а также деятельности ИСФ на национальном и международном рынках сварочных технологий и услуг является "предложить потребителю наилучшее решение, где бы он не находился".

Содержание зарубежных журналов¹

Werkstatt und Betrieb
(N 1–2, 2008, Германия)

Schiffler R. Электроэрозионная обработка, с. 16—18, ил. 6.

Описываются примеры обработки деталей на проволочно-вырезном электроэрозионном станке CX-20 с ЧПУ "Power-Master-Line" фирмы Mitsubishi Electric. Станок имеет процессор на 64 бита и разнообразное периферийное оборудование для визуального контроля процесса обработки. Экономическая эффективность обработки определя-

ется не только малым временем переналадки, но и оптимально удобной доступностью рабочей зоны и простотой управления оборудованием.

Установка для электроэрозионной обработки, с. 20, ил. 1.

Фирма Fanuc Robomachine GmbH выпускает проволочно-вырезные электроэрозионные станки серии Robocut моделей Alpha-0iD и Alpha-1iD с перемещениями по осям X, Y и Z, соответственно равными 370, 270, 255 мм и 600, 400, 310 мм, обеспечивающие высокую точность позиционирования. За счет дополнительного перемещения по осям U и V станок Alpha-1iD позволяет обрабатывать конические поверхности с углом 30° при высоте обработки 150 мм.

¹ Раздел подготовлен инж. Г. С. Потаповой (по вопросам получения материалов обращаться по тел./факсу: (495) 611 2137, e-mail: stankoinform@mail.ru).

Koslowski U. Зажимные устройства, с. 23—24, ил. 4.

Описываются зажимные устройства с магнитной плитой Magnos типа MFR 2-050-080-050 фирмы Schunk GmbH & Co., применяемые при обработке пяти сторон детали с одного устройства (сверление и фрезерование), устанавливаемой на поворотном столе станка TBT для глубокого сверления.

Dieter F. Модульные зажимные устройства, с. 26—29, ил. 6.

Описывается применение модульных зажимных устройств фирмы Heinrich Kipp Werk KG при обработке детали блока цилиндров (головка блока, кулачковый и колленчатый валы, шатуны) на предприятии фирмы General Motors Powertrain (Германия). Модульный принцип и стандартные элементы (до 90 %) обеспечивают широкую универсальность зажимных устройств и возможность обработки деталей с нескольких сторон, что эффективно в условиях большого разнообразия обрабатываемых деталей.

Нанообработка, с. 44—45, ил. 3.

Фирма Okamoto Machine Tool Europe GmbH разработала технологию Zero-Ideal, принципы которой используются в шлифовальных станках серии Ultra-Planarization-Grinder, обеспечивающих получение зеркально чистой обработанной поверхности и "нулевые допуски". Основу данной технологии составляет бесконтактная высокоточная гидростатическая измерительная система.

Damm H. Шлифование фасонных деталей, с. 46—49, ил. 3.

Описывается технология шлифования точных фасонных деталей на круглошлифовальном станке с ЧПУ Grindor silver фирмы Erwin Junker Maschinenfabrik GmbH. Программируемая правка шлифовального круга позволяет обрабатывать одним обычным кругом без заметного отклонения размеров обработки до 300 деталей из подшипниковой стали 100Cr6.

Шлифование с охлаждением, с. 50—51, ил. 2.

Фирма H. Sartorius Nachf. GmbH & Co. KG предлагает систему охлаждения Sara, включающую устройства для подачи охлаждающего средства в виде масляного тумана и в парообразном состоянии и устройство фильтрации. Система устанавливается непосредственно на шлифовальном станке и отвечает требованиям безопасности и защиты окружающей среды.

Lang W. Технология обработки разнонаправленных зубьев, с. 52—53, ил. 3.

В настоящее время разнонаправленные зубья деталей вместо фрезерования и протягивания обрабатываются на специальных станках глубокого шлифования серии "L" фирмы Mägerle AG Maschinenfabrik с мощностью привода шлифовального круга 115 кВт. Шлифовальные круги шириной 320 мм работают с подачей от 250 (начальная) до 600 мм/мин (конечная), что обеспечивает увеличение производительности обработки в 2—3 раза по сравнению с обработкой на профилешлифовальном станке с кругами шириной 100—160 мм.

Rabeneck D. Шлифование профиля зубьев, с. 54—57, ил. 4.

Рассматривается технология шлифования на станках с ЧПУ серий Helix и Rapid фирмы Höfler Maschinenfabrik GmbH, предназначенных для шлифования профиля зубьев

зубчатых колес диаметром от 1 до 6000 мм. Станки обеспечивают правку шлифовального круга в соответствии с формой обрабатываемых зубьев и топологическую корректировку боковой поверхности зубьев за счет соответствующего наклона оси шпинделя шлифовальной бабки.

Sporer A. et al. Акустический контроль шлифования, с. 58—60, ил. 5.

Датчики звуковой эмиссии фирмы Walter Dittel GmbH, закрепляемые на шпинделе бабки изделия, позволяют жестко контролировать процессы шлифования и правки шлифовального круга. Благодаря таким датчикам стало возможным принимать соответствующие меры для компенсации отклонений размеров, выходящих за пределы допусков, обрабатываемых деталей.

Schäpermeier E. Моделирование технологии процесса шлифования, с. 62—65, ил. 3.

Программа "RULO" моделирования различных операций шлифования учитывает взаимное влияние различных факторов процесса. Для круглого наружного шлифования наиболее значимым фактором с точки зрения качества обработки является диаметр обрабатываемой детали. Программа оптимизирует процесс обработки за счет увеличения удельной работоспособности круга, уменьшения частоты правки круга, устранения термической деформации детали и обеспечения заданных допусков и шероховатости.

Hobohm M. Комбинированная обработка, с. 66, 67, ил. 3.

Рассматривается комбинированная обработка, включающая токарную обработку и шлифование закаленных деталей с одной установки и обеспечивающая требуемые радиальное биение и относительное расположение обрабатываемых поверхностей при существенном сокращении времени обработки. Для осуществления этой технологии фирма Fritz Studer AG предлагает многоцелевой станок S242.

Hagenlocher O. Станок для комбинированной обработки, с. 68—71, ил. 5.

Фирма Emag Salach Maschinenfabrik GmbH выпускает многоцелевые станки серии VSC DS для комбинированной обработки, включающей обдирочное точение, обычную токарную обработку, фрезерование, сверление и шлифование. Станок VSC 250 DS имеет патрон диаметром 250 мм, привод шпинделя мощностью 39 кВт с вращающим моментом 460 Н·м; станок VSC 400 DS/DDS имеет патрон диаметром 400 мм, привод шпинделя мощностью 58 кВт с вращающим моментом 620 Н·м.

Wijers J. Токарная обработка закаленных деталей, с. 72—75, ил. 4.

Фирма Nemburg B. V. выпускает вертикальные токарные станки Mikroturm для прецизионной обработки крупных закаленных деталей твердостью до 70 HRC из труднообрабатываемых материалов. Обработка ведется со скоростью резания 160 м/мин и подачей 0,15—0,25 мм/об. Параметр шероховатости обработанной поверхности Ra = 0,1 мкм; отклонение размеров не более 2 мкм.

Комбинированная механическая обработка, с. 78—80, ил. 3.

Сочетание высокоскоростного резания и ультразвуковых колебаний позволяет эффективно обрабатывать

стекло, керамику, кремний, корунд и твердые сплавы. Описывается комбинированная обработка на станках Ultra-sonic 20 linear фирмы DMG Vertriebs und Service GmbH, шпиндель которых вращается с частотой 42 000 мин⁻¹ и имеет систему активного охлаждения. Станок оснащен инструментальным магазином на 60 инструментов.

Rehfeldt S. Притирочный станок, с. 82—84, ил. 3.

Фирма FLP Microfinishing GmbH выпускает притирочный станок FLP 1200/4 для окончательной обработки деталей сложной геометрической формы из труднообрабатываемых материалов. Станок отличается оптимальным соотношением стоимость/производительность и отвечает требованиям эргономики.

Hofmann J. Программное обеспечение и периферийное оборудование, с. 90, 91, ил. 3.

Процесс изготовления продукции на современном предприятии включает работу большого числа отдельно расположенного оборудования, непрерывная и надежная связь между которыми имеет огромное значение. Эффективным решением этой проблемы является система MR-CM фирмы Maschinenfabrik Reinhausen GmbH, обеспечивающая обмен информацией между обрабатывающим оборудованием и программным обеспечением системы CAM.

(N 3, 2008, Германия)

Melcher G. et al. Обработка труднообрабатываемых сплавов, с. 40, 42, ил. 3.

Описывается токарная обработка суперлегированных сплавов Inconel, Hastelloy, Hayness с помощью новых многогранных режущих пластин Supertec LC405Z и Supertec LC415Z фирмы Voehlerit GmbH & Co. KG, имеющих три типа стружкоформирующих элементов. Высокие режущие свойства пластин, обеспечиваемые оптимальным сочетанием субстрата, покрытия и геометрии режущей части, позволяют вести обработку со скоростью резания свыше 180 м/мин и подачей 0,1—0,25 мм/об.

Обработка дисков автомобильных колес, с. 43, ил. 1.

Описывается токарная обработка алюминиевых дисков с помощью модульного инструмента "OvaFlex" фирмы Ceratizit Austria Gesellschaft. Инструменты оснащаются новыми, фирменными многогранными режущими пластинами X32, которые отличаются повышенной стабильностью благодаря большим размерам и крышеобразной базовой поверхностью.

Damm H. Производство и обработка чугуна, с. 62—66, ил. 8.

Описывается опыт совместной работы фирмы Ortrand, специализирующейся уже 120 лет на производстве чугуна, и фирмы Matec Maschinenbau GmbH, изготавливающей оборудование для механической обработки чугуна. Обработка ведется на многоцелевых пятикоординатных станках Matec-30HV с пяти сторон тонкостенных чугунных деталей с большими поверхностями. Наклоняемая шпиндельная головка в сочетании со съёмным круглым столом обеспечивает динамическое позиционирование режущих инструментов, что эффективно при обработке крупных деталей.

Schossig H. Обработка фасонных деталей, с. 68—72, ил. 5.

Описывается технология комбинированной обработки различных фасонных деталей на пятикоординатных фрезерных станках и токарно-фрезерных центрах DMC 125 FD фирмы Deckel Maho Pfronten GmbH. Большой объем обработки приходится на долю фрезерования при обработке крупных деталей на многоцелевом станке DMC 340 U с рабочей зоной размером 2,8 × 3,4 × 1,6 м. Фирма предлагает также универсальный многоцелевой станок DMU 80 P для обработки по пяти осям.

Haassengier R. Оптимизация механической обработки, с. 112.

В настоящее время механическая обработка осуществляется с применением большого количества режущих инструментов, приспособлений, зажимных устройств и средств измерения. Поэтому автоматизация управления параметрами обработки имеет огромное значение. В качестве примера современного эффективного станка рассматривается одношпиндельный токарный автомат Sigma 32 с программным управлением "ShopControl" фирмы TDM Systems GmbH для обработки прутков диаметром 32 мм. Станок имеет 22 инструментальные позиции в главном и противоположном шпинделях. Система управления обеспечивает автоматическую подачу и смену до 3500 режущих инструментов в день.

American Machinist
(N 4, 2008, США)

Benes J. Фрезерование твердых материалов, с. 8, 9, ил. 1.

Описывается применение концевых фрез со специфической геометрией фирмы Emuge при обработке литейных моделей из стали твердостью 48—56 HRC на станках с ЧПУ. По данным потребителя, стойкость этих фрез на 40 % превышает стойкость других фрез, что позволяет оператору обслуживать три станка.

Benes J. Инструменты с алмазным покрытием, с. 12—14, ил. 1.

Отмечается прогресс в области алмазного покрытия, что позволяет обрабатывать более твердые материалы и обеспечивать большую стойкость инструмента. Наиболее эффективным является алмазное покрытие, наносимое способом CVD, так как при этом сохраняются свойства натуральных алмазов, а именно ультравысокая твердость, модуль упругости, низкий коэффициент трения. Сравниваются свойства алмазного и других видов покрытия, а также преимущества многослойного покрытия, наносимого с использованием методов нанотехнологии.

Moellenberg R. Хонингование отверстий, с. 25, 26, 28, ил. 1.

Новое поколение хонинговальных станков с ЧПУ изменило представление об этом процессе обработки и позволило хонингованию занять ведущее положение при изготовлении блока цилиндров двигателей мощностью до 37 кВт, зубчатых колес и элементов гидравлических систем. Рассматриваются возможности хонингования и указывается на то, что при окончательной обработке отверстий длиной от 2D хонингование превосходит шлифование с точки зрения интенсивности съема обрабатываемого материала.

мого материала. При шлифовании отверстий длиной 5D может иметь место нежелательная конусность.

Vernyi B. Измерительные машины, с. 90, 91, ил. 3.

Описывается координатная измерительная машина X-Checker фирм Wenzel и Micron-X, имеющая следующие особенности: гранитная станина, антифрикционные подшипники, пневматическое балансирующее устройство, высокая термическая стабильность. Длина измерений по осям X, Y и Z составляет 750, 1000 и 500 мм соответственно; скорость перемещения измерительного наконечника — 700 мм/с, ускорение — 2000 мм/с².

European Tool and Mould making (N 6, Vol. 9, 2007, международный)

Крупногабаритный вертикальный обрабатывающий центр, с. 58, ил. 2.

Фирма Maschinenfabrik Berthold Hermle AG (Германия) пополнила средствами автоматизации крупногабаритный вертикальный центр C 50U Dynamic, имеющий пять управляемых координат. Станок оснащен системой автоматической смены спутников PW 2000 и пополняется тремя инструментальными магазинами различной емкости. Инновации позволяют выполнять наладочные работы во время обработки, что существенно увеличивает производительность. Двухпозиционное устройство смены спутников установлено перед центром. Комплекс получил наименование C 50 UP Dynamic machining centre.

Инструментальные магазины центра германской фирмы, с. 58.

Дополнительные инструментальные магазины центра C 50 U Dynamic адаптированы к задней загрузочной станции. Применяются 41 или 162 дополнительных гнезда для инструментов с конусами SK40/H5K-A63 или 124 гнезда для конусов SK50/HSK-A100. Имеется дополнительный пульт для прямого ввода данных, расположенный на позиции загрузки инструмента; одновременно загружаются или выгружаются шесть инструментов. В ЧПУ встроена программа для манипуляций с инструментами. Новые магазины позволяют увеличить коэффициент использования станка.

Вертикальный обрабатывающий центр, с. 60.

На основе хорошо показавшего себя в промышленности вертикального центра VF-5 фирма Haas Automation (США) разработала центр VF5SS Super Speed для крупносерийного производства и других работ, когда требуются высокая производительность и кратковременные рабочие циклы. Инновацией является мотор-шпиндель с верхним пределом частоты вращения 12 000 мин⁻¹. Скорость быстрых перемещений составляет 30,5 м/мин. Перемещения по осям X, Y и Z равны соответственно 1270, 660 и 635 мм. Шпиндель вращается от двигателя мощностью 22,4 кВт. Реализуются большие крутящие моменты при низких частотах вращения.

Центры для обработки изделий аэрокосмической отрасли, с. 63, ил. 2.

Фирма Breton S. p. A. (Италия) выпускает центры серии Xseedер для пятикоординатной обработки как корпусных деталей самолетов, так и компонентов турбин. Рабочие зоны составляют 900 × 900 × 600 и 1200 × 1000 × 700 мм,

что обеспечивает гибкость производства. Станки эффективны при изготовлении компонентов малых и средних размеров, в том числе импеллеров, блисков и единичных лопастей и лопаток из титана, суперсплавов, стали, легких сплавов и композитов. Наклонно-поворотные столы имеют прямые приводы. Частота вращения относительно осей A и C регулируется соответственно до 50 и 100 мин⁻¹. Фирма изготавливает также центры для производства форм, штампов и изделий точной механики.

Использование шлифовально-токарного центра, с. 65.

При оснащении шлифовально-токарного центра S242 швейцарской фирмы Fritz Studer AG двумя поперечными суппортами расстояние между центрами может быть 400 или 1000 мм при длине обработки 400 или 800 мм. При трех суппортах расстояние между центрами составляет 800 мм, а длина обработки — 600 мм. Используются шлифовальные круги размером 400 × 50 (63) мм. Максимальный диаметр устанавливаемой заготовки 185 мм. Полная обработка изделий осуществляется с одного установка. Предварительная обработка позволяет получать профили, близкие к окончательным.

Переносная координатно-измерительная машина, с. 82.

В переносных координатно-измерительных машинах Leica T-Mac фирмы Leica Geosystems AG (Швейцария) предусмотрены два исполнения для стандартизованных измерений с помощью отражателей лазерных лучей, а также три модификации лазерных устройств для бесконтактного контроля головкой T-Probe и бесконтактного сканирования головкой T-Scan. Головка T-Scan оснащается лазерным следящим блоком LTD 706, который реализует измерения на длине 12 м, блоком LTD 709 для контроля на длине 18 м (при использовании отражателя на длине 50 м) или блоком LTD 840 для измерений на длине 30 м. Когда используются отражатели, головки T-Probe и T-Scan могут функционировать при измерениях на длине до 80 м.

Fertigung (N 3/4, 2007, Германия)

Обслуживание токарных станков в Германии, с. 32—35, ил. 10.

Редакция журнала провела традиционный ежегодный опрос потребителей на тему качества сервиса используемых ими токарных станков. Число опрошенных фирм более 80. Качество сервиса оценивалось по 10 критериям (доступность "горячей линии", среднее время ожидания, стоимость, цена запасных частей и др.). Худшей оказалась японская фирма Nakamura (по 9 из 10 критериев), лучшей, тоже второй год подряд, фирма Star Micronics.

Применение моделирования в шлифовальных станках, с. S42, S43, ил. 2.

Фирма NUM AG (Швейцария) разработала ПО "Numrototoflus" к шлифовальным станкам для обработки режущего инструмента, которое позволяет с высокой степенью точности моделировать инструмент и всю технологию обработки (при этом каждая операция процесса показывается своим цветом). Это позволило оптимизировать процесс и предотвратить возможные столкновения движущихся узлов и агрегатов станка.

Международный форум "Высокие технологии XXI века"

Международный форум "Высокие технологии XXI века" проходил с 22 по 25 апреля 2008 г. в ЦВК "Экспоцентр" под патронатом Торгово-промышленной палаты. В подготовке и проведении форума приняли участие Правительство Москвы, Министерство промышленности и энергетики РФ, РАН, ЦВК "Экспоцентр" и др.

В работе форума участвовали отечественные и зарубежные предприятия, государственные научные центры, вузы и академии. В выставке приняли участие 550 экспонентов из России и зарубежных стран.

Ниже приведено краткое описание экспонатов и разработок предприятий, а также сбытовых организаций, вызвавших наибольший интерес у машиностроителей.

Институт машиноведения им. А. А. Благонравова (ИМАШ РАН) демонстрировал на выставке технологии и системы для упрочнения и наплавки. Разработка технологий лазерного упрочнения, наплавки поверхностей трения и систем управления лазерным лучом в пространстве является одним из приоритетных направлений для повышения износостойкости и надежности узлов трения и рабочих органов машин. Лазерные технологии обеспечивают локальный нагрев с минимальными деформациями и охлаждение без применения охлаждающих сред. Высокие скорости нагрева (10^4 — 10^6 °C/с) обеспечивают получение высоких физико-механических свойств. При этом плотность мощности лазерного излучения может изменяться от 10^4 до 10^5 Вт/см².

Технологию лазерного упрочнения для обработки локальных поверхностей трения, а также маложестких и длинномерных деталей. Глубина упрочненного слоя 0,5—2,0 мм. Твердость поверхностного слоя зависит от содержания углерода, например для сталей 45 и 40X составляет 57—61 HRC.

Технологию лазерной наплавки для нанесения порошковых металлических покрытий на поверхности трения новых и восстановления изношенных деталей. Толщина наплавленного слоя 0,5—2,0 мм. Твердость наплавленного слоя может изменяться от 25 до 75 HRC в зависимости от состава порошкового материала.

Лазерное упрочнение и наплавку проводят с применением сканирующих устройств при частоте 150—600 Гц, что обеспечивает выравнивание колебаний луча и регулирование плотности мощности излучения лазера по сечению лазерного пятна.

Технологию лазерного раскроя металлических и неметаллических материалов. Толщинарезаемого материала: низкоуглеродистая сталь — до 20 мм, коррозионно-стойкая — до 15 мм, алюминий — до 10 мм при мощности лазерной установки до 3 кВт.

Лазерные системы:

— с подвижным порталом с размещенной на нем кареткой и неподвижным столом (три одновременно управляемые координаты, рабочее поле обработки $1500 \times 1200 \times 200$ и $3000 \times 1500 \times 500$ мм);

— с неподвижным порталом, содержащим каретку с подвижным столом (две одновременно управляемые координаты, вертикальная координата со следящей системой, зона обработки $1200 \times 1700 \times 200$ и $1500 \times 3000 \times 300$ мм);

— с подвижной консолью и устройством вращения детали (три одновременно управляемые координаты), размер детали 300×500 мм;

— автоматизированная линия для лазерного упрочнения и наплавки деталей сложной пространственной формы и тел вращения. Габаритные размеры линии $5600 \times 2200 \times 1900$ мм.

Лазерную систему для упрочнения деталей и точного раскроя листового материала. Система осуществляет лазерную закалку сталей 45 и 40X и обеспечивает получение твердости упрочненного слоя 57—60 HRC, что недоступимо при традиционных методах термической обработки. Глубина зоны закалки 0,9—1,2 мм. Мощность излучения лазерной системы 2,5 кВт, перемещение по осям X, Y, Z — 1700, 1200 и 300 мм соответственно при скорости перемещения 20 м/мин, точность позиционирования 0,05 мм. Применение лазерной резки позволяет отказаться от изготовления дорогостоящей оснастки — вырубных и просечных штампов, кондукторов и шаблонов. Скорость лазерной резки стального листа толщиной 1 мм при мощности излучения 2,5 кВт достигает 10 м/мин.

Автоматизированную линию для лазерного упрочнения и наплавки деталей сложной пространственной формы и тел вращения. Работа линии основана на поочередной передаче лазерного луча оптической системой на сканер для пространственного управления перемещением луча при обработке деталей и на лазерный модуль для упрочнения и наплавки тел вращения. Эффективность лазерной установки приближается к 100 %. Упрочнение и наплавку ведут с помощью оптических головок, оснащенных сканирующими устройствами с колеблющимися и вращающимися зеркалами с частотой 150—600 Гц. В результате твердость упрочненных слоев металла достигает 67 HRC для стали 65Г. Мощность — 2,5 кВт. Размеры обрабатываемых деталей: сложной пространственной формы $1500 \times 1000 \times 300$ мм, тел вращения — 250×1500 мм. Мощность технологической автоматизированной линии 26 кВт. Скорость перемещения оптических головок 20 м/мин при точности позиционирования 0,05 мм. Габаритные размеры линии $5600 \times 2200 \times 1900$ мм.

Федеральный научно-производственный центр "НИИ физических измерений" (Пенза) демонстрировал датчики и преобразующую аппаратуру для атомных электростанций.

Дифференциатор давления ДМВ001 для измерения скорости спада давления воды, газов и других агрессивных и неагрессивных сред, нейтральных по отношению к сплаву 36НХТЮ. Выдача информации осуществляется в виде сигналов постоянного тока в системы автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами. Дифференциатор оснащен тензометрическим чувствительным элементом и преобразователем изменения сопротивления резисторов в электрический выходной сигнал постоянного тока 0—5 или 4—20 мА. Измеряемая скорость спада давления 0,25—0,025 МПа/с при номинальном давлении 16 МПа с погрешностью 1,5—3 %. Температура измеряемой среды —50 °C. Нарботка на отказ (ресурс) составляет 100 000 ч. Масса прибора 3 кг.

Низкочастотный контактный сигнализатор давления СДНК003 для

контроля и сигнализации об изменении давления выше или ниже заданного значения путем замыкания или размыкания электрической цепи в системах воздухоподдачи и системах смазки и охлаждения жидкостей дизельных установок, в том числе на АЭС. Пределы регулируемых уставок срабатывания по давлению 0,01—1 МПа. Погрешность срабатывания при температуре 25 ± 5 °С, температура окружающей среды 15—50 °С. Коммутируемая мощность цепей постоянного тока напряжением 30 В составляет 60 Вт, переменного тока напряжением 220 В — 300 Вт. Нарботка на отказ (срок службы) 15 лет. Масса сигнализатора 1 кг.

Герконовый бесконтактный выключатель БГВ1 в составе стопорных клапанов в турбинном отделении АЭС. Зона срабатывания выключателя 12 мм, коммутируемая мощность 30 Вт. Коммутируемый постоянный и переменный ток с частотой 50 Гц не более 1 А, питающее напряжение 300 В. Температура окружающей среды —30—80 °С. Срок службы 15 лет, масса выключателя 0,5 кг.

МГТУ им. Н. Э. Баумана представил на выставке свои разработки, среди которых *устройство для автоматического контроля подлинности документов*. Принцип работы устройства — спектральный анализ в автоматическом режиме голографического элемента, дифракционной решетки, расположенных на ценной бумаге, пластиковой карточке и т. п. Принцип действия устройства следующий. Изображение голограммы представляет набор дифракционных решеток, при освещении которых источниками света с разными длинами волн угол отражения подсвечивающего луча зависит от ориентации решетки и длины волны излучения. В качестве источника излучения используются четыре линейки по восемь светодиодов — красного, синего, зеленого и инфракрасного свечения. В качестве приемника излучения используют восемь фотодиодов, расположенных в линию, а также может быть использована линейка фотодиодов со 128 элементами в строке. При установке ценной бумаги срабатывает датчик наличия, приводящий в действие устройство. При остановке происходит последовательное излучение светодиодов с разными длинами волн. Излучение дифрагирует на голограмме или ди-

фракционном элементе и попадает на фотодиод. Сигналы с фотодиодов записываются в память устройства, и в дальнейшем будут использоваться как эталонные. Анализ подлинности документа определяется совпадением сигналов с фотодиодов анализируемой голограммы с сигналом эталона, записанным в памяти устройства. При соответствии или несоответствии высвечивается информация на индикаторе.

Государственное научно-производственное объединение точного машиностроения "Планар" (Минск) предложило на выставке оптико-механическое и контрольно-измерительное оборудование, линейные приводы, шаговые электродвигатели, различные системы управления.

Пост микроконтроля МК-3 (рис. 1) — инспекционный и измерительный комплекс на базе микроскопа МИ-1 для контроля и измерения структуры, состава и свойств металла, сплавов в металлургии, при входном контроле металлов в машиностроении. Пост микроконтроля оснащен качественной оптикой высшего класса с увеличенным полем наблюдения. Применение пятипозиционной электро-механической револьверной головки позволяет рассматривать объекты без существенных потерь времени на поиск объекта при изменении увеличения (при смене объекта резкость остается практически неизменной, при этом наблюдаемый элемент остается в центре поля зрения). Пост микроконтроля позволяет осуществлять TV-контроль и компьютерный анализ изображения. Рабочий стол имеет ручное управление, ход стола по координатам X, Y не менее 25×25 мм, поворот стола вокруг оси Z $\pm 15^\circ$, фокусировка 7 мм. Питающее напряжение поста 220 В, габаритные размеры $750 \times 350 \times 420$ мм, масса до 34 кг.



Рис. 1. Пост микроконтроля МК-3

Установку ЭМ-4220-1 для присоединения золотых и алюминиевых проводников в изделиях электронной техники внахлестку ультразвуковой и термозвуковой сваркой. Установка оснащена дополнительными устройствами для присоединения плоских проводников, сборки приборов "в глубоких колодцах", присоединения "толстой" проволоки. Размер рабочего поля: грубого — диаметром 85 мм; точного — диаметром 15 мм. Диаметр присоединяемых круглых проводников: золотого — 0,0125—0,075 мм, алюминиевого — 0,02—0,08 мм. Размеры присоединяемых плоских проводников из алюминия 0,24—0,03 мм. Усилие сжатия соединяемых элементов 0,05—1,5 Н. Время сварки 1—250 мс. Температура нагрева рабочей зоны рабочего стола 100—300 °С. Питающее напряжение установки 230 В, габаритные размеры $750 \times 650 \times 650$ мм, масса 35 кг.

Установку ЭМ-4340-А1 для присоединения алюминиевых выводов диаметром 100—500 мкм к контактным площадкам мощных транзисторов, гибридных схем и силовых модулей ультразвуковой сваркой в автоматическом режиме. Время выполнения одной переемычки 0,8 с погрешностью ± 15 мкм, длительность сварочного импульса 0,1—1 с. Питающее напряжение установки 230 В, потребляемая мощность 1,2 кВт, масса 220 кг. Установка оснащена системой технического зрения и системой контроля качества сварки.

Установку ЭМ-4320 при присоединении золотых проводников в изделиях электронной техники термозвуковой сварки. Усилие сжатия соединяемых элементов 0,1—1,5 Н, время сварки 10—250 мс, температура нагрева рабочей зоны стола 100—300 °С. Питающее напряжение установки 230 В, габаритные размеры $510 \times 610 \times 640$ мм, масса 35 кг.

Установку ЭМ-4092 (рис. 2) для присоединения круглых и плоских выводов к контактным площадкам гибридных интегральных микросхем контактной микросваркой. Установка обеспечивает без переналадки присоединение различных по длине, диаметру, числу стежков и уровням сварки переемычек. Гашение механических вибраций производится демпфирующим устройством. Присоединение переемычек осуществляется двухэлектродной или сваркой при кос-



Рис. 2. Установка для контактной сварки ЭМ-4092

венном нагреве блоком контактной сварки. Производительность установки 2000 присоединений в 1 ч. Размеры присоединяемых выводов 0,025—0,1 мм. Перемещение сварочной головки по оси Z составляет 12 мм. Материал присоединяемых выводов — Au, Cu. Усилие сжатия соединяемых элементов 0,2—3,0 Н, длительность сварочного импульса 0,04—0,4 с, температура нагрева рабочей зоны стола 100—250 °С. Питающее напряжение установки 230 В, потребляемая мощность 1 кВт, габаритные размеры 800×800×600 мм, масса 55 кг.

Линейный шаговый прецизионный планарный двухосевой привод серии МКС-2005 для транспортирования инструментов и материалов в зону выполнения технологических операций в специальном технологическом оборудовании. Планарная двухосевая конструкция привода обеспечивает высокую точность перемещений и возможность реализации сложных траекторий движения одновременно несколькими индукторами. Точность позиционирования привода ±5 мкм. Максимальное перемещение индуктора по оси X и Y составляет 295 и 210 мм соответственно. Максимальная скорость перемещения индуктора 0,25 м/с. Привод оснащен интерфейсом дистанционного управления RS-232. Габаритные размеры привода 640×426×105 мм, масса 68 кг.

Московский институт стали и сплавов продемонстрировал *коррозиметр КМ-МИСиС*, предназначенный для эксплуатации в полевых и лабораторных условиях, оснащенный интерфейсом управления и ввода/вывода данных. Прибор выполнен на современных микропроцессорных микросхемах с аналого-цифровым вводом-выводом данных и результатов измерений. Интерфейс прибора раз-

работан на базе управляющих программ для микропроцессоров с AVR архитектурой. Программой коррозиметра предусмотрена возможность введения параметров, позволяющих оценивать скорость коррозии сталей различных марок. Прибор позволяет измерять скорости коррозии в электропроводных агрессивных средах на основе метода поляризационного сопротивления; определять марки сталей в эксплуатационных условиях, длительность измерений составляет 30 мин. Электропитание прибора осуществляется от батарейки или аккумулятора напряжением 9 В. Рабочие условия эксплуатации: температура окружающей среды 10—35 °С при относительной влажности 30—80%. Габаритные размеры коррозиметра 190×105×55 мм, масса без электродов 0,35 кг.

ЦНИИ технологии судостроения (С.-Петербург) предложил для предприятий машиностроения различное оборудование.

Машину "РИТМ-МА" для тепловой резки листового проката и плит. Машина оснащена новыми источниками

питания дуги, обеспечивающими высокое качество плазменной резки и повышенный ресурс быстроизнашивающихся частей плазмотрона; устройством стабилизации высоты плазмотрона; системой автоматического режима подачи кислорода в процессе резания; современной системой ЧПУ и приводами. Толщина разрезаемого металла: микроплазменной резкой — 1—20 мм; плазменной — 1—60 мм; кислородной — 4—200 мм. Максимальный ток при плазменной резке 400 А, ширина разрезаемого листа 2 м, длина от 6 м, скорость перемещения резака 0,1—12 м/мин, питающее напряжение машины 380 В.

Трубогибочный станок СТГ-ИН с нагревом током высокой частоты для гибки труб из углеродистых и коррозионно-стойких сталей, цветных металлов и сплавов титана. Оснащен системой водяного или воздушного охлаждения зоны нагрева трубы и устройством контроля температуры нагрева на базе пирометра с лазерным целеуказателем. Диаметргибаемых труб 45—377 мм, длина — 9000 мм, максимальный угол гибки 180°. Установленная мощность станка 250 кВт, масса 9,8 т.

Многофункциональный гибочно-правильный станок МГПС-25 для холодной гибки и правки листовых деталей сложной формы из сталей различных марок и цветных металлов толщиной до 20 мм методом бесштампового ротационно-локального деформирования. Использование роликовой гибочной оснастки или универсальной матрицы обеспечивает необходимую постоянную или переменную одинарную или двойную кривизну поверхности листовой детали.



Рис. 3. Машина для термической резки "РИТМ-М ПКП 2,5 ЗР"

Максимальная ширина обрабатываемого листа 2,5 м, длина листа ограничена возможностями кранового оборудования для поддержания его в процессе гибки. Наибольшее усилие гибки 250 кН. Скорость подвода верхнего гибочного ролика 30 мм/с. Установленная мощность станка 11 кВт, габаритные размеры без пульта управления и гидростанции 4920 × 5300 × 3560 мм, масса 10 т.

Машину "РИТМ-М ПКП 2,5 ЗР" (рис. 3) для термической резки листового проката из углеродистых сталей с одновременной разделкой кромок под сварку. Оснащение машины системой управления на базе промышленного компьютера с цифровыми приводами и вентильным двигателем обеспечивает высокую надежность при эксплуатации. Толщина разрезаемого листа одним резаком до 100 мм, с разделкой кромок — до 60 мм, ширина — до 2500 мм, угол обрабатываемой фаски 15—55°. Машина оснащена тремя резаками, скорость их перемещения 0,1—12 м/мин, питающее напряжение 380 В.

Локационно-акустическую трехкоординатную измерительную станцию ЛАИС для оперативного измерения размеров и формы сложнопрофильных изделий в процессе их изготовления, при выходном (входном) контроле, на стадиях разработки и отладки технологии изготовления. В основе работы станции лежит принцип акустической локации — возбуждение бесконтактным лазерным импульсом или контактным электродинамическим щупом в контролируемых точках изделия сферических акустических волн и определения их координат приемной антенной с акустическими приемниками и дальнейшим автоматическим расчетом (встроенной микроэвм) размеров и формы изделия в заданной системе координат (получения чертежа). Измерительное поле в системе координат приемной антенны 5000 × 3000 × 3000 мм. Измерительная антенна треугольная с размером сторон 1,5 м. Время измерения координат одной точки составляет 1 с, погрешность измерения — 1,5 мм. Питающее напряжение станции 220 В.

Компания "Вакуум ЭСТО" (Москва, Зеленоград) представила свои новые разработки.

Вакуумно-технологическую установку Caroline D12A (рис. 4) для маг-



Рис. 4. Вакуумно-технологическая установка Caroline D12A

нетронного напыления на керамические, кремниевые и другие подложки диаметром до 100 мм. Установка может быть укомплектована четырьмя магнетронами (выполненными, например, из РС, хрома, меди, никеля) или тремя магнетронами и источником термического испарения. На установке можно производить напыление резистивных пленок из материалов РС-3710, РС-5406, РС-1004 и др., пленок титана, нитрида или оксида титана, нитрида тантала, алюминия толщиной до 15 мкм, меди толщиной до 15 мкм, диоксида и нитрида кремния. Перед напылением для улучшения адгезии напыляемых слоев производят очистку поверхности изделия ионным источником постоянного тока, кроме того, нагревают изделия до 50—250 °С. Работает установка при температуре окружающей среды 15—30 °С и относительной влажности до 65 %. Питание установки осуществляется от трехфазной, четырехпроводной сети с нулевым проводом переменного тока, напряжением 380 В. За один рабочий цикл на установке можно обработать 12 подложек. Время подготовки установки к работе с учетом "разгона" крионасоса не более 110 мин. Габаритные размеры установки 1300 × 850 × 2000 мм, масса 1,85 т.

ООП "ТОР" (Москва) демонстрировало на выставке различное сварочное оборудование.

Аппарат "ТОР" (рис. 5) для соединения деталей из листового и профильного металла, включая коррозионно-стойкую сталь, а также проволоки точечной контактной сваркой. Аппарат применяют во многих отраслях промышленности, в том числе



Рис. 5. Аппарат для контактной сварки "ТОР"

в машиностроении. Питающее напряжение аппарата 220 В, мощность — до 2,2 кВт, масса — 8 кг. Максимальная толщина свариваемых деталей 4 мм.

Сварочный выпрямитель "Терминатор" для сварки покрытыми электродами диаметром до 4 мм низкоуглеродистых и легированных сталей, а также для пуска двигателя легкового автомобиля с аккумулятором. Питающее напряжение выпрямителя 220 В. Сварку выполняют постоянным током 200 А. Диаметр сварочного электрода 2—4 мм. Масса выпрямителя 13 кг.

Сварочный выпрямитель ВД-306т/400 с тиристорной регулируемой сварочного тока для сварки постоянным током при ручной дуговой сварке, резке и наплавке металлов при трехфазном питании от сети переменного тока. Напряжение питающей сети 380 В. Пределы регулирования сварочного тока 20—400 А. Габаритные размеры выпрямителя 565 × 270 × 395 мм, масса 55 кг.

Компания "Лазер булат" (Москва) представила лазерные установки различного назначения.

Лазер НТР-150 для выполнения прецизионной лазерной сварки и наплавки в составе автоматической установки или в режиме ручной сварки. Совместное использование цепевязального станка и лазера позволяет осуществлять сварку звеньев цепи непосредственно на станке. Такая технология упрощает и ускоряет производственный цикл. Отсутствие припоя и порошка при сварке позволяет не применять агрессивные химикаты и растворители. Особенностью лазера является наличие закрытой воло-

конной системы доставки излучения, позволяющей легко интегрировать лазерный инструмент в технологическую линию. Блок фокусировки излучения оснащен бинокулярной системой наблюдения, позволяющей отслеживать процесс сварки при работе в технологической линии, а также проводить сварку в ручном режиме, наблюдая в бинокуляр обрабатываемые изделия. Режим работы лазера импульсно-периодический, длина волны излучения 1,06 мкм, энергия импульса излучения до 60 Дж, частота следования импульсов 1—100 Гц при средней мощности излучения до 150 Вт. Питающее напряжение лазера 380 В, габаритные размеры 520 × 750 × 790 мм, масса 90 кг.

Установку LRS-100 (рис. 6) для прецизионной лазерной сварки со сложным контуром сварных швов мало- и крупногабаритных деталей и узлов массой до 100 кг. Широкий диапазон регулирования параметров излучения позволяет производить сварку и наплавку конструкционных

сталей и цветных металлов и сплавов. Наличие в составе установки контрольно-фокусирующей системы со стереоскопическим микроскопом позволяет производить тщательное визуальное позиционирование места сварки в зону обработки и контролировать формирование сварного шва с малыми искажениями объекта наблюдения, что снижает утомляемость оператора. Тракт наблюдения оснащен устройством защиты глаз оператора от вспышки в момент сварки, что обеспечивает полную безопасность технологических операций и снижает усталость при длительной работе на установке. Средняя мощность излучения установки 100 Вт, пиковая мощность 4 кВт, энергия импульса излучения 40 Дж, длительность импульса излучения 0,2—20 мс, частота следования импульсов 0,5—20 Гц, диаметр сфокусированного луча 0,3—20 мм. Расход воды для охлаждения 0,3 м³/ч. Питающее напряжение установки 380 В, габаритные размеры 450 × 850 × 1100 мм, масса 150 кг.

Компания BUEH LER LTD (США) — лидирующий производитель оборудования для исследований, предложила для российского рынка свою продукцию.

Абразивный отрезной станок Power Met 3000 с автоматическим управлением и перемещением рабочего диска и столика с образцом по осям X—Z для параллельных резов и линейной резки. Микрометрическое автоматическое перемещение отрезного круга по оси X достигает 120 мм для серийной резки и параллельных резов. Станок оснащен рабочей камерой размером 410 × 310 мм и двумя люминесцентными лампами освещения. Электронный тормоз быстро останавливает рабочий диск при открытии кожуха. Для резки длинных отверстий имеются боковые створки. Диаметр отрезного диска до 400 мм. Максимальная глубина реза на станке до 140 мм, длина реза до 210 мм. Мощ-

ность двигателя привода станка 5,5 кВт, питающее напряжение 380—415 В. Габаритные размеры станка 1540 × 1010 × 1020 мм, масса 400 кг.

Пресс Simplimet 1000 для горячей запрессовки образцов. Загрузка, нагрев, сжатие, охлаждение и выгрузка образцов происходят в автоматическом режиме. Стандартная двойная пресс-форма с промежуточным цилиндром позволяет производить две запрессовки образцов одновременно. Жидкокристаллический дисплей и сенсорная панель управления упрощают работу пресса. Питающее напряжение пресса 220 В. Габаритные размеры 405 × 520 × 580 мм, масса 33 кг.

Настольный ручной шлифовальный станок ленточного типа Handi Metl (рис. 7) с коррозионно-стойким корпусом. Обеспечивает быструю мокрую шлифовку образцов, удобен при подготовке образцов для исследования микроструктур, имеет четыре валька для рулонной бумаги. Питающее напряжение станка 220 В, габаритные размеры 480 × 150 × 560 мм, масса 15 кг.



Рис. 6. Установка LRS-100



Рис. 7. Настольный ручной шлифовальный станок ленточного типа Handi Metl

Выставка прошла с большим успехом, ее посетили специалисты различных отраслей промышленности. В рамках выставки прошла международная конференция "Высокие технологии — стратегия XXI века", на которой обсуждались вопросы развития российского высокотехнологического комплекса.

А. Н. ИВАНОВ, инж.

Издательский центр "Технология машиностроения"

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 29.07.2008. Подписано в печать 18.09.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 12,53. Заказ 10/08.

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"