

ТЕХНОЛОГИЯ



МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:**

Гл. редактор

В. А. Казаков

Н. П. Бирюкова

Р. С. Голов

В. Д. Горбач

С. Н. Григорьев

Б. В. Гусев

А. В. Дуб

В. М. Ермаков

А. С. Зубченко

А. В. Иванайский

Е. А. Калашников

В. В. Капустин

А. Л. Карунин

И. П. Ксенович

А. Е. Лигачев

А. А. Лозован

В. П. Лялякин

А. В. Медарь

Б. А. Никитин

Г. В. Самодуров

В. Н. Семенов

О. С. Сироткин

А. К. Скворчевский

Н. В. Смирнов

А. В. Телушкин

А. Н. Феофанов

В. А. Фролов

В. К. Шелег

И. Н. Шиганов

Редакция:

С. В. Богус,

Т. П. Маслик

Компьютерная верстка:

Е. В. Конова

Дизайн обложки:

Е. С. Благовидов

Специальные

корреспонденты:

А. Н. Иванов, А. В. Казаков,

Ан. А. Суслов

Редактор-переводчик

Е. О. Егорова

Корректор

Е. В. Комиссарова

**12 (78)
Декабрь
2008**

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр

"Технология машиностроения"

Журнал издается при содействии

Министерства промышленности

и торговли РФ,

Министерства образования и науки РФ,

Российской инженерной академии,

Союза машиностроителей России,

ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»

Адрес редакции:

127015, Москва, ул. Большая Новодмитровская, 23.

Адрес для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 01.

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

редакция — (495) 748 0142.

Факс: (495) 748 0142.

Бухгалтерия: 8 910 414 9184.

E-mail: tekhmash@ic-tm.ru

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

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

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-7779

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

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

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



TEKHNLOGIYA

MASHINOSTROENIYA

REVIEW-ANALYTICAL, SCIENTIFIC-TECHNICAL
AND PRODUCTION JOURNAL

**EDITORIAL
BOARD:**

V. A. Kazakov
Editor-in-Chief

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

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

Computerized making-up:
E. V. Konova

Cover design:
E. S. Blagovidov

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

Editor-translator
E. O. Egorova

Proof-reader
E. V. Komissarova

12 (78)
December
2008

FOUNDER:

Publishing Centre

"Tekhnologiya Mashinostroeniya"

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

Address of the editorial office:

B. Novodmitrovskaya, 23, Moscow.

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

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

Fax: (495) 748 0142.

Book-keeping: 8 910 414 9184.

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

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

Registration certificate ПИ № 77-7779

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Чертов В. М. — Повышение прочностных характеристик колесной стали за счет измельчения зерна. 5

ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Рогов В. А., Расторгуев Г. А., Позняк Г. Г. — Выбор метода получения заготовок в машиностроении 7

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

Ярославцев В. М. — Аналитико-эмпирическая зависимость ускоренного определения рациональных режимов резания 11

СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Марголит Р. Б., Липатов С. И., Терехова О. А. — Оптимизация силовых характеристик регулируемых главных приводов токарных станков. 14

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА И РОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Исакаев Э. Х., Гусев В. М., Мордынский В. Б. — Повышение ресурса деталей с газотермическими покрытиями нефтепромыслового оборудования 18

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЙ

Батов Г. П. — Влияние объемности напряженно-деформированного состояния на скорость роста усталостных трещин 23

Хвастунов Р. М., Феофанов А. Н., Негримовская Н. П. — Обеспечение эргономичности технического устройства на стадии проектирования 26

МЕТРОЛОГИЯ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Неделько А. Ю. — Измерение температуры бесконтактным способом при наличии электромагнитных полей и ТВЧ. 30

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Афонин Е. А. — Комплексная методика статистического анализа дефектности рабочих лопаток газотурбинного двигателя 33

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Васин В. А. — Технология проектирования и производства устройств и элементов, исключаящих трение движения систем вакуумного оборудования производства изделий электронной техники и других высоких технологий 37

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

Макаренко В. Д., Синкевичюс А. А. — Нейросетевой анализ коррозионной стойкости трубных сталей нефтяного назначения 42

ЭКОНОМИКА МАШИНОСТРОЕНИЯ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Дзоценидзе Т. — Концепция национальной инновационной программы "Создание новой экспортно-ориентированной автомобильной промышленности России" 48

Юнин И. Ю., Феофанов А. Н., Феофанов О. А. — Перекомпоуемые производственные системы реконфигурируемого производства 53

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Сидоренков А. А., Жуков С. А., Загребнев Д. А., Сапронова М. А. — Подготовка специалистов для современной российской авиакомпании 63

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Потапова Г. С. — Содержание зарубежных журналов. 65

ИНФОРМАЦИЯ

Иванов А. Н. — 10-я Международная выставка "Металлообработка—2008" 69

Алфавитный указатель статей за 2008 г. 73

CONTENTS

STRUCTURAL MATERIALS, METAL SCIENCE

Chertov V. M. — Wheel steel hardening and bodying due to its grain refinement. 5

BLANK PRODUCTION

Rogov V. A., Rastorguyev G. A., Poznyak G. G. — Choice of preforming technique in the engineering industry . . . 7

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

Yaroslavtsev V. M. — Estimating-empirical dependence for accelerated determination of the efficient cutting parameters 11

TOOLING PRODUCTION

Margolit R. B., Lipatov S. I., Terekhov O. A. — Force capability optimization of the turning lathe main vary-drive . . 14

TECHNOLOGIES AND MACHINES FOR WELDING PRODUCTION AND RELATED PROCESSES

Isakayev E. Kh., Gusev V. M., Mordynsky V. B. — Oil-field equipment components service life increasing by the gas-thermal coatings 18

SPECIAL TECHNOLOGIES

Batov G. P. — Voluminosity deflected mode effect on the fatigue crack growth rate 23

Khvastunov R. M., Feofanov A. N., Negrimovskaya N. P. — Ensuring ergonomic engineering facility at its design stage. 26

METROLOGY AND MEASUREMENT ASSURANCE

Nedelko A. Yu. — Non-contact temperature measurement in the presence of electromagnetic fields and high-frequency current 30

TESTING METHODS AND DIAGNOSTICS IN ENGINEERING INDUSTRY

Afonin Ye. A. — Gas turbine engine operating blade imperfection statistical analysis unifying technique 33

INSTRUMENT-MAKING TECHNOLOGIES

Vasin V. A. — Process design and production technology of facilities and components, eliminating dynamic friction of the vacuum equipment systems for manufacturing electronic ware and other high tech products 37

MATHEMATICAL MODELLING, CALCULUS OF APPROXIMATIONS AND SOFTWARE SYSTEMS

Makarenko V. D., Sinkevichyuc A. A. — Neuronet analysis of the oil pipe steel rust-proof quality 42

ECONOMICS OF THE ENGINEERING INDUSTRY AND PRODUCTION ORGANIZATION

Dzotsenidze T. — Conception of the national innovation program "Generation of a new export — oriented automotive industry of Russia" 48

Yunin I. Yu., Feofanov A. N., Feofanov O. A. — Re-arrangable manufacturing systems for reconfigurable production 53

EDUCATION AND PERSONNEL TRAINING

Sidorenkov A. A., Zhukov S. A., Zagrebnev D. A., Sapronova M. A. — Specialists training for a modern Russian air carrier 63

FOREIGN EXPERIENCE

Potapova G. S. — Contents of the foreign journals 65

INFORMATION

Ivanov A. N. — The 10th International exhibition "Metalworking—2008" 69

Alphabetic index of the articles published in 2008. 73

В. М. ЧЕРТОВ, инж.
ДониФЦ (Москва)

Повышение прочностных характеристик колесной стали за счет измельчения зерна

Выявление аустенитного зерна в стали важно при определении причин снижения свойств материала железнодорожных колес, например из-за перегрева перед ковкой или закалкой. Рассматривая технологию обработки колес, в данной работе предлагается сравнить принятую и предлагаемую технологии термической обработки колес и определить размер действительного зерна аустенита по разработанной методике.

Термическая обработка железнодорожных колес на Выксунском металлургическом заводе включает ряд операций:

- нагрев под штамповку до 1180 °С;
- изотермическую противоблоксную выдержку при 450 °С с охлаждением на воздухе;
- аустенитизацию перед закалкой при 860—890 °С с прерывистой закалкой водяным душем и охлаждением на воздухе;
- отпуск при 460 °С.

Такая технология ведет, очевидно, к получению аустенитного зерна средней величины, снижению прочности, пластичности и вязкости и, следовательно, снижению долговечности колес при их постоянном взаимодействии с рельсами повышенной твердости.

Предлагаемая технология термической обработки колес направлена на существенное измельчение действительного аустенитного зерна, что способствует повышению прочности, пластичности и вязкости материала колес [1]:

- нагрев под штамповку заканчивается не изотермической выдержкой, а охлаждением на воздухе;
- нормализация колес производится с нагревом в межкритическом интервале температуры при 790 °С [2] и последующим охлаждением на воздухе (эта операция может также заменить противоблоксную обработку при пониженном содержании водорода в стали);
- аустенитизация колес перед закалкой производится при пониженной до 820 °С температуре;
- изотермическая закалка обода (или всего колеса) в расплаве селитры с выдержкой в течение 20 мин при 320 °С [3, 4] и охлаждением на воздухе;
- отпуск при 360 °С в течение 1 ч с охлаждением на воздухе.

Размер действительного зерна аустенита оценивают следующим образом. После охлаждения с каждого высокотемпературного нагрева от образцов или заготовок колес (технологии А и Б) механическим способом отрезается темплет (небольшой образец) и подвергается отпуску в течение 10 ч при 500 °С. Затем приготавливается микрошлиф и травится по

предлагаемой методике в пересыщенном растворе пикриновой кислоты. После сушки шлиф просматривается на оптическом микроскопе при 300-кратном увеличении, а размер проявившегося зерна определяется в баллах по шкале ГОСТ 5632—82 и/или в микронах после фотографирования.

До опыта можно ориентировочно предположить результаты определения величины зерна (в баллах): технология А: операция 1, 2 — балл 3; операция 3 — балл 5—6;

технология Б: операция 1 — балл 3; операция 2 — балл 9; операция 4 — балл 10—11.

Границы аустенитного зерна в чисто аустенитных сталях при травлении полированного шлифа выявляются сравнительно просто в смеси кислот, известной под названием "царской водки" [5]. Гораздо сложнее выявить действительное зерно аустенита в конструкционной легированной стали после ряда обработок, следующих за аустенитизацией. Образование при закалке мартенсита и последующее образование мелкодисперсного сорбита при отпуске настолько затеняют границы бывшего зерна аустенита, что приходится прибегать к существенным осложнениям порядка травления. Эти изменения касаются как подготовки шлифа (определенного изменения его субструктуры), так и изменения состава реактива, порядка его приготовления и применения. По этой причине группу веществ, выявляющих структуру сплавов, приняли за особую группу материалов, выполняющих четко обозначенную функцию.

Прежде всего обычная традиционная азотная кислота заменяется пикриновой. Затем состав реактива усложняется за счет добавления поверхностно-активных веществ (ПАВ), например, алкилсульфоната натрия в чистом виде или в виде 1—4 %-ной добавки содержащего ПАВ моющего средства (подбирается экспериментально). Такой реактив обычно пригоден для выявления границ аустенитных зерен в закаленной стали перлитного класса. Добавление небольшого количества соляной кислоты, ускоряя травление, способствует образованию трудноудаляемой темной пленки и ведет к дополнительной переполровке. Если и в этом случае не удастся четко и относительно быстро выявить аустенитное зерно, следующий этап состоит в том, чтобы сам образец подвергнуть дополнительной термической обработке: он переводится в состояние обратимой или необратимой отпускной хрупкости [5]. Суть этого состояния, по-видимому, двойственна и до сих пор окончательно не выяснена. Естественно, в процессе выдержки

при такой обработке (режимы ее приведены ниже) по границам бывших аустенитных зерен дополнительно выделяются мельчайшие, ранее не выделившиеся карбиды, и такие границы предпочтительно растравливаются раствором пикриновой кислоты. Но охлаждение образцов происходит быстро и относить это состояние к обратимой отпускной хрупкости вряд ли можно. Вот при специально или естественно (в процессе обработки изделий) замедленном охлаждении по границам зерен выпадают мелкие фосфиды, оттеняющие границы при травлении; эту ситуацию вполне можно отнести к обратимой отпускной хрупкости.

Результат обычно проявляется в четком очертании границ бывших аустенитных зерен, а это может иметь важнейшее значение при определении качества термической обработки. Ведь от размера действительного аустенитного зерна при последней аустенитизации зависит многое: и механические свойства при нормальной температуре, и хладноломкость, и склонность к образованию трещин при горячей механической обработке или закалке. Интенсивность травления и необходимость дополнительной полировки (удаление пленки, затеняющей часть границ зерен) также влияют на выбор способа травления. При этом необходимо учесть химический состав стали, точнее, наличие тех или иных фаз, усложняющих состав реактивов и сам процесс травления. Четкость границ — обязательное условие для правильного определения величины зерна. Но возможно усложнение оценки из-за выявления субзерен.

В данной работе основное внимание уделено выявлению границ аустенитных зерен легированной конструкционной стали. При оценке размера зерна углеродистой нелегированной стали предварительный нагрев образцов до 500—550 °С может сопровождаться рекристаллизацией, и результаты определения (подсчетов) количества зерен на единицу площади шлифа или на единицу длины секущей могут отличаться. В этом случае возможно определение непосредственно при температуре аустенитизации путем окисления границ зерен или травления шлифа в расплаве, например буры [6]. При исследовании среднелегированной среднеуглеродистой стали не обнаружена разница в определении размера действительного аустенитного зерна после окисления шлифа при нагреве и после травления шлифа и провоцирующего отпуска. Преимущество последнего способа состоит в отказе от применения расплава, который не всегда безопасен. Кроме того, при добавлении (для жидкотекучести) до 20—25 % хлористого натрия в расплав буры, нагретого до температуры выше 900 °С, выделяется газообразный хлор, и работа с таким расплавом возможна только при соответствующей мощной вытяжке. И, несмотря на повышенную жидкотекучесть, при остывании образца расплав удаляется с трудом, путем кипячения [7].

Еще одной особенностью приготовления реактивов для выявления размера действительного аустенитного зерна является необходимость подбора со-

става раствора в зависимости от содержания углерода. Так, в низкоуглеродистой мартенситной стали 04X7Г2 или 03X3 при содержании углерода порядка 0,03—0,07 % и отсутствии сильных карбидообразующих элементов в результате провоцирующего нагрева выделение карбидов (нитридов, фосфидов) происходит гораздо быстрее, не за 60, а за 6 ч. Но тонкие границы оттеняются гораздо четче при добавлении в "пересыщенный" раствор пикриновой кислоты 5 %-ной соляной кислоты и 1 % синтетического моющего вещества "Славянка" (ГОСТ 25644), содержащего до 20 % ПАВ, алкилбензолсульфонатов и алкилсульфатов. Травление шлифа ведется в горячем (при 70—90 °С), насыщенном для этой температуры растворе и шлиф обращен вниз полированной поверхностью. Тогда, как правило, не нужно производить даже однократной (не говоря уже о неоднократной) полировки для удаления темной пленки.

Поясним определение "пересыщенный" раствор. Сущность его заключается в приготовлении насыщенного раствора пикриновой кислоты вблизи температуры кипения. Кислота малыми порциями добавляется при помешивании в колбу с закипающей дистиллированной водой до тех пор, пока растворение кислоты не прекратится. Тогда раствор фильтруется через воронку с марлей в металлическую колбу. По мере остывания из раствора выпадают игольчатые кристаллы избыточной кислоты. Такой насыщенный раствор вместе с кристаллами перед последующим применением нагревается вплоть до растворения этих кристаллов. По отношению к нормальной температуре он является пересыщенным и активно участвует в процессе травления.

Применение реактивов для выявления действительного размера аустенитного зерна среднеуглеродистой среднелегированной стали следует рассматривать совместно с режимами провоцирующего отпуска образцов. Для более сложной стали выдержка при 500—550 °С достигает 50—70 ч, для простой по составу стали достаточно 5—6 ч (но в раствор добавлены ПАВ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.
2. *Сазонов Ю. Б., Медведев В. В.* Формирование субмикроструктур в сталях с использованием термообработки в области субкритических температур // Прочность неоднородных структур. М.: МИСиС, 2008. С. 123.
3. *Чертков В. М.* Технология обработки пружинных шайб // Технология машиностроения. 2005. № 3. С. 11—13.
4. *Бирюкова В. Н.* Разработка, исследование и внедрение нового способа закалки в горячих средах изделий большого сечения. Дис. ... канд. техн. наук. Горький, 1966. 159 с.
5. *Коваленко В. С.* Металлографические реактивы: Справочник. М.: Металлургия, 1981. 120 с.
6. *Горшунов М. Г.* Влияние параметров структуры на оптимизацию технологии производства пружинной проволоки. Автореферат дис. ... канд. техн. наук. Нижний Новгород: НГТУ, 2004. С. 18.
7. *Чертков В. М., Федулеев Ю. И.* Совершенствование технологии борирования // Надежность и долговечность деталей машин. Омск: ОмИИЖТ, 1997. Т. 73. С. 34—36.

В. А. РОГОВ, д-р техн. наук, Г. А. РАСТОРГУЕВ, д-р техн. наук, Г. Г. ПОЗНЯК, д-р техн. наук
Российский университет дружбы народов

Выбор метода получения заготовок в машиностроении

В современных рыночных условиях конкурентоспособность выпускаемой продукции, в том числе и машиностроительной, имеет решающее значение при реализации ее потребителям. Очевидно, что эта проблема на пороге вступления России в ВТО становится еще более актуальной. Одним из направлений повышения конкурентоспособности продукции машиностроения являются снижение металлоемкости, сокращение отходов и потерь металла за счет рационального применения заготовок, экономичных методов формообразования и механической обработки. Немаловажное значение при этом имеет выбор метода получения заготовок, соответствующих производственным условиям конкретного машиностроительного предприятия. Рационально выбранная заготовка позволяет уменьшить припуски и, как следствие, объем последующей обработки резанием, трудоемкость и себестоимость изготовления продукции.

Анализ отечественного и зарубежного опыта [1, 2] показал, что в современном машиностроении применяют множество различных технологических методов получения заготовок и оборудования. Основные из них: различные методы литья, методы пластического деформирования и формообразования (ковка, штамповка, высадка), размерная резка из проката, порошковая металлургия. Обобщенная классификация заготовок, применяемых в настоящее время в машиностроении, приведена на рисунке.

Сложность выбора метода получения заготовки состоит в том, что часто сталкиваются противоположные технические требования. Решение этого вопроса многовариантное, выбор одного из вариантов не очевиден и часто основан на инженерной интуиции и практическом опыте. Кроме того, принятие решений происходит в условиях производственных ограничений, ограничений материальных ресурсов, экономических возможностей, энергетических ресурсов, наличия квалифицированных кадров, транспортных расходов, возможностей кооперации, времени для подготовки производства и др.

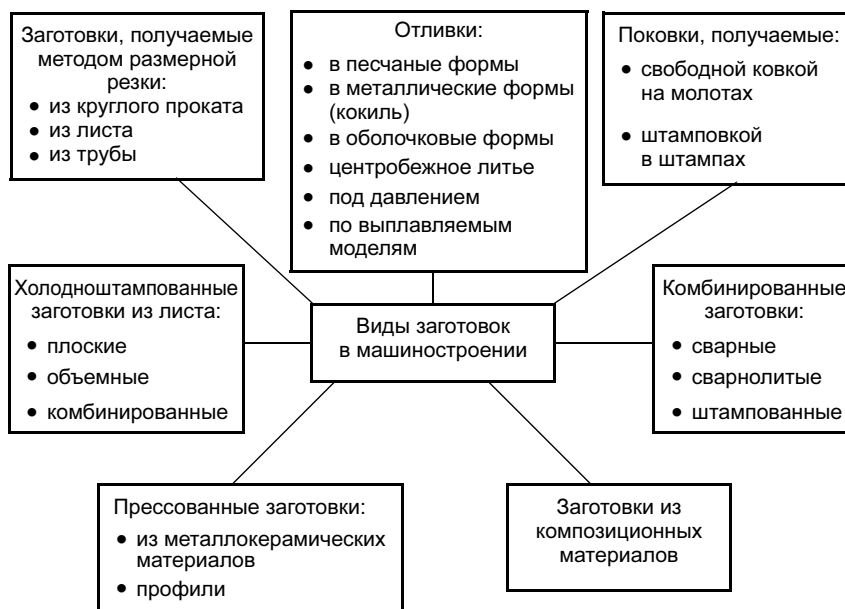
Заготовки получают в основном двумя методами — литьем или обработкой давлением (пластическим деформированием). Иногда для крупногабаритных деталей допускается использование сварных за-

готовок или комбинированных (т. е. полученных сваркой предварительно отштампованных или отлитых отдельных элементов сложной формы).

На первом этапе выбора метода получения заготовки исходят из физико-механических свойств материала детали, а именно из пластичности материала и его литейных свойств. Для ряда материалов их низкая пластичность определяет отсутствие альтернативы в выборе метода получения заготовки: единственно возможным методом является литье. Это относится в первую очередь к чугунам, отдельным маркам стальных высоколегированных сплавов и некоторым сплавам цветных металлов.

В случае, когда свойства материала допускают использование и литья, и методов пластического деформирования, то выбор должен основываться в первую очередь на особенностях формы детали. Если имеются полости сложной формы, а также выступы и впадины на боковых наружных и внутренних поверхностях, часто единственно возможным является метод литья. Причем обязательно с применением формы разового использования, так как для извлечения отливки форма и стержни должны быть разрушены.

Если же форма детали позволяет применять как штамповку, так и литье, то выбор метода должен исходить из технических требований к детали, особенно макро- и микроструктуре внутренних и поверхностных слоев детали. Кроме того, необходимо учи-



Обобщенная классификация заготовок, применяемых в машиностроении

тывать объем производства (годовую программу выпуска деталей) и тип производства, т. е. темп выпуска. В данной работе нет возможности учесть все индивидуальные особенности конкретных деталей и предприятий, но основное направление выбора метода получения заготовки состоит в следующем: чем более строгие требования предъявляют к однородности механических свойств детали, чем выше требования к ее прочности, твердости и износостойкости, тем желательнее применить метод пластического деформирования, а не литья. Кроме этого, выбрать метод пластического деформирования тем предпочтительнее по сравнению с литьем, чем больше объем производства и чем меньше такт выпуска. Вместе с тем, чем сложнее форма детали и чем выше стоимость материала, из которого она изготовлена, тем предпочтительнее использовать метод литья, как дающий лучшее приближение формы заготовки к форме готовой детали, т. е. повышающий коэффициент использования материала.

В связи с неоднозначностью решения задачи о выборе метода получения заготовки целесообразно определить несколько альтернативных вариантов и произвести экономический анализ с помощью компьютерных программ, предусмотрев в программе анализа и указанные выше ограничения.

Заготовки из проката используют в тех случаях, когда форма детали наиболее близко соответствует форме какого-либо сортового материала, нет значительной разницы в поперечных сечениях детали и можно для получения окончательной ее формы избежать снятия большого количества металла, а также для получения поковок и штампованных заготовок. Изготавливаемые из проката детали, за исключением валов, имеют сравнительно небольшие размеры. Для заготовок применяют сортовой или фасонный прокат, используют калиброванные прутки.

Простые сортовые профили общего назначения (круглые, квадратные, шестигранные, полосовые) используют для изготовления гладких и ступенчатых валов с небольшим перепадом диаметра ступеней, стаканов диаметром до 50 мм, втулок диаметром до 25 мм, рычагов, клиньев, фланцев.

Фасонные профили проката общего назначения (сталь угловая, балки двутавровые, швеллеры) применяют преимущественно при изготовлении металлоконструкций (рам, плит, кронштейнов).

Заготовки из труб в некоторых случаях имеют преимущество по сравнению с заготовками из круглого проката. Несмотря на то, что 1 т горячего проката стоит в среднем в 1,5 раза меньше, чем 1 т труб, тем не менее экономия металла при производстве деталей из труб по сравнению с изготовлением из круглого проката всегда перекрывает разницу в ценах этих двух видов проката. Заготовки из труб незаменимы для деталей, имеющих глубокие отверстия. Трубный прокат служит для изготовления цилиндров, втулок, гильз, пустотелых валов и т. п.

Максимального подобия конструктивных форм и размеров заготовок готовым деталям можно достичь применением специальных профилей металла. Применение гнutoго специального проката (Z-, U-, C-образного и т. п.) позволяет почти полностью исключить механическую обработку, остаются только операции отрезки и сверления. Используя в качестве заготовок гнутые, открытые и многослойные профили, можно значительно уменьшить массу деталей.

Наиболее часто применяемым способом получения заготовок является литье в песчаные формы, поскольку себестоимость 1 т таких отливок минимальна, а применяемое оборудование и оснастка во многом имеют универсальный характер.

Для заготовок массового производства целесообразно применять машинную формовку по металлическим моделям, механизированный выем моделей из полуформ. В этом случае могут быть получены сложные по форме и тонкостенные заготовки, причем литьем получают отверстия диаметром от 20 мм и более. Если стержни изготавливают на специальных машинах и калибруют перед сборкой в кондукторе, то полученные заготовки по точности взаимного расположения поверхностей и отклонениям размеров обеспечивают возможность механической обработки в специальных или специализированных приспособлениях, в том числе на автоматах и полуавтоматах.

Для заготовок серийного производства рекомендуется выполнять литье по деревянным моделям, применяя машинную формовку с механизированным выемом моделей из полуформ, причем модели закрепляются на металлических плитах. Такой способ литья в заготовках позволяет получить литые отверстия диаметром свыше 30 мм.

Заготовки мелкосерийного и единичного производства изготавливают в основном в песчаных формах с ручной формовкой по деревянным моделям. В отдельных случаях применяют машинную формовку по координатным плитам с незакрепленными моделями. Такой способ литья позволяет выполнять литые отверстия диаметром свыше 50 мм. Применение других способов литья определяется особенностями размеров, формы и технических требований к детали. Заготовки для больших деталей (массой свыше 2 т) отливают в землю, для формовки применяют деревянные модели.

Если деталь имеет ряд поверхностей, которые по техническим условиям не требуют обязательной обработки резанием и должны быть точно расположены друг относительно друга, иметь высокое качество поверхности, целесообразно применять литье в различные оболочковые формы. Такими формами могут быть песчано-смоляные, жидкостекольные и др., а также литье в оболочковые формы по выплавляемым или растворяемым моделям (масса таких отливок не должна превышать 150 кг). Поскольку организация такого участка специального литья

требует значительных капиталовложений и технология литья включает ряд сложных и длительных операций, себестоимость 1 т отливок с применением указанных способов литья возрастает в 8—12 раз, и поэтому применение литья в оболочковые формы целесообразно только в крупносерийном и массовом производстве.

Заготовки из цветных металлов и сплавов целесообразно отливать в формы многократного применения: керамические и песчано-цементные для небольших партий деталей и металлические (кокильное литье и литье под давлением) для крупносерийного и массового производства.

Если деталь имеет форму полого цилиндра, то часто используют центробежное литье. Заготовки, у которых наружный диаметр превышает высоту детали, отливают на машинах центробежного литья с вертикальной осью вращения; при этом возможно получение двухслойных заготовок (чугун—бронза, сталь—чугун и т. д.). Максимальная масса заготовок при данном способе литья 50 кг. Полые заготовки удлиненной формы (длина больше наружного диаметра) отливают на машинах с горизонтальной осью вращения (максимально допустимая масса 600 кг).

Обобщенная характеристика основных методов получения заготовок литьем приведена в табл. 1 [3].

При выборе способа получения заготовки методами пластического деформирования определяющими факторами являются тип производства, размеры детали, форма поковки и свойства материала поковки.

Поскольку технологический процесс обработки давлением основан на применении высокопроизводительного и сравнительно дорогого оборудования, а также дорогого инструмента (штампов), на

первом этапе выбора решающее значение приобретает тип производства рассматриваемой детали. В единичном и мелкосерийном производстве оборудование должно быть универсальным и сравнительно недорогим, а его производительность не столь существенна, как, например, в массовом производстве. Деформирующий инструмент также должен иметь, по возможности, универсальное применение, простую форму и невысокую стоимость. Этим условиям отвечает свободная ковка на ковочных молотках, а также ковка с применением подкладных колец и подкладных штампов.

В серийном производстве целесообразно применять штамповочные молоты различных видов, а процесс формообразования производить в штампах, половины которых закрепляются на столе и на бабе молота и могут иметь до пяти ручьев сложной формы.

В крупносерийном и массовом производстве производительность штамповки и точность поковок при использовании штамповочного молота уже недостаточна. Поэтому наиболее рациональным является применение кривошипных кузнечно-прессовых машин: кривошипного горячештамповочного прессы (КГШП), горизонтально-ковочной машины (ГКМ), чеканочного (кривошипно-коленного) прессы, а также специализированных высокопроизводительных машин (раскатной машины, ковочных вальцов и др.).

Высказанные соображения имеют силу для большинства мелких и средних деталей, используемых в машиностроении, однако в ряде случаев приходится отступать от намеченной схемы.

Тенденция современного машиностроения к увеличению мощности отдельных машин (двигателей турбин, транспортных машин и т. п.) приводит к тому,

Таблица 1

Метод получения заготовок	Масса заготовок, т	Наименьшая толщина стенок, мм	Точность выполнения	Параметр шероховатости Ra, мкм	Материал	Тип производства
Разовые формы						
Литье в песчано-глинистые формы: ручная формовка по деревянным моделям	До 100	3—5 (чугун), 5—8 (сталь), 3—8 (цветные сплавы)	IT 17	80—20	Чугун, сталь, специальные сплавы	Единичное и мелкосерийное
машинная формовка машинная формовка по металлическим моделям	До 10 3—5		IT 16—17 IT 14—16	20—5 20—5		Серийное, крупносерийное и массовое
Литье по выплавляемым моделям	До 0,15	0,5	IT 11—12	10—25	Труднообрабатываемые сплавы Чугун, сталь, цветные сплавы	Серийное
Литье в оболочковые формы	До 0,15	3—5 (сталь), 1—15 (алюминий)	IT 13—14	10—25		Серийное и массовое
Многократные формы						
Центробежное литье	0,001—1	5—6	IT 13—14	40—10	Чугун, сталь, цветные сплавы Цветные сплавы	Крупносерийное и массовое
Литье под давлением	До 0,1	0,5	IT 8—12	5,0—0,63		
Литье в кокиль	7 (чугун) 4 (сталь) 0,5 (цветные сплавы)	15 (чугун), 10 (сталь)	IT 12—15	20—25	Чугун, сталь, цветные сплавы	Серийное и массовое

Таблица 2

Метод получения заготовок	Размер или масса заготовок	Наименьшая толщина стенок, мм	Точность выполнения	Параметр шероховатости R_a , мкм	Материал	Тип производства
Ковка: на молотах и прессах	До 250 т	3—5	На молотах по ГОСТ 7829—70, на прессах по ГОСТ 7062—79	До 12,5	Углеродистые и легированные стали	Единичное и мелкосерийное
на молотах в подкладных кольцах и штампах на радиально-ковочных машинах	До 10 кг Диаметр прутка (трубы) до 150 мм		ГОСТ 7829—70 0,1—0,6 (горячая); 0,04—0,4 (холодная)	До 12,5 До 0,4 (холодная)		Мелкосерийное
Штамповка: на молотах и прессах на горизонтально-ковочных машинах выдавливание	До 0,4 т До 30 кг Диаметр до 200 мм	2,5 2,5 —	Классы Т4—Т5 по ГОСТ 7505—89	12,5—3,2	То же	Серийное и массовое
на чеканочных и кривошипно-коленных прессах	До 0,1 т	2,5				

что для пластического деформирования ряда деталей недостаточно усилия, развиваемого молотами и кривошипными машинами. Поэтому для больших деталей (например диаметром свыше 1000 мм) приходится использовать ковку или штамповку на гидравлических прессах, несмотря на их сравнительную тихоходность (свободную ковку для индивидуального и мелкосерийного производства, а штамповку для серийного, крупносерийного и массового производства).

Если детали по размеру невелики, но имеют сложную форму и по условиям эксплуатации должны иметь очень плотную структуру металла, то заготовки для них нужно изготавливать с помощью закрытой штамповки в разъемных матрицах. Наиболее удобно для такого способа штамповки использовать винтовой фрикционный пресс (в мелкосерийном и серийном производстве) или специализированный полуавтомат кривошипного типа (в массовом производстве). Особую группу по форме деталей составляют длинные поковки с фланцем, а также поковки со сквозными и глухими отверстиями для деталей типа втулок, полумуфт, колец подшипников и др. Для них рекомендуется выбирать способ штамповки на горизонтально-ковочной машине, так как наличие в ней разъемной матрицы и горизонтальное расположение главного ползуна позволяют получать поковки сложной формы с минимальными отходами металла.

Наконец, независимо от типа производства и размеров детали низкая пластичность материала требует применения гидравлического пресса, поскольку только гидравлический пресс может обеспечить плавную работу и низкую скорость пластической деформации, при которой не образуются микротрещины и другие дефекты в поковках.

Способ штамповки определяет также наименьшие диаметры отверстий, которые могут быть получены пластическим деформированием заготовок. При свободной ковке на молотах и гидравлических прессах минимальный диаметр отверстия равен 80 мм, при штамповке на молотах — 50 мм, а при штамповке на кривошипных машинах — 35 мм.

Обобщенная характеристика основных методов получения заготовок обработкой давлением приведена в табл. 2 [3].

ВЫВОДЫ

1. Выбор метода получения заготовок является многовариантной задачей в условиях ограничений по материально-техническим ресурсам, срокам подготовки производства и наличию технологического оборудования.

2. Из всего многообразия преимущественное применение в машиностроении имеют заготовки из проката, отливок и поковки.

3. Основными критериями, определяющими технологию получения заготовок, являются конструктивная форма и физико-механические свойства материала детали, тип производства и имеющееся технологическое оборудование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Афонькин М. Г., Магницкая М. В. Производство заготовок в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1987. 256 с.
- Косилова А. Г., Мещеряков Р. К., Калинин М. А. Точность обработки заготовки и припуски в машиностроении. М.: Машиностроение, 1976. 288 с.
- Технология машиностроения: В 2 кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения: Учебн. пособие для вузов / Под ред. С. Л. Мурашкина. М.: Высшая школа, 2003. 278 с.

В. М. ЯРОСЛАВЦЕВ, д-р техн. наук
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Аналитико-эмпирическая зависимость ускоренного определения рациональных режимов резания

Расчет режима обработки резанием представляет обобщенный многомерный численный результат исследований взаимосвязей физики, кинематики и технологических показателей обработки. Процессы и явления, происходящие в зоне стружкообразования на атомно-молекулярном, мезо- и макроуровнях и определяющие технико-экономические показатели обработки в целом, управляются извне с помощью назначаемых режимных параметров и ряда других условий обработки. Поэтому разработку обоснованного практического метода назначения рациональных режимов резания, от правильного выбора параметров которых зависят организация и результат обработки, можно считать одним из перспективных путей повышения эффективности изготовления деталей машин, их надежности и конкурентоспособности.

Под рациональным режимом резания понимают такой, который при выполнении всех требований, предъявляемых к качеству детали в соответствии с чертежом, обеспечивает при минимальной себестоимости операций максимально возможную для данной себестоимости производительность [1]. На практике для этого используют рекомендации, основанные на имеющихся в настоящее время справочных данных, главным образом эмпирических, и предусматривающие определенную последовательность выбора элементов режима резания (глубины резания t , подачи S , скорости резания v и др.). Рациональный режим назначается с учетом основных факторов, ограничивающих экстремальные значения отдельных параметров обработки [1—3 и др.].

Однако существующие нормативные данные о режимах резания дают лишь усредненные, ориентировочные значения рекомендуемых условий обработки. Полученные в конкретных заводских или, чаще всего, лабораторных условиях они хорошо отражают относительную обрабатываемость резанием разных материалов по тем или иным показателям, но не учитывают влияния многих характерных факторов, таких, например, как геометрия заготовки, особенности ее закрепления, требования к точности изготовления и др. Поэтому с целью учета большого числа взаимовлияющих факторов при расчете режимов резания рекомендуется использовать метод "поэтапного приближения" [2], производя на каждом очередном этапе корректировку, расчет и уточнение "стартовых" параметров с учетом новых ограниче-

ний до получения окончательных значений параметров, удовлетворяющих поставленным требованиям при заданных условиях обработки.

Расчетные зависимости, учитывающие одновременно большое число влияющих факторов и их взаимосвязей, существенно уменьшают количество итераций (повторных применений вычислительных операций) при выборе режима резания и тем самым сокращают время поиска рациональной реализации конкретного технологического процесса.

В настоящее время существуют аналитические зависимости для расчета допустимой подачи S_{\max} с учетом жесткости заготовки и требований к точности обработанной поверхности при чистовом точении [1, 3 и др.]. Однако они не учитывают заданный период стойкости T инструмента (назначают согласно рекомендациям справочных материалов), а также скорость резания v как один из параметров режима резания, который устанавливают в последнюю очередь. Поэтому вычисленная по этим зависимостям максимально допустимая подача требует соответствующей коррекции и, следовательно, необходимы дополнительные вычислительные процедуры определения значений t , S и v .

Ниже приведена аналитико-эмпирическая зависимость определения максимально допустимой подачи, которая позволяет установить наиболее производительный для конкретных условий резания режим обработки с учетом принятой (нормативной) величины периода стойкости инструмента T , геометрии заготовки, особенности ее закрепления и требований к точности изготовления при заданной системе ограничений (шероховатость поверхности и др.).

Точность обработки во многом определяется упругими деформациями технологической системы под действием силы резания. При точении особенно большое влияние на точность может оказывать деформация заготовки. Максимальная стрела прогиба обрабатываемой поверхности заготовки (при обтачивании) под действием силы резания в зоне действия режущего инструмента

$$f = \frac{P_3 L^3}{K_3 E J}, \quad (1)$$

где P_3 — эквивалентная сила по нормали к обработанной поверхности в зоне действия режущего инстру-

мента, равная [4] $kP_y + lP_x + mP_z$ (P_y, P_x, P_z — составляющие силы резания; k, l, m — коэффициенты степени влияния каждой из составляющих силы на упругое смещение заготовки в направлении действия эквивалентной силы). В большинстве случаев при определении упругих деформаций заготовки при точении силами P_x и P_z пренебрегают, считая, что точность формы обработанной поверхности определяется действием составляющей силы резания P_y в направлении оси Y , т. е. $P_3 = P_y$); L — длина заготовки; K_3 — коэффициент, зависящий от способа закрепления заготовки на станке (при обработке на токарных станках применяют три способа закрепления заготовки: в центрах — $K_3 = 48$, в патроне и заднем центре — $K_3 = 96$, консольное в патроне — $K_3 = 2,1$ [3]); E — модуль упругости материала обрабатываемой заготовки; J — осевой момент инерции сечения заготовки, равный $K_J d^4$; для цилиндрических сплошных заготовок диаметром d величина $K_J = \pi/64 \approx 0,05$; в случае круглого кольцевого сечения (заготовка полая с отверстием диаметром d_0) — $K_J = \pi(1 - \alpha^4)/64 \approx 0,05(1 - \alpha^4)$; $\alpha = d_0/d$.

Эмпирические зависимости для расчета силы P_y имеют вид

$$P_y = C_P t^{X_P} S^{Y_P} v^{n_P}. \quad (2)$$

Подставляя P_y ($P_3 = P_y$) в формулу (1) и заменяя скорость резания v соотношением

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{X_v} S^{Y_v}},$$

получим

$$f = \frac{C_P C_V^{n_P} t^{X_S} S^{1/Y_S} (L/d)^3}{K_3 K_J E d T^{mn_P}}, \quad (3)$$

где

$$X_S = X_P - X_V n_P; Y_S = \frac{1}{Y_P - Y_V n_P}.$$

Максимальная величина прогиба f не должна превышать допустимой величины деформации заготовки $f_{\text{доп}}$, непосредственно связанной с допуском формы или заданным полем допуска на размер диаметра обрабатываемой поверхности согласно номеру качества. В общем случае можно записать

$$f_{\text{доп}} = \alpha IT,$$

где α — часть поля допуска, которая отводится на погрешность формы обработанной поверхности, вызванной упругой деформацией заготовки; при точных работах $\alpha = 0,2$ [3]; IT — допуск размера обрабатываемой поверхности.

Произведя подстановку $f_{\text{доп}}$ в формулу (3) и решая полученное выражение относительно подачи S , окончательно запишем

$$S_{\text{max}} = \left[K_3 K_J \frac{E d T^{mn_P}}{(L/d)^3 C_P C_V^{n_P} t^{X_S}} \right]^{Y_S} (\alpha IT)^{Y_S}. \quad (4)$$

Полученная аналитико-эмпирическая зависимость позволяет вычислить допустимую величину подачи с учетом жесткости детали, периода стойкости режущего инструмента и требований к точности изготовления при максимально возможных для конкретных условий обработки значениях t и v . В этом случае обеспечивается наибольшая производительность процесса резания на чистовых и окончательных операциях обработки.

Любая аналитико-эмпирическая зависимость в технологии требует объединения в единый блок нескольких наук: как фундаментальных, так и прикладных, практических технологических исследований, математического и логического решений, а также многократной проверки полученных результатов. Ценность таких зависимостей в том, что они являются аппаратом связи между научными исследованиями и производственной практикой.

Применение расчетной зависимости (4) ускоряет процедуру выбора основных параметров при назначении режима резания за счет уменьшения числа итераций.

Достоверность результатов ускоренных расчетов с использованием приведенной зависимости соответствует той, которая может быть получена при определении искомого режима обработки методом "последовательных приближений". Это объясняется тем, что рекомендуемая в разных источниках корректировка и уточнение взаимовлияющих факторов и параметров обработки осуществляются с использованием тех же исходных аналитических и эмпирических зависимостей и той же самой базы данных, которые были положены в основу вывода формулы (4).

Рекомендуемый метод расчета режимных параметров при точении распространяется на все виды обработки резанием (расточивание, фрезерование, зубофрезерование, шлифование и др.). В этом случае в качестве исходных выражений для определения величин деформаций технологической системы и их влияния на образование погрешностей обработки могут быть приняты известные выражения для определения упругих деформаций технологической системы [5], соответствующие конкретному виду обработки.

Расчетную зависимость (4) можно применять при обработке на станках с программным управлением и гибких автоматизированных системах как один из элементов оптимизации процесса резания, а также для программной замены режущих инструментов в связи с исчерпанием назначенной наработки с учетом регламентированной цикличности.

Особое место выбор режимов обработки занимает в ремонтном производстве при восстановлении деталей машин. Изделия ремонтного фонда отличаются высокой неоднородностью и значительным разбросом физико-механических свойств обрабатываемых поверхностей как на стадии их подготовки под восстановление, так и после нанесения покрытия. Для повышения экономической эффективности процесса обработки и обеспечения качества обработки группы изделий одного наименования, каждое из которых отличается индивидуальными свойствами, необходима соответствующая коррекция режима обработки для каждого из них, иногда — для каждой отдельной обрабатываемой поверхности. Ускоренная коррекция режима резания может осуществляться на основе учета изменения свойств обрабатываемого материала, например его твердости [2 и др.].

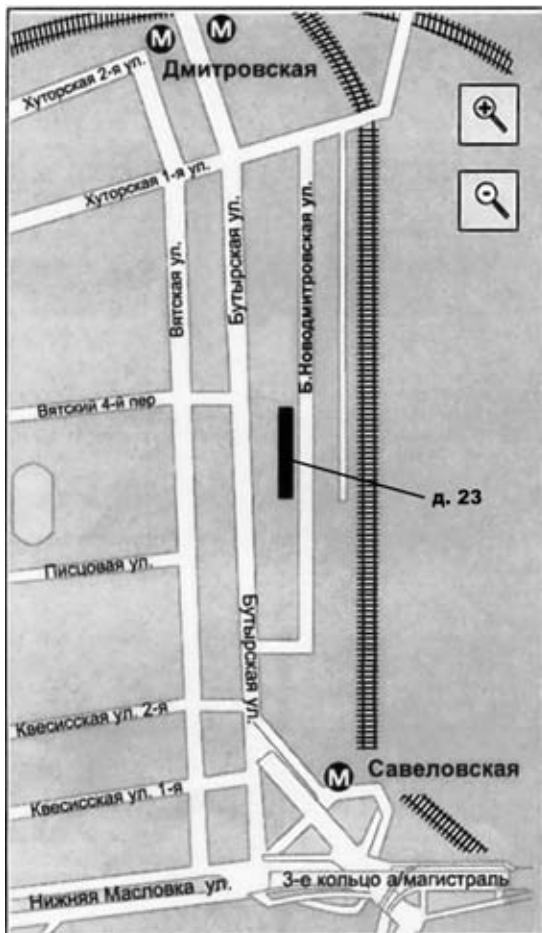
Предложенный метод определения максимально допустимой подачи для любых заданных условий обработки на примере точения реализован в программном виде. Разработанная на основе применения формулы (4) расчетно-исследовательская программа [6] позволяет не только установить дискретные

значения параметров режима резания для конкретных условий обработки, но на основе построения графических зависимостей проанализировать степень влияния отдельных факторов и наиболее рационально назначить систему технических и технологических ограничений на допустимые значения текущих параметров процесса. Использование ЭВМ значительно интенсифицирует процедуру вычислений, позволяет снизить сроки технологического проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение, 1975. 344 с.
2. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1985. 304 с.
3. Машиностроение. Энциклопедия. Т. III-3. Технология изготовления деталей машин / А. М. Дальский, А. Г. Суслев, Ю. Ф. Назаров и др. М.: Машиностроение, 2000. 840 с.
4. Адаптивное управление станками / Б. С. Балакшин, Б. М. Базров, И. М. Баранчикова и др. М.: Машиностроение, 1973. 688 с.
5. Колес К. С., Горчаков Л. М. Точность обработки и режимы резания. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1976. 144 с.
6. Ярославцев В. М., Ярославцева Н. А., Егоров Е. А. Расчетно-исследовательский практикум "Обработка резанием" // Электронное издание. 2001. CD-R. № гос. рег. 0320100075.

Вниманию читателей!



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

**Издательский центр
"Технология машиностроения":**

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

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

127015, Москва, ул. Большая Новодмитровская, 23.

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

Для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 01.

Бухгалтерия:

8 910 414 9184.

E-mail: tekmarsh@ic-tm.ru

СТАНКОСТРОЕНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Р. Б. МАРГОЛИТ, канд. техн. наук, С. И. ЛИПАТОВ, инж.
(ОАО "Рязанский станкостроительный завод"),
О. А. ТЕРЕХОВА, инж.
(Рязанский институт (филиал) МГОУ)

Оптимизация силовых характеристик регулируемых главных приводов токарных станков

В настоящее время в металлорежущих станках осуществляется переход от нерегулируемых приводов главного движения к регулируемым. Тем самым создается возможность работать на скоростях резания, близких к оптимальным, уменьшается материалоемкость привода, сокращается энергопотребление. Однако многие изготовители станков считают, что особенности, присущие приводам с многоступенчатыми коробками скоростей от нерегулируемых асинхронных двигателей, достаточно рациональны для использования в новых конструкциях.

Нерегулируемые приводы от асинхронных двигателей имеют два недостатка, которые заключаются в чрезмерно избыточном вращающем моменте на низких частотах вращения шпинделя, который не востребован для резания, и недостаточном моменте при высоких частотах [1, 2].

Увеличение мощности привода для увеличения момента на высоких частотах автоматически приводит к росту вращающего момента на низких частотах, на которых он и так избыточен. Во избежание поломок в коробках скоростей приходится использовать валы больших диаметров и зубчатые передачи больших модулей, снижается КПД привода, увеличиваются затраты электроэнергии. Если уменьшать мощность привода во избежание вышеуказанных недостатков, то привод оказывается "слабым" на высоких скоростях вращения шпинделя. Задача оптимизации привода главного движения от асинхронного двигателя, в принципе, не имеет решения.

В 60-х годах прошлого века проф. Н. С. Ачеркан в фундаментальном труде "Металлорежущие станки" отмечал трудности и даже невозможность математического решения задачи определения силовых характеристик приводов главного движения универсальных станков исходя из разнообразия задач, которые перед станками возникают, и ограниченными возможностями приводов от асинхронных двигателей.

При переходе к регулируемым приводам, которые в настоящее время реализуются на основе асинхронных двигателей с частотным регулированием, подходы к решению задачи изменяются коренным образом.

С помощью математических зависимостей условий резания, режимов обработки, передаточных отношений промежуточных звеньев и характеристик двигателя можно получить ту функцию, которая позволит получить значения параметров, определяющих производительность обработки.

На рис. 1 приведена схема привода главного движения токарного станка с двухдиапазонной коробкой скоростей. Подвижный зубчатый двухвенцовый блок может войти в зацепление с одним из двух колес на шпинделе. Зацепление с большим колесом на шпинделе реализует низший диапазон вращения шпинделя, а с меньшим — высший.

Коробка скоростей выполняет роль редуктора, снижающего скорость вращения двигателя и повышающего вращающий момент на шпинделе. Такое повышение необходимо для токарных станков,

обрабатывающих заготовки большого диаметра.

Физическим объектом главного привода является система, состоящая из следующих составных частей: асинхронного двигателя с частотным регулированием; устройства ЧПУ; электромеханических устройств; элементов связи двигателя со шпинделем (коробка скоростей, ременная передача); взаимодействие режущего инструмента с заготовкой.

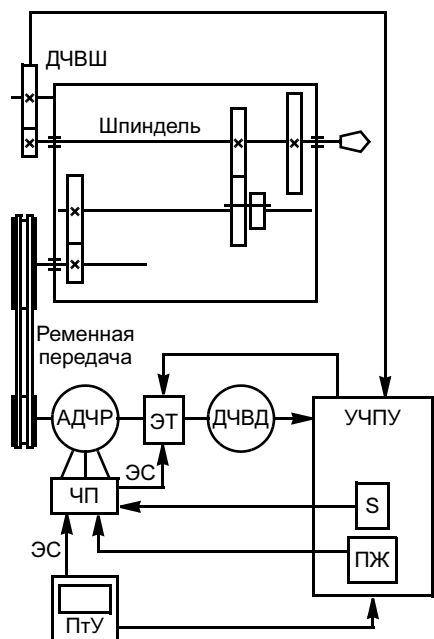


Рис. 1. Блок-схема частотно-регулируемого привода главного движения токарного станка (УЧПУ — устройство числового программного управления; АДЧР — асинхронный двигатель с частотным регулированием; ЧП — частотный преобразователь; ПтУ — пульт управления; ЭТ — электрический тормоз двигателя; S — задание скорости вращения; ПЖ — параметры жесткости привода; ЭС — экстренный "Стоп"; ДЧВД — датчик частоты вращения двигателя; ДЧВШ — датчик частоты вращения шпинделя)

На рис. 2 приведена силовая характеристика АДЧР, в которой по вертикальной оси отложены мощность P и вращающий момент T , а по горизонтальной — частота вращения n . Имеем три характерных участка. На участке I при возрастании частоты вращения мощность также возрастает, на участке II — остается постоянной, на участке III — падает. Вращающий момент на первом участке постоянен, затем падает.

На рис. 3 приведена аналогичная силовая характеристика двухдиапазонного привода станка, использующего АДЧР. На нем показаны зависимости мощности от частоты вращения для двигателя (сплошная линия), для шпинделя на низшем диапазоне привода (штриховая) и для шпинделя на высшем диапазоне (штрихпунктирная).

Именно такая силовая характеристика создает предпосылки для решения задачи оптимизации привода, так как такие показатели производительности, как глубина резания и объем срезаемой в единицу времени стружки, могут достигать экстремальных значений при выборе определенных параметров привода.

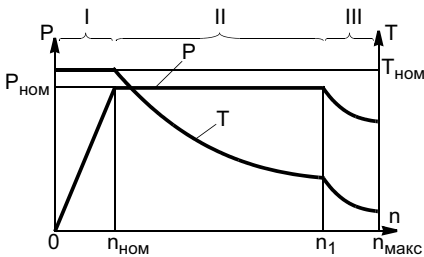


Рис. 2. Силовая характеристика АДЧР

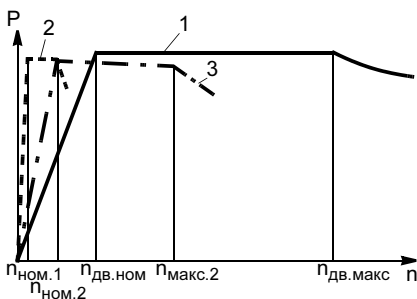


Рис. 3. Силовая характеристика регулируемого двухдиапазонного привода: 1 — двигатель; 2, 3 — диапазоны I и II соответственно

При точении мощность резания

$$P_{рез} = k_1 k_2 k_3 t v^x s^y,$$

где $k_1—k_3$ — коэффициенты, учитывающие соответственно материал заготовки, характеристики состояния материала заготовки и режущих инструментов; t — глубина резания, мм; v — скорость резания, м/мин; s — подача на оборот, мм/об; x, y — показатели степени при скорости резания и подаче соответственно.

Мощность двигателя на участке I

$$P_{дв1} = P_{рез} = \frac{P_{ном} n_{шп.м} \eta}{n_{ном.м}},$$

где $P_{ном}$ — номинальная мощность двигателя, кВт; $n_{шп.м}$ — частота вращения шпинделя в диапазоне m , об/мин; $n_{ном.м}$ — номинальная частота вращения шпинделя для каждого из m диапазонов его вращения, об/мин; η — КПД привода на данной частоте вращения шпинделя.

Номинальная мощность

$$P_{ном} = \frac{k_1 k_2 k_3 t v^{x-1} s^y n_{ном.м} D}{318,3 \eta};$$

$$n_{ном.м} = \frac{n_{ном.дв}}{i_m},$$

где D — диаметр обработки, мм; $n_{ном.дв}$ — номинальная частота вращения двигателя, об/мин; i_m — передаточные отношения каждого из m диапазонов вращения шпинделя.

Мощность двигателя на участке II

$$P_{дв2} = P_{рез} = P_{ном} \eta;$$

$$P_{ном} = \frac{k_1 k_2 k_3 t v^x s^y}{\eta}.$$

На участке III характеристики работы двигателя происходит стремительное падение мощности и вращающего момента, что резко снижает силовые возможности привода. Необходимо проектировать главный привод станка таким образом, чтобы избежать использования этого участка в работе. В первую очередь это достигается за

счет подбора двигателя с высокими значениями максимальных частот вращения, на которых мощность сохраняет постоянное значение.

Из вышеприведенных формул выведем формулы для расчета предельных глубин резания. Такими глубинами будем называть максимально возможную глубину резания, которая достижима при 100 %-ной загрузке двигателя по мощности:

$$t_1 = \frac{318,3 P_{ном} \eta}{k_1 k_2 k_3 v^{x-1} s^y n_{ном.м}}; \quad (1)$$

$$t_2 = \frac{P_{ном} \eta}{k_1 k_2 k_3 v^x s^y}. \quad (2)$$

Первая формула представляет уравнение для расчета предельных глубин t_1 на участке I характеристики двигателя, а вторая формула — для расчета предельных глубин t_2 на участке II. В MathCAD эти две формулы можно объединить в одну следующим образом:

$$t = \text{if} \left[\left(1000 \frac{V}{\pi D} \right) \leq n_{макс}, \right.$$

$$\text{if} \left[\left(1000 \frac{V}{\pi D} \right) \leq n_{ном}, \right.$$

$$P \eta 1000 \frac{V}{\pi D} \frac{1}{n_{ном}} \frac{1}{k V^{0,85} S_o^{0,75}};$$

$$\left. P \eta \frac{1}{k V^{0,85} S_o^{0,75}} \right], 0 \left. \right].$$

Для оценки предельной глубины в зависимости от диаметров обработки и скоростей резания предложено графическое отображение в виде диаграмм, представляющих собой контурные поверхности ("пирамиды") (рис. 4).

Каждая из диаграмм имеет два участка глубины резания. Левый участок соответствует глубине, рассчитанной по формуле (1). Он отражает участок I силовой характеристики привода, когда мощность возрастает с увеличением частоты вращения. Правый участок соответствует глубине, рассчитанной по формуле (2). Он отражает участок II силовой характеристики, когда привод работает на частоте

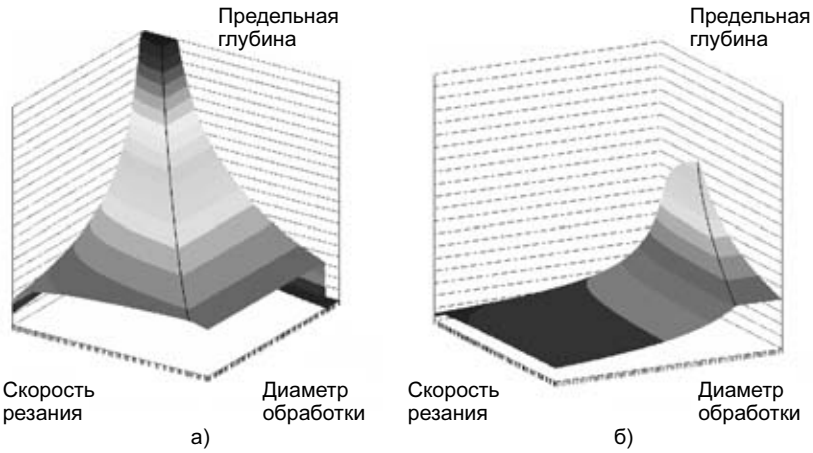


Рис. 4. Поверхностные диаграммы предельной глубины резания: а, б — первый и второй диапазоны скоростей привода соответственно

вращения выше номинальной и мощность остается постоянной.

Оба участка на диаграммах разделены линией, которую назовем линией оптимизации. Для решения задачи оптимизации привода необходимо выбрать значения диаметра обработки и скорости резания, которые являются наиболее характерными для работы токарного станка. Можно предложить для такого характерного диаметра высоту центров токарного станка, а для скорости — 130 м/мин, для легких токарных станков — предельная глубина резания 5 мм, для средних — 8 мм, для тяжелых — 13 мм.

Такие глубины резания вполне соответствуют как уровням виброустойчивости токарных станков, так и возможностям резцов, оснащенных неперетачиваемыми пластинами твердого сплава.

Рассмотрим решение задачи оптимизации для токарного станка среднего типоразмера, например с высотой центров 315 мм. График на рис. 5 можно представить как "сечение" пирамиды, изображенной на левой диаграмме рис. 4, для определенного диаметра. Указанная на графике максимальная точка оптимизации, лежащая на кривой оптимизации рис. 4, образуется пересечением двух кривых, отражающих два участка характеристики двигателя. Для нахождения параметров этой точки приравняем уравнения (1) и (2):

$$\frac{n_{ш.м} P_{ном} \eta}{k_1 k_2 k_3 v^x s^y n_{ном.м}} = \frac{P_{ном} \eta}{k_1 k_2 k_3 v^x s^y} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{n_{ш.м}}{n_{ном.м}} = 1 \Rightarrow \frac{1000v}{\pi D n_{ном.м}} = 1.$$

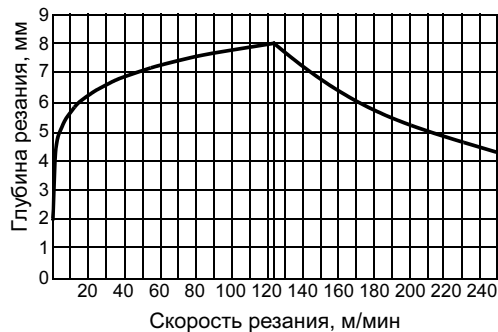


Рис. 5. Предельная глубина резания при обработке стали 45 ($D = 315$ мм, $S_0 = 0,63$ мм/об)

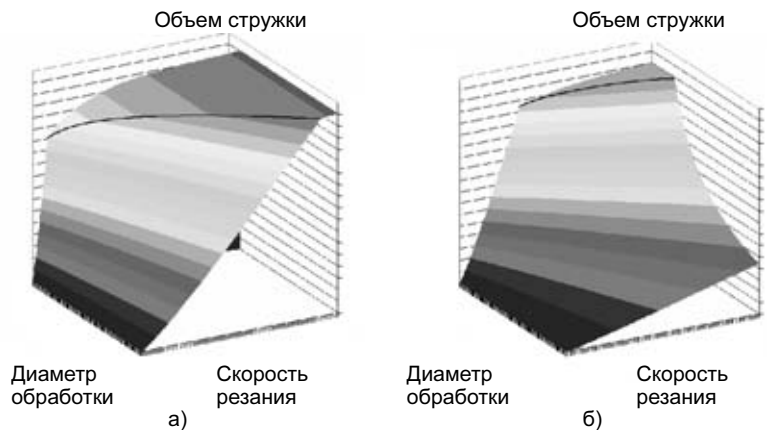


Рис. 6. Диаграммы объема срезаемой в единицу времени стружки: а, б — см. рис. 4

Подставив в уравнение известные значения, получим

$$\frac{318,3 \cdot 130}{315 n_{ном.м}} = 1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 131,3 = \frac{n_{ном.дв}}{i_m} \quad (3)$$

Подбирая параметры номинальной частоты работы двигателя (которые указаны фирмой-изготовителем) и передаточное отношение на нижнем (силовом) диапазоне скоростей, можно добиться оптимальных характеристик работы привода.

Из зависимости (3) становится ясна целесообразность использования двигателей с уменьшенной номинальной частотой. Так, при номинальной частоте 1000 об/мин передаточное отношение между двигателем и шпинделем должно равняться 7,6. Это можно реализовать в коробке скоростей или мотор-редукторе одной зубчатой передачей с передаточным отношением 4 и ременной передачей с передаточным отношением 1,9.

При двигателе с номинальной частотой вращения 1500 об/мин передаточное отношение становится равным 11,4. В коробке скоростей с передаточным отношением 5,7 необходимо будет иметь две зубчатые передачи.

Приведенные расчеты показывают необходимость выработки требований к характеристикам двигателей с частотным регулированием:

— двигатели должны иметь пониженную номинальную частоту

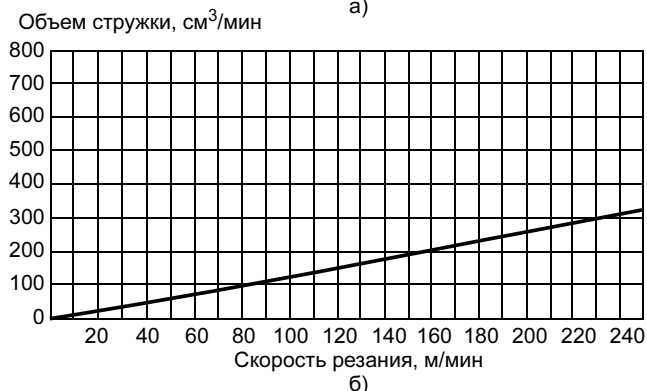


Рис. 7. Объем снимаемой стружки при точении диаметра 315 мм: а, б — см. рис. 4

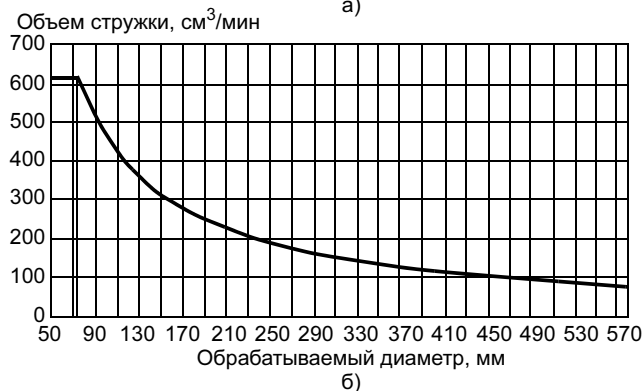


Рис. 8. Объем снимаемой стружки при точении со скоростью 122 м/мин: а, б — см. рис. 4

вращения, желательнее 1000 об/мин. Меньшие номинальные частоты приводят к увеличению габаритных размеров двигателей;

— отношение максимальной частоты вращения двигателя с постоянной мощностью к номинальной частоте должно быть не менее 4. В этом случае в характеристике привода не будет "провалов" мощности;

— двигатели должны обладать способностью работать в режимах кратковременной перегрузки, что позволит конструировать приводы без избыточного запаса мощности.

Рассмотрим производительность обработки, которую будем оценивать не глубиной резания, а объемом снимаемой стружки в единицу времени.

На рис. 4 видно, что при малых скоростях резания привод позволяет работать с большими глубинами. Это может ввести в заблуждение при оценке производительности обработки.

На рис. 6 приведены диаграммы производительности в трехмер-

ной системе координат как зависимости объема снимаемой стружки от диаметра и скорости резания.

Диаграммы показывают, что точение на более высоких скоростях, несмотря на уменьшение предельной глубины резания, приводит к более высокой производительности обработки по сравнению с резанием на меньшей скорости, когда предельная стружка имеет большую глубину. Это хорошо видно на графиках зависимости производительности от скорости для определенного диаметра.

На рис. 7, а видны две области, в которых производительность растет по различным законам. Левая сторона графика соответствует участку I силовой характеристики привода, на котором с ростом частоты вращения растет мощность. Правая сторона графика соответствует участку II характеристики привода, когда он работает на постоянной мощности. Во втором диапазоне (рис. 7, б) такой перелом может наблюдаться толь-

ко на малых диаметрах обработки (от 0 до 150 мм).

На рис. 8 также наблюдаются два характерных участка: левый и правый. Левый соответствует резанию с постоянной мощностью, а правый — с переменной мощностью и постоянным моментом.

Можно сделать вывод, что силовым характеристикам станков средних типоразмеров соответствует привод с частотно-регулируемым двигателем с номинальной частотой вращения 1000 об/мин, передаточным отношением от двигателя к шпинделю 8. Такой привод обладает малой материалоемкостью, высоким КПД, малым числом зубчатых передач, следовательно, малым уровнем шума.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оптимизация скоростных и силовых характеристик приводов главного движения токарных станков / Р. Б. Марголит, О. А. Терехова, Д. А. Колобаев, Ю. С. Маркин // СТИН. 2006. № 2.
2. Терехова О. А., Марголит Р. Б., Маркин Ю. С. Привод главного движения токарных станков средних размеров // Технология машиностроения. 2006. № 11.

Э. Х. ИСАКАЕВ, д-р техн. наук, В. М. ГУСЕВ, канд. техн. наук, В. Б. МОРДЫНСКИЙ, канд. техн. наук
ОИВТ РАН (Москва)

Повышение ресурса деталей с газотермическими покрытиями нефтепромыслового оборудования¹

Основную роль в снижении срока службы различных узлов и деталей играют процессы изнашивания и коррозии, а также их сочетание. Зачастую ресурс целого агрегата зависит от работоспособности одной детали. Материальные потери от износа, например в США, оцениваются более 7 % ежегодного валового национального продукта. По отечественным оценкам, сокращение текущих ремонтов по технико-экономической эффективности равноценно удвоению мощности машиностроительных заводов и увеличению выпуска металлов на многие миллионы тонн [1].

Из-за низкого качества ремонта срок службы восстановленных деталей составлял менее 50 % ресурса новых, что объясняется недостаточным использованием для этих целей передовых технологий и, в частности, ограниченным использованием для упрочнения и восстановления рабочих поверхностей деталей методов газотермического напыления (ГТН). Вместе с тем нанесение покрытий плазменным, дуговым или газопламенным напылением позволяет при экономном использовании дорогостоящих материалов получать поверхности с высокими антифрикционными, износо- и коррозионно-стойкими свойствами [2—4].

В данной работе приведены результаты исследований, выполненных в течение нескольких лет, по технологии ремонта направляющих аппаратов (НА) погружных центробежных насосов типа ЭЦН. Последние являются одним из основных способов добычи нефти во всем мире. Анализ и опыт показывают, что наиболее уязвимой с точки зрения отказов ЭЦН является пара трения, образованная НА и защитной втулкой вала, на долю которых приходится около 20 % отказов насосов. В настоящее время для изготовления НА используют модифицированный чугуны, а для втулки — латунь Л63. В зависимости от месторождения нефти содержание в ней кислородных, азотистых, серных соединений и взвешенных абразивных частиц изменяется в широких пределах. Для наиболее неблагоприятных месторождений при изготовлении НА используют специальные

коррозионно- и износостойкие сплавы, что существенно увеличивает их стоимость.

Для продления срока службы НА при ремонте насосов традиционно используют прием "завтуливания", т. е. запрессовку втулок из стали ШХ15 высокой твердости. Другим решением задачи по увеличению ресурса НА может быть нанесение износостойких покрытий методами ГТН как на новые детали, так и при выполнении ремонтных работ. Причем методами ГТН можно восстанавливать детали даже с очень тонкой стенкой ступицы, которая разрушается при завтуливании.

Объемы выпуска новых НА и ежегодно ремонтируемых аппаратов в РФ можно оценить в 10—15 млн/год, поэтому материалы покрытий должны быть дешевыми и выпускаться серийно, а методы их нанесения обладать высокой производительностью, хорошо вписываться в общие технологические процессы и иметь необходимый уровень механизации. Кроме того, процесс окончательной механической обработки деталей с износостойкими покрытиями не должен существенно усложнять технологию реновации НА.

При разработке износостойких покрытий для упрочнения и восстановления ступиц НА исследовали 36 марок широко известных материалов, обладающих повышенной стойкостью против износа и коррозии. Все они составили три группы:

— самофлюсующиеся твердые сплавы на основе никеля (ПГ-СР, СНГН, ПГ-12Н-01, ВСНГН), износостойкость относительно закаленной стали $\epsilon = 2,3 \div 5,5$;

— металлокерамические композиционные материалы и интерметаллиды (П20÷40Х13, ПРХ18Н9, ХВС, ПГС-1+4 % Al и ФБХ6-2+4 % Al и др.), $\epsilon = 2,2 \div 3,9$;

— металлические покрытия на основе железа.

В качестве методов нанесения опробовали газопламенное, плазменное напыление и электродугую металлизацию (ЭДМ).

Адгезия наносимых на внутренние поверхности покрытий может не обеспечивать достаточной прочности. Для снижения риска отслоений покрытий чаще всего используют предварительный подогрев до 250—300 °С, введение в состав покрытий пла-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 05.08.18027 и 08.08.00048).

стичных составляющих и согласование температурных коэффициентов линейного расширения материалов детали и покрытия. Ясно, что большой объем исследований вызвал необходимость проведения предварительных оценочных испытаний покрытий в лабораторных условиях. В качестве критериев оценки перспективности использования материалов и способов их нанесения выбрали фазовый состав и микротвердость покрытий, их износостойкость, определенную на машинах СМЦ-2 и ХБ-4, адгезионные и когезионные характеристики напыленных слоев.

Покрытия из самофлюсующихся сплавов на никелевой основе имеют матрицу γ -твердого раствора микротвердостью 3800—4500 МПа и кристаллы карбидов (карбоборидов) переменного состава микротвердостью 7000—11 000 МПа. В зависимости от марки самофлюсующегося порошка твердость изменяется в пределах 35—62 HRC. Износостойкость таких покрытий в оплавленном состоянии в 5,5 раз выше, чем закаленной стали 45 твердостью 52—55 HRC. Недостатком этих материалов является высокое значение температурного коэффициента линейного расширения. Напряжения, возникающие после напыления их даже плазменным методом, на границе покрытия с подложкой часто приводят к его отслоению при последующей механической обработке. Увеличение прочности сцепления покрытий оплавлением при температуре 1050—1150 °С приводит к короблению НА. По этой причине покрытия данного класса были исключены из исследований на предварительном этапе.

Покрытия второй группы наносили плазменным и газопламенным методами. Металлокерамические покрытия после газопламенного напыления состоят из металлической матрицы и слабдеформированных включений керамики. Очевидно, температуры ацетиленокислородного пламени недостаточно для расплавления тугоплавких керамических включений. При переходе на плазменное напыление прогревание тугоплавких керамических составляющих значительно лучше и они также образовывали характерную для газотермических покрытий волнистую структуру. Микротвердость металлической матрицы находилась на уровне 1000—1800 МПа, твердость оксидных включений составляла 9000—15 000 МПа, а у карбидных составляющих она достигала 9000—20 000 МПа.

Равномерность распределения упрочняющих фаз и прочность их закрепления в матрице определяют высокую износостойкость этих покрытий. При испытаниях она оказалась в 4,4—6,1 раза выше, чем модифицированного чугуна, из которого изготавливают НА. Относительная износостойкость интерметаллидов $\epsilon = 2,9$ для плазменных покрытий из порошка ПН55Т45 и $\epsilon = 2,1$ для порошка ПН70Ю30. Высокая твердость покрытий второй группы исключает воз-

можность их механической обработки лезвийным инструментом и требует шлифования. По этой причине, а также ввиду высокой стоимости исходных материалов и значительных затрат при плазменном напылении они также были исключены из применения в качестве покрытия для НА.

Наиболее перспективно с экономической и технологической точек зрения нанесение покрытий из хромистых сталей методом ЭДМ. Стали с содержанием 13 % хрома, обладая положительным потенциалом, не ржавеют и не окисляются на воздухе, в воде и ряде кислот, щелочей и солей. При содержании в них углерода менее 0,1 % они образуют ферритно-перлитную структуру, а при его увеличении до 0,4 % — мартенситную. Твердость и износостойкость хромистых сталей в общем случае зависят от содержания остаточного аустенита и твердости мартенсита. С понижением температуры структурных превращений и увеличением уровня напряжений повышаются скорость и объем мартенситных превращений. Большие скорости охлаждения расплавленных частиц, из которых формируется покрытие, и их деформация при соударении с подложкой способствуют получению закалочных структур без дополнительной термической обработки покрытий.

Вместе с тем путем изменения параметров режима напыления можно воздействовать на температурное состояние, при котором формируются слои, и посредством этого влиять на физико-механические характеристики покрытий. Мартенситные структуры из-за значительных искажений кристаллической решетки имеют очень низкую пластичность и склонны к образованию холодных трещин. Перлитные же структуры, сохраняя высокую твердость, обладают большей пластичностью и способностью релаксировать пиковые напряжения, сохраняя высокую износостойкость.

Температурный коэффициент линейного расширения покрытий из хромистых сталей практически не зависит от содержания углерода в исходном материале и режимов напыления. Он несколько отличается от соответствующих значений компактных материалов, но его значения хорошо согласуются с характеристиками чугуна. Микротвердость покрытий увеличивается с повышением содержания углерода (табл. 1).

Одновременно с изучением влияния технологических параметров процесса ЭДМ и химического состава хромистых сталей на твердость, прочность сцепления и износостойкость, т. е. основные служебные характеристики покрытий (табл. 2, 3), оценивали возможность их механической обработки режущими инструментами.

Установлено, что обработку покрытий с мартенситными структурами даже твердосплавными рез-

Таблица 1

Параметр	Исходный материал — сталь					
	12X13	20X13	30X13	40X13	12X13 + 08Г2С	20X13 + АМг
Микротвердость, МПа	2950	4500	5500	6120	2960	2120
Твердость, HRC	28—30	32—33	36—43	41—50	30—32	—
Пористость, %	8,7/13,5	—	7,0/16	7,4/16	—	6,7/12,3
Плотность, г/см ³	6,73	6,45	6,47	6,47	6,51	5,03
Температурный коэффициент линейного расширения, $\times 10^{-6}$	12,2—13,0	12,2—13,3	12,4—13,8	—	—	17,4—18,3
Коэффициент теплопроводности, В/(м · К)	10,9	—	10,4	10,4	—	49,5

Примечания: 1. Микротвердость указана по усредненным значениям.
2. В числителе приведены значения открытой пористости, в знаменателе — общая пористость.

цами можно производить на низких оборотах и глубине резания (менее 200 об/мин и 0,1 мм соответственно). Однако даже при этих ограничениях 10—15 % деталей имели сколы покрытий.

Следовательно, при рассмотрении целесообразности увеличения твердости и износостойкости покрытий с учетом последующей механической обработки в серийном производстве необходимо обоснованное компромиссное решение. В качестве одного из вариантов покрытий опробован состав псевдосплава 20X13+АМг, полученный распылением проволоки диаметром 1,6 мм и одинаковой скорости подачи. Теплопроводность этих покрытий заметно выше, что должно сказываться на теплонапряженности в пятне контакта трущихся поверхностей (см. табл. 1). Такие покрытия имеют и низкий коэф-

фициент трения. Однако технология нанесения покрытий из псевдосплавов имеет существенные недостатки, связанные с нарушением стабильности процесса ЭДМ ввиду разной скорости плавления проволок. Это требует разработки специальных мероприятий (использование проволок различного диаметра или их подачу с разными скоростями, удаление оксидной пленки с Al-проволоки), что значительно усложняет технологический процесс и ограничивает возможность регулирования состава псевдосплавов. Рассмотренные ограничения затрудняют применение такой технологии в серийном производстве упрочнения или восстановления НА, однако следует признать перспективность исследований в этом направлении при разработке материалов защитных втулок вала.

Таблица 2

Ток, А	Напряжение, В	Мощность, кВт	Содержание элементов, %			Прочность сцепления, МПа
			С	Cr	Fe	
90	25	2,25	0,15	11,1	88	30,6
75	30	2,25	0,16	11,2	88	30,7
65	35	2,28	0,09	11,1	88	23,5

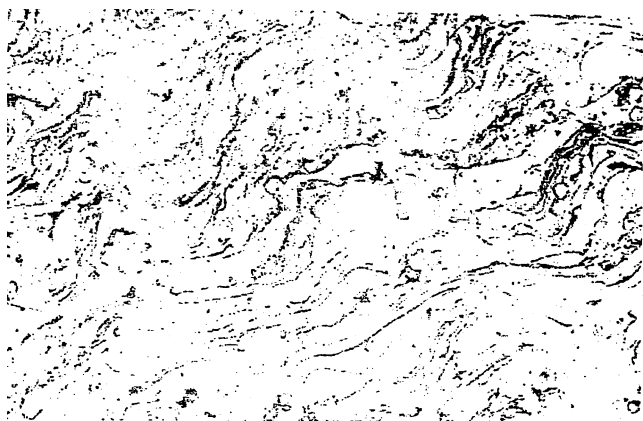


Рис. 1. Микроструктура покрытия 12X13+08Г2С после травления азотной кислотой ($\times 400$) (микротвердость светлых фаз 4590 МПа, темных — 5150 МПа)

С учетом изложенного в процессе выполнения данной работы использовали опыт нанесения покрытий из псевдосплавов. Так, хорошие результаты по всем исследованным параметрам показал псевдосплав 12X13+08Г2С, получаемый из проволок диаметром 1,6 и 1,2—1,4 мм соответственно. Эти покрытия имеют ферритно-перлитную и мартенситную структуры с небольшим количеством карбидов, они достаточно плотные (пористость 6—7 %), состоят из равномерно распределенных по объему слоя структурных составляющих (рис. 1).

Покрытия хорошо обрабатываются резанием даже при скорости до 6 м/с (600 об/мин). Содержание хрома в таких покрытиях несколько уменьшается и составляет примерно 8 %, тем не менее они обладают удовлетворительной коррозионной стойкостью и сравнительно высокой износостойкостью.

На основании этих исследований разработан процесс электродугового нанесения износостойких покрытий на ступицы НА с учетом их конструктивных особенностей и создан комплекс технологического оборудования для его реализации (рис. 2), который включает установку для струйно-абразивной обработки поверхности (УСАО), собственно установку напыления, оснащенную модернизированным серийным электрометаллизатором ЭМ-12 (УЭДМ).

Таблица 3

Покры- тие	Дистан- ция напы- ления, мм	Микротвердость, МПа, при давлении воздуха, МПа			Твер- дость, НРС
		0,3	0,5	0,7	
12X13	50	—	2410	—	—
	80	2900	3080	2900	28—30
	150	—	2460	—	26—28
20X13	50	3250	3860	3180	32—35
	80	3250	3500	3220	33—35
	150	3250	3260	3300	32—34
30X13	50	—	4120	—	40—44
	80	4800	6400	5500	42—44
	150	—	4700	3500	36—40
40X13	50	6060	6400	—	—
	80	6400	6480	—	51—55
	150	4060	6070	523	48—51
12X13+ + 08Г2С	50	—	—	—	—
	80	2800	320	3100	32—33
	150	2700	300	3000	31—32

УСАО представляет камеру 1 и состоит из струйно-абразивного аппарата 17, устройства подачи деталей в рабочую зону 6—9, устройства их удержания в виде трехрожковой вилки с упорами, связанной с блоком управления 10, 11—14. Детали загружаются в лоток и упираются в отсекаТЕЛЬ. Время обработки задается реле времени 13, после срабатывания которого сигнал подается на пневмораспределитель 14, из которого сжатый воздух поступает в пневмоцилиндр 15, убираются временные отсекатели 7 и устанавливается промежуточный упор. Первая деталь упирается в промежуточный упор, после команды с реле времени пневмоцилиндр возвращается в исходное положение. При этом деталь накатывается на позицию обработки (фрикционный ролик 16) и притормаживается фиксирующим упо-

ром 9. В этом положении остальные детали задерживаются отсекателем. В течение заданного времени происходит струйно-абразивная обработка, по окончании которой пневмоцилиндр убирает упор и следующая деталь подкатывается к упору 8 и цикл повторяется. Одновременно убирается упор 9 и обработанная деталь скатывается по наклонному лотку через окно 5.

После обработки деталь из окна поступает по наклонному лотку 4 в камеру напыления УЭДМ 1 на промежуточный упор 3 и подпружиненный фиксатор 6. При подаче команды от реле времени 10 на пневмораспределитель 11 срабатывает пневмоцилиндр 12 и толкатель 5 через деталь отклоняет подпружиненный фиксатор 9, вставляя деталь на позицию напыления между тремя роликами 6—9. В это время толкатель 5 препятствует дальнейшему продвижению остальных деталей, при возврате его в исходное положение следующая деталь поступает на промежуточную площадку 3 и удерживается фиксатором 6. Напыление осуществляется в течение заданного времени, когда деталь находится между роликами 6—9. При поступлении нового сигнала толкатель отклоняет фиксатор, устанавливает на рабочую позицию следующую деталь, выталкивает напыленную на наклонный лоток и она выкатывается в контейнер готовой продукции.

Таким образом, напыление покрытий производится одновременно на внутреннюю поверхность ступицы и на малый буртик, перемещение пятна по упрочняемой поверхности обеспечивается вращением детали в специальном подпружиненном трехвалковом захвате, а загрузку и выгрузку деталей на позицию напыления обеспечивает пневмотолкатель, цикл работы которого задается и регулируется таймером, что обеспечивает после загрузки деталей в накопительные лотки работу комплекса в автоматическом режиме.

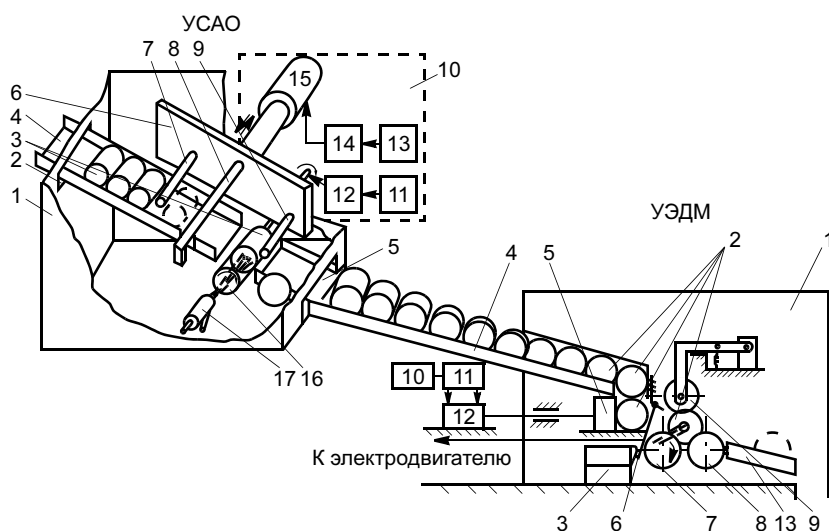


Рис. 2. Схема технологического комплекса для восстановления или упрочнения внутренних размеров направляющих аппаратов погружных насосов типа ЭЦН (УСАО: 1 — камера; 2 — загрузочное окно; 3 — детали; 4 — лоток подачи деталей; 5 — отсекатели деталей; 6 — промежуточный упор; 7 — упоры-фиксаторы при обработке; 8 — шкаф управления; 9 — электродвигатель; 10 — редуктор; 11 — реле времени; 12 — пневмораспределитель; 13 — пневмоцилиндр; 14 — пневмораспределитель; 15 — пневмоцилиндр; 16 — приводной ролик; 17 — пневмопистолет; УЭДМ: 1 — камера; 2 — детали; 3 — упор промежуточный; 4 — подпружиненный упор; 5 — толкатель; 6 — приводной ролик; 7 — паразитный ролик; 8 — лоток выгрузки деталей; 9 — верхний прижимной ролик; 10 — реле времени; 11 — пневмораспределитель; 12 — пневмоцилиндр; 13 — связующий лоток (транспортёр))

Таблица 4

Материал ступицы направляющего аппарата	Относительная износостойкость элемента пары трения		
	Направляющий аппарат (НА)	Втулка защитная	Пара
Чугун модифицированный (серийный вариант) 12Х13 (покрытие)	1	1	1
Псевдосплав 12Х13 + 08Г2С (покрытие)	2,88	1,78	2,36
	2,56	1,6	2,04

Толщина наносимого слоя регулируется скоростью подачи проволоки и временем экспозиции деталей в зоне обработки. На выбранных режимах напыления толщина слоя составляет 0,1 мм (за 1 с), что обеспечивает автоподогрев напыляемой поверхности, не приводит к излишнему перегреву детали и является удобным при регулировке темпа ее подачи в зону напыления. Установки прошли успешные опытно-промышленные испытания при восстановлении партии НА более 100 000 шт. Диаметр реставрируемых ступиц НА составлял $21,9 \pm 0,1$ мм, с учетом необходимости последующей механической обработки отверстий $\varnothing 21$ Н9 покрытия напылялись с припуском.

Стендовые испытания восстановленных НА осуществляли на специальных установках конструкции "Криогенмаш" и РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина при скорости вращения вала 3000 1/мин с содержанием электрокорунда от 8 до 5 г/л, они подтвердили повышение износостойкости за счет нанесения покрытий и увеличение ресурса пары ступица НА—втулка защитная вала (табл. 4) (приведены усредненные значения износостойкости по трем точкам). В качестве материала защитной втулки во всех вариантах испытаний использовали серийные детали из латуни Л63.

Промышленные испытания опытной партии проводили на нефтепромыслах ОАО "Сургутнефтегаз". После эксплуатации в течение 150 сут износ покрытий не обнаружен, износ сопрягаемых с ними латунных втулок не превысил штатного.

Таким образом, разработанная технология может быть использована не только для восстановления изношенных, но и при изготовлении новых НА с целью повышения их долговечности и надежности.

В заключение отметим другие технологические возможности ЭДМ. По мнению авторов, ЭДМ эффективна для восстановления посадочных мест на

различных валах. Покрытия из простых и дешевых низкоуглеродистых сварочных проволок по износостойкости значительно превосходят закаленные слои на углеродистых сталях, что важно иметь в виду не только при ремонте деталей. Такие металлизационные покрытия хорошо работают на шейках валов с различными уплотнениями, когда возможно попадание на контактную поверхность абразивных частиц, что наблюдалось на протяжении длительного времени при ремонте подвагонных редукторов ТК-2 и ТРКП.

ВЫВОДЫ

1. Обеспечение высокой износостойкости погружных центробежных насосов ЭЦН для добычи нефти представляет серьезную научно-техническую и экономическую проблему. Основными средствами управления процессами трения и изнашивания является выбор материалов и их сочетаний в парах трения, а также применение различных видов упрочняющей обработки сочлененных поверхностей.

2. Разработаны износостойкие псевдосплавные металлизационные покрытия на основе 12Х13+08Г2С, отличающиеся высокими служебными свойствами, экономичностью нанесения и возможностью механической обработки лезвийным инструментом. Создан комплекс технологического оборудования для реализации процесса нанесения покрытий, который после загрузки деталей работает в автоматическом режиме.

3. Перспективность разработанных мероприятий подтверждена стендовыми и промышленными испытаниями деталей с покрытиями. Срок службы восстановленных направляющих аппаратов значительно превосходит аналогичные показатели новых и обеспечивает повышение ресурса пары трения в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Строганов Г. Б.* Покрытия — высокоэффективное направление ресурсосберегающей технологии и задачи по их реализации в народном хозяйстве // Защитные покрытия в машиностроении / Под ред. К. А. Юценко. Киев: Наукова думка, 1987. С. 5—14.
2. *Хасуй А., Мориаки О.* Наплавка и напыление. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
3. *Кудинов В. В., Бобров Г. В.* Нанесение покрытий напылением. Теория, технология, оборудование. М.: Металлургия, 1992. 432 с.
4. *Газотермическое напыление* / Под ред. Л. Х. Балдаева. М.: Маркет ДС, 2007. 344 с.

Г. П. БАТОВ, инж.
НУЦ "Качество"

Влияние объемности напряженно-деформированного состояния на скорость роста усталостных трещин

Значительное количество оборудования нефтегазового комплекса эксплуатируется по истечении нормативного срока службы, в связи с чем важное значение приобретает оценка технического состояния объекта и определение остаточного ресурса. Однако возможное наличие в техническом устройстве дефектов типа усталостных трещин и недостоверная оценка скорости их роста может привести как к преждевременному выводу из эксплуатации оборудования и его ремонту с существенными материальными затратами, так и к авариям с катастрофическими последствиями для экологии, а иногда даже с человеческими жертвами.

Это связано с тем, что оборудование, работающее под давлением, в частности газопроводы, аккумулирует большое количество упругой энергии и при потере герметичности (превращении поверхностной трещины в сквозную) не происходит мгновенного снижения давления, а следовательно, и напряжений в газопроводе. Вследствие чего сохраняются условия для дальнейшего увеличения размера трещины.

Скорость роста трещины в таком случае может достигать скорости звука в металле. Трещина обычно движется до следующего кольцевого стыка, а иногда преодолевает и его в считанные секунды. В процессе роста трещины часть энергии превращается в теплоту, поджигая транспортируемый продукт.

Из вышеперечисленного следует, что предсказание поведения трещины является актуальной задачей в прогнозировании остаточного ресурса оборудования нефтегазового комплекса.

Определение скорости роста усталостной трещины — сложная и актуальная задача. Известны решения этой задачи только для ча-

стных случаев. В большинстве применяемых выражений используют зависимость скорости роста трещины от коэффициента интенсивности напряжений (КИН) K_I :

$$v = v_0 \left(\frac{K_I}{K^*} \right)^m, \quad (1)$$

где $v_0 = 10^{-4}$ мм/цикл; m , K^* — характеристики материала.

Тогда

$$K_I = Y\sigma \sqrt{\frac{\pi a}{Q}}, \quad (2)$$

где σ — номинальное напряжение без учета трещины; a — один из размеров трещины.

Основная формула для определения КИН (2) весьма проста, но включает ряд поправочных коэффициентов и функций (Y , Q), которые зависят от остальных размеров сечения с трещиной и должны быть предварительно получены на основе сложных расчетов или экспериментов. Применение формул (1) и (2) показывает [1], что чисто расчетное определение КИН на основе уравнений теории упругости дает неточное предсказание роста трещины даже для простого случая — одноосного растяжения пластины с поперечной полуэллиптической поверхностной трещиной (рис. 1). Путем замера размеров a и c усталостной трещины в процессе ее роста установлено, что при одинаковых значениях K_I в точках A и B ее контур пере-

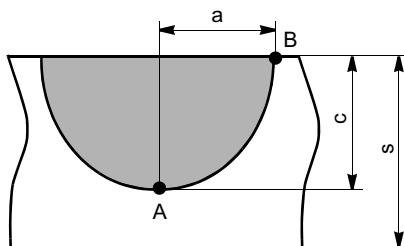


Рис. 1. Полуэллиптическая поверхностная трещина в пластине

мещается неэквидистантно, т. е. скорость ее роста в этих точках различна. В связи с этим на основе изучения формы растущих трещин разработаны формулы для поправочных коэффициентов Y [2], в которых этот недостаток устранен. Эти формулы можно считать обобщением большого количества экспериментальных данных и использовать при обосновании новых критериев роста усталостных трещин.

На рис. 2 приведено распределение КИН вдоль фронта трещины, полученное методом конечных элементов (МКЭ) на трехмерной модели (кривая 1) и путем обработки замеров растущих трещин (кривая 2). Моделирование дает равномерное распределение КИН при заданных размерах трещины, поэтому такая трещина должна расти равномерно с эквидистантным перемещением фронта. Но форма трещины изменяется за счет

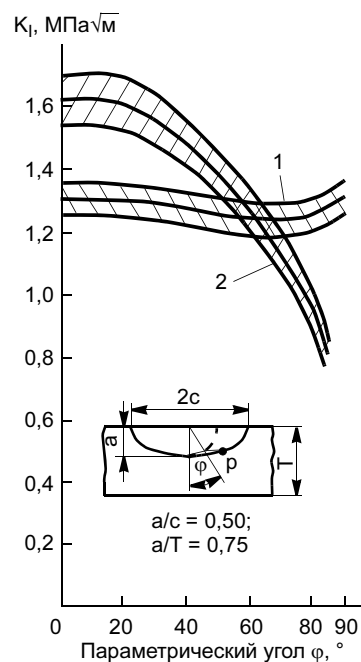


Рис. 2. Распределение КИН вдоль фронта трещины [2]

ее более быстрого роста у дна и медленного — у выхода на поверхность, что и отражает кривая 2.

Развитие методов расчета роста усталостных трещин в сварных конструкциях с использованием КИН представляется малоперспективным, поскольку разнообразие сочетаний формы и расположения трещин и видов нагрузок слишком велико. Невозможность составления формул расчета КИН для всех этих случаев приводит к необходимости разработки локального критерия роста усталостной трещины, включающего только параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) и характеристики материала в локальной зоне у контура трещины и не зависящего от ее формы и размеров. Практически не представляется возможным получить формулы расчета КИН для случая расположения трещины в области со сложным напряженным состоянием (при действии остаточных сварочных напряжений и т. п.), а также при приближении растущей трещины к наружной поверхности или зоне неоднородности свойств материала. Локальный критерий роста усталостной трещины обеспечивает возможность компьютерного моделирования МКЭ процесса ее роста в конструкции любой сложности.

Для выделения компонентов НДС, определяющих распределение скорости роста полуэллиптической трещины по ее фронту, и разработки структуры критерия проведено численное моделирование НДС в области перед фронтом трещины средствами МКЭ с использованием программного комплекса "Сварка" [3]. Размеры анализируемой трещины (см. рис. 2) приняты в соответствии с работой [2], т. е. такими, при которых теоретическое распределение КИН по ее фронту близко к равномерному. Фрагмент построенной конечно-элементной модели со сгущением сетки вокруг фронта трещины приведен на рис. 3.

На рис. 4 приведено распределение скорости роста трещины по ее фронту, найденное путем подста-

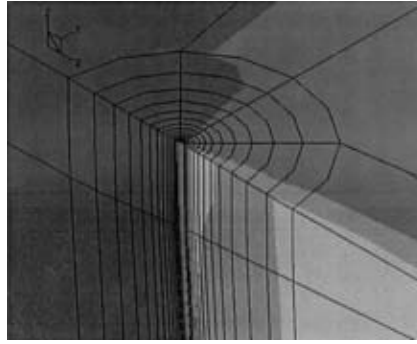


Рис. 3. Конечно-элементная модель для расчета НДС

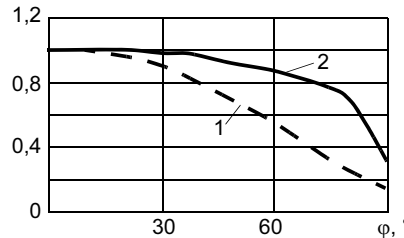


Рис. 4. Распределение скорости роста трещины v/v_{max} (1) и показателя объемности j/j_{max} (2) по фронту трещины

новки значений КИН из работы [2] (см. рис. 2, кривая 2) в уравнение (1).

Анализ параметров НДС перед фронтом трещины выявил единственный из них, который имеет аналогичное распределение по фронту трещины, т. е. может быть признан фактором, ответственным за скорость роста трещины. Этот параметр — показатель объемности напряженного состояния

$$f = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3\sigma_i}$$

параметры НДС распределены по фронту трещины приблизительно равномерно, как и теоретические значения КИН (см. рис. 2, кривая 1).

Известно, что объемность НДС существенно влияет на вязкое разрушение металла. Физический смысл этого явления описывает теория пластического разрыхления [4], согласно которой, пластическая деформация (сдвиг) непрерывно порождает микродефекты (поры), что подтверждается измерениями плотности материала в процессе его деформации. Даже при сжатии образца его плотность снижается вследствие образования

пор. Образовавшиеся микропоры не оказывают заметного влияния на механические характеристики материала. К тому же они энергетически неустойчивы и при определенных условиях могут закрываться (залечиваться). Поэтому на развитие процесса разрушения влияет не только количество возникающих пор, но и их дальнейшее поведение, которое зависит от объемности напряженного состояния. В условиях всестороннего сжатия поры залечиваются, что приводит к росту пластичности. Всестороннее растяжение способствует росту и сливанию пор, что приводит к вязкому разрушению при малой пластичности.

На основе теории пластического разрыхления разработан критерий вязкого разрушения при неоднородном статическом нагружении — критерий предельной пластичности, который широко применяют в теории обработки давлением. Экспериментально подтверждено, что пластичность материала существенно зависит от показателя объемности НДС j . При росте j пластичность снижается по экспоненте (рис. 5).

Критерий предельной пластичности позволяет учесть влияние двух основных составляющих НДС — сдвига (изменения формы) и всестороннего растяжения—сжатия (изменения объема) на процесс разрушения. Результаты исследований показали, что аналогичные механизмы действуют и при рос-

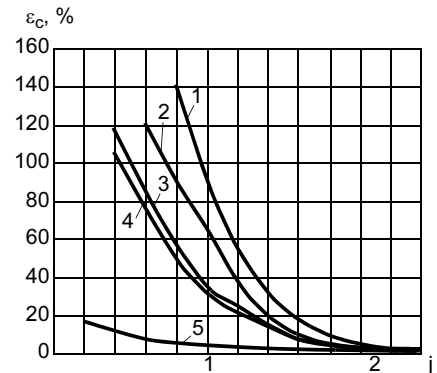


Рис. 5. Предельная пластичность различных сплавов [5]: 1—4 — стали 02Х10Н9МТ, 15Х2МФА, 20 и 17Г1С соответственно; 5 — магниево-литиевый сплав ИМВ-2

те усталостных трещин. Известно, что усталостное разрушение носит вязкий характер, а рост усталостной трещины происходит по механизму малоциклового усталости: металл перед трещиной испытывает по мере ее приближения несколько десятков нарастающих циклов знакопеременной пластической деформации. На основании этого можно сделать вывод, что локальный критерий роста усталостной трещины должен по своей структуре быть близок к уравнению малоциклового усталости Мэнсона—Коффина:

$$\Delta \varepsilon_{ip} N_f^n = \varepsilon_f, \quad (3)$$

где $\Delta \varepsilon_{ip}$ — интенсивность размаха пластической деформации за цикл; N_f — число циклов до усталостного разрушения, причем характеристика пластичности материала ε_f должна быть представлена в виде функции от показателя объемности напряженного состояния j .

Для анализа влияния на рост трещины свободных поверхностей использовали конечно-элементную модель пластины с полукруглой трещиной (рис. 6).

Данная модель позволила получить распределение параметров НДС по фронту трещины (рис. 7, а, б) и сопоставить условия ее роста в глубине металла и у свободных поверхностей образца. В качестве аргумента использовали параметрический угол φ (см. рис. 2). Вблизи обеих поверхностей пластины: у выхода трещины на лицевую поверхность ($\varphi = 90^\circ$) и у дна трещины, находящегося вблизи обратной поверхности ($\varphi = 0$) наблюдается снижение объемности напряженного состояния j и увеличение пластических деформаций за цикл $E_{пл}$.

Если принять в качестве характеристики пластичности материала при малоциклового усталости ε_f его предельную пластичность при статическом нагружении $\varepsilon_c(j)$ (см. рис. 5), то можно рассчитать распределение поврежденности w материала перед фронтом трещины за 1 цикл нагружения.

Анализ данного распределения (см. рис. 7, в) позволяет объяснить отклонение расчетной формы трещин от экспериментальных данных (рис. 8). У середины толщины пластины (в т. С) пластические деформации за цикл минимальны, но рост трещины обеспечивается за счет высокой объемности и низкой пластичности материала. При приближении трещины к лицевой

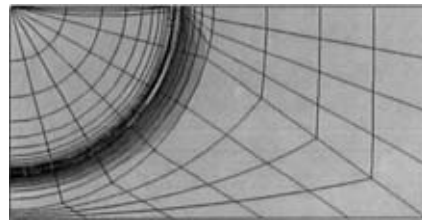


Рис. 6. Конечно-элементная модель для расчета компонентов НДС перед фронтом трещины в пластине

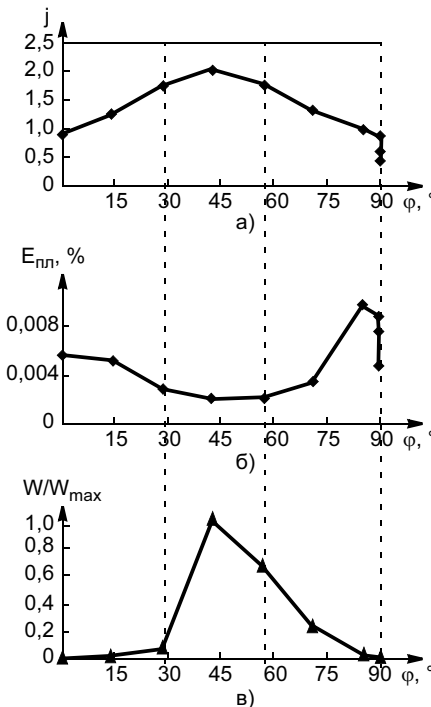


Рис. 7. Распределение компонентов НДС и поврежденности материала за цикл перед фронтом трещины

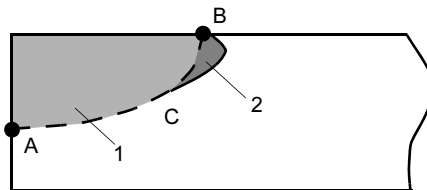


Рис. 8. Расчетная (1) и реальная (2) формы растущей трещины

и обратной поверхностям пластины (в т. А и В) пластическая деформация за цикл возрастает, но объемность падает, что и объясняет изменение формы трещины. Как известно, при росте мелких трещин в равномерно растянутой пластине их форма в целом стремится к полукруглой, за исключением мест выхода на лицевую поверхность (в т. В), где скорость роста меньше. Когда глубина трещины превышает половину толщины пластины, ее форма начинает изменяться. Рост трещины в глубину (в т. А) замедляется по мере ее приближения к обратной поверхности пластины.

Полученные результаты подтверждают зависимость скорости роста усталостной трещины от объемности НДС и свидетельствуют о возможности моделирования процессов статического и циклического вязкого разрушения на основе единого критерия, аналогичного критерию предельной пластичности. Такой подход позволит определить скорость роста трещины произвольной формы и ее ориентацию в изделиях любой геометрии и сложными условиями нагружения, учитывать остаточные напряжения в материале, что существенно повышает точность определения остаточного ресурса конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sommer E., Hodulak L., Kordisch H. Growth Characteristics of Part-Through Cracks in Thick-Walled Plates and Tubes // ASME Journal of Pressure Vessels Technology. 1977. Vol. 99. N 1. P. 106—111.
2. McCowan J. J. A Critical Evaluation of Numerical Solutions of the "Benchmark" // Surface Flaw Problem. Experimental Mechanics, 1981.
3. Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций: Учеб. пособие для вузов / С. А. Куркин, А. С. Куркин, Н. С. Куркин и др.; под ред. С. А. Куркина, В. М. Ховова. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 464 с.
4. Новожилов В. В., Кадашев Ю. И. Микронапряжения в конструкционных материалах. Л.: Машиностроение, 1990. 223 с.
5. Куркин А. С., Жохов А. Г., Буранов А. М. Использование характеристик деформирования и пластичности материалов для моделирования процесса разрушения конструкций // Заводская лаборатория. 1997. Т. 63. № 11. С. 48—51.

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

Обеспечение эргономичности технического устройства на стадии проектирования

Обычно инженеры слабо знакомы с задачами эргономики и тем более с методами обеспечения требований эргономичности, поскольку соответствующие вопросы не входят в программу технического вуза. Поэтому в данной работе кратко опишем историю развития эргономики, ее основные задачи и наиболее приемлемые современные методы их решения.

Эргономичность — это соответствие свойств и показателей качества изделия требованиям, обеспечивающим эффективное взаимодействие потребителя с изделием: безопасность, удобство и комфортабельность его использования по назначению.

В обеспечении эргономичности продукции тяжелого машиностроения (станков, транспортных средств, нефтегазового оборудования и т. п.) имеются две задачи: обеспечение удобства управления в нормальных условиях эксплуатации и сохранения возможности управления в экстремальных условиях.

Рассмотрим развитие общих принципов обеспечения эргономичности, а именно — моделирование ситуации, когда человек в условиях стрессовых воздействий может не сохранить способность к управлению машиной из-за небезопасности эргономичности.

За рубежом широкое развитие эргономические исследования получили после Второй мировой войны (в 50-е гг.), т. е. в период нарастания конкурентной борьбы на мировых рынках в первую очередь в области машиностроения. В СССР первые работы по эргономике выполнены в 1952 г., когда был организован ВНИИ технической эстетики.

Первые шаги в обеспечении эргономичности связаны с непосредственным апробированием опе-

ратором изготовленного образца сложного технического устройства с позиций удобства управления. При этом на теле оператора закрепляли датчики, позволяющие определить величины усилий при движениях, их амплитуду и т. п. По результатам апробации в конструкцию вносили некоторые изменения. Но они, конечно, могли быть невелики. Кроме того, было крайне сложно и дорого определить возможность сохранения оператором способности к управлению объектом в случае аварийной ситуации, например наезде на препятствие на большой скорости. Для этого приходилось заменять оператора манекеном и при испытаниях, как правило, разбивать машину.

И все же получаемая информация была явно неполной, так как невозможно промоделировать все возможные варианты столкновений и других аварийных ситуаций. Поэтому проектировщики перешли к использованию "концептуального эргономического проекта". Этот проект разрабатывают на основе поискового макета проектируемого объекта, для этой цели служат модели дизайнеров.

Макет выполняют в натуральную величину из недорогих материалов — фанеры, картона и др. Он представляет трехмерную модель оборудования или блока системы. Макетировать большую систему целиком, как правило, бывает нецелесообразно. До конца 50-х гг. конструкторы и технологи относились к эргономическому обеспечению как к второстепенному элементу конструирования, т. е. предлагали дизайнерам и эргономистам как-то внешне оформлять уже созданную конструкцию. Однако в 60-х гг. положение стало резко меняться. Массовая продукция машиностроения не находила

сбыта, несмотря даже на некоторое превосходство в техническом уровне над зарубежными моделями. Это объяснялось тем, что при приблизительно одинаковом техническом уровне изделий потребитель предпочитал модели, более удачные в эргономическом и эстетическом отношении. Поэтому принцип конструирования претерпел изменения. Теперь вначале эргономисты и дизайнеры создают поисковые макеты технических изделий и на них отрабатывают эргономические и эстетические требования к продукции.

Приведем пример организации проектирования гидрокопировального станка с программным управлением.

Первоначальный анализ позволил установить, что станок находился на уровне лучших образцов по техническим показателям и мог быть конкурентоспособным на мировом рынке. Затем были созданы поисковые макеты станка. Двое рабочих — станочник и монтажник — имитировали производственную деятельность на этих макетах. Выявлены основные трудности в работе станочника (установка детали в патрон станка) и наладка (наладка полуавтомата).

Особое внимание уделено операциям, выполнение которых может повлечь значительные физические нагрузки либо нерациональные рабочие движения.

Эргономический анализ поисковых макетов станка обнаружил существенные недостатки в организации рабочего места станочника. Самый существенный из них — пространственное разделение зон зрительного контроля за предметом труда и двигательных операций станочника, которое вело к ненужным затратам энергии и напряженности деятельности. Такие же

перегрузки выявлены в работе наладчика.

В итоге эргономического анализа разработан поисковый макет станка с максимальной оптимизацией физических и нервных нагрузок работников.

На этой же стадии эргономических исследований возникла идея создания функционального макета (моделирующего комплекса), который в отличие от поискового макета, может имитировать процесс функционирования устройства, не имитируя его внешний вид.

Для этого на стандартном каркасе арматуры закрепляют различные органы управления в нескольких вариантах их расположения и, измеряя различные характеристики деятельности оператора, находят оптимальный вариант.

Функциональный макет позволил заметно ускорить решение эргономических вопросов при разработке новых технических устройств. Кроме того, макет позволил моделировать некоторые из возможных экспериментальных ситуаций (например короткое замыкание) и регистрировать реакцию оператора. Моделирующий комплекс позволял без серьезных переделок имитировать ситуацию управления несколькими сходными техническими комплексами, например тракторами с различными навесными орудиями.

Но в настоящее время использование механических моделей и тренажеров уже не удовлетворяет потребности эргономистов и конструкторов. Их изготовление и переделки в ходе испытаний поглощают и время, и деньги. Поэтому все ведущие машиностроительные фирмы за рубежом имеют лаборатории компьютерного моделирования, разрабатывающие трехмерные модели рабочих мест и действий операторов (рис. 1).

В России вопросы эргономического обеспечения пока в основном решают на базе функциональных макетов или даже опытных образцов, опираясь на предыдущий опыт.

Компьютерные модели используют для оценки соответствия

размеров рабочего места размерам оператора (поместится ли он в отведенном ему пространстве); определения пределов досягаемости органов управления при перемещении в пространстве частей тела (достанет ли оператор до любой точки кабины, если он привстанет и вытянет руку) и зон обзора.

Работа с компьютерной моделью происходит, как правило, в диалоговом режиме на основе имеющихся меню. Этим меню бывает несколько десятков: для выбора размера и позы манекена; зоны обзора; для работы только с частью модели и др. Во всех режимах предусмотрена возможность изменения размера изображения.

Компьютерные модели позволяют также изучать работу человека в условиях монотонной производственной деятельности, например, работу водителей локомотивов или же в системах наблюдения за охраняемым объектом, когда

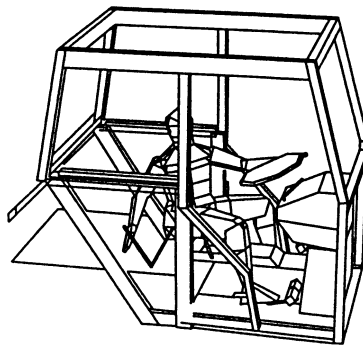


Рис. 1. Оптимальный вариант расположения органов управления оператора



Рис. 2. Трехмерные модели рабочих мест и действий операторов

необходимо наблюдать за происходящим сразу на многих дисплеях (рис. 2).

Таким образом, компьютерные модели применяют в решении вопросов эргономики. Однако все, что изложено выше, относится лишь к первой из двух задач обеспечения эргономичности, а именно, в условиях нормальной эксплуатации технического устройства. Далее будут рассмотрены принципы эргономического анализа деятельности человека в условиях экстремальных воздействий.

Ниже рассмотрены принципы моделирования экстремальных ситуаций при управлении техническими устройствами.

Эргономичность обеспечивается соответствием антропометрических данных конкретного человека расположению окружающих его на рабочем месте органов управления и других окружающих деталей, а также соответствием его психофизиологических возможностей тем внешним воздействиям, которым он подвергается или может подвергнуться во время работы.

Учитывая это, следует создать описательную модель, пригодную для реализации в виде компьютерной программы и в то же время (пока такой программы не существует) допускающую ручную реализацию всех основных геометрических соотношений действующих сил и реакций моделируемого объекта (оператора в производственной среде). Это позволит, еще не имея компьютерной программы, проверить адекватность функционирования модели тем задачам, для решения которых она предназначена.

Модель исследования эргономичности должна содержать следующие блоки:

- задание конкретных антропометрических данных;
- задание расположения органов управления и деталей, ограничивающих перемещение масс тела человека;
- задание внешних воздействий, в том числе физических и пси-

хофизиологических во всех предвидимых ситуациях;

— алгоритм оценивания вероятности потери способности к управлению в этих ситуациях.

Как задать конкретные антропометрические данные?

Представим оператора на рабочем месте в виде совокупности масс и связей между ними (рис. 3). Причем выбор вида этой схемы зависит от того, в каких внешних ограничениях должна быть обеспечена эргономичность, в какой мере ограничены перемещения частей тела в фиксированных точках.

Допустим, что исследованию подлежит водитель автотранспортного средства и его положение на сидении жестко фиксировано (рис. 4).

Но при случайных воздействиях с различных сторон и разной силы возможны разные перемещения массы m_0 (головы) так, что при

превышении некоторого предела (d_1, d_2, d_3) водитель травмирован настолько, что теряет способность к управлению.

Эти воздействия могут последовать только со стороны массы m_1 (туловище), которая в свою очередь подвергается воздействиям со стороны сидения.

Модель на рис. 4 представлена во фронтальной проекции. Аналогично может быть построена модель в латеральной проекции (рис. 5). Могут быть и более сложные схемы.

Для моделирования следует задать конкретные значения антропометрических и ограничивающих параметров: $m_0, m_1, l, d_1, d_2, d_3$. Это удобно сделать в форме таблицы.

Как задать воздействия различной величины, различной направленности и изменяющиеся во времени?

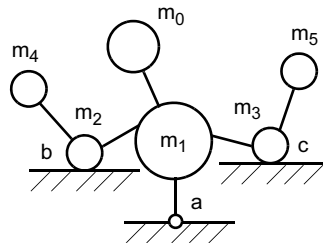
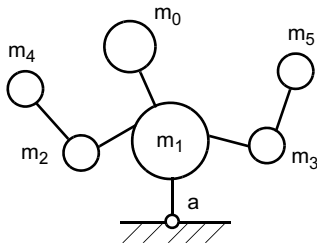


Рис. 3. Иллюстрация способа представления человека с позиций эргономики. Слева с ограничением перемещений в точке а (сидя), справа — в точках а, b, с (сидя + подлокотники)

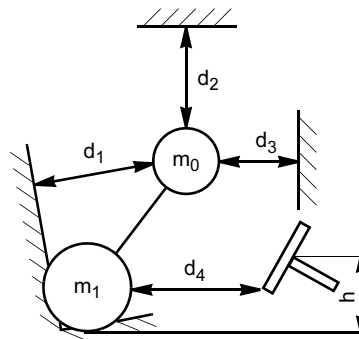
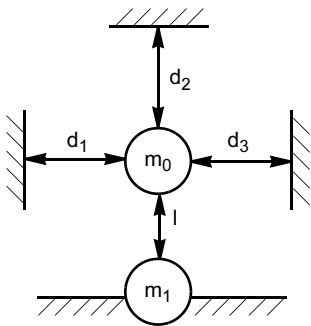


Рис. 4. Схема взаимного расположения частей тела человека и внешних ограничивающих устройств для конкретного водителя и конкретного рабочего места

Рис. 5. Возможная схема взаимного расположения масс тела человека и внешних ограничивающих устройств в латеральной проекции

τ	0	2	7	3	2	4	1	3	2	1
δ	4,0	3,0	1,0	3,0	3,0	2,0	4,0	1,0	2,0	2,0
$\Delta\delta$		-1,0	-3,5	-1,5	-1,0	-2,0	-0,5	-1,5	-1,0	-1,5
$\delta_{\text{ост}}$	4,0	6,0	3,5	5,0	7,0	7,0	10,5	10,0	11,0	12,5

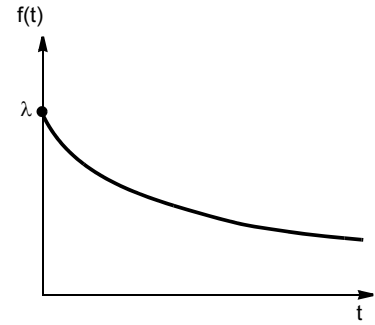


Рис. 6. Функция плотности вероятности и общий вид зависимости $f(t)$ для экспоненциального распределения

Для определения величины (силы) и направления возможных воздействий на человека следует провести эксперимент в условиях, близких к реальным: в данном примере, проехать по неровной дороге с препятствиями различного типа и записать распределения величины, направления и распределение воздействий во времени.

Допустим, что такой эксперимент проведен и получены распределения, приведенные ниже.

Выберем для разработки простейший вариант, состоящий из двух масс и одной связи.

Распределение моментов времени, в которые поступают воздействия, естественно предположить экспоненциальным, его используют во многих случаях (рис. 6).

Распределение величин (сил) воздействий аппроксимируем законом Пуассона, так как ударное воздействие, даже происходящее часто, можно рассматривать как редкое событие:

$$D(n) = \lambda^n \frac{e^{-\lambda}}{n!},$$

где λ — параметр распределения; n — величина воздействия.

Распределение воздействий по направлениям, по-видимому, следует принять равномерным (рис. 7):

$$p(n) = \frac{1}{n} = \frac{1}{5}.$$

Как учесть реакцию связи l на воздействия?

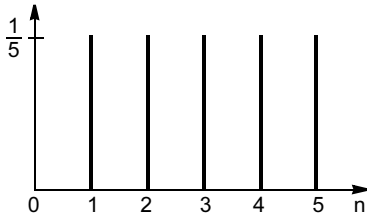


Рис. 7. Распределение вероятностей появления n различных значений ($n = 5$) при равномерном распределении и его графическая иллюстрация (дискретный случай)

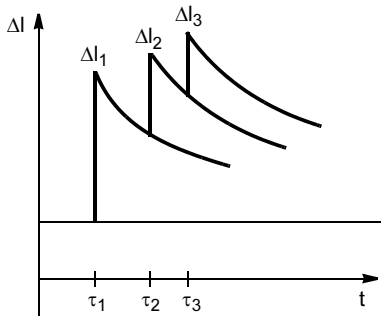


Рис. 8. Схема нарастания удлинений связи l под влиянием быстро наступающих ударных воздействий

Связи в человеческом организме не упругие. Если бы важная связь l была упругой, то задача определения усилий в ней сводилась бы к задаче расчета колебаний физического маятника. Но связь не упругая.

Из физиологии известно, что восстановление длин элементов тела после их небольшого удлинения (или сокращения) происходит по закону релаксации (приблизительно экспоненциально):

$$l(t) = \lambda_1 e^{-\lambda_1 t}$$

Причем $\lambda_1 \ll \lambda$, т. е. релаксация происходит гораздо медленнее, чем снижается темп внешних воздействий. Таким образом, длина связи l не успевает восстановиться после 1-го воздействия, когда с большой вероятностью, наступает 2-е и т. д.

Пример. Допустим, что произошло ударное воздействие, приводящее к возрастанию l на величину Δl_1 . Связь начала релаксировать

к прежней длине. Однако через время τ_1 , когда восстановление еще не закончилось, произошло новое ударное воздействие, что привело к удлинению связи на Δl_2 . Таким образом, нарастание удлинения схематически приведено на рис. 8.

При такой серии внешних воздействий может быть достигнут критический порог смещения массы m_0 до величины d_2 , когда будет потеряна способность к управлению.

Итак, задача моделирования состоит в определении того, насколько вероятна потеря способности к управлению в условиях данных ограничений, данных воздействий и данных m_0 , m_1 и l .

Следует учесть еще направление воздействий — боковое воздействие действует на массу m_0 вправо или влево. Это приведет к смещению массы m_0 частично в направлении d_3 .

Если воздействие происходит в направлении f_2 или f_4 (см. рис. 8), то удлинение связи l в направлении d_1 составит,

$$l(d_1) = \frac{l}{\sqrt{2}}$$

где l — удлинение при таком же воздействии в направлении f_3 .

И аналогично в направлении d_3 .

Как смоделировать эргономическую составляющую качества конкретного рабочего места?

Для решения вопроса об эргономичности рабочего места следует осуществить случайный выбор:

- моментов времени, в которые наступает воздействие;
- величины воздействия;
- направления воздействия.

В результате появляются три ряда чисел:

- промежуток между воздействиями $\tau_1 \tau_2 \tau_3 \dots \tau_n$;
- величина воздействия $f_1 f_2 f_3 \dots f_n$;
- направление $i_1 i_2 i_3 \dots i_n$.

Теперь рассчитаем величину удлинения связи. Поскольку распределение Пуассона дает не-

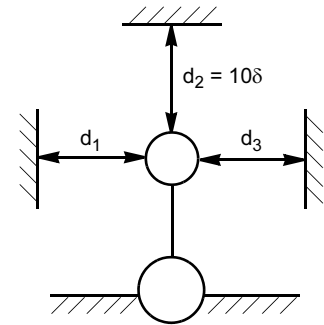


Рис. 9. Иллюстрация к примеру численного расчета перемещений массы m_0 под воздействием вибрации

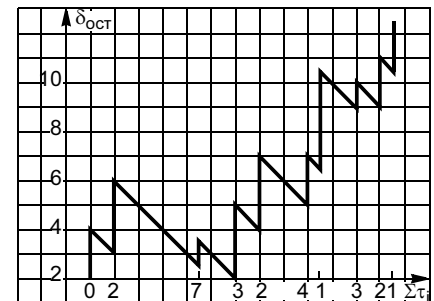


Рис. 10. Изменение удлинений связи l в соответствии с данными таблицы

сколько дискретных значений силы воздействия (допустим 1, 2, 3, 4, 5), то для простоты примера будем считать удлинение пропорциональным силе воздействия. Единичное удлинение обозначим δ . Расстояние d_1 , d_2 , d_3 (рис. 9) выразим в единицах δ . Ограничимся анализом перемещений вдоль d_2 .

Рассмотрим численный пример.

Пример. Примем следующие обозначения: τ — промежутки времени между воздействиями; δ — удлинение при данном воздействии; $\Delta\delta$ — величина релаксации между воздействиями; $\delta_{ост}$ — остаточное удлинение.

Величина релаксации между воздействиями $\Delta\delta$ рассчитана следующим образом. Релаксация идет со скоростью $\Delta\delta = 1$ в единицу времени. Таким образом, если между 1-м и 2-м воздействиями прошло 2 ед. времени, то $\Delta\delta = 2$. Это упрощение в данном случае несущественно с точки зрения принципа решения (см. таблицу и рис. 10).

А. Ю. НЕДЕЛЬКО, инж.
ОАО «НПП «Эталон»»

Измерение температуры бесконтактным способом при наличии электромагнитных полей и ТВЧ

Если проанализировать требования к приборам и задачи, поставленные заказчиками и потребителями в последние годы, можно заметить возросшую потребность к точному измерению температуры в условиях сильных электромагнитных полей и тяжелых тепловых режимов в зоне контроля. Наиболее востребованным представляется проведение измерений температуры металлов во время нагрева в индукционных печах. Мощные электромагнитные поля и конвекционные потоки нагретого воздуха нарушают работоспособность датчиков и измерительных приборов. Одним из способов решения этой проблемы в пирометрии является разнесение в пространстве приемной оптической системы (оптической головки) и ИК-датчика с блоком электроники посредством оптоволоконного кабеля. На российском рынке представлены модели оптоволоконных пирометров зарубежных фирм, но существенным ограничением их применения в отечественной промышленности является их высокая стоимость и большие затраты при замене специализированного оптоволоконного кабеля (обычный оптоволоконный кабель, применяемый в линиях связи, не подходит для измерения температуры).

В ходе исследований определены основные требования к оптоволокну как к линии передачи аналогового сигнала:

- термостойкость;
- передача достаточной мощности потока излучения на датчик;
- минимальные изменения сигнала при изгибе кабеля;
- минимальное воздействие электромагнитных полей и ТВЧ.

Была поставлена задача — разработать оптоволоконный пирометр и оптоволоконный кабель для него с метрологическими характеристиками на уровне импортных аналогов, но более доступный по стоимости.

От наиболее распространенных из стандартных оптических волокон, применяемых для связи, с пластиковыми оболочками, пришлось отказаться: во-первых, рабочий температурный диапазон для них ограничен (70—80 °С), а во-вторых, потери при изгибе слишком большие (из-за тонкой сердцевины).

Оптическое волокно с сердцевиной и оболочкой из кварцевого стекла (рис. 1, 2) может выдерживать эксплуатацию при температуре до 600 °С и намного более стойко против механических деформаций.

Оценив площади приемных площадок датчиков и технологические возможности оборудования, разработан и изготовлен оптоволоконный кабель и оптическая приемная головка (рис. 3) с оптоволоком из кварцевого стекла, диаметр кварцевой сердцевины 500 мкм. С волокном такого диаметра легко работать, и чувствительность по уровню шумов позволяет измерять температуру с 250 °С. Но при испытаниях на изгиб уровень сигнала изменялся на 3—5 %

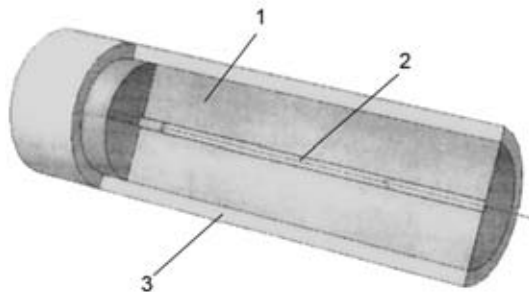


Рис. 1. Одномодовое волокно: 1 — оболочка; 2 — сердцевина; 3 — защитная оболочка

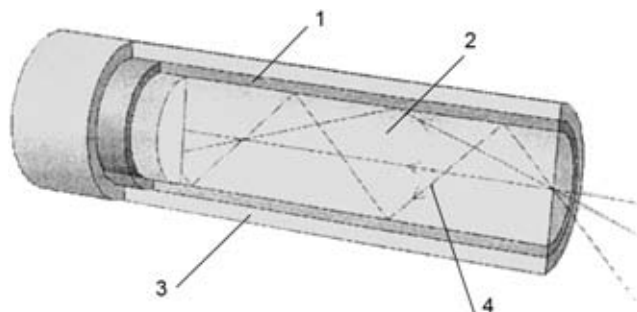


Рис. 2. Многомодовое волокно: 1—3 — см. рис. 1; 4 — мода самого высокого порядка



Рис. 3. Приемная головка

из-за ослабления мод высоких порядков. Следует не допускать моды высоких порядков на входе в оптоволокно.

В конструкцию оптической приемной головки установлена апертурная диафрагма, которая ограничивала моды высоких порядков. В результате зависимость от изгиба кабеля снизилась до 0,1 %.

В качестве внешней защитной оболочки используют металлорукав из коррозионно-стойкой стали с внешним диаметром 6 мм, но наличие фторопластовых деталей в конструкции ограничивает температуру эксплуатации до 150 °С. Со стороны, подключаемой к пирометру, кабель электрически изолирован от прибора. Длина кабеля ограничивается только технологией сборки и в настоящий момент на предприятии освоено изготовление кабеля длиной до 10 м.

Параллельно с разработкой оптоволоконного кабеля велась разработка блока обработки сигнала. Блок обработки не только должен измерять поток излучения и рассчитывать температуру, но и обеспечивать возможность подсветки области измерения для точного наведения в требуемое место на объекте. Таким образом, появился первый на предприятии оптоволоконный пирометр — ПД-7 (рис. 4). Для осуществления подсветки области измерений выбран самый простой вариант — ручное переключение оптического разъема кабеля при наведении/измерении между соответствующими разъемами пирометра. После наведения оптической головки в требуемое место ее кронштейн фиксируется затяжкой винтов, и кабель подключается к измерительному каналу.

Дополнительно пирометр ПД-7 может быть укомплектован специальным металлическим чехлом, на дно которого фокусируется приемник ИК-излучения. Такая схема позволяет измерять температуру среды, в которой находится защитный чехол — аналог термопары.

Техническая характеристика пирометра

	ПД-7-01	ПД-7-02
Диапазон измерений, °С	300—1000	500—2500
Спектральный диапазон, мкм	0,9—1,7	
Основная приведенная погрешность, %	0,5	
Разрешающая способность, °С	0,01	
Показатель визирования	1:150	
Температура окружающей среды, °С	5—50	
Температура эксплуатации оптической головки, °С	—40—150	
Коррекция излучательной способности	0,1—1,5 (шаг 0,001)	
Напряжение, В	24	

Для упрощения построения АСУ ТП на базе пирометра ПД-7 разработан пирометр ПД-10, который может выполнять функции ПИД-регулятора. Прибор подключается к клеммам светодиода твердотельного реле или оптрона, управляющего нагревателями, и к силовой сети 220 или 380 В. Способ регулирования — фазовый. Настройка параметров



Рис. 4. Оптоволоконный пирометр ПД-7

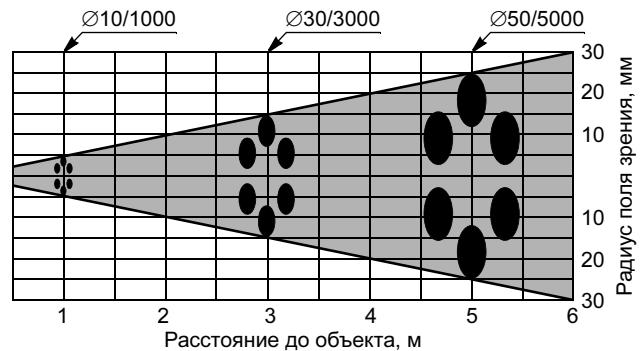


Рис. 5. Схема подсветки поля зрения

регулирования осуществляется как при помощи кнопок управления, так и ПК.

Следующим этапом стало объединение возможности измерения и подсветки. Это особенно актуально в случае, если объекты измерений перемещаются либо в зоне измерений высокий уровень вибраций, сбивающих наведение. На базе имеющегося оборудования и опыта разработана технология изготовления многожильного оптоволоконного кабеля. Центральная жила используется для передачи излучения объекта, боковые — для лазерной подсветки. При работе прибора светящиеся точки окружают область измерений (рис. 5). Появляется возможность не только оперативно "наводиться" в требуемое место, но и контролировать размер области измерений и фокусировку.

Такая оптическая схема использована при разработке пирометра ПД-6 (рис. 6), который по функциям (кроме подсветки) и метрологическим характеристикам является аналогом ПД-7. Первые образцы пирометра ПД-6 переданы на опытную эксплуатацию для измерения температуры при сварке рельсового стыка ТВЧ. Установили, что металлорукав из коррозионно-стойкой стали обладает небольшой магнитностью и разогревается ТВЧ, так как находится вблизи места сварки. Приобрести металлорукав из

немагнитного материала не удалось, было принято решение разработать и изготовить защитную оболочку.

Конструкция оболочки представляет навитую из немагнитной проволоки пружину с усаженной поверхнее фторопластовой трубкой. Последняя при усадке продавливается вглубь витков пружины и в дальнейшем не дает ей растягиваться, сжиматься, сгибаться с малым радиусом. Стальную проволоку использовать нельзя, бронзовая также нагревалась, очевидно, из-за посторонних примесей, медная и алюминиевая не обладают требуемой жесткостью. Хорошие результаты были получены с копелевой проволокой, применяемой для изготовления термопар. В отличие от металлорукава новая оболочка обладает герметичностью, что важно при измерениях температуры внутри вакуумных установок и т. п., в этом случае место ввода кабеля намного легче загерметизировать. Кабель обладает достаточной гибкостью, его можно проложить внутри установки до места, где обеспечивается прямая видимость объекта контроля. Корпус пирометра изготовлен из алюминия, в конструкции кабеля и оптической головки нет магнитных деталей.



Рис. 6. Пирометр ПД-6



Рис. 7. Пирометр ПД-9

Пирометр также имеет электронный ключ, с помощью которого можно управлять нагревом или сигнализировать о достижении заданной температуры.

Техническая характеристика пирометра ПД-6

Диапазон измерения температуры, °С . . .	300—1000
Основная погрешность, %	±0,5
Показатель визирования.	1:100
Напряжение питания, В.	24 ± 0,5
Температура окружающей среды, °С	5—50
Температура эксплуатации приемника ИК-излучения, °С	—40—150
Коррекция излучательной способности. . .	0,1—1,5 (шаг 0,001)
Спектральный диапазон, мкм.	0,9—1,7
Перестраиваемый унифицированный ток-вый выход, мА	0—5, 0—20, 4—20
Связь с ПК	RS-232
Степень защиты от пыли и воды	IP00

Если доступ к объекту ограничен, вблизи объекта слишком высокая температура, высокое напряжение и т. п., то в этом случае целесообразно использовать пирометры с мощной оптикой (высоким показателем визирования) и подсветкой области измерения температуры. Высокий показатель визирования позволит установить пирометр на достаточном расстоянии от объекта. Если площадь объекта мала либо он частично перекрывается другими деталями, например витками индуктора и др., можно проводить измерения за счет высокого показателя визирования и точной фокусировки на объекте. Такими возможностями обладает пирометр ПД-9 (рис. 7). Он оснащен объективом с широким диапазоном регулировки и круговым лазерным целеуказателем.

Техническая характеристика пирометра ПД-9

Диапазон измерения температуры, °С . . .	400—1400
Основная приведенная погрешность, % . .	0,5
Разрешающая способность, °С	0,01
Показатель визирования	1:100
Температура окружающей среды, °С	5—50
Коррекция излучательной способности . .	0,1—1,5 (шаг 0,001)
Габаритные размеры, мм, не более	∅ 80 × 198

Пирометр подключается к COM порту компьютера посредством входящего в комплект поставки кабеля с оптопарной развязкой на входе в компьютер, при этом порт компьютера электрически изолирован от цепей прибора.

Необходимое метрологическое оборудование для градуировки, калибровки и поверки пирометров состоит из набора моделей АЧТ на разные диапазоны температур, калиброванных диафрагм, вспомогательного оборудования. В ОАО «НПП "Эталон"» разработаны и сертифицированы модели абсолютно черного тела АЧТ-30/900/2500, АЧТ-45/100/1100, АЧТ-100/-40/40, воспроизводящие диапазон температур от —40 до 2500 °С. Для поверки тепловизоров разработано и сертифицировано протяженное черное тело с набором мир ПЧТ-540/40/100.

Е. А. АФОНИН

"МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского

Комплексная методика статистического анализа дефектности рабочих лопаток газотурбинного двигателя

В Российской Федерации такие обобщенные показатели качества, как допустимая доля дефектных изделий, количество дефектов на 100 единиц продукции, как известно, не нормируются. Это объясняется необходимостью защиты потребителей от разрешенной поставки дефектных изделий. Такое широко распространенное заблуждение связано с неправильной трактовкой норм на обобщенные показатели качества. И действительно, установление такой нормы не освобождает поставщика от ответственности за качество каждого отдельного изделия. Он по-прежнему обязан устранить дефект или заменить дефектное изделие в соответствии с законом. Но при наличии норм на обобщенные показатели появляется возможность построить четкие правовые отношения поставщика и потребителя при поставках продукции партиями и ее статистическом контроле. В этом случае норму можно трактовать как критерий качества продукции и(или) производственного процесса. Такой статистический контроль позволяет принимать решение о качестве продукции и возвращать поставщику продукцию (по результатам контроля) как некачественную, т. е. дефектную.

Отказ от нормирования обобщенных показателей не только осложняет применение статистического приемочного контроля (эту трудность обходят при помощи так называемого приемочного уровня дефектности), но в целом практически срывает действие механизмов управления качеством продукции.

В настоящее время в отечественном производстве применяют главным образом механизмы управления качеством продукции, основанные на принципе Тейлора. Согласно этому принципу, на каждое изделие (деталь, сборочную единицу, комплектующее изделие) задаются нормы на его качество, соответствие которым определяется методами контроля. Если обнаруживается дефект (несоответствие норме), то изделие должно быть забраковано и изъято из дальнейшего производственного процесса. Однако когда это изделие нечем заменить, то срывается дальнейший производственный процесс, например сборки сложного изделия, а в целом это приводит к невыполнению программы выпуска продукции. Возникает ситуация, к сожалению, очень хорошо знакомая всем производственникам, когда из-за отсутствия замены дефектной детали она вынужденно используется, чтобы не срывать программу выпуска.

Другими словами, механизм управления количеством подавляет механизм управления качеством. Чтобы согласовать эти два механизма, необходимо планировать изготовление (поставку, закупку) деталей (сборочных единиц, комплектующих) с запасом, учитывающим неизбежность определенного процента дефектных изделий, называемого запасом количества продукции по ее качеству. Чтобы спланировать такой запас, необходимо знать, какую долю дефектной продукции после всех технологических операций данного участка, в том числе и после контроля, содержит партия изделий или производственный процесс.

Следует также особо отметить, что бездефектное изготовление продукции является лишь идеальной целью производства, а любой производственный процесс в силу нестабильности, погрешностей, статистических разбросов технологических процессов изготовления и контроля неизбежно допускает на выходе некоторую долю дефектных изделий, в том числе со скрытыми дефектами. Знание этих уровней дефектности совершенно необходимо для организации дальнейших производственных процессов.

Рассмотрим основные положения комплексной методики статистического анализа дефектности рабочих лопаток газотурбинного двигателя.

Для проведения анализа необходимо организовать сбор данных о качестве и дефектности рабочих лопаток, который осуществляется путем регистрации результатов измерений параметров, а также подсчета любых дефектов, включая выход геометрических параметров за пределы допусков. Результаты контроля рабочих лопаток обобщаются и записываются в сводные карты учета результатов контроля по месяцам, в которые заносятся суммарные объемы контроля параметров за день (по всей продукции), а также суммарное число обнаруженных дефектов (отклонений). В этом случае учитываются только дефекты, обнаруженные при первом предъявлении продукции.

Для анализа причин дефектов необходимо разработать перечень основных возможных причин дефектов и при обнаружении дефектов устанавливать и регистрировать их причины в специальном протоколе. Обработку таких протоколов рекомендуется проводить раз в месяц для построения диаграмм причин дефектности рабочих лопаток. Результаты

анализа являются основой для разработки программ снижения дефектности продукции, планов мероприятий по устранению причин дефектов, а также принятия оперативных организационно-технических решений.

Рассмотрим алгоритм анализа дефектности и результаты его реализации в производстве рабочих лопаток ГТД в ОАО "Наро-Фоминский машиностроительный завод" (НФМЗ).

Анализ дефектности предполагает следующие виды расчетов:

— расчет точечных и интервальных оценок уровня дефектности в отдельных партиях рабочих лопаток;

— расчет точечных и интервальных оценок уровня дефектности рабочих лопаток по отдельным показателям за календарный период;

— расчет динамики уровней дефектности рабочих лопаток;

— расчет оценок числа дефектов (критических, значительных и малозначительных) рабочих лопаток на 100 единиц продукции. Пример карты учета результатов контроля приведен в таблице.

Рабочие лопатки контролируют по шести основным параметрам: А — ослаблен профиль пера; Б — смещение профиля пера; В — ослаблена хорда; Г — ослаблен домик; Д — незаполнение по подошве замка; Е — врезы в замок, перо; Ж — прочие.

Расчет точечных оценок доли дефектных единиц продукции осуществляется по формуле

$$\hat{q}_i = \frac{d_i}{n_i} 100 \%,$$

где n_i — оценка доли дефектных единиц продукции (%) по i -му показателю партии; d_i — число обнаруженных дефектных единиц по i -му показателю партии объема n_i .

В качестве примера по данным таблицы получим точечную оценку доли дефектных единиц продукции по показателю Б партии рабочих лопаток, изготовленных в январе 2007 г. При объеме партии $n_B = 5188$ и числе обнаруженных дефектных изделий по этому показателю $d_B = 12$ уровень дефектности

$$\hat{q}_B = \frac{12}{5188} 100 \% = 0,231 \, \%.$$

При расчете интервальных оценок уровня дефектности в отдельных партиях определяют верхнюю и нижнюю доверительные границы для доли d_i дефектных изделий в выборке объемом n_i . При этом верхнюю q_B и нижнюю q_H границы одностороннего доверительного интервала устанавливают с уровнем доверия 0,95, т. е. вероятность того, что значение реального уровня дефектности не превосходит q_B и q_H составляет не менее 0,95. Эти же значения q_B и q_H задают границы двухстороннего доверительного интервала для доли дефектных изделий в партии. При этом вероятность того, что значение реального уровня дефектности находится в пределах $[q_B, q_H]$, не менее 0,9.

В качестве примера по данным таблицы получим границы двухстороннего доверительного интервала для доли дефектных изделий в партии по показателю А. При объеме партии $n = 10\,131$, числе обнаруженных дефектных изделий $d = 164$ и значении годных изделий в партии $n - d = 9967$ значение верхней границы составило $q_B = 9 \%$, а нижней — $q_H = 0,1 \%$. Таким образом, значение доли дефектных изделий

Показатель качества (параметр)	Число обнаруженных дефектов	Месяц												За год	Уровень дефектности, %
		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь		
А	N D	5188 64	10 131 164	8999 33	9861 51	11 622 114	6739 —	13 417 —	6958 —	7200 53	7574 108	6929 —	10 480 207	105 098 794	0,755
Б	N D	5188 12	10 131 25	8999 6	9861 11	11 622 23	6739 —	13 417 —	6958 —	7200 7	7574 28	6929 —	10 480 34	105 098 146	0,139
В	N D	5188 75	10 131 201	8999 39	9861 64	11 622 138	6739 —	13 417 —	6958 —	7200 71	7574 137	6929 —	10 480 226	105 098 951	0,905
Г	N D	5188 14	10 131 26	8999 5	9861 9	11 622 19	6739 —	13 417 —	6958 —	7200 6	7574 23	6929 —	10 480 32	105 098 134	0,127
Д	N D	5188 10	10 131 19	8999 5	9861 7	11 622 14	6739 —	13 417 —	6958 —	7200 5	7574 19	6929 —	10 480 25	105 098 104	0,099
Е	N D	5188 31	10 131 57	8999 6	9861 5	11 622 39	6739 —	13 417 —	6958 —	7200 22	7574 44	6929 —	10 480 61	105 098 265	0,252
Ж	N D	5188 37	10 131 39	8999 7	9861 11	11 622 38	6739 —	13 417 —	6958 —	7200 21	7574 33	6929 —	10 480 45	105 098 231	0,219

с вероятностью 0,9 находится в пределах от 0,1 до 9 %.

Точечную оценку уровня дефектности по отдельным показателям за календарный период (месяц, квартал) рассчитывали по формуле

$$\hat{q}_i = \frac{d_i}{n_i} 100 \%,$$

где d_i — число изделий, проконтролированных с начала календарного периода; n_i — число обнаруженных дефектов по i -му показателю.

В качестве примера по данным таблицы произведем расчет точечной оценки уровня дефектности по показателям А, Б, В, Г, Д, Е и Ж:

показатель А: $\hat{q}_A = \frac{d_A}{n_A} = 0,00755$ (0,755 %);

показатель Б: $\hat{q}_B = \frac{d_B}{n_B} = 0,00139$ (0,139 %);

показатель В: $\hat{q}_V = \frac{d_V}{n_V} = 0,00905$ (0,905 %);

показатель Г: $\hat{q}_Г = \frac{d_Г}{n_Г} = 0,00127$ (0,127 %);

показатель Д: $\hat{q}_Д = \frac{d_Д}{n_Д} = 0,00099$ (0,099 %);

показатель Е: $\hat{q}_E = \frac{d_E}{n_E} = 0,00252$ (0,252 %);

показатель Ж: $\hat{q}_Ж = \frac{d_Ж}{n_Ж} = 0,00219$ (0,219 %).

Расчет интервальных оценок доли дефектных изделий по данным, накопленным за определенный календарный период, отличается тем, что в качестве параметра n_i используется суммарное число изделий, проконтролированных по данному показателю за календарный период, а в качестве d_i — число дефектных изделий, обнаруженных по данному показателю за указанный период.

По данным таблицы рассчитаем интервальную оценку доли дефектных изделий по показателю А за 1 год. При суммарном числе изделий $n_A = 105\,098$, проконтролированных по данному показателю, и суммарном числе дефектов $d_A = 794$, обнаруженных по показателю А (т. е. $n_A - d_A = 104\,304$), находим: $q_B = 3$ %; $q_H = 0,2$ %. Таким образом, доля дефектных изделий по показателю А с вероятностью 0,9 находится в пределах от 3 до 0,2 %.

Динамику изменения доли дефектных изделий по кварталам рассчитывали по формулам

$$\hat{q}_1 = \frac{d_1}{n_1}; \hat{q}_2 = \frac{d_2}{n_2}; \hat{q}_3 = \frac{d_3}{n_3}; \hat{q}_4 = \frac{d_4}{n_4},$$

где \hat{q}_i — оценка доли дефектных изделий в i -ом квартале года; n_i — общее число проконтролированных за i -й квартал изделий; d_i — число обнаруженных дефектных изделий среди n_i проверенных.

На основании таблицы динамика доли дефектных изделий по показателю А по кварталам выглядит следующим образом: $\hat{q}_1 = 875/24\,318 = 0,0359 = 3,598$ %; $\hat{q}_2 = 0,0192 = 1,927$ %; $\hat{q}_3 = 0,0067 = 0,67$ %; $\hat{q}_4 = 0,0409 = 4,098$ %.

Выполним анализ диаграммы дефектности за календарный период. Диаграмма дефектности, как известно, служит для выявления показателей, вносящих наибольший вклад в дефектность продукции. Для ее построения необходимо рассчитать оценки уровней дефектности по отдельным показателям за определенный календарный период, а также относительный вклад дефектности по каждому показателю в общую дефектность. При этом расчет относительной дефектности по каждому показателю выполняют по формуле

$$q_i^* = \frac{\hat{q}_i}{\hat{q}_1 + \hat{q}_2 + K + \hat{q}_k} 100 \%,$$

где k — число показателей; \hat{q}_i — оценка уровней дефектности по отдельным показателям; q_i^* — относительный уровень дефектности по i -му показателю.

Для примера с использованием данных, приведенных в таблице, построим диаграмму дефектности за 1 мес.

Оценки уровней дефектности по показателям составляют: $\hat{q}_A = 0,755$ %; $\hat{q}_B = 0,139$ %; $\hat{q}_V = 0,905$ %; $\hat{q}_Г = 0,127$ %; $\hat{q}_Д = 0,099$ %; $\hat{q}_E = 0,252$ %; $\hat{q}_Ж = 0,219$ %.

Относительные уровни дефектности составляют: $q_A^* = 30,2$ %; $q_B^* = 5,56$ %; $q_V^* = 36,25$ %; $q_Г^* = 5$ %; $q_Д^* = 3,96$ %; $q_E^* = 10$ %; $q_Ж^* = 8,7$ %.

В итоге получим диаграмму дефектности рабочих лопаток ГТД производства ОАО "НФМЗ" (рис. 1).

Анализ диаграммы показывает, что основной вклад в дефектность продукции вносит показатель В (36,2 % всех дефектов) и показатель А (30,2 %). Вклад показателей Е и Ж тоже значителен (в сумме более 18 %). Положение с показателями Г, Б и Д вполне удовлетворительно.

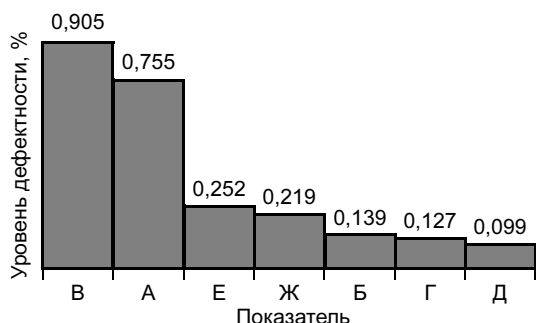


Рис. 1. Диаграмма дефектности рабочих лопаток производства ОАО "НФМЗ"

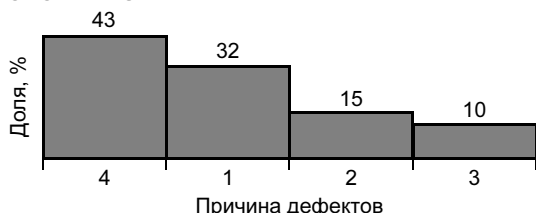


Рис. 2. Диаграмма причин отклонений рабочих лопаток по параметру В: 1 — халатность исполнителей; 2 — дефекты исходного материала; 3 — недостаточное количество мерительного оборудования; 4 — износ мерительного оборудования

На завершающем этапе выполняют анализ причин дефектов с помощью диаграммы Парето, позволяющей распределить усилия для разрешения возникающих проблем и выявить основные причины.

Построение диаграммы Парето помогает привлечь внимание и усилия к действительно важным проблемам. Если диаграмма Парето строится ежемесячно, то служба качества немедленно определяет причину брака и намечает мероприятия по ее устранению. Проводя данный анализ, можно получить информацию, которая позволит снизить затраты на обеспечение качества и тем самым увеличить при-

быль при реализации изделия. Следует отметить, что диаграмма Парето отражает причины проблем, возникающих в ходе производства, и используется для выявления главной из них:

— исполнитель работы: смена, бригада, возраст, опыт работы, квалификация, индивидуальные характеристики;

— оборудование: станки, агрегаты, инструменты, оснастка, организация использования, модели, штампы;

— сырье: изготовитель, вид сырья, завод-поставщик, партия;

— метод работы: условия производства, заказы-наряды, приемы работы, последовательность операций;

— измерения: точность, верность, повторяемость, стабильность, тип измерительного прибора.

После проведения выработанных на основе анализа данных корректирующих мероприятий проводят повторный анализ с целью оценки эффективности принятых мер. При этом повторяется вся процедура построения диаграммы Парето и новые результаты сравниваются с данными, полученными ранее. С использованием данных, приведенных в таблице, на рис. 2 приведена диаграмма причин отклонений рабочих лопаток по параметру В.

Анализ приведенной диаграммы Парето свидетельствует о том, что 75 % отклонений параметра В вызвано износом мерительного оборудования и халатностью исполнителей.

Таким образом, разработанная комплексная методика статистического анализа уровня дефектности позволяет выявлять критические параметры производства рабочих лопаток ГТД ОАО "НФМЗ" и ранжировать причины возникновения дефектов (на основе диаграммы Парето).

Вниманию подписчиков!

Напоминаем, что оформить подписку на журнал можно с любого месяца

в любом почтовом отделении связи.

Подписной индекс в каталоге Агентства "Роспечать" — 79494,

в Объединенном каталоге "Пресса России" — 27869,

в каталоге "Почта России" — 60190.

В. А. ВАСИН, канд. техн. наук

Московский институт электроники и математики (технический университет)

Технология проектирования и производства устройств и элементов, исключаящих трение движения систем вакуумного оборудования производства изделий электронной техники и других высоких технологий

Создание и методы расчета приводов управляемой упругой деформации незамкнутого контура

Развитие и совершенствование новых технологических процессов предъявляет новые и ужесточает действующие требования к оборудованию. Так, для микро- и нанoeлектроники максимальные размеры частиц загрязнения в технологической среде составляют 0,005—0,008 мкм при топологических размерах микросхемы 0,045—0,065 мкм (® INTELL, Taiwan Semiconductor Manufacturing).

Одним из методов создания функциональных механизмов, предназначенных для работы в вакууме и воспринимающих его дестабилизирующее влияние без снижения надежности, является использование для формирования усилий и перемещений приводов управляемой упругой деформации. Появление этого класса механизмов обусловлено необходимостью не только снижения, но и полного исключения продуктов износа элементов механизмов.

Создание приводов управляемой упругой деформации потре-

бовало выполнения комплекса теоретических, конструкторских и технологических задач.

Теоретические задачи предусматривали разработку методов расчета статических и динамических параметров привода, конструкторские работы определялись требованием к функционированию исполнительного элемента в целом, а технологические задачи сводились к вопросам формообразования геометрических параметров приводов. Потребовалось выполнение работ по созданию формообразующего инструмента и оборудования в соответствии с созданными таблицами параметрических рядов. Статические параметры предусматривали определение траектории и величины направленного перемещения исполнительного элемента системы. Динамические параметры определяли точность позиционирования исполнительного элемента системы.

Расчетная схема привода незамкнутого контура с указанием используемых при расчете параметров приведена на рис. 1.

Угловое перемещение свободного конца приводного элемента

рассчитывали по следующей зависимости:

$$\Delta\gamma = \gamma \frac{PR^2(D_6 + D_7v)}{Eah(D_3 + D_4v + D_5v^2)},$$

где γ — центральный угол; P — давление, создаваемое во внутренней полости привода; R — радиус кривизны центральной оси до деформации; a — большая полуось сечения; h — толщина стенки привода; E — модуль упругости материала привода; $D_3—D_7$ — коэффициенты, определяемые формой нормального поперечного сечения привода и отношением его полуосей $a/b = k$; v — безразмерный параметр, равный $R^2h^2/12(1-\mu^2)a^4$ (μ — коэффициент Пуассона).

Коэффициенты $D_3—D_7$ для плоскоовального сечения при различных радиусах закругления r приведены в табл. 1.

Полное перемещение свободного конца привода вдоль траектории

$$\lambda = \frac{\Delta\gamma}{\gamma} r \sqrt{(1 - \cos\gamma)^2 + (\gamma - \sin\gamma)^2},$$

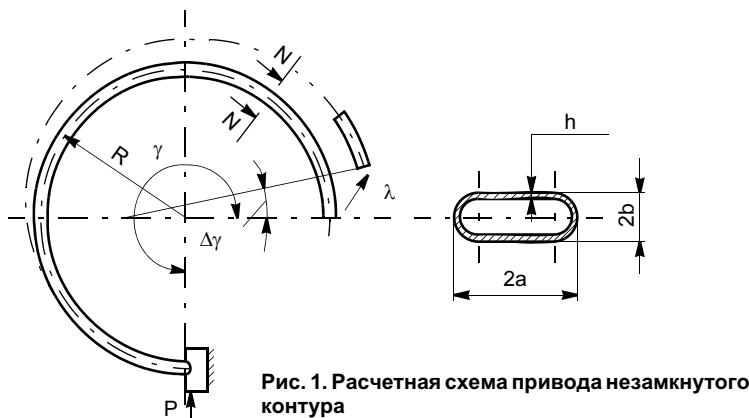


Рис. 1. Расчетная схема привода незамкнутого контура

Таблица 1

Отношение полуосей	Расчетные коэффициенты для плоскоовального сечения при $h/b < 0,3$				
	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7
2	0,7	1400	133 010	9	9100
2	0,8	1503	133 676	18	14 256
4	0,6	1053	92 410	17	12 620
5	0,4	718	62 904	14	10 266
6	0,3	504	44 302	12	8340

где r — радиус закругления при вершинах ромба.

Для приводов незамкнутого контура с постоянным радиусом кривизны центральной оси следует считать оптимальным угол $\gamma = 270^\circ$ исходя из технологических соображений.

От формы нормального поперечного сечения (при прочих равных параметрах a , b и h) зависит чувствительность привода, определяемая перемещением его свободного конца при создании перепада давлений, равного 0,1 МПа.

Размеры поперечных сечений пневматических пружинных приводов для создания заданного перемещения определяют с учетом диаметра d_0 исходных трубок-заготовок.

Для ромбического сечения при определенном значении $K = a/b$ и радиуса r размеры полуосей a и b определяют по формулам:

$$a = \frac{K\pi d_0}{4\sqrt{(K-j)^2 + (1-j^2) + 2\pi j}};$$

$$b = \frac{a}{K}; j = \frac{r}{b}.$$

Для плоскоовального сечения

$$a = \frac{K\pi d_0}{2\pi + 4(K-1)}; b = \frac{a}{K}.$$

Приводные элементы рассматриваемого типа при ограничении перемещения развивают определенные усилия в тангенциальном Q_τ и радиальном Q_r направлении относительно траектории перемещения:

$$Q_\tau = 4Pa^2 \frac{D_6 + D_7 v}{D_0 + D_1 v + D_2 v^2} \times \frac{2(\gamma - \sin\gamma)}{3\gamma - 4\sin\gamma + 1/2\sin 2\gamma};$$

$$Q_r = 4Pa^2 \frac{D_6 + D_7 v}{D_0 + D_1 v + D_2 v^2} \times \frac{4(1 - \cos\gamma)}{2\gamma - \sin\gamma},$$

где коэффициенты D_1 , D_2 и D_6 , D_7 зависят от формы нормального поперечного сечения (см. табл. 1, 2).

Таблица 2

Отношение полуосей	Расчетные коэффициенты для плоскоовального сечения при $h/b < 0,3$		
	D_3	D_4	D_5
2	34,5	33 122	595 992
2	78	50 350	1 295 773
4	89	73 692	1 562 383
5	89	73 780	1 643 135
6	85	71 528	1 654 052

Расчет приводов управляемой упругой деформации замкнутого контура

Приводы управляемой упругой деформации замкнутого типа, хотя и обладают меньшей чувствительностью, являются более жесткими и динамически устойчивыми, позволяющими формировать линейное перемещение центрального сечения элемента привода, нагруженного давлением, подаваемым в его внутреннюю полость.

Расчетная схема привода приведена на рис. 2.

В общем случае перемещение привода замкнутого контура определяется следующим криволинейным интегралом по контуру привода:

$$\lambda = \int_S \frac{\Psi(\varphi)}{R(\varphi)} M_1(\varphi),$$

где $M_1(\varphi)$ — изгибающий момент в произвольном сечении рассматриваемого привода от единичной силы, приложенной в направлении

ищемого перемещения; $R(\varphi)$, $\Psi(\varphi)$ — радиус кривизны и относительный угол поворота сечения в произвольной точке контура соответственно.

Контур замкнутого привода, изображенный на расчетной схеме, симметричен относительно осей X и Y , что позволяет при расчете рассматривать не весь элемент, а лишь четвертую часть контура.

Перемещение центрального сечения рассматриваемого привода в т. B является суммарным эффектом деформаций сечения элемента под действием давления и определяется из следующего выражения:

$$\lambda_B = \int_{\lambda_1}^{\gamma_2} \frac{\Psi(\varphi)}{R(\varphi)} [r(\gamma_1)\cos\gamma_1 - r(\varphi)\cos\varphi] \sqrt{r^2(\varphi) + r'^2(\varphi)} d\varphi + \frac{1}{2} \int_{\gamma_2}^{2\pi-\gamma_2} \Psi(\varphi) [r(\gamma_1)\cos\gamma_1 - r(\varphi)\cos\varphi] + \int_{2\pi-\gamma_1}^{2\pi-\gamma_2} \frac{\Psi(\varphi)}{R(\varphi)} [r(\gamma_1)\cos\gamma_1 - r(\varphi)\cos\varphi] \sqrt{r^2(\varphi) + r'^2(\varphi)} d\varphi. \quad (1)$$

При этом значения пределов интегрирования в уравнении (1) остаются неизменными для различных типоразмеров трубчатых элементов замкнутого контура, что видно на расчетной схеме, т. е.

$$\gamma_2 = \pi - \gamma/2.$$

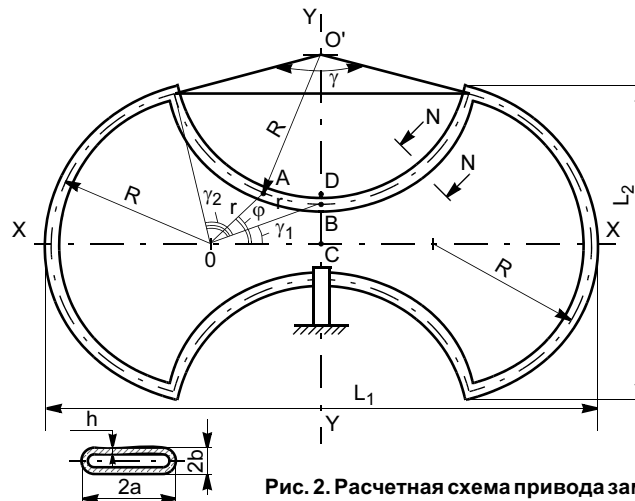


Рис. 2. Расчетная схема привода замкнутого контура

Угол γ_1 определяют из $\triangle OBC$:

$$\gamma_1 = \arctg \frac{BC}{OC}.$$

И, соответственно, OB и OC выражаются следующим образом:

$$BC = R(\sin\gamma/2 + \cos\gamma/2 - 1);$$

$$OC = R(\sin\gamma/2 + \cos\gamma/2),$$

тогда $\gamma_1 = \arctg \frac{\sin\frac{\gamma}{2} + \cos\frac{\gamma}{2} - 1}{\sin\frac{\gamma}{2} - \cos\frac{\gamma}{2}}.$

Явный вид функции $r(\varphi)$ в общем виде может быть представлен выражением

$$r(\varphi) = \rho_0[(\sin\gamma/2 - \cos\gamma/2)\cos\varphi \pm [(\sin\gamma/2 + \cos\gamma/2)\sin\varphi] - \rho[(\sin\gamma/2 - \cos\gamma/2)\cos\varphi \pm [(\sin\gamma/2 + \cos\gamma/2)\sin\varphi]^2], \quad (2)$$

а выражения для $r'(\varphi)$ имеют следующий вид:

$$r'(\varphi) = R \left[\left(\sin\frac{\gamma}{2} + \cos\frac{\gamma}{2} \right) \cos\varphi - \left(\sin\frac{\gamma}{2} - \cos\frac{\gamma}{2} \right) \sin\varphi \right] \times \left[1 - \frac{\left(\sin\frac{\gamma}{2} - \cos\frac{\gamma}{2} \right) \cos\varphi + \left(\sin\frac{\gamma}{2} + \cos\frac{\gamma}{2} \right) \sin\varphi}{\sqrt{\left[\left(\sin\frac{\gamma}{2} - \cos\frac{\gamma}{2} \right) \cos\varphi - \left(\sin\frac{\gamma}{2} + \cos\frac{\gamma}{2} \right) \sin\varphi \right]^2 - 1}} \right].$$

В выражении (2) знак "+" соответствует условию $\gamma_1 \leq \varphi \leq \gamma_2$, а знак "-" — условию $2\pi - \gamma_2 \leq \varphi \leq 2\pi - \gamma_1$.

Таким образом, задавая γ_1 и γ_2 , а также явный вид функций $r(\varphi)$ и

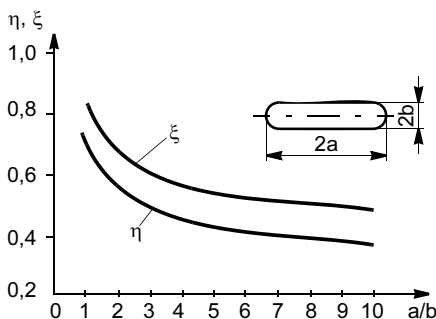


Рис. 3. Значения расчетных коэффициентов η и ξ

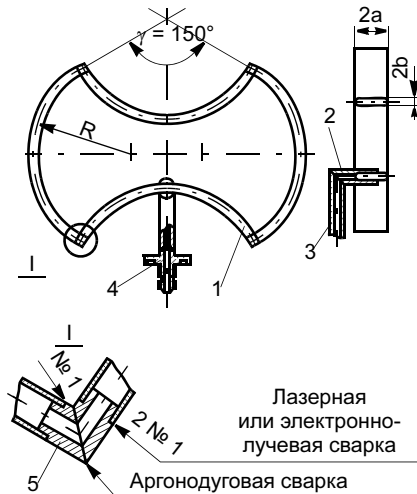


Рис. 4. Конструкция привода замкнутого контура: 1 — элемент трубчатого привода; 2, 3 — трубка; 4 — штуцер; 5 — переходник

$r'(\varphi)$, определение перемещения трубчатого элемента замкнутого контура сводится к вычислению интеграла (1).

Усилие, развиваемое приводом замкнутого контура в т. B , в общем виде

$$Q = \frac{EK_C I_a}{1 - \mu^2} \times \frac{\int_S \frac{\psi(\varphi)}{R(\varphi)} [r(\gamma_1)\cos\gamma_1 - r(\varphi)\cos\varphi] dS}{\int_S [r(\gamma_1)\cos\gamma_1 - r(\varphi)\cos\varphi]^2 dS},$$

где K_C — коэффициент, учитывающий влияние деформации поперечного сечения привода на изменение кривизны центральной оси трубчатого элемента привода; I_a — момент инерции сечения элемента привода относительно большой оси.

Для плоскоовального сечения:

$$I_a = 4b^3h \left(\frac{a}{b} - 1 + \frac{\pi}{4} \right),$$

где h — толщина стенки элемента привода;

$$K_C = 1 - \frac{\eta}{\xi + \chi^2},$$

где ξ и χ — коэффициенты, зависящие от формы нормального поперечного сечения и отношения осей (рис. 3); χ — главный параметр трубчатого элемента, равный Rh/a^2 .

На рис. 4 приведена конструкция привода с замкнутым контуром. Контур привода образован четырьмя идентичными элементами, которые соединены между собой переходниками. Подача сжатого воздуха осуществляется через трубопроводы и штуцер. Герметичные соединения всех элементов привода выполняют лазерной сваркой. Получены параметрические ряды эксплуатационных и конструктивных параметров приводов управляемой упругой деформации замкнутого контура.

Выбор конструкционных материалов

Особенность эксплуатационных условий работы приводов управляемой упругой деформации в высоком вакууме при повышенных температурах, знакопеременном циклическом нагружении и наличии избыточного давления в их объеме требует применения конструкционных материалов, удовлетворяющих одновременно обязательным требованиям. К их числу относятся упругопрочностные, вакуумно-технические и нагрузочные характеристики для каждого привода при условии их питания от одного источника давления. При этом каждый привод должен рассчитываться из условий прочности, гарантирующей работу в области упругой деформации.

Это условие наиболее просто может быть удовлетворено соответствующим выбором конструкционных материалов привода, формой нормального поперечного сечения, толщины стенки, геометрических параметров привода и др.

Долговечность работы механизмов на основе приводов управляемой упругой деформации и выбор материалов с учетом режимов работы должны определяться также по критерию "вакуумной усталости".

Получены зависимости величины газового потока проницаемости Q от степени деформации ε и числа циклов $N_{ц}$ нагружения (рис. 5), а также от температуры T (рис. 6) в диапазоне 373—673 К при постоянной амплитуде деформации

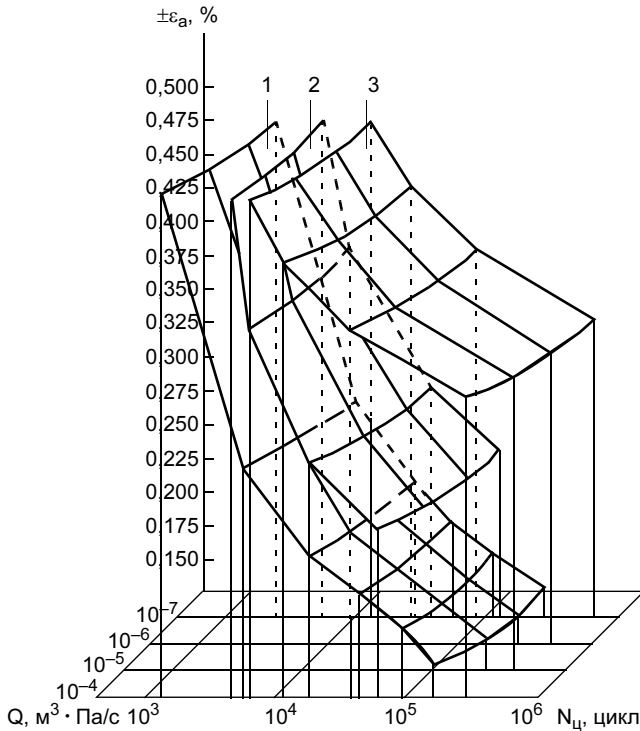


Рис. 5. Обобщенный график кривых вакуумной усталости по критерию допустимого газового потока: 1—3 — стали 12X18H10T, 2X13 и 36NHXTЮ соответственно

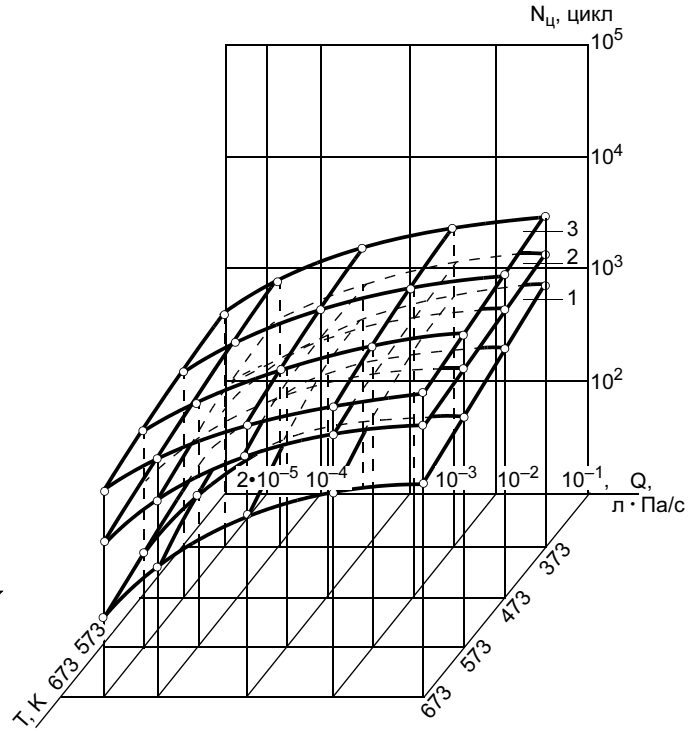


Рис. 6. Обобщенный график зависимости газового потока от температуры и количества циклов нагружения: 1—3 — см. рис. 5

$\varepsilon = 0,5 \%$ при усталостных испытаниях приводов, изготовленных из сталей 12X18H10T, 2X13 и 36NHXTЮ. Видно, что наилучшим конструкционным материалом для приводов управляемой упругой деформации является сталь 36NHXTЮ.

Кроме того, сравнение кривых усталости по критерию прочности и герметичности, определяемому величиной допустимого газового потока, позволило установить, что ресурс работы приводов в вакууме составляет 70—80 % ресурса работы, учитывающего только их несущую способность при эксплуатации в атмосферных условиях.

Эмпирическая зависимость связывает величину газового потока проницаемости с заданной амплитудой деформации, температурой, механическими характеристиками материала, числом циклов нагружения и закономерностями теории усталостного разрушения:

$$\lg Q_i = 2,375 \left[N_{ци} - \frac{1}{m} \lg \frac{\alpha E \ln \frac{100}{100 - \psi}}{4(\sigma_a - K_i \sigma_B)} \right], \quad (3)$$

где Q — газовый поток; m, K_i — константы, зависящие от механических характеристик материалов; α — аппроксимирующий параметр; ψ — относительное сужение площади поперечного сечения при статическом растяжении; σ_a, σ_B — амплитудное напряжение и предел прочности при растяжении.

Зависимость $Q = f(N_{ци}, T)$ более сложная, так как проводимость каналов, образованных нарушением структуры материала привода, с повышением температуры уменьшается, а вязкость газа увеличивается.

Однако для инженерных расчетов газового потока, допускающих ошибку в пределах 15 %, эмпирической формулой (3) можно пользоваться.

Формирование приводов управляемой упругой деформации

Для формирования приводов управляемой упругой деформации изготовлены оборудование и инструмент, позволяющие полу-

чить плоскоовальную, эллиптическую и ромбическую формы нормального поперечного сечения, каждая из которых характеризуется различной чувствительностью, усилием и точностью позиционирования.

Принят ряд геометрических параметров рассматриваемых приводов.

Разработан и изготовлен специальный формообразующий инструмент из стали ХВГ и спецнастка для трех типов нормального поперечного сечения элементов приводов: плоскоовального, эллиптического и ромбического. Получены расчетные таблицы для изготовления формообразующего инструмента эллиптического и ромбического профилей с различными значениями k (k равен 4, 6, 8) из заготовок диаметром 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 мм. В соответствии с таблицами изготовлены и действуют 50 комплектов формообразующего инструмента. Для получения плоскоовального профиля поперечного сечения элемента использовали цилиндрические роли-

ки с гладкой образующей. В этом случае расстояние между роликами устанавливали путем их сближения и замеряли с помощью плоскопараллельных плиток. На рис. 7 приведена принципиальная схема получения элементов приводов из трубки, на рис. 8 — образцы формообразующего инструмента для получения эллиптического и ромбического профилей поперечного сечения. При изготовлении элементов привода трубка-заготовка заполняется наполнителем и после предварительного обжатия между цилиндрическими роликами устанавливается в приспособление для получения профиля поперечного сечения и изгиба по радиусу кривизны центральной оси.

В качестве наполнителя при формообразовании поперечного сечения и изгибе трубки по радиу-

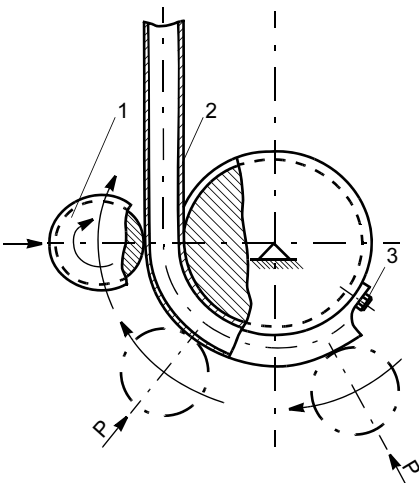


Рис. 7. Принципиальная схема изготовления элементов привода: 1, 2 — подвижный и неподвижный ролики; 3 — фиксирующий винт

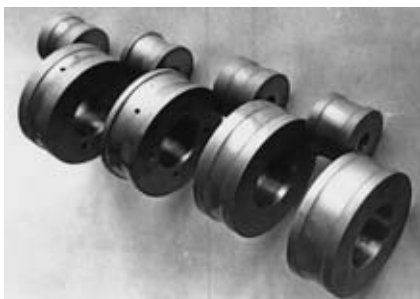


Рис. 8. Образцы формообразующего элемента

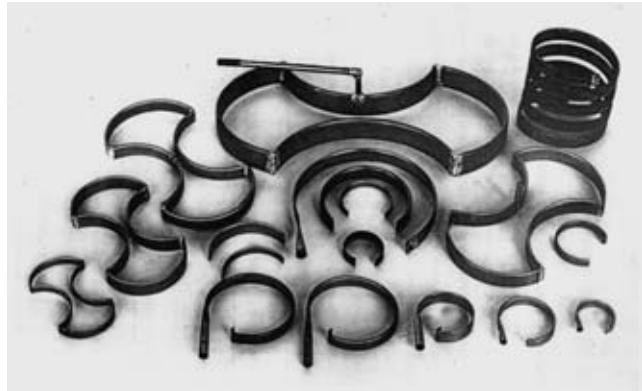


Рис. 9. Образцы приводов незамкнутого и замкнутого контуров на основе гибких герметичных трубчатых элементов

су использовали мелкопросеянный кварцевый песок.

Процесс формообразования гибких трубчатых элементов состоит из двух этапов. На первом этапе отожженные трубки с наполнителем сплющиваются за несколько проходов между двумя гладкими цилиндрическими роликами, установленными в приспособлении на токарном станке; при сплющивании прямолинейность трубки сохраняется. Число оборотов шпинделя станка не более 35 об/мин.

На втором этапе осуществляется формообразование заданного профиля поперечного сечения при одновременном изгибе по заданному радиусу кривизны центральной оси. На большом неподвижном ролике закрепляется предварительно сплюснутая трубка, после чего малый ролик обкатывается вокруг большого ролика, причем межцентровое расстояние постепенно уменьшается до соприкосновения их образующих. Для уменьшения контактного трения поверхности трубки и роликов смазывают машинным маслом.

Затем готовый элемент снимается и производится удаление наполнителя. Далее выполняют обрезку по размеру.

Для изготовления элементов приводов применяют следующую технологию:

- выбор заготовки и обрезку по размеру;
- отжиг в вакууме при температуре 700—750 °С;
- заполнение кварцевым песком;

- предварительное формование (сплющивание);
- формообразование профиля поперечного сечения и изгиб по радиусу;
- удаление наполнителя;
- промывка в воде и обезжиривание;
- обрезка свободного конца по размеру;
- проверка на герметичность.

Приводы замкнутого и незамкнутого контуров, изготовленные на основе данных элементов, и многовитковые приведены на рис. 9.

В настоящее время разрабатывается новая технология формообразования сварного профиля элементов приводов, позволяющая расширить число форм нормального поперечного сечения и широко варьировать чувствительность привода, и технология изготовления профиля нормального поперечного сечения. В данном процессе использованы методы гидроштамповки, в том числе и из листового материала, что значительно упрощает, расширяет диапазон чувствительности и форм и удешевляет изготовление приводов рассматриваемого типа, особенно в относительно больших объемах.

Это позволит создать новые формы приводов и траектории движения (как прямолинейные, так и криволинейные на плоскости и в пространстве), которые ранее были недоступны по технологическим причинам, а также значительно расширить области применения данных конструкций.

В. Д. МАКАРЕНКО, д-р техн. наук, А. А. СИНКЕВИЧЮС, аспирант
Нижевартовский филиал ТюмГНГУ

Нейросетевой анализ коррозионной стойкости трубных сталей нефтяного назначения

Анализ научно-технической литературы [1—3] свидетельствует о большом разнообразии, значительном объеме информации и механизмах, причинах, факторах и условиях коррозионных разрушений нефтепромыслового оборудования, эксплуатируемого в коррозионно-активных зонах месторождений Западной Сибири. Противоречивость информации затрудняет разработку и применение эффективных антикоррозионных мер по повышению эксплуатационной надежности оборудования. В настоящее время важной задачей является поиск новых методов анализа имеющейся информации. Возможности ее решения заключаются в применении новых информационных технологий, составной частью которых являются интеллектуальные средства обработки результатов экспериментов, такие как искусственные нейронные сети (ИНС). Использование нейросетей позволяет создавать качественно новые аппаратные и программные средства, существенно расширяющие возможности решения задач и повышающие эффективность идентификации и прогнозирования коррозионно-механических свойств материалов [4—6].

ИНС представляют математический алгоритм для исследования модельных систем и технологических процессов и характеризуются тем, что включают совокупность однородных модулей — ассоциативных нейронов, каждый из которых имеет определенное число выходов, на которых формируются исследуемые (выходные) параметры. Выходной параметр рассчитывают путем подстановки набора входных параметров в функцию определенного вида (одинаковую для всех ассоциативных нейронов сети) с учетом соответствующего набора весовых коэффициентов.

Конструирование процесса обучения, тестирования и анализа данных можно рассматривать как настройку архитектуры сети и весов связей для эффективного выполнения исследовательской задачи. Для конструирования процесса обучения, во-первых, необходимо иметь модель внешней среды, в которой функционирует нейронная сеть, знать доступную для сети информацию. Во-вторых, необходимо понять, как модифицировать весовые параметры сети, какие правила обучения управляют процессом настройки.

Каждый алгоритм обучения ориентирован на сеть определенной архитектуры и предназначен для определенного класса задач [5].

В качестве инструментальной среды для моделирования интерфейса выбрана система MATLAB. Система MATLAB (MATrix LABoratory — матричная лаборатория) создана специалистами фирмы Math Works, Inc как язык программирования высокого уровня для технических вычислений.

Современные версии системы MATLAB поставляются на рынок информационных услуг вместе с пакетом расширения Simulink, предназначенным для моделирования динамических систем, модели которых состоят из отдельных блоков (компонентов). Этот пакет является ярким представителем программ, созданных на основе системы MATLAB. В нем реализованы принципы визуально ориентированного программирования, что позволяет легко набирать необходимые блоки и соединять их для составления модели анализируемой системы или устройства. Сложнейшие уравнения состояния, описывающие работу моделей, формируются автоматически.

Один из таких пакетов — Neural Networks (нейронные сети), представляющий прикладные программы, содержащие средства для построения нейронных сетей, базируется на поведении математического аналога нейрона.

Выбор структуры НС (число входов и выходов на каждом нейроне, межнейронных связей и т. д.), способной адекватно воспроизводить функциональные зависимости исследуемого процесса, до сих пор не имеет достаточного теоретического обоснования, в связи с чем для каждого конкретного случая необходим ее поиск.

Как показывает опыт применения метода нейросетевого моделирования [4, 5], он может быть применен и к коррозионным процессам как многофакторным системам, представляющим совокупность коррозионно-механических и коррозионно-электрических характеристик металла, нелинейно изменяющихся с изменением параметров среды (анионного состава, концентрации среды, температуры, pH и др.). Это позволит выявить скрытые, трудно анализируемые связи.

В данной работе предпринята попытка создания и обучения НС на основе ограниченного набора экспериментальных данных с целью получить недостающие сведения для корректного прогнозирования коррозионно-механического поведения трубной стали 20 в близких к нейтральным хлоридных средах. Системы должны предсказывать скорость углубления питтинга (точечной язвы) по любому набору известных параметров среды (сульфат-ионов, хлорид-ионов, кислорода, температуры, pH) и классифицировать состояние коррозионной среды по предсказанным значениям скорости коррозии.

Цель исследования — определение характера и глубины коррозионного поражения внутренней поверхности труб промысловых нефтепроводов после их эксплуатации от 0,5 до 16 лет в разных районах Самотлорского месторождения, различающихся эксплуатационными характеристиками перекачиваемых продуктов. Исследовали более 50 образцов труб, изготовленных из углеродистой стали 20 (ГОСТ 4543—71).

Методика экспериментов. Проведению исследований предшествовал анализ перекачиваемой среды, способствующей коррозионному разрушению труб. На основании анализа выбраны объекты исследования, работавшие в условиях, соответствующих различным значениям одной из уже упомянутых переменных концентраций (C_{O_2} , C_{Cl^-} , $C_{SO_4^{2-}}$)

при сохранении неизменными двух других, а также при изменении концентрации двух переменных (различные вариации) и сохранении постоянства третьей. Пределы изменения параметров составляли (pH = 4,8÷5,4; $T = 40\div 60$ °C): $C_{Cl^-} = 4000\div 12\ 000$ мг/л;

$C_{O_2} = 0,2\div 15$ мг/л; $C_{SO_4^{2-}} = 0,5\div 15$ мг/л. Выбранные

режимы перекачиваемого продукта позволили получить данные о зависимости коррозионной стойкости сталей от содержания в смеси каждого из входящих в ее состав компонентов.

Для изучения одновременного влияния компонентов экспериментальной (модельной) среды (O_2 , Cl^- , SO_4^{2-}) на коррозионную стойкость трубных сталей, количественного описания этого влияния и значительного уменьшения числа опытов рационально применять методы нейросетевого анализа и предварительного планирования эксперимента — симплексно-решетчатое планирование. Поскольку конкретные коррозионно-активные среды не могут быть реализованы во всей исследуемой области составов, на нее накладываются дополнительные ограничения. В результате область планирования приобретает сложную форму. На такой области целесообразно использовать G-критерий оптимальности плана, включающий 22 эксперимента и позволяющий минимизировать максимальную величину дис-

персии предсказанных значений. Применение G-оптимального плана позволяет гарантировать, что в области планирования не окажется точек, в которых точность оценки поверхности отклика не является слишком низкой [7]. Синтез плана реализовывался численными методами на ЭВМ фирмы Hewlett-Packard.

В соответствии с требованиями плана изготовили модельные среды на базе попутнодобываемой товарной воды с переменным содержанием агрессивных в коррозионном отношении ингредиентов — O_2 , Cl^- , SO_4^{2-} (22 марки). По результатам экспериментов были построены уравнения множественной регрессии пятого порядка (коэффициенты регрессии значимы на уровне $\alpha \leq 0,05$), которые использовали для построения линий равного уровня на тройных диаграммах.

Адекватность полученных уравнений регрессии проверяли с помощью критерия Фишера F на 5 %-ном уровне значимости. Значения коэффициентов корреляции $r = 0,97\div 0,99$, что свидетельствует о хорошем соответствии экспериментальных данных заданным уравнениям регрессии и возможности использования последних в качестве формальных расчетных моделей.

Выбирая способ оценки степени коррозионного поражения сталей как функции указанных выше переменных, исходили из установленного в работе [1] локального характера этого разрушения. Так, многолетние наблюдения показали, что на ряде месторождений Тюменской области отмечается массовый выход из строя трубопроводов по причине локальной коррозии с внутренней стороны. Сквозные повреждения происходят, как правило, на внутренних горизонтальных прямолинейных участках нефтепроводов (на нижней образующей труб). Поэтому после визуального обследования прокорродировавшей поверхности стальных образцов с помощью оптического микроскопа Neophot-32 посредством двойной фокусировки определяли глубину локальных повреждений. Вследствие предварительной отбраковки трубных катушек с ярко выраженными дефектами такие повреждения имели вид питтингов небольшого сечения. На каждом из образцов исследовали по 20—30 наиболее отчетливых питтингов, и после измерения глубины выбирали из 20—25 необходимое количество самых глубоких (обычно 5—8), их среднюю глубину считали максимальной (h_{max}).

В качестве характеристики, лимитирующей срок службы трубопровода, следовало использовать фактическую скорость углубления питтинга, однако в рамках поставленной задачи это было невозможно, так как потребовало бы проведение испытаний на всех стадиях коррозионного процесса, включая зарождение и развитие питтингов, которые протекают нерегулярно. Поэтому в данном случае скорость углубления питтингов в металл оценивали по вели-

чине $v_{\max} = h_{\max}/t$ (где t — суммарное время эксплуатации данного участка трубы). Величину v_{\max} условно принимали за максимальную скорость углубления питтинга. Приводимые ниже данные о v_{\max} представляют средние арифметические из пяти значений, установленных для h_{\max} на данном образце. Как оказалось, отклонение реальных h_{\max} от их усредненных величин не превышает 7—10 %.

Исследовали поведение стальных образцов в деаэрированных аргоном боратных буферных растворах ($\text{pH} = 4,8 \div 5,4$; $T = 40 \div 60$ °C) с добавками O_2 , Cl^- , SO_4^{2-} .

Перед каждым экспериментом поверхность металла механически шлифовали, полировали, обезжировали этиловым спиртом. Для исследований использовали ИНС с одним выходом ($v_{\text{кор}}$). Структура ИНС (рис. 1) включает слой нейронов-рецепторов (входной слой), осуществляющий прием информации извне; слой ассоциативных нейронов (скрытый), функции которых рассмотрены ранее; слой выходных нейронов, формирующих реакцию сети на внешний стимул. ИНС представленного типа в принятой терминологии именуют перцептроном с одним скрытым слоем нейронов. Большинство прикладных работ связано с применением именно таких сетей, поскольку они наиболее исследованы и, как правило, одного скрытого слоя достаточно для решения подавляющего числа задач [4—6, 8].

Для выбора оптимального числа нейронов в скрытом слое ИНС использовали рекомендации работ [4—6], что позволило решить вопросы быстрого поиска оптимальной структуры ИНС. Для исследуемых значений параметра $v_{\text{кор}}$ анализировали 25 вариантов сети. При обучении ИНС набор экспериментальных данных случайным образом разделялся на два подмножества — обучающее (70 % данных используется непосредственно для обучения) и тестовое

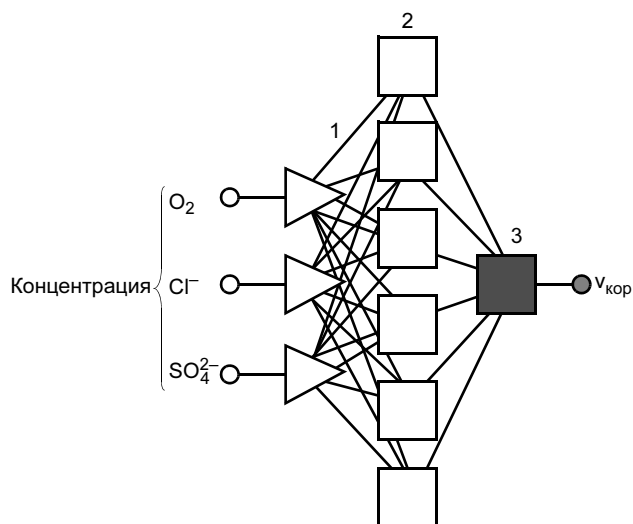


Рис. 1. Структура ИНС для $v_{\text{кор}}$: 1 — входной слой нейронов; 2 — скрытый; 3 — выходной

(30 % данных используется для контроля способности ИНС к обобщению информации).

В процессе обучения выбранной ИНС все данные задействованного подмножества многократно участвовали в процедуре определения и изменения их весовых коэффициентов (значимости) в обучаемой сети. При этом данные тестового подмножества в процедуре не участвовали. Их основная функция — постоянный контроль способности ИНС к прогнозированию данных, не использованных в процессе обучения. Обучение состояло из нескольких циклов, на каждом из которых определяли ошибку наборов экспериментальных данных в обучающем и тестовом подмножествах по отношению к результатам, полученным с использованием ИНС. Оценивали не только абсолютную величину ошибки, но и тенденцию ее изменения в процессе обучения сети. Обучение прерывали по достижении минимума ошибки на тестовом подмножестве. Выбор алгоритма обучения определяли в основном быстротой достижения и качеством оптимальных параметров обученной ИНС.

Разработанная ИНС определяла значения $v_{\text{кор}}$ по любому набору известных параметров — концентрации хлорид-иона, сульфат-иона и кислорода и оценивала состояние коррозионной системы по значениям предсказанной скорости коррозии. ИНС была реализована с помощью пакета Statistica Neural Network. С использованием обученных ИНС получены обобщенные зависимости скоростей коррозии трубных сталей от параметров раствора и на их основе выполнен прогноз коррозионного поведения сталей.

С помощью Visual Basic обученные ИНС интегрировали в Excel в виде программных модулей, что позволило быстро анализировать большие массивы данных и визуализировать результаты работы ИНС стандартными средствами без разработки интерфейса пользователя и системы ввода-вывода данных.

Результаты экспериментов и их обсуждение.

На рис. 2 приведены экспериментальные данные для трубной стали 20 разного срока эксплуатации в средах с различными концентрациями хлорид-ионов, сульфат-ионов и кислорода, полученные в ограниченном диапазоне условий, что не позволяет провести полномасштабный анализ зависимостей v_{\max} от параметров раствора. Видно, что во всех случаях наблюдается симбатность изменения v_{\max} с изменением рассматриваемого параметра для изучаемых сталей (при постоянных концентрациях двух других содержащихся в смеси примесей). При этом значения v_{\max} всегда ниже для стали 20 с малым сроком эксплуатации, чем для сталей с длительным сроком, что, по мнению авторов, связано с деградацией металла труб.

Следует отметить, что увеличение концентрации кислорода в растворе (см. рис. 2, в) приводит к ускорению углубления питтингов, которое заметно уже при увеличении C_{O_2} от 5 до 20 мг/л. При дальнейшем

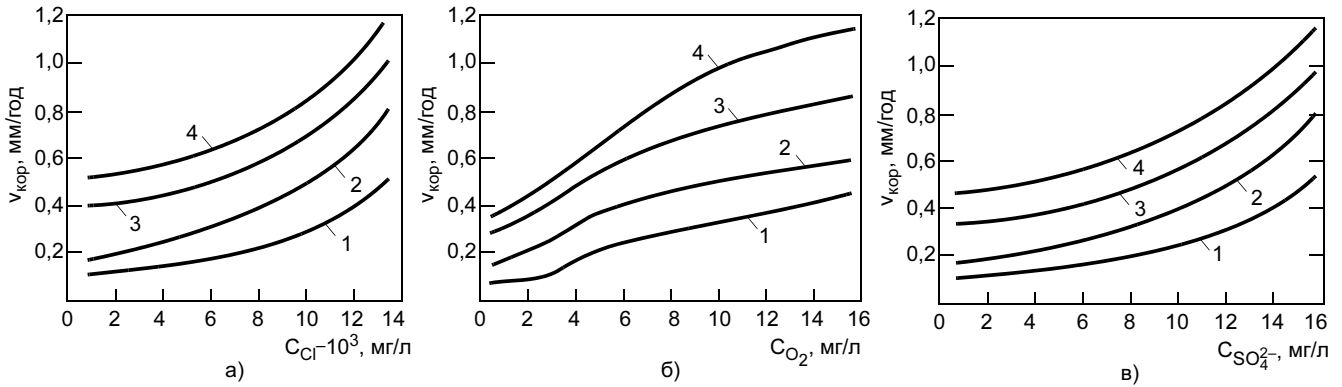


Рис. 2. Зависимость максимальной скорости углубления очагов локальной коррозии металла промышленных нефтепроводов с различным сроком эксплуатации от содержания в перекачиваемом продукте хлорид-ионов ($pH = 5,8 \div 6,1$; $C_{SO_4^{2-}} = 8 \div 10$ мг/л; $C_{O_2} = 5 \div 6$ мг/л) (а), кислорода ($pH = 4,8 \div 5,4$; $C_{SO_4^{2-}} = 9 \div 11$ мг/л; $C_{Cl^-} = 6000 \div 7000$ мг/л) (б) и сульфат-ионов ($pH = 5,9 \div 6,4$; $C_{Cl^-} = 7500 \div 9000$ мг/л; $C_{O_2} = 4,0 \div 6,0$ мг/л) (в): 1—4 — срок эксплуатации 0,5, 3,5, 12 и 16 лет соответственно

же увеличении содержания этой примеси рост v_{max} становится менее крутым.

Для оценки комплексного влияния исследуемых компонентов на v_{max} потребовалось применение НС-анализа. Структура и методы обучения НС не определяются природой анализируемых данных, но зависят от количества экспериментальных результатов, подаваемых на ее входы, и сложности изучаемого процесса. Поэтому, согласно предварительным результатам компьютерных экспериментов, выбрана структура НС и ее последующее обучение, оптимальное число нейронов в скрытом слое, что позволило оптимизировать ошибки обучения и тестирования НС выбранной структуры. В качестве алгоритма обучения взят метод спуска по сопряженным градиентам, что позволило получить среднеквадратичные ошибки тестирования и обучения соответственно 1,7—5,5 и 0,9—4,2 %. Это свидетельствует о хорошей обученности НС и ее способности с достаточно малой ошибкой предсказывать значения скорости питтинговой коррозии.

В качестве примера на рис. 3 приведены некоторые результаты обучения НС для v_{max} . Чем лучше обучена НС, тем ближе экспериментальные и предсказанные сетью значения v_{max} , т. е. кривая зависимости которых от первых должна располагаться под углом 45° к осям координат. При оценке влияния каждого из входных параметров (концентрации кислорода и анионов Cl^- и SO_4^{2-}) на качество прогноза критерием значимости фактора служила степень ухудшения работы НС в случае его отсутствия. Такой подход правомочен для рассматриваемого случая, когда взаимное влияние входных параметров отсутствует [6, 8].

Чувствительность каждой переменной обучающего и тестового подмножеств оценивали по трем параметрам: "Ранг", "Ошибка" и "Отношение". Основной параметр "Ошибка" показывает ошибку НС при

исключении определенного входного параметра и ее структуры. Исключение наиболее важных входных параметров закономерно порождает наибольшую ошибку прогнозирования, указывая на ухудшение работы НС. Параметр "Отношение" показывает соотношение между параметром "Ошибка" и ошибкой НС при включении в ее структуру всех входных параметров, т. е. равен кратности роста ошибки НС при исключении определенного входного параметра из ее структуры. Если параметр "Отношение" ≤ 1 , рассматриваемый входной параметр, по крайней мере, не влияет на качество обучения, если больше 1 — влияет, и тем существеннее, чем "Отношение" больше. Параметр "Ранг" ранжирует значимость входных параметров по величине параметра "Ошибка".

Из полученных данных (см. таблицу) видно, что в большей степени на v_{max} влияет концентрация хлор-иона и значительно слабее сульфат-иона.

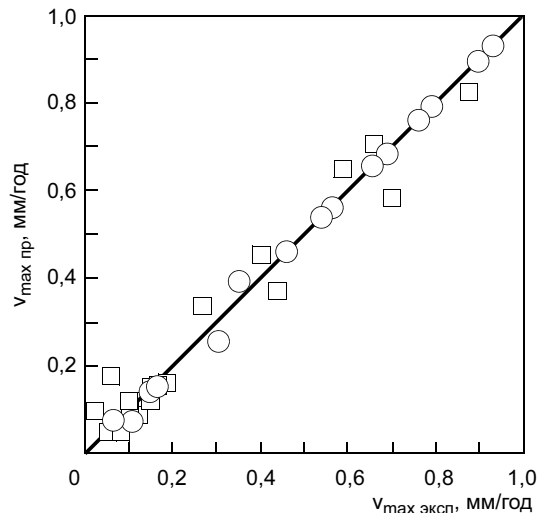


Рис. 3. Зависимость предсказанных обученной НС значений v_{max} от экспериментальных (○ — обучение, □ — тестирование)

Параметр	Входные параметры					
	Обучение			Тестирование		
	Концентрация					
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	O ₂	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	O ₂
Ранг	1	3	2	1	3	2
Ошибка	0,193	0,051	0,087	0,174	0,032	0,065
Отношение	18,31	2,72	9,34	15,56	1,13	6,67

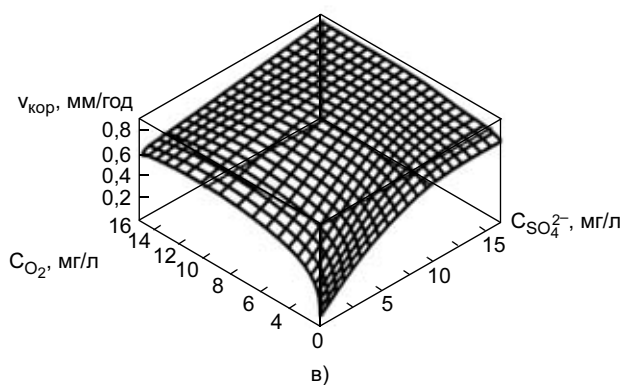
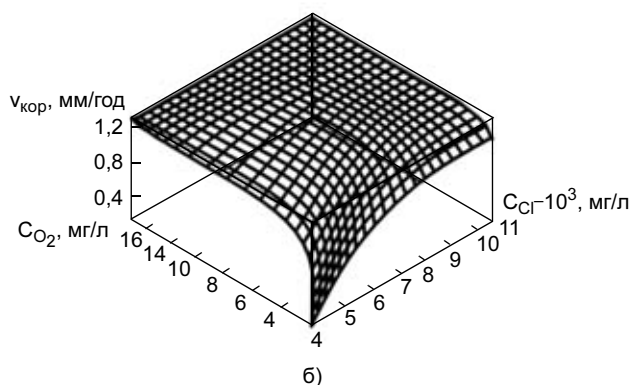
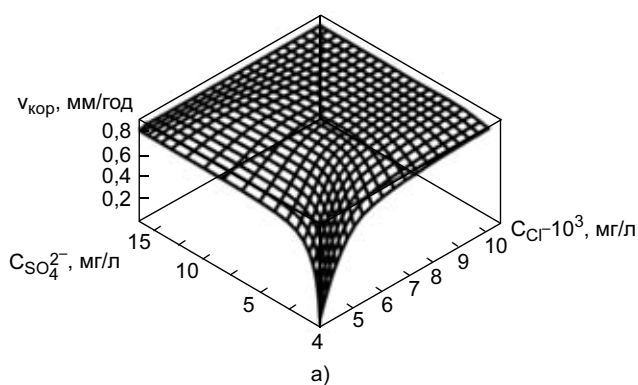


Рис. 4. Зависимости предсказанных НС значений $v_{кор}$ и концентрации модельных сред: а — $v_{кор} = f(C_{SO_4^{2-}}, C_{Cl^-})$; б — $v_{кор} = f(C_{O_2}, C_{Cl^-})$; в — $v_{кор} = f(C_{O_2}, C_{SO_4^{2-}})$

Таким образом, наиболее значимым входным параметром для рассматриваемого показателя v_{max} оказывается концентрация в растворе хлорида.

Обученные нейросети использовали для прогнозирования v_{max} как внутри экспериментально апробированных входных параметров, так и за ее пределами. Как видно на рис. 4, $v_{кор}$ сложным образом зависит от концентрации хлор- и сульфат-анионов и кислорода, но тем не менее возможно проследить некоторые закономерности. Так, из рис. 4, а следует, что с увеличением концентраций Cl⁻ до $6 \cdot 10^3$ мг/л и SO₄²⁻ до 7,5 мг/л скорость питтинговой коррозии резко возрастает, а потом монотонно повышается до $v_{кор} \approx 0,8 \div 1,0$ мм/год. Та же тенденция наблюдается и для смеси, содержащей O₂ и Cl⁻: при увеличении концентрации O₂ в модельном растворе от 2 до 8 мг/л $v_{кор}$ резко возрастает до 0,8—0,9 мм/год, после чего возрастание $v_{кор}$ происходит плавно, вплоть до значений 1,2 мм/год и более (см. рис. 4, б). При этом увеличение концентрации Cl⁻ в этой смеси от $4 \cdot 10^3$ до $7,5 \cdot 10^3$ мг/л вызывает резкий рост $v_{кор}$, после чего скорость коррозии плавно повышается.

Данные рис. 4, в показывают рост коррозионного поражения образцов трубной стали в смеси, состоящей из O₂ и анионов SO₄²⁻. Наибольшее влияние на скорость коррозии оказывают одновременно кислород (до 8 мг/л) и сульфат-анионы (до 10 мг/л). Превышение указанных пределов концентраций O₂ и анионов SO₄²⁻ хотя и вызывает увеличение $v_{кор}$, но не столь значительно.

На рис. 5 приведена тройная диаграмма модельной системы растворов, содержащих одновременно O₂, Cl⁻ и SO₄²⁻, на которой нанесены линии одинаковых значений скорости локальной (питтинговой) коррозии (изокоррозионные линии). Для удобства отображения информации на боковых сторонах диаграммы показаны бинарные системы: SO₄²⁻ — Cl⁻; SO₄²⁻ — O₂; Cl⁻ — O₂.

Анализ приведенных данных (см. рис. 5) показывает, что НС позволила однозначно определить области коррозионного поведения стали и показать ее склонность к питтинговой коррозии в растворах с разной концентрацией активных анионов и кислорода. Полученные результаты позволяют сделать выводы о водно-химических режимах, не оказывающих отрицательного влияния на проектно установленный срок безаварийной службы промышленных нефтепроводов, составляющий 12—15 лет при толщине стенки трубы 8—12 мм. При принятии этого показателя максимальная скорость углубления питтингов не должна превышать 0,3—0,4 мм/год (в противном случае утонение стенки трубы превысит половину ее толщины, что недопустимо по проектным нормам). При эксплуатации трубной стали 20 в реальных водонефтегазовых средах ее коррозионное поведение будет очень чувствительным даже к незначительным

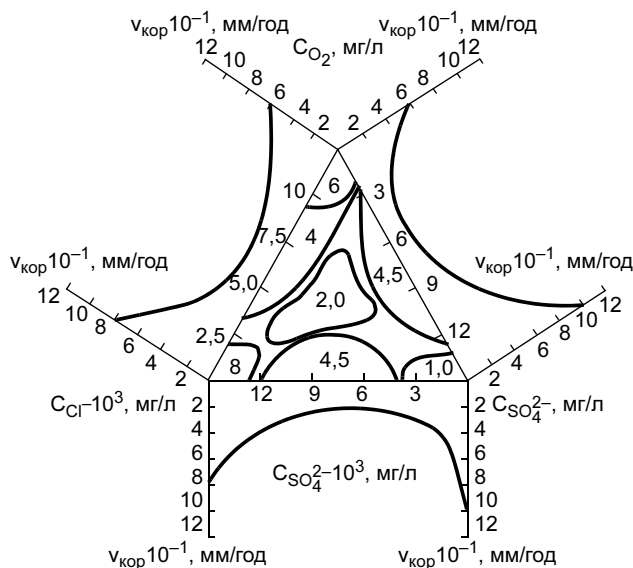


Рис. 5. Взаимное влияние компонентов модельной среды (Cl^- , SO_4^{2-} , O_2) на скорость коррозии трубной стали

изменениям концентрации хлорид- и сульфат-ионов, в то время как влияние изменения содержания в растворе кислорода не столь велико.

Таким образом, для исключения преждевременного выхода трубопроводов из строя необходимо с применением технологических и организационно-технических мер ограничивать концентрации SO_4^{2-} , Cl^- и O_2 в водонефтегазовой смеси на уровне не выше соответственно 6—8, 6000—8000 и 4—6 мг/л. При этом необходимо отметить, что приведенные показатели относятся только к трубным материалам, не содержащим макродефектов и неметаллических включений типа сульфидов, при наличии которых в стали скорость роста локальных очагов коррозионных повреждений резко возрастает. На основе зависимостей, аналогичных приведенным на рис. 5, можно, не проводя дополнительных исследований, качественно предсказывать коррозионное поведение трубной стали в конкретном случае.

Следует обратить внимание, что диаграммы рис. 5 находятся в соответствии с многочисленными известными из практики случаями коррозии нефтяного оборудования, изготовленного из углеродистых и низколегированных сталей и эксплуатируемого в природных и промышленных хлоридсодержащих средах.

Обученная НС позволяет расширить диапазон предсказуемых значений значащих факторов за пределы экспериментальных данных, в частности предсказать значения $v_{\text{кор}}$ в очень разбавленных или концентрированных растворах солей в подкисленных и нейтральных областях pH. Следует отметить, что ошибка результатов прогноза, выдаваемого НС, будет увеличиваться по мере удаления от пространства экспериментальных данных.

ВЫВОДЫ

1. На примере системы трубная сталь 20—хлоридсодержащий раствор впервые показана возможность применения нейросетевого моделирования для прогнозирования характера локального коррозионного процесса в условиях реальных эксплуатационных сред.

2. Метод нейросетевого анализа позволяет давать инженерную прогнозную оценку коррозионного повреждения трубных сталей нефтепроводов, эксплуатируемых в химически активных средах нефтяных месторождений Западной Сибири.

3. С помощью нейросетевого моделирования установлено, что в близких к нейтральным хлоридных средах, характерных для перекачиваемых промышленными трубопроводами рабочих водонефтегазовых смесей, процесс локальных повреждений трубной стали в значительной мере обусловлен концентрацией анионов-активаторов коррозионного процесса.

4. Для снижения аварийности при эксплуатации трубопроводов, изготовленных из углеродистых сталей, необходимо строго соблюдать водно-химический режим: содержание в водонефтегазовой смеси сульфат- и хлорид-ионов, а также кислорода не должно превышать соответственно 6—8, 6000—8000 и 4—6 мг/л, при этом pH среды должен находиться в пределах 5,0—7,0.

5. Для повышения точности прогноза значений классифицирующего признака при проектировании и сооружении промышленных трубопроводов необходимо предусматривать отбраковку поставляемых заводами-производителями партий стали трубного проката, содержащей макродефекты и неметаллические, в частности сульфидные, включения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саакян Л. С., Ефремов А. П., Соболева И. А. Повышение коррозионной стойкости нефтегазопромыслового оборудования. М.: Недра, 1988. 210 с.
2. Лубенский А. П. Влияние анионного состава солевых растворов на охрупчивание углеродистой стали // Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности. 1983. № 9. С. 1—2.
3. Коррозионная стойкость сварных металлоконструкций нефтегазовых объектов / В. Д. Макаренко, И. М. Ковенский, Н. Н. Прохоров и др. М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2000. 500 с.
4. Горбань А. Н. Обучение нейронных сетей. М.: СП ПараГраф, 1991. 156 с.
5. Нейроинформатика / А. Н. Горбань, В. Л. Дунин-Барковский, А. Н. Кирдин и др. Новосибирск: Наука, 1998. 296 с.
6. Нейронные сети в Statistica Neural Network: Пер. с англ. М.: Горячая линия—Телеком, 2000. 182 с.
7. Касаткин О. Г. К вопросу построения G-оптимальных планов на симплекс // Применение математических методов для исследования многокомпонентных систем. М.: Металлургия, 1974. С. 64—69.
8. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. М.: Мир, 1992. 183 с.

Т. ДЗОЦЕНИДЗЕ, канд. техн. наук
ФГУП "НАМИ" (Москва)

Концепция национальной инновационной программы "Создание новой экспортно-ориентированной автомобильной промышленности России"

Рынок новых автомобилей активно развивается. Отмечен скачкообразный рост продаж в сегменте легковых автомобилей как в количественном, так и стоимостном выражении. Растут продажи грузовых автомобилей, автобусов, транспортных средств различного назначения. Считается, что отечественный автомобильный рынок имеет потенциал роста такими же темпами до 2010—2012 г. Потом ожидается снижение темпов роста, но наличие в автопарке большой доли автомобилей старше 12 лет обеспечит дальнейший рост за счет замены парка устаревших и изношенных автомобилей.

Бурный рост продаж обуславливает развитие сферы услуг, инфраструктуры технического обслуживания и продаж запчастей, оживляет рынок подержанных автомобилей, стимулирует рост вторичного рынка автокомпонентов, производство и потребление автохимии, горюче-смазочных материалов и др. В итоге наблюдается рост мобильности населения — одной из основных составляющих подъема экономики страны.

Такое развитие традиционной автомобильной промышленности России — прямой результат проводимой правительством промышленной политики в этой сфере и кроме положительных моментов содержит в себе серьезные риски (под традиционной автомобильной промышленностью понимается комплекс из отечественных автомобильных производств и организованных на российской территории ведущими мировыми компаниями сборочных предприятий полнокомплектных автомобилей и автокомпонентов).

На сегодняшний день анализ состояния автомобильной промышленности показывает, что иностранные производители к 2012 г. должны выпускать около 1 млн автомобилей в год и вложить в строительство своих заводов почти 3,0 млрд долл. Однако реализация этих планов обеспечит высокие темпы замещения выпуска отечественной автомобильной техники на зарубежные модели: доля иностранных грузовых автомобилей в общем объеме их производства в 2006 г. составила 3,6 %, в 2007 г. — 5,5 %; легковых автомобилей в 2005 г. — 14,8 %, в 2006 г. — 23,7 %, в 2007 г. — 35,1 %; в автобусостроении в 2006 г. — 0,6 %, в 2007 г. — 4,1 %. При общем росте рынка легковых автомобилей до 2 млн 746 тыс. ед. (на 30,6 % по сравнению с 2006 г.) доля традиционно российских моделей снизилась только за один 2007 г. с 37,3 до 26,1 %, доля иномарок российской сборки увеличилась от 12,8 до 16 %. Подержанные иномарки сохранили свои позиции (14 %), а доля ввозимых иномарок возросла от 35 % в 2006 г. до 43,9 % в 2007 г. (1 млн 206,4 тыс. ед.) [1].

Все более заметные процессы замещения отечественных автомобилей во всех сегментах рынка, а также результаты анализа трансформации парка автомобильной техники вызывают беспокойство. В работе [2] отмечено, что важно обозначить подходы государства к промышленной политике как системной категории и перейти от применения отдельных методов стимулирования автомобильной промышленности к комплексным решениям наиболее актуальных проблем.

Более детальное изучение проблем традиционного автопрома России подтверждает вывод о том, что развитие экономики в 2007 г. выглядит довольно противоречиво — крупные успехи не могут нивелировать внутреннюю неустойчивость ситуации [3].

В результате проверки выполнения федерального законодательства и решений Президента Российской Федерации, направленных на создание условий, обеспечивающих развитие отечественной автомобильной промышленности и ее интеграцию в мировое автомобилестроение, были выявлены недостатки, которые позволили считать деятельность органов государственной власти по улучшению положения дел в отрасли недостаточно эффективной.

Такое состояние дел объяснимо, если учесть, что рост продаж иномарок (ввезенных или собранных на месте), а также нарастающее использование отечественными производителями импортных комплектующих приводит к росту объемов легально вывозимых из страны валютных средств не только в виде выручки иностранных производителей, но и в виде кредитных ресурсов, привлеченных банками на зарубежных финансовых рынках для кредитования растущего спроса на новые импортные автомобили внутри страны. Другими словами, уменьшается инфляционный навес над экономикой, что соответствует проводимой правительством политике.

Не секрет, что вместо того чтобы стимулировать развитие имеющих стратегически важное значение отраслей промышленности с длинным циклом производства, правительство главным экономическим показателем деятельности выбрало "низкий уровень" инфляции, потратив для достижения этой цели огромные ресурсы, которые так и не были направлены на модернизацию.

Такой вывод может показаться жестким. Однако дискуссии, которые идут среди крупных представителей отечественной экономической школы, подтверждают, что почти всегда существует та разумная альтернатива реализуемой правительством политике, которая, почему-то, не находит воплощения в жизни. Например, в работах [4, 5] отмечается, что необходимо форсированно

строить или радикально модернизировать технологии, в том числе российских автозаводов, путем приобретения государством их акций, создания новых предприятий с полным производственным циклом, а также существенного увеличения финансирования НИОКР в качестве антиинфляционной меры, которое обеспечило бы рост эффективности во всех секторах экономики на основе широкомасштабных инноваций. При этом предлагается стимулировать создание высокотехнологических отраслей, обеспечивать свободу рыночной конкуренции и гибкость зарплаты.

Анализируя такие принципиальные вопросы, как экономическая политика России, переход общества к экономике знаний, внешнеэкономические приоритеты страны и другие проблемы, долгосрочная стратегия немыслима без четко обозначенной промышленной политики [6]. В работе [7] предлагается отказаться от фактически ущербной политики и попытаться наверстать упущенное, расширив бюджетное финансирование и кредитование экономики.

Очевидно, что предпочтительным для традиционного автопрома России является осуществление стратегии "догоняющего развития" путем реализации мер по индикативному планированию. Особенности такого подхода широко освещены в работах [8—10]. Долгосрочный вариант стратегии развития автомобильной промышленности до 2020 г. разработало НП "Объединение автопроизводителей России", в которой изложены известные подходы для улучшения условий функционирования "традиционного" автопрома [11]. И хотя в работах [8—9, 11] делать ставку на "технологические прорывы" не советуют, вопросы остаются.

Дело в том, что даже после реализации рекомендуемых мер нерешенными остаются две основные проблемы, которые требуют пристального внимания.

Первое. Неконкурентоспособность отечественной автомобильной промышленности при реализации продукции на рынках индустриально развитых стран и обеспечении притока валютных средств от продажи наукоемких и высокотехнологических продуктов высших степеней передела.

Решение такой задачи в рамках традиционной автомобильной промышленности России не представляется возможным в силу следующих причин:

- > отставание предложения от спроса на внутреннем рынке новых автомобилей. По экспертным оценкам, на внутреннем рынке можно реализовать от 3 до 5 млн новых автомобилей в год в различных ценовых сегментах, но нет соответствующего предложения;
- > так называемые "бюджетные" автомобили иностранного производства, собираемые на месте, по количеству не удовлетворяют спрос и в перспективе могли бы продаваться только на развивающихся рынках;
- > собранные в России автомобили бизнес- и представительского класса практически выпускаются по заказу и имеют полные или более дорогие модификации на зарубежных рынках и не предназначены для экспорта;
- > автомобили (в том числе грузовые и автобусы) отечественной разработки и производства сегодня имеют ограниченный экспортный потенциал и нацелены

ны на определенные ценовые ниши рынков развивающихся стран.

Особенно следует отметить существенное отставание России по объемам затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. Ввиду высокой степени износа основных производственных фондов автомобильных производств большая часть инвестиций направляется на их обновление и модернизацию, в то время как ведущие иностранные автомобилестроительные фирмы в развитие НИОКР вкладывают 5—7 % оборота.

На этом фоне было бы ошибкой считать, что главная задача традиционного автопрома состоит во встраивании в мировую экономику.

Следовательно, для решения данной проблемы необходимо выбрать более эффективные подходы развития.

Второе. Нерешенность проблем, связанных с разработкой и производством новой военной автомобильной техники, во многом определяющей уровень боеготовности и боеспособности Вооруженных Сил Российской Федерации.

В традиционной автомобильной промышленности превалирует коммерческая продукция и практически не ведутся работы по созданию научно-технического задела по автомобильной технике для ВС РФ. Все более широкое применение отечественными производителями автокомпонентов иностранного производства и фактический отказ от создания собственной агрегатной базы в обозримом будущем могут затронуть интересы государства в сфере обеспечения национальной безопасности.

Для определения путей решения данной проблемы следовало бы учесть пример потенциальных конкурентов на рынках военной автомобильной техники. В индустриально развитых странах работы ведутся по трем основным направлениям.

Первое направление можно охарактеризовать как классическое или "подход фирмы Mercedes-Benz", когда достаточно обширная программа армейских автомобилей полностью или в основном базируется на серийной гражданской продукции. В этом случае армейские автомобили являются доработанными вариантами транспортных средств, применяемых в различных отраслях хозяйства. Причем глубина доработки может быть разной, а некоторые образцы могут применяться без всяких переделок или модернизации.

Эффективность такого подхода обусловлена наличием широкой гаммы производимой автомобильной техники, фактически неограниченной номенклатуры современных и перспективных силовых агрегатов, узлов и агрегатов трансмиссии, элементов шасси, автокомпонентов и материалов. При отсутствии названных предпосылок упомянутый подход невозможно реализовать.

Второе направление можно охарактеризовать как рациональное или "подход фирмы MAN", когда основной целью создания семейства многоцелевых автомобилей является решение военных задач, но автомобили технически настолько совершенны, что востребованы в различных отраслях хозяйства и охотно покупаются для гражданских нужд. Реализация такого подхода позволила фирме стать крупнейшим европейским поставщиком специальных армейских автомобилей тактиче-

ского назначения, поступающих на вооружение армий всех стран-членов НАТО и торговать коммерческим вариантом семейства многоцелевых машин.

Реализация такого подхода может быть более приемлемой в условиях наличия относительно большой армии, всех видов вооруженных сил и широкой гаммы решаемых задач в оборонной отрасли страны. Наряду с этим осуществление упомянутого подхода обусловлено наличием у государства (или группы стран) значительной территории с различными географическими зонами и климатическими условиями.

Третье направление можно охарактеризовать как армейское или "подход американских разработчиков", когда автомобили разрабатываются непосредственно для решения конкретных военных задач, являются наиболее эффективными с военной точки зрения, а в других отраслях хозяйства могут быть применены эпизодически, для решения специальных задач, а также в качестве эксклюзивного и престижного гражданского транспортного средства. В качестве примера можно привести как автомобили HMMWV (Hummer), так и тактические или тяжелые грузовые автомобили фирмы Oshkosh. Следует отметить, что HMMWV является новым классом армейского автомобиля с уникальными, разработанными именно для этого автомобиля и не унифицированными с техникой гражданского назначения (кроме двигателя) узлами и агрегатами.

Такой подход в разработке грузовых автомобилей многоцелевого назначения в наибольшей степени приемлем для решения военных задач и напрямую зависит как от заложенных в оборонную доктрину государства соображений, так и объемов финансирования.

Следовательно, для решения проблемы создания новой автомобильной техники для военных нужд необходимо определить направление развития и перечень необходимых мероприятий, в том числе организационного характера.

Именно для решения указанных двух основных проблем и представляется необходимым разработка концепции национальной инновационной программы (НИП) "Создание новой экспортно-ориентированной автомобильной промышленности России".

У традиционной автомобильной промышленности России есть очень важная задача по удовлетворению внутреннего спроса в тех ценовых нишах, которые позволяют, в том числе, обновить автомобильный парк страны и обеспечить все возрастающую мобильность населения. Попытки перестроить традиционный автопром для решения других задач, особенно после 90-х годов, последствия которых только выправляются, а также в рамках реализации стратегии "догоняющего развития", затратны и могут не принести ожидаемых результатов.

Поэтому дальнейшее развитие автопрома превращается в дело тех бизнес-структур, которые работают в отрасли, а функции государства могут быть ограничены элементами индикативного управления в том или ином объеме. Такой вывод тем более уместен, что единственным субъектом организации производства автомобилей и автомобильных компонентов является Правительство России, которое формулирует и реализует промышленную политику исходя из парадигмы

развития страны, ее места в мировой экономике, понимая необходимость обеспечения стратегических интересов государства и комплексного подхода к проблемам национальной безопасности.

"Концепция социально-экономического развития страны до 2020 г.", имеющая в качестве главного ориентира развитие экономики инновационного типа, и предложение сконцентрироваться в ближайшие четыре года на основных направлениях, на своеобразных четырех "и" (институтах, инфраструктуре, инновациях, инвестициях) позволяют определить задачей ближайших лет создание новой отрасли — новой экспортно-ориентированной автомобильной промышленности России.

Выполнение такой задачи возможно в рамках реализации соответствующей национальной инновационной программы, имеющей для экономики мультипликативный эффект:

- дальнейшая диверсификация экономики и развитие машиностроения;
- производство наукоемкой и высокотехнологичной продукции высокого передела;
- развитие человеческого капитала путем инвестирования в экономику знаний;
- создание и развитие новых производств;
- создание перспективных видов военной автомобильной техники и решение задач по обеспечению национальной безопасности;
- приток валютных средств в страну.

Такого рода программа стимулирует рост во многих отраслях экономики, а также в сфере информационных технологий и связи. Из-за комплексного характера новой промышленности будут созданы специализированные производства (например внутри существующих многопрофильных компаний), выпускающие продукцию высокого передела и осуществляющие прямые поставки на конвейеры сборочных заводов.

Для успешной реализации национальной инновационной программы важное значение имеет выбор приоритетов:

- выпуск перспективной высокотехнологичной продукции, востребованной на рынках индустриально развитых стран;
- данная продукция должна быть конкурентоспособной и содержать опережающие технические решения в части экологии, энергосбережения и безопасности;
- такой продукцией могут быть гибридные (как промежуточное звено) и электрические автомобили различных классов индивидуального и общественного пользования;
- для достижения этих целей необходимо обеспечить развитие отраслей по производству новых видов аккумуляторов, электрических машин, систем управления, зарядных станций, сети дорожных парковок с соединительными элементами для зарядки и др.

Такие автомобили будут обладать уникальными экологическими и эксплуатационными свойствами, которые востребованы на рынках индустриально развитых стран сегодня и в еще большей степени — в будущем с учетом постоянного ужесточения требований по защите окружающей среды.

В сфере военного автомобилестроения надо учесть ограниченное количество закупаемой техники и поощ-

рять создание новых производств двигателей, узлов и агрегатов, сборочных производств с малым объемом выпуска. Такой вывод тем более очевиден, что, учитывая состояние дел в традиционном автопроме страны, сегодня наиболее перспективным представляется "подход американских разработчиков".

Следовательно, для реализации национальной инновационной программы существуют следующие предпосылки:

- понимание со стороны государства целей и средств для решения задачи по выпуску конкурентоспособной на рынках индустриально развитых стран продукции автопрома;
- наличие политической воли и программы экономических преобразований;
- наличие кадров исследователей, инженеров, разработчиков и испытателей при надлежащей организации и достаточном финансировании всех этапов работ, особенно НИОКР, способных решить задачи в указанные сроки;
- понимание приоритетов при разработке и производстве автомобильной техники, удовлетворяющей перспективным требованиям по безопасности, экологии и энергосбережению, а также достижение целей в сфере национальной безопасности.

Для реализации программы такого масштаба представляется необходимым организовать оператора программы — непосредственного исполнителя и аккумулировать финансовые ресурсы как из государственного бюджета, так и на условиях государственно-частного партнерства.

В качестве оператора национальной инновационной программы — непосредственного исполнителя может выступить вновь создаваемый на базе ФГУП "НАМИ" национальный научно-исследовательский, испытательный и сертификационный центр автомобилестроения, интегрированный в международную систему сертификации колесных транспортных средств и ГСМ (далее Центр). Центр осуществлял бы координацию работ по НИОКР в автомобильной промышленности в целом и в новой отрасли, в частности, смежных отраслях с учетом разработки и коммерциализации прорывных технологических решений, в том числе двойного назначения. Кроме того, вновь созданный Центр занимался бы системным мониторингом состояния и развития отечественного автомобилестроения (производство, рынок, парк), выработкой технологий осуществления этапов промышленной политики в условиях свободного предпринимательства, разработкой предложений по индикативному планированию и т. д.

Для аккумулирования финансовых средств и их дальнейшего целевого расходования представляется необходимым создание государственного фонда поддержки автомобильной промышленности (далее Фонд), направляя туда:

- долю полученных от приватизации (торговли акциями) средств;
- долю акцизов, полученных от продажи автомобильного топлива;
- долю таможенных сборов, полученных при ввозе автомобилей иностранного производства;

- часть дополнительных доходов экспортеров природных ресурсов, эффективная работа которых во многом зависит от состояния автопарка страны;
- привлеченный под государственные гарантии "амнистированный" капитал, вывезенный ранее из страны, как в денежном выражении, так и в виде оборудования и технологий, необходимых для модернизации или создания новых отраслей производства;
- средства государственного бюджета, направленные на выполнение данной национальной инновационной программы.

Фонд может действовать по примеру зарубежных частных пенсионных фондов, выпускать ценные бумаги, облигации и привлекать средства граждан через банковскую систему, в том числе под товарное покрытие. Проводимые Фондом операции должны быть прозрачными, гласными и контролироваться Счетной Палатой [12, 13].

Фонд осуществляет финансирование Центра как по тематике НИОКР, так и в части организационных расходов; организует прямые инвестиции в новую отрасль автомобильной промышленности, выступает гарантом для привлечения иностранных инвесторов при создании или модернизации существующих заводов по производству комплектующих изделий, новых материалов, специального станочного оборудования, электронных компонентов, приборов и т. п. Сотрудничество с иностранным капиталом должно быть осуществлено только в виде совместных предприятий с соотношением вкладов 50/50, где Фонд может выступить представителем государства.

Целесообразно применить различные методы стимулирования спроса на продукцию новой автомобильной промышленности внутри страны со стороны муниципалитетов больших городов, осуществлять государственные закупки и т. п.

Реализацию национальной инновационной программы целесообразно осуществить в период 2008—2020 гг. в три этапа:

- I этап (2008—2012 гг.) — реализация комплексных инновационных проектов, базирующихся на уже имеющемся научно-техническом заделе по созданию гибридных и электрических автомобилей, нового семейства автомобилей военного назначения и их агрегатной базы;
- II этап (2012—2016 гг.) — реализация комплексных проектов по созданию новых производств, потребительской, сервисной и энергетической инфраструктуры, осуществление продвижения новых продуктов на зарубежные рынки в различных сегментах, стимулирование потребления внутри страны;
- III этап (2016—2020 гг.) — участие в разработке международных стандартов в области гибридных и электрических автомобилей, осуществление поддержки НИОКР по совершенствованию продукции, агрегатной и элементной базы, систем управления в условиях массового производства экологически чистого автомобильного транспорта.

На первом этапе выполнения национальной инновационной программы предполагается реализация комплексных инновационных проектов, базирующихся на уже имеющемся научно-техническом заделе по соз-

данию гибридных и электрических автомобилей, нового семейства автомобилей военного назначения и их агрегатной базы. В том числе, разработка энергетических установок в виде двигателей внутреннего сгорания для гибридных автомобилей со сверхнизкой эмиссией токсичных веществ, агрегатов трансмиссии, нового класса тяговых источников тока, агрегатной базы для электрических автомобилей нового поколения, систем обеспечения комплексной безопасности автотранспортных средств данного класса; модернизация научно-исследовательской и экспериментально-технологической базы вновь созданного Центра; законодательное оформление Фонда и организация его функционирования.

На втором этапе предполагается реализация комплексных проектов по созданию новых производств, потребительской, сервисной и энергетической инфраструктуры, осуществление продвижения новых продуктов на зарубежные рынки в различных сегментах, стимулирование потребления внутри страны. В том числе, предусматриваются государственные закупки первых товарных машин для опытной эксплуатации и отладки инфраструктуры, особенно в больших городах, для быстрой зарядки и замены аккумуляторных батарей; стимулирование приобретения гибридных и электрических автомобилей частным сектором; проведение всесторонних испытаний новых образцов военной автомобильной техники различных классов; участие в международных автомобильных выставках и осуществление политических мероприятий с целью пропаганды достижений новой отрасли промышленности; продолжение НИОКР с целью доведения этого класса техники до массового производства и дальнейшего совершенствования.

На третьем этапе предполагается участие в разработке международных стандартов в области гибридных и электрических автомобилей, осуществление поддержки НИОКР по совершенствованию продукции, агрегатной и элементной базы, систем управления и др. в условиях массового производства экологически чистого автомобильного транспорта. В том числе, освоение технологий, обеспечивающих существенное снижение себестоимости гибридных и электрических автомобилей, увеличение дальности пробега и скачкообразное удешевление бортового электрического оборудования; наряду с поставками на зарубежные рынки стимулирование внутреннего спроса на такой класс техники, особенно при поставках общественного транспорта на электрической тяге; развитие инфраструктуры по быстрой зарядке или смене аккумуляторных батарей; повышение надежности и безопасности агрегатной базы, участие совместно с конкурентами в разработке международных стандартов в данной области.

В рамках разработки концепции НИП "Создание новой экспортно-ориентированной автомобильной промышленности России" сформулирован перечень мероприятий НИОКР первого этапа реализации программы.

Представляется, что предложенная концепция отвечает на вопросы и соответствует критериям, сформулированным в работе [14]. Например, на концептуальном уровне в процессе создания новой экспортно-ориентированной автомобильной промышленности России:

➤ стимулируется создание экспортно-ориентированной экономики и развивается внутренний рынок;

- товарное наполнение экономического роста может иметь межотраслевую структуру;
- экономический рост может происходить на основе государственно-частного партнерства и путем целевого использования перечисленных выше ресурсов;
- субъектом модернизации экономики в области автопрома будет государство, стимулирующее крупный, средний и малый бизнес, привлекая иностранный капитал;
- экономический механизм, обеспечивающий заинтересованность хозяйствующих субъектов в активном участии в проектах структурной модернизации национальной экономики, должен позволить осуществить отбор приоритетов комплексного характера (подтягивая различные отрасли промышленности), выявить актуальные проблемы, подлежащие решению с использованием бюджетных средств.

Мультипликативный эффект от роста целой группы отраслей промышленности способен изменить общий вектор экономической политики и в конечном счете способствует финансовой стабилизации. Кроме того, изложенные меры могут привести к усложнению взаимосвязей в экономике и, как следствие, росту ее устойчивости. Прибавится работы как в отраслях, так и в управленческих структурах государства. Но без целенаправленной и напряженной работы вывести отечественный автопром из кризиса вряд ли удастся.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пашков В., Кравцов Ю. Автопром и авторынок в России: итоги 2007 г. // Рынок СНГ. Автомобили, тракторы. 2008. № 1. С. 16—29.
2. Клепач А. Автопром России 2007: что дальше? // Рынок СНГ. Автомобили, тракторы. 2008. № 1. С. 5—6.
3. Мау В. Экономическая политика 2007 г.: успехи и риски // Вопросы экономики. 2008. № 2. С. 4—25.
4. Фетисов Г. Альтернативы "сырьевой" модели развития российской экономики // Российский экономический журнал. 2007. № 9—10. С. 3—15.
5. Фетисов Г. Динамика цен и антиинфляционная политика в условиях "голландской болезни" // Вопросы экономики. 2008. № 3. С. 36.
6. Абалкин Л. О новой концепции долгосрочной стратегии // Вопросы экономики. 2008. № 3. С. 38.
7. Некипелов А., Голанд Ю. От замораживания к инвестированию: новые подходы к денежно-кредитной и валютной политике // Вопросы экономики. 2008. № 3. С. 51.
8. Полтерович В., Попов В. Эволюционная теория экономической политики. Ч. I. Опыт быстрого развития. Ч. II. Необходимость своевременного переключения // Вопросы экономики. 2006. № 7 (Ч. I). № 8 (Ч. II).
9. Полтерович В. Стратегии модернизации, институты и коалиции // Вопросы экономики. 2008. № 4.
10. Дементьев В. О характере российской "догоняющей модернизации" и ее институциональном обеспечении // Российский экономический журнал. 2005. № 2. С. 21—29.
11. Стратегия развития автомобильной промышленности России на 2008—2015 гг. и на период до 2020 г. // Рынок СНГ. Автомобили, тракторы. 2008. № 1. С. 32—43.
12. Дзоценидзе Т. Д. Перспективы развития российского автопрома // Металлург. 2005. № 8. С. 5—10.
13. Ипатов А. А., Дзоценидзе Т. Д. Технологии промышленной политики и перспективы отечественного автопрома // Грузовик &. 2007. № 12. С. 41—45.
14. Гринберг Р. Российская структурная политика: между неизбежностью и неизвестностью // Вопросы экономики. 2008. № 3. С. 56—63.

И. Ю. ЮНИН, студент, А. Н. ФЕОФАНОВ, д-р техн. наук, О. А. ФЕОФАНОВ, аспирант МГТУ "Станкин"

Перекомпоуемые производственные системы реконфигурируемого производства

Введение

Условия в промышленном производстве за последние несколько лет значительно изменились. Глобализация потоков товаров и информации является наиболее значительным изменением в этой сфере, вследствие чего изменения рынка все более непредсказуемы. Этот фактор необходимо учитывать и при планировании заводов — статические, жесткие структуры производства уходят в прошлое.

Заводы будущего должны будут периодически изменяться и постоянно приспосабливаться к новым условиям. Маленькие, гибкие и способные к изменению производственные единицы, соединенные во временные сети для производства конкретного продукта, будут определять производство будущего. Чтобы достичь гибкости уже сегодня, надо использовать трансформируемые структуры производства. Трансформируемость структур распространяется на здания цехов, технологии, станки и приспособления, а также информационные потоки на производстве и на самих людей.

В этой связи методы планирования заводов также изменятся. Планирование производства будет начинаться с прогнозирования будущих возможных вариантов развития. С помощью таких вспомогательных инструментов, как системы компьютерного планирования и виртуального отображения производства, его планирование и перепланировка станут непрерывным процессом.

В настоящее время необходимо рассматривать не отдельные статьи инвестиций, например, здания цехов, подъемно-транспортную технику или станки, а весь цикл работы фабрики — от планирования запуска первой партии до реконструкции всего производства или его утилизации. Классические методы расчета инвестиций в производство продукта часто оказываются неспособными сделать оценку всей экономичности.

Поэтому расчет инвестиций в строительство завода должен быть расширен с учетом расчета прибылей и убытков во всех фазах существования производства, в том числе и его многократной трансформации.

Новые рынки, изменение потребностей клиентов, новые продукты и услуги, более эффективные технологии и техника оказывают значительное давление на производство продукции. Поэтому постоянно возрастают требования к его реорганизации и реструктуризации. Приспособляемость организационных и производственных структур, новые стратегии логистики, повышенные требования к квалификации сотрудников, интеграция новых средств и процессов производства являются сегодня характерными требованиями, ведущими к необходимости реорганизации и перепланирования производства.

Способность структуры приспосабливаться быстро и с малыми затратами к непредвиденным изменениям обозначается как трансформируемость предприятия. Трансформируемость — это решающий фактор успеха в сегодняшнем мире производства. Лишь предприятия, которые могут вовремя адаптировать свою структуру и имеют для этого быстрые и надежные процессы планирования и внедрения изменений, могут развиваться вместе с возрастающей динамикой рынка.

По аналогии с областью станочного оборудования трансформируемость предприятия можно определить как способность производственной системы реагировать на постоянную необходимость реконфигурации всего производства. При этом данная производственная система изначально спроектирована таким образом, что в ней возможны краткосрочные изменения структуры как в отдельных станочных системах и цехах в целом, так и элементах программного обеспечения. Это необходимо для быстрого переобору-

дования производства в случае изменения программы выпуска продукции в рамках группы конструктивно совместимых продуктов и адаптации к внезапным изменениям рынка или законодательства.

Темпы развития современного производства определены тем, что цикличность обновления технологии и изменение стратегии развития производства должны охватывать очень короткий временной период. В мировой практике развития машиностроения с развитием гибких производственных систем (ГПС) широко осуществляются научные исследования по созданию перекомпоуемых или иначе реконфигурируемых производственных систем, производственных систем изменяющейся компоновки и конфигурации.

Перекомпоуемые производственные системы обладают возможностью изменять свою компоновку и структуру, адаптируясь к требованиям производства. Одним из направлений повышения эффективности машиностроительного производства является создание мехатронных автоматических систем машин, обладающих свойствами изменения компоновки и конфигурации. К современным системам машин автоматического действия относятся гибкие производственные системы (ГПС), обрабатывающие центры (ОЦ), гибкие производственные модули (ГПМ), автоматические линии (АЛ), агрегатные станки (АС) и др.

С развитием ГПС в машиностроении осуществляются исследования по созданию перекомпоуемых (ППС) и реконфигурируемых производственных систем (РПС), производственных систем изменяющейся конфигурации и архитектуры. Перекомпоуемость направлена на изменение конфигурации РПС, ее общего вида в процессе изменения пространственной ориентации, базирования и крепления узлов и механизмов.

Создание ППС способствует развитию производства с переменными параметрами автоматизированного

оборудования и позволяет осуществлять эффективное управление материальными и информационными потоками. Применение ППС направлено на решение следующих производственных задач:

- обеспечение требуемой производительности при изменяющейся номенклатуре выпускаемых изделий;
- поддержание и восстановление работоспособности за счет автоматической перекомпоуемости;
- увеличение жизненного цикла автоматического оборудования.

Производственные системы с изменяемой архитектурой, реконфигурируемые производственные системы переведут уровень развития обрабатывающих производств на уровень 21 века. Это необходимо для реагирования на изменяющийся спрос на продукцию в условиях рынка.

ГПС обеспечивают высокий уровень многосторонней, многоинструментальной обработки в условиях автоматической сменяемости исполнительных узлов. При этом существуют проблемы обеспечения жесткости и точности базирования автоматически сменных узлов и уменьшения упругих деформаций в процессе многоинструментальной обработки деталей. Выбор правильного сочетания параметров точности базирования и жесткости позволит достичь высокой эффективности при изготовлении сложных корпусных деталей на рабочих позициях реконфигурируемых производственных систем.

Необходимость появления ППС

Для выполнения более сложных задач станки объединяют в специализированные производственные линии, которые могут включать сотни агрегатов, соединенных между собой конвейерами, доставляющими материал от одного станка к другому с заданным временным интервалом. В большинстве случаев механическая обработка детали ведется с разных сторон многошпиндельными головками, многолезцовые головки работают одновременно. Учитывая размеры и сложность таких специализированных линий, а также затрачиваемые капиталовложения, становится ясно, что их использование обосновано только для массового производства. Экономия достигает

в основном за счет автоматизации производства и одновременным использованием различных инструментов, а также благодаря длительному сроку применения данного технического решения.

Специализированные станки (СС) разработаны для выполнения конкретных операций и таким образом затраты на них могут быть сокращены. Производители станков на протяжении многих лет совершенствовали их возможности так, что цикл свершения операций невысок, работа стабильна, надежность высока. Однако основным недостатком является то, что при изменениях в проекте одного узла может потребоваться создание совсем новой линии. То же может случиться при необходимости увеличения объемов производства.

Для разрешения такого рода вопросов в начале 1950-х гг. начали разрабатываться так называемые гибкие производственные линии (ГПЛ) с ЧПУ, впоследствии усовершенствованные и широко внедренные в промышленность к 1970-м гг. В отличие от СС, разработанных для отдельных задач и потому недорогих, ГПЛ с ЧПУ разработаны для выполнения широкого спектра операций; гибкость достигнута в основном в ущерб одновременной работе разных инструментов.

И те, и другие линии страдают из-за недостатков, становящихся видными в глобальной экономии, когда потребность в изготавливаемой по заказу продукции диктует необходимость быстрой смены выходного продукта и уменьшения размеров самой линии. В то время как станки ЧПУ обеспечивают в ГПЛ высокую гибкость производства, они не так эффективны для массового производства, как СС. С другой стороны, ГПЛ со СС имеют высокую производительность, но не имеют возможности быстрого перехода на выпуск новой продукции или быть адаптированными для изменения объемов производства или ассортимента. Включение станков с ЧПУ в состав специализированных DML линий (СЛ) с целью увеличения гибкости производства не решило полностью поставленную задачу. Это вызвало снижение коэффициента использования станков и недостаток производительности их специализирован-

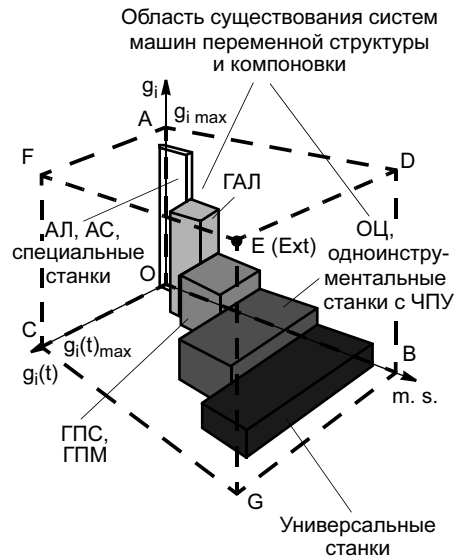


Рис. 1. Гистограмма распределения области существования систем машин в системе координат (g_i — технико-эксплуатационный параметр (производительность); $g_i(t)$ — скорость изменения параметра g_i (гибкость), $m. s.$ (machine system) — тип системы машин)

ных аналогов. Гибридные системы, содержащие станки ЧПУ как участки общей производственной линии, представляют одну из попыток решения конфликта между гибкостью и производительностью линии. Гибкие производственные модули (ГПМ) являются другим решением, при котором большая часть агрегатов может быть заменена одним или двумя модулями, находящимися недалеко друг от друга. На рис. 1 условно показано соотношение между гибкостью (или ассортиментом) и производительностью (или объемами) для разных автоматизированных систем [1].

Во многих случаях та середина между максимумами, обусловленными СС и ГС, и есть ожидаемые перенастраиваемые RMS производственные системы (ГПС), которые объединяют преимущества СС и ГС и обеспечивают экономически обоснованное решение. Эти системы разработаны для обеспечения необходимого диапазона производственных нужд (т. е. ассортимента и объемов). Кроме того, ГПС характеризуются заданной гибкостью, так, они удовлетворяют заданным производственным потребностям, но в то же время могут быть экономно переве-

дены на другой тип производства. Таким образом, эти системы экономичны и надежны, так как они специально настроены на заданные параметры производства, их затраты минимизированы, а гибкость их конструкции позволяет без существенных затрат удовлетворить повышенные производственных требований.

Насколько трансформируемы сегодняшние производственные структуры и как они будут выглядеть через 20 лет? Автомобильный завод 2020 г. внутренне и внешне будет совсем не похож на сегодняшние заводы.

Спрос требует все большего числа индивидуально подогнанных под требования клиента транспортных средств и одновременно меньшего времени поставки готовых изделий. Размер партии в один образец скоро перестанет быть утопией, а станет требованием производства. Тенденция идет к тому, чтобы строить на заказ.

Структура заводов состоит из цехов, которые включают производственные здания и оборудование. Основные цехи — прессовый, кузовной, окрасочный, сборочный.

Ни один из данных цехов не может функционировать без материально-технического обеспечения — логистики. Управление и контроль качества также являются очень важными функциями, и их значимость повышается с ростом степени гибкости и трансформируемости производства.

Все элементы стандартной структуры рассортированы на "негибкий", "гибкий" и "фиксированный" в соответствии с их возможностью перемещаться внутри структуры и местоположением на территории фабрики или за ее пределами.

Ситуация в автомобильной промышленности страны, где расположен завод, может развиваться отрицательно, так что программа выпуска должна будет снижаться. Например, дорогой автомобиль S-класса нельзя будет продавать, как было запланировано в момент строительства завода, и его производство необходимо будет перевести в другое место. Эта возможность также предусмотрена и заключается в том, что все цехи уменьшатся в площадях и будет строиться промышленный парк, включающий производст-

во модулей системными поставщиками. Этот промышленный парк будет соединен со сборочным цехом транспортным конвейером для подачи модулей на сборку [2].

Наконец, может выявиться, что количественные соотношения между программами выпуска отдельных модельных рядов необходимо сдвинуть, а число вариантов в каждом модельном ряду резко увеличить. Соответственно должна будет отреагировать логистика, которой понадобятся площади не под один, а под два промышленных парка. Все эти сценарии развития нужно было предвидеть и, соответственно, отразить в планировке (структуре) завода так, чтобы эти адаптации были возможны с наименьшими затратами. Поэтому не только строительные конструкции цехов предусматривались с возможностью их увеличения и уменьшения, но и их расположение на территории выбиралось так, чтобы можно было построить как вторую ступень производства, так и промышленные парки поставщиков.

Именно такая структура и будет отвечать требованиям частой адаптации производства к изменяющимся окружающим условиям в будущем. Спроектированный таким образом завод будет обладать потенциалом для трансформации.

Обзор существующих производственных систем показывает, что системы обладают рядом недостатков и не всегда соответствуют требованиям современного рынка. В современных условиях, когда спрос на товары и услуги все время меняется, а компании находятся в условиях жесткой конкуренции, необходимы производственные системы принципиально нового типа, которые могли бы быстро и экономически эффективно реагировать на все рыночные изменения. Необходима реконфигурируемость — инженерная технология, которая является экономически эффективной и быстро реагирует на все рыночные изменения.

Такие системы сейчас разрабатываются и проектируются. Это так называемые реконфигурируемые (переналаживаемые) производственные системы (РПС) — системы будущего, принципиально новый подход к решению задач современного производства.

Необходимость появления РПС вырастает из непредсказуемых рыночных изменений, которых с каждым годом становится все больше.

Эти изменения включают увеличение частоты появления на рынке новых продуктов; изменения в существующих изделиях; больше требований к изделиям; изменения в технологических процессах изготовления изделий.

Эти изменения управляются агрессивной экономической конкуренцией мирового масштаба, более образованными и требовательными покупателями и быстрыми темпами развития новых технологий. Чтобы соответствовать требованиям новой производственной среды, компании должны быть в состоянии реагировать на изменения быстро и с минимальными затратами на переналадку действующего производства.

Время производственного цикла (время проектирования и строительства или переналадки существующей системы, а также наращивание ее производственной мощности для высококачественного производства изделий в требуемых объемах) является сейчас узким местом в машиностроении.

Время производственного цикла необходимо уменьшить. Уменьшение достигается посредством быстрого проектирования системы, которая создается из модульных компонентов, или переналадкой существующей системы для производства новых продуктов. В процессе производства нового продукта и внесения изменений в существующие продукты новые функции должны быть добавлены в производственную систему посредством реконфигурации. Много периодов реконфигурации будут иметь место в течение жизненного цикла системы.

Другой тип реконфигурации необходим, чтобы справляться с большими колебаниями спроса на продукты, зависящего от состояния рынка. Необходима система, чья производственная мощность приспосабливается к колебаниям спроса на продукт. Существующие производственные системы не соответствуют этим требованиям, диктуемым новой конкурентной средой. Поэтому необходим принципиально новый класс систем.

Краткий обзор существующих производственных систем

Развитие узкоспециализированных систем началось с развития узкоспециализированных станков, которые появились в начале 20 века и использовались для массового производства изделий одинаковой номенклатуры. Такой способ производства не являлся гибким, так как требовалось около 150 различных станков для производства ограниченного числа изделий, а смена номенклатуры выпускаемых изделий занимала много средств и времени.

Современные узкоспециализированные системы и линии (поточные жесткие линии) основываются на дорогой автоматике и производят изделия одной номенклатуры в больших объемах. Высокая производительность достигается за счет обработки изделий одновременно несколькими инструментами на одной позиции (многоинструментальная обработка).

Применение таких систем экономически оправдано только тогда, когда спрос на выпускаемые изделия превышает предложение. В этом случае может быть использована вся производственная мощность системы. В противном случае не используются все производственные возможности системы и использование системы себя не оправдывает, так как является экономически невыгодным.

К недостаткам данных систем также можно отнести то, что системы данного типа жесткие, т. е. нельзя увеличить производственную мощность системы, нельзя переналадить систему на выпуск изделий другой номенклатуры, поскольку процесс переналадки очень дорогостоящий и занимает много времени.

ГПС принесли в производственный процесс гибкость. Гибкость — способность произвести продукт высокого качества по низкой цене в кратчайшие сроки.

Создание гибких производственных систем основывается на применении обрабатывающих центров (ОЦ), многооперационных станков с программным управлением (МС с ПУ), гибких производственных модулей (ГПМ), оснащенных средствами автоматизации загрузки, транспортирования и складирования заготовок.

Рынок предъявляет новые требования к производству:

- быстрая обновляемость продукции и сокращение жизненного цикла изделий, а также затрат, связанных с обеспечением их службы;

- расширение номенклатурного ряда изделий для удовлетворения требований потребителя;

- повышение качества и конкурентоспособности изделий по критерию качество/цена;

- усиливается давление социального фактора (дефицит и дороговизна квалифицированного труда) и факторы охраны окружающей среды (утилизация отходов).

Согласно оценке на ближайшие 30—60 лет, прогнозируется дальнейший рост автоматизации производства. Обостряется конкуренция в отраслях промышленности, выпускающих конечную продукцию: автомобилестроении, авиастроении. Мировой энергетический кризис заставил автомобильную промышленность перейти от двигателей внутреннего сгорания большого объема к двигателям меньшего объема. Капиталовложения, затраченные на изготовление переналаживаемых АЛ, обесценились. Особенностью современного машиностроения являются рост номенклатуры выпускаемой продукции, снижение программы ее выпуска и сокращение длительности производственного цикла. Для удовлетворения требований потребителя необходимо, чтобы оборудование допускало бы переналадку при смене изделия.

Автоматические линии (АЛ) — совокупность агрегатных и специальных станков, установленных в порядке следования технологического процесса. АЛ проектируются на определенную обрабатываемую деталь.

Переналаживаемая автоматическая линия (ПАЛ) — линия, предназначенная для обработки заранее известных при проектировании деталей. Число типоразмеров таких деталей может достигать 10.

Гибкая автоматическая линия (ГАЛ) — линия, которая может обрабатывать новые детали, не известные на стадии проектирования линии.

Производство на АЛ проходит три стадии развития:

- освоение производства с неполной загрузкой;

- производство с полной загрузкой оборудования;

- выпуск запчастей к снятому с производства изделию [3].

АЛ обладают конструкционной гибкостью — возможностью многоразового использования унифицированных узлов и деталей при переналадке на выпуск новых изделий.

Технологическая гибкость АЛ — возможность выполнения новых переходов с заданной точностью. Для этого необходимастройка нового оборудования, изменение транспортной системы и системы управления.

Структурная гибкость — возможность модификации АЛ за счет введения новых технологических модулей.

Гибкость по объему выпуска номенклатуры — способность АЛ функционировать при разных программах выпуска продукции.

Операционная гибкость — возможность наладки рабочих позиций на индивидуальное управление режимами функционирования.

Первые переналаживаемые АЛ были спроектированы для ручной переналадки на две—три детали, современные переналаживаемые АЛ являются автоматически переналаживаемыми на любую деталь, входящую в группу. Количество деталей в группе растет, а периодичность запуска партий деталей и их величина уменьшаются.

Задача, связанная с созданием переналаживаемых АЛ, может решаться следующими способами:

- созданием резервных позиций, предназначенных для последующейстройки дополнительного оборудования;

- введением оборудования для обработки одной из деталей, входящей в заранее сформированную группу;

- догрузкой нелимитирующего обрабатывающего оборудования аналогичными операциями по обработке других деталей;

- выявлением зон совместимости по обработке нескольких корпусных деталей и выделением этих операций на одноименное обрабатывающее оборудование.

В настоящее время стало возможным производить различные виды изделий и при этом менять их номенклатуру и объем выпуска с меньшими в несколько раз временными и финансовыми затратами.

ГПС состоит из дорогостоящих многоосевых станков с ЧПУ, которые могут работать параллельно, и системы транспортировки материалов и деталей. При этом система управляется одним или более компьютерами, что позволяет ей вести обработку изделий одной или нескольких групп без человеческого вмешательства.

ГПС может иметь несколько уровней: гибкая производственная ячейка (ГПЯ), гибкий производственный модуль (ГПМ), гибкий производственный цех (ГПЦ). Основной функцией ГПЯ и ГПМ является группирование оборудования для производства определенных наименований изделий таким образом, чтобы повысить производительность. Ячейки спроектированы для управления всеми операциями процесса, начиная с получения материала и заканчивая получением готового изделия. ГПЯ экономически эффективны при мелкосерийном производстве различных изделий.

Из-за отсутствия многоинструментальной обработки производительность ГПС ниже, чем узкоспециализированных производственных систем. При этом стоимость ГПС очень высока, так как при проектировании станков с ЧПУ стараются вложить в них изначально как можно больше различных функций, чтобы сделать систему универсальной, а это очень дорогостоящее решение. Основные функции станков с ЧПУ проектируются до того, как производитель выбирает станки, и перед планированием процесса предусматривается адаптирование станков и процессов к производству конкретной детали. Так как особенности применения станков с ЧПУ на конкретном заводе не известны, ГПС и станки спроектированы со всеми возможными встроенными функциями. Это создает очень большие расходы. Также существует мнение, что ГПС следует иметь возможность производить любые изделия любой номенклатуры и в любой последовательности. Эти свойства увеличивают стоимость системы, так как это требует параллельной системной структуры для ГПС, использования мощных, многокоординатных станков с ЧПУ с большим запасом и комплектом инструментов, а это очень дорогое решение.

Высокая стоимость и низкая производительность делают ГПС при всех ее достоинствах малопривлекательной для производителей.

ГПС — совокупность металлообрабатывающего и вспомогательного оборудования (транспортного, накопительного и т. п.), работающего в автоматическом режиме и с единой системой управления. В состав ГПС входит несколько обрабатывающих центров. Перемещение заготовок осуществляется по схеме станок—склад—станок [3]. ГПС обеспечивают высокую мобильность, равную мобильности единичного производства.

В России компоновка всегда являлась основополагающей характеристикой оборудования в машиностроении и особенно станкостроении. Компоновка рассматривается как комплексное понятие и показывается, что это прежде всего система расположения узлов и направляющих, отличающаяся структурой, пропорциями и свойствами. Рассматриваются несколько стадий построения компоновок: технологическая, координатная, базовая, конструкционная. Технологические компоновки основываются на типизации и структурном анализе технологических процессов и затрат времени. Координатная компоновка описывает координатное расположение, раскрывает состав и порядок выполнения координатных движений в станке. Базовая определяет тип станка в зависимости от вариантности базовых узлов. Конструкционная компоновка раскрывает конструктивное исполнение, технические характеристики узлов и системы машин [1].

Компоновка — это состояние производственной системы, которое характеризует комбинация узлов и механизмов единой функционирующей системы, строго упорядоченная в пространстве, во времени, по выполняемым функциям и как следствие определяющая облик, конфигурацию, движения материальных, технологических, транспортных потоков системы. Если система машин имеет переменную компоновку, то перекомпоновка может быть осуществлена только через автоматическую смену узлов.

Предпосылки и причины возникновения научного направления создания перекомпоновываемых производственных систем

Современные системы машин, такие как обрабатывающие центры (ОЦ), робототехнические комплексы (РТК) и др., на основе которых развиваются современные гибкие автоматизированные производства, имеют недостатки: не обеспечивают высокой производительности и надежности в процессе эксплуатации при изменяющихся условиях требований рынка; не обеспечивают необходимую гибкость с изменением быстроты смены многономенклатурного производства; являются дорогостоящими, занимают большую производственную площадь.

В силу жесткости структуры ограничены возможности расширения номенклатуры обрабатываемых деталей, существенного увеличения производительности и эксплуатационной надежности. ОЦ, ГПМ, ГПС остаются стационарными системами по своей структуре и компоновке и являются малопродуктивными, громоздкими, дорогостоящими.

Для различных типов производств технико-эксплуатационному параметру g_i системы машин соответствует различное значение скорости и частоты изменения $v_g = g_i(t)$, гибкости по изменяемому параметру g_i (см. рис. 1).

С увеличением скорости $g_i(t)$ (гибкости) значение параметра g_i (производительности) уменьшается. Существующие концепции развития станкостроения продолжают опираться на платформу совершенствования станочных систем машин с жесткой структурой, не изменяющейся конструкцией в процессе эксплуатации, развивая тенденции традиционной привязки системы машин к типу производства. Станки-автоматы с ЧПУ, ОЦ предназначены для встраивания в системы машин и применения их в условиях серийного производства. ГПМ составляют содержание и качественную сторону ГПС. ГАЛ на базе агрегатных узлов с ЧПУ применяют в крупносерийном производстве. Для существующих систем машин область изменения параметров $g_i, g_i(t), m.s.$ занимает ограниченную и незначительную

часть пространства OAFGBDE по соответствующим координатам (см. рис. 1).

Не существует универсальных станков, которые имели бы производительность, равную современным автоматическим линиям, нет и автоматических линий, имеющих гибкость универсальных станков. Основной проблемой остается преодоление противоречия между производительностью g ; и гибкостью $g_i(t)$.

Для массового производства создаются и эксплуатируются переналаживаемые (жесткие) автоматические линии (АЛ) и агрегатные станки (АС), на которых обеспечивается наиболее высокая производительность и существенно меньшая стоимость, чем ГПС. В крупносерийном производстве расположились ГАЛ. В то же время в серийном производстве применяют ОЦ, многооперационные станки с ЧПУ (МС), ГПМ и на их основе создаются гибкие производственные системы (ГПС). Эти системы машин являются многоименными, решают проблемы гибкой технологии, но значительно отстают по параметрам производительности и стоимости от АЛ, АС массового производства. Получает широкое развитие направление создания гибких автоматических линий на базе агрегатных узлов с ЧПУ. Станочные системы машин гибкого производства, такие как ОЦ, ГПМ, ГПС, остаются стационарными системами по своей компоновке при имеющейся гибкости выполнения технологического процесса. При этом они остаются малопроизводительными и требуют большие производственные площади. При существующем уровне развития средств и систем автоматизации возникает производственное противоречие, когда необходимо уменьшать избыточность функциональных и технологических возможностей системы машин в скомпонованном состоянии для каждой рабочей позиции, но при одновременном увеличении производительности и гибкости, уменьшении стоимости [1].

Для перекомпоновываемых производственных систем пределом достижения значений технико-эксплуатационных параметров является экстремум E (Ext).

Тенденции структурно-компоновочных преобразований автоматических систем машин

К числу основных тенденций развития перекомпоновываемых производственных систем относятся:

- разработка автоматических процессов видоизменения технологии, компоновки системы машин в условиях действующего производства в режиме реального времени;

- оптимизация технико-эксплуатационных параметров: гибкость — производительность — надежность — жесткость — точность — стоимость;

- автоматизация процессов обработки изделий на рабочей позиции во время эксплуатации;

- снятие проблемы "чувствительности" системы машин к изменению условий эксплуатации в зависимости от типа производства;

- управление системой машин при условии изменения и автоматического поддержания требуемой производительности, надежности и качества выпускаемой продукции [4].

Стационарность компоновки и структура с жесткими межузловыми связями системы машин всегда являлись главным ограничением решения вопросов развития гибкого производства.

Системы машин автоматического действия можно разделить на три класса: СЖС — системы машин жесткой структуры, неизменяющейся конструкции, без автоматической смены узлов; СЧПС — системы частично переменной структуры с автоматически сменным инструментом и оснасткой; СПС — системы переменной структуры с автоматической сменой узлов. В машиностроении с массовым и крупносерийным типом производства получили наибольшее применение системы машин жесткой (автоматически не изменяющейся, постоянной) структуры (СЖС). На стыке развития автоматических линий и современных производственных систем на базе станков с ЧПУ системы машин приобретают признаки развития автоматизации процесса с частичным видоизменением структуры. При наличии автоматизации смены инструмента, инструментальной оснастки системы машин гибкого производства (многооперационные станки —

ОЦ, ГПМ, ГПС) можно отнести к системам машин частично переменной структуры (СЧПС).

Решение проблемы развития машиностроения сводится к поиску путей и преодолению комплекса противоречий по схеме "гибкость—производительность—надежность—точность—жесткость—стоимость", где главным противоречием остается увеличение гибкости при одновременном увеличении производительности.

Проектирование и конструирование

Современный период развития научного направления создания перекомпоновываемых производственных систем характеризуется тем, что в мировой практике не существует пока единого сложившегося стереотипа конструктивных и технологических принципов проектирования перекомпоновываемых производственных систем. В мировой практике формируются несколько научных школ развития перекомпоновываемых производственных систем.

Элементами компоновки ППС являются автоматически сменные узлы. Узлы являются одноуровневыми агрегатными модулями. Из двух и более одноуровневых агрегатов компонуется многоуровневый агрегат. Скомпонованный многоуровневый агрегат, наделенный технико-эксплуатационными параметрами на время функционирования, становится технологическим комплектом ППС.

Принцип агрегатного построения автоматических систем машин не нов. На его основе проектируются и создаются АЛ, АС, ГПМ, ГПС. С применением агрегатного построения решаются проблема увеличения жизненного цикла и проблема омоложения системы за счет смены агрегатов, подверженных физическому и моральному износу.

Для каждых двух узлов-агрегатов один из узлов большего иерархического уровня является базовым, т. е. является носителем по отношению к узлу меньшего уровня структурной иерархии. На носителе размещен другой узел и он называется носимым узлом. Тогда любая многоуровневая система машин будет составлять набор узлов агрегата

тов, из которых каждый узел большей структурной иерархии будет являться носителем для расположенных на нем узлов меньшего уровня структурной иерархии. В силу чего многоуровневая система машин будет состоять из одноуровневых агрегатов, компокуемых на различных уровнях структурной иерархии.

Рассматривая носители как автоматически сменные узлы-агрегаты, можно выделить две группы ветвей компонования на рабочей позиции ППС:

- ветвь, объединяющая носители, узлы и агрегаты для технологического воздействия на изделие (ветвь технологического воздействия);
- ветвь носителей, узлов и агрегатов для базирования и крепления изделий (ветвь базирования и крепления изделия). Для существующих систем машин (АЛ, ГАЛ, ГПС) ветви соединены между собой у основания.

Автоматически сменные модули призматической формы — носители и их влияние на компоновку ППС

К числу основных узлов ППС относятся носители в виде полой многогранной призмы. Носитель является автоматически сменным транспортно-технологическим устройством, на боковых гранях корпуса или внутри корпуса которого базируются и крепятся обрабатываемые изделия или исполнительные узлы (рис. 2).

Носитель имеет число граней $n_{гр}$ с наружных боковых сторон призматического корпуса, которое характеризует число боковых сторон корпуса носителя для базирования и закрепления заготовок с получением обработанных деталей. Для носителя на рис. 2 $n_{гр} = 6$. Расположение деталей на гранях обеспечивает доступность подвода группы инструментов по направлению инструментального воздействия к любой из шести граней.

Поскольку деталь на боковой грани подвергается инструментальному воздействию с возможностью многокоординатного направления и подвода инструмента, а носитель позволяет осуществлять многостороннее размещение деталей на боковых

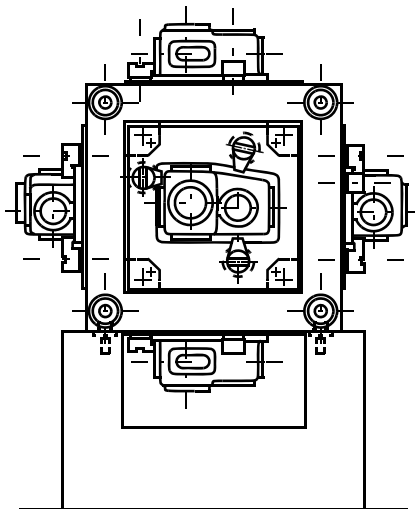


Рис. 2. Автоматический сменный модуль — носитель призматической формы для базирования и крепления обрабатываемых деталей, приспособлений, исполнительных механизмов

гранях, то достигается многоместность размещения деталей, многосторонность и многоинструментальность обработки одновременно группы деталей на различных боковых гранях. На боковых гранях выполнены базирующие отверстия.

Носители имеют широкий спектр конструктивных, технологических и технико-эксплуатационных признаков:

- применение в качестве носителя обрабатываемых изделий с возможностью многоместной, многосторонней, многоинструментальной обработки;
- возможность базирования и закрепления деталей как на наружных гранях корпуса максимально для всех сторон на каждой грани, так и при необходимости внутри корпуса носителя для технологического воздействия на деталь через окна в боковых гранях;
- возможность автоматического базирования и крепления на наружных гранях корпуса носителя сменных плит — приспособлений для крепления деталей;
- возможность установки, распределенного базирования и крепления автоматически сменного носителя с обрабатываемыми деталями на рабочей позиции, а также смены, транспортирования и автономного использования плит — приспособлений с деталями для выполнения различ-

ных технологических операций вне рабочей позиции;

- многофункциональная возможность применения и использования носителя для сменного вспомогательного и режущего инструмента, сменных многошпindelных головок, сменных магазинов концевых инструментов;
- увеличение технологических возможностей. Корпус носителя выполнен в виде многогранника, в частности, в виде куба, призмы. Корпус снабжен внутренней полостью, наружными гранями. На гранях расположены окна, которые сообщаются с внутренней полостью.

Технические решения предусматривают выполнение носителя с элементами базирования со всех сторон корпуса, допускают использование и смену положений боковых граней корпуса для сочленения с агрегатами на рабочих позициях и с ветвями транспорта, расположенных в различных координатных плоскостях и направлениях. Наличие элементов базирования на боковых гранях корпуса носителя приводит к сочленению на рабочих позициях других носителей и исполнительных узлов со стороны различных граней транспортируемого носителя деталей [5].

Размещая носители обрабатывающих узлов и носители обрабатываемых деталей на базовые носители (станины и основания), кинематическое замыкание будет характеризоваться гибкими сочленениями исполнительных узлов, относящихся к ветви технологического воздействия и ветви базирования и крепления деталей. Имеется возможность осуществлять многовариантное соединение носителей различных ветвей (рис. 3).

Наличие развитых опорных поверхностей боковых граней корпусов дает основание для совершенствования автоматизации базирования, крепления носителей между собой, что приводит к решению задач повышения жесткости и точности. Введение сочленения непосредственно между носителем обрабатывающих исполнительных узлов и носителем обрабатываемых деталей обеспечивает кинематическую связь между базовыми частями обрабатывающего узла и зажимного

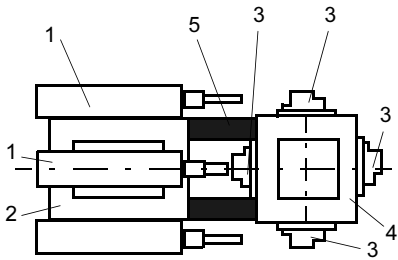


Рис. 3. Компонование рабочей позиции ППС с применением носителей обрабатываемых модулей и обрабатываемых деталей с односторонним соединением носителей

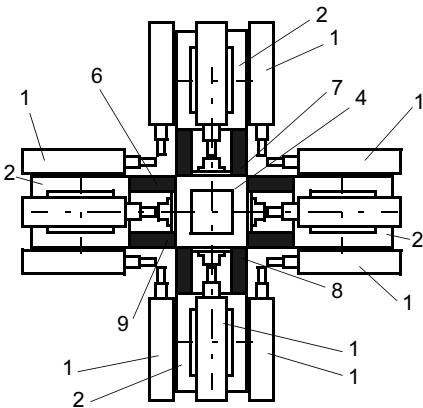


Рис. 4. Компонование рабочей позиции ППС с применением группы носителей обрабатываемых модулей и обрабатываемых деталей с многосторонним соединением носителей

приспособления деталей на время обработки при наличии базовых несущих конструкций — станины и основания. По отношению к корпусу носителя обрабатываемых деталей кинематическое замыкание допускается со стороны различных граней корпуса (рис. 4).

При вертикальном расположении многоинструментального обрабатывающего узла по отношению к носителю деталей допускается жесткое соединение по верхней грани корпуса носителя на время обработки.

Для отдельно взятого агрегата исполнительных узлов 1, размещенных на носителе 2 ветви технологического воздействия, будет применена одна грань сочленения и кинематического замыкания агрегата с носителем 4 обрабатываемых деталей 3. Между двумя носителями 2, 4 (см. рис. 3) определены пространство (зона) и механизмы кинематического замыкания 5. Относитель-

но носителя 4 с деталями выполняются условия кинематического замыкания множества носителей 2 с исполнительными узлами 1 со стороны различных граней корпуса носителя 4 деталей (см. рис. 4) через зоны кинематического замыкания 6—9.

При условии ввода кинематического замыкания увеличивается концентрация инструментального и технологического воздействия на изделие, концентрация процессов обработки, расширяются технологические возможности системы машин с возможностью инструментального воздействия на детали. Как минимум два носителя ветвей компонования будут иметь кинематическое замыкание, когда между двумя носителями реализованы межфункциональная связь и взаимодействие на время совместного функционирования или в процессе обработки [6].

Перекомпоновываемые производственные системы как основа производства

Последние годы в мировой практике развития машиностроения являются периодом становления многовариантного (реконфигурируемого) производства, отличающегося переменной структурой и взаимосвязями всех материальных, производственных и информационных потоков. Этот период характерен тем, что преобладающие стратегии развития каждого в отдельности типов производств: массового производства (например в автомобилестроении), рассчитанного на постоянный многолетний выпуск товарной продукции одной модели, крупносерийного, мелкосерийного изживают себя и в условиях жесткой конкуренции. Производство преобразуется в многовариантное (реконфигурируемое), т. е. производство переменного типа от массового до индивидуального.

Реконфигурируемое производство является направлением преобразования гибкого в высокопроизводительное производство, для которого программа и объемы выпуска могут изменяться в пределах от массового до индивидуального производства.

Основным содержанием реконфигурируемого производства становятся разработка, исследования и создание комплекса ППС, кото-

рые могли бы в силу модульности конструкции автоматически изменять структуру, компоноваться и перекомпоновываться для решения конкретной производственной задачи.

Для решения технико-эксплуатационных проблем, определяющих применение ППС в реконфигурируемом производстве, могут быть сформулированы основные требования:

- автоматическое изменение структуры и компоновки при наличии автоматической сменяемости узлов с одновременным изменением технологического процесса и структуры;

- автоматическая переналадка, необходимость применения узлов с автоматическим регулированием и сменой инструмента определяются в процессе изменения технологического процесса;

- состав системы машин должен характеризоваться наличием быстросменных и автоматически сменных узлов — агрегатов различного функционального и технологического назначения с возможностью автоматического формирования компоновок различного иерархического уровня и формирования рабочих зон обработки и мест расположения на производственной площадке;
- обеспечение требуемой производительности при изменяющейся номенклатуре и программе выпускаемых изделий с достижением заданного документацией качества обрабатываемого изделия;

- функционирование и управление системы машин в условиях гарантированного обеспечения эксплуатационной надежности и работоспособности на весь период выполнения программы для скомпонованного исполнения системы машин. Поддержание и восстановление работоспособности обеспечивается за счет автоматической сменяемости узлов на различных уровнях иерархии с возможностью автоматической подналадки и регулирования.

Реконфигурируемое производство требует создания производственного пространства (рис. 5).

Из носителей, агрегатных модулей автоматически компоуются технологические комплекты рабочих позиций. Технологические комплекты позволяют осуществлять формирование ППС с возможностью на-

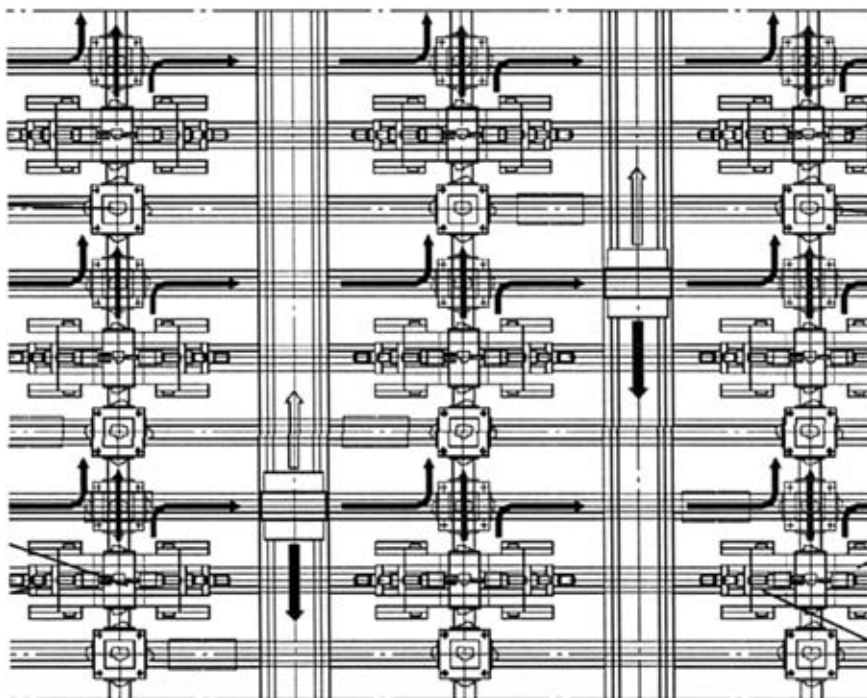


Рис. 5. Схема реконфигурируемого производства на основе ППС

рацивания (увеличения иерархии системы) или сужения (уменьшения иерархии).

Покрывание площади компоновки набором носителей и агрегатов определяет формирование структуры. Формируются технологические комплекты рабочих позиций, используются базовые носители, носители исполнительных и обрабатывающих узлов, носители обрабатываемых деталей, оснащенные сменными узлами с ЧПУ, приспособлениями, инструментом. Используются многофункциональные носители.

Пространство компоновки с целью выполнения производственных функций подвергается автоматическому заполнению, изменению во времени с возможностью структурно-компоновочного преобразования.

На носителе осуществляется одновременная обработка деталей на боковых гранях. При общем числе граней, равном 6, на корпусе носителя одновременно на всех гранях детали подвергаются многосторонней обработке с двух сторон многоинструментальными узлами. Возможность доступа инструмента обрабатывающих узлов к обрабатываемым деталям на гранях корпуса носителя обеспечивается свободной зоной подвода инструмента.

Обрабатывающие узлы и носитель являются автоматически сменными. Реализация смены исполнительных и обрабатывающих узлов также осуществляется с помощью межпозиционного транспорта [1].

Применяя многогранные носители с многоместной одновременной обработкой деталей на боковых гранях, обеспечивается на каждой рабочей позиции высокий уровень концентрации процесса обработки с достижением большой точности обработки и повышенной жесткости конструкции носителя. Это позволяет в несколько раз сократить число рабочих позиций по сравнению с традиционными автоматическими линиями и гибкими производственными системами.

Переменность компоновки оборудования и концентрация процесса обработки осуществляется при одновременном решении многоинструментальной и многосторонней обработки нескольких деталей одного наименования на одной рабочей позиции с применением автоматически сменных многоинструментальных узлов.

Скомпонованная ППС приобретает следующие переменные свойства:

— объем заполнения пространства и его видоизменение соответствует номенклатуре и программе

выпускаемых изделий, технико-эксплуатационным параметрам;

— уровень автоматизации изменения состава узлов определен преобразованием структуры на различных уровнях структурной иерархии;

— в процессе преобразования пространства осуществляется изменение функционального назначения перекомпоновываемых производственных систем, а также перераспределение объемов пространства и производственной площади;

— допускается преобразование перекомпоновываемых производственных систем и функционирование в трех режимах (полного преобразования структуры и компоновки, частичного преобразования структуры и компоновки, режим автоматической поднастройки, подналадки).

Режим частичного преобразования можно назвать режимом поузлового омоложения системы машин, что особенно необходимо при эксплуатации и моральном старении узлов и частичной потере работоспособности перекомпоновываемых производственных систем.

Возможность перекомпоновки, поузлового управления и регулирования позволяет рассматривать ППС не как стационарную производственную систему станков-автоматов с межпозиционными транспортными потоками изделий, а как динамичную производственную среду, структурно изменяющуюся в зависимости от задач производства (см. рис. 5).

Со временем в процессе эксплуатации перекомпоновываемая система стареет по количеству утилизированных (по причине физического износа и морального старения) узлов. В сопоставлении со стареющим живым организмом происходит отмирание клеток. Наступает состояние (остающееся в целом работоспособное) системы машин, при котором число заменяемых узлов обновляется, система декомпозируется и трансформируется со старой базы узлов на новую, меняя свою архитектуру, но сохраняя свою живучесть для выполнения последующих технологических процессов.

Жизненный цикл ППС должен продолжаться при износе и смене узлов. По мере физического и морального износа узлов и компонентов происходит автоматическая сме-

на их и омоложение — омологация всей системы, изменение ее архитектуры на пространстве компоновки. Тем самым, при условии омологации и увеличения жизненного цикла, изменяя структуру и компоновку, ППС усовершенствуется и продолжает функционировать, снимая тем проблему и сроки утилизации самой системы с возможной утилизацией ее узлов. Узлы утилизируются, система обновляется новыми узлами и продолжает функционировать. Принимая во внимание многоуровневую смену узлов, осуществляется функционирование системы в условиях гарантированного обеспечения эксплуатационной надежности и работоспособности на продолжительный период жизненного цикла. Происходит многократное увеличение жизненного цикла, превышающего жизненный цикл современного автоматизированного оборудования.

Основными критериями поддержания непрерывного функционирования ППС являются живучесть системы, увеличение длительности жизненного цикла, возможность сохранять работоспособность и удовлетворять при этом всем техническим требованиям: точность, производительность, гибкость обработки деталей неограниченной номенклатуры, надежность.

Увеличение жизненного цикла полностью отвечает задачам развития реконфигурируемого производства, когда требуется осуществлять наиболее эффективное планирование и управление материальными и информационными потоками, гибкие структурные преобразования. В этой связи проводимые научные исследования, направленные на структурные и компоновочные преобразования проявляются как главное звено развития современных систем машин машиностроительного производства.

Одним из направлений повышения эффективности машиностроительного производства является создание мехатронных автоматических систем машин, обладающих свойствами изменения компоновки. Разработка и создание перекомпонованных систем адаптируются к требованиям производства на базе

предшествующего опыта создания автоматических систем машин.

С применением модулей компонования — носителей в виде многогранных призм решаются вопросы преобразования ППС под задачи обработки деталей различной номенклатуры с высоким уровнем многоинструментальной обработки и производительности на рабочих позициях.

Заключение

На данный момент развитие реконфигурируемых производственных систем находится на самой начальной стадии. Нет единого систематизированного подхода к изучению всех аспектов данной проблемы, разработанных методологий и алгоритмов изучения и проектирования систем, методы проектирования разработаны лишь для частных случаев. Нет единой научной основы, она только создается.

В настоящий момент разработаны технологии, позволяющие создать реконфигурируемые системы, есть все предпосылки для их появления, очевидна необходимость их создания, но разработка, проектирование и проведение испытаний таких систем крайне дорогостоящие, поэтому финансирование даже крупных исследовательских центров, занимающихся данной проблемой, иногда приостанавливается или замораживается.

Однако при всех сложностях развитие современной техники позволяет создание таких систем. Поэтому основной проблемой их появления является не проблема технического оснащения или разработки программного обеспечения, а отсутствие четкого плана проведения разработок, алгоритма выбора правильных решений. Решением этой проблемы должно прежде всего являться создание единой базы существующего аппаратного и программного обеспечения с целью последующего создания математического аппарата для разработки уже непосредственно конкретных методов, систем и подходов.

Возникновение реконфигурируемых производственных систем как научного направления отвечает со-

временным тенденциям и стратегии развития многовариантного производства в оптимальном диапазоне изменения программы от массового до индивидуального.

Перекомпоновываемые производственные системы определили технико-экономические преимущества по сравнению с современными системами (ГПС, ГПМ, ГПЯ, ГПУ, ГАЛ, АЛ). Решаются следующие проблемы:

- повышение гибкости изменения номенклатуры обрабатываемых изделий, производительности, эксплуатационной надежности;
- повышение точности и жесткости, уменьшение стоимости и производственных площадей;
- улучшение условий труда и решение экологических проблем;
- увеличение возможностей агрегатного восстановления работоспособности и омоложения системы машин с учетом физического износа и морального старения;
- уменьшение стоимости ППС и трудозатрат по сравнению с гибкими производственными системами.

Создание перекомпоновываемых производственных систем является необходимым условием функционирования производства в современной рыночной экономике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Царев А. М.* Перекомпоновываемые производственные системы — перспективное направление развития машиностроения. Тольятти: ТГУ, 2007. 156 с.
2. *Дашченко О. А.* Методические принципы планирования трансформируемых заводов // *Технология машиностроения*. 2006. № 7.
3. *Феофанов А. Н.* Гибкие автоматические линии в машиностроении. М.: Янус-К, 2002. 192 с.
4. *Царев А. М.* Гибкие производственные системы и тенденции развития // *Вестник МГТУ*. 1995. № 3. С. 21—24.
5. *Левашкин Д. Г.* Разработка методов обеспечения точности базирования и жесткости автоматически сменных узлов с распределенными базами в перекомпоновываемых системах машин. Автореферат дис. ... канд. техн. наук. Тольятти, 2006. 23 с.
6. *Царев А. М.* Системы машин переменной компоновки и структуры в машиностроении. Тольятти: ТолПИ, 2000. С. 89—91.

А. А. СИДОРЕНКОВ, С. А. ЖУКОВ, Д. А. ЗАГРЕБНЕВ, М. А. САПРОНОВА
ОАО «Авиакомпания "Сибирь"»

Подготовка специалистов для современной российской авиакомпании

Авиакомпания "Сибирь" занимает одно из лидирующих мест среди российских авиакомпаний по объему пассажирских перевозок.

Сегодня авиакомпания "Сибирь" предлагает пассажирам развитую сеть внутренних маршрутов во все крупные города России и СНГ. Она выполняет регулярные полеты в Европу и страны Азиатско-Тихоокеанского региона, является назначенным перевозчиком в 20 стран мира.

Уникальная маршрутная сеть "Сибири" базируется на трех крупных авиатранспортных узлах (хабах) в Москве ("Домодедово"), Новосибирске ("Толмачево") и Иркутске, из которых самолеты авиакомпании выполняют до 100 рейсов в сутки, в том числе более 30 регулярных рейсов из Москвы. Для эффективного и бесперебойного обслуживания маршрутной сети авиакомпания "Сибирь" располагает крупным парком воздушных судов, включающим более 50 магистральных лайнеров, в том числе Airbus, A-310, Boeing 737-500, Ту-204, Ил-86, Ту-154. Большинство самолетов, эксплуатируемых авиакомпанией, имеют салон бизнес-класса. Постоянно ведется большая работа по обновлению и модернизации воздушного парка.

Один из крупнейших в России авиационно-технический комплекс, входящий в состав авиакомпании "Сибирь", и высокопрофессиональный инженерно-технический состав обеспечивают работоспособность воздушного парка и высокий уровень безопасности полетов. Технические подразделения авиакомпании "Сибирь" в Новосибирске и Москве сертифицированы для проведения всех видов техобслуживания самолетов.

Авиакомпания "Сибирь" является действительным членом IATA (International Air Transport Association — Международная ассоциация воздушного транспорта) и планомерно расширяет географию международных рейсов. В последние годы ведется интенсивная работа по заключению соглашений о признании перевозочной документации между авиакомпанией "Сибирь" и другими авиакомпаниями (соглашения "интерлайн"). На сегодняшний день число авиакомпаний, с которыми заключены такие соглашения, приближается к 60, включая такие, как Lufthansa, British Airways, Korean Air, Air China, Qantas Airways. Авиакомпания "Сибирь" входит в число 50 крупнейших авиакомпаний мира по объему перевозок на внутренних воздушных линиях и в число 100 — по основным производственным показателям.

В 2004 г. авиакомпания выполнила почти 30 тыс. рейсов, на которых было перевезено 3,75 млн пассажиров и 23 тыс. т груза и почты. Эффективное использование мощного потенциала, накопленного предыдущими поколениями авиаторов, и активное применение современных бизнес-технологий позволили "Сибири" стать второй авиакомпанией России по количеству перевезенных пассажиров и заслужить широкое международное признание.

В 2004 г. авиакомпания "Сибирь" стала обладателем престижной международной премии Air Transport World в номинации "Лидерство на рынке" (Market Leadership), а также является первым российским обладателем международной премии Flight International Aerospace Awards 2003 в номинации "Корпоративная стратегия".

Диспетчерская смена (ДС) Центра управления полетов (ЦУП) является функциональным структурным подразделением авиакомпании, охватывает все службы производственного цикла, включая летную эксплуатацию, техническое обслуживание, обеспечение и организацию наземного обслуживания, сбойные и кризисные ситуации, а также глобальную координацию производственной деятельности заграничных представительств.

Сотрудники ДС ЦУП имеют специальное образование и регулярно проходят переподготовку в АУЦ авиакомпании "Сибирь", которая сотрудничает с такими компаниями, как SITA, AIRBUS, BOEING, JEPPESEN.

Сегодня ЦУП заинтересован в привлечении новых молодых специалистов с высшим авиационным образованием на различные должности.

Все кандидаты на работу в ЦУП пройдут аттестацию профессиональных знаний и проверку деловых качеств, квалификации.

Перспективы ЦУП:

- создание холдинг центра с целью получения возможности оказания услуг сторонним организациям;
- разработка проектов и внедрение нового программного обеспечения с целью повышения производительности труда.

Кафедра "Технологии и системы эксплуатации воздушных судов" (ТЭВС) "МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского создана на базе учебно-научного центра ТЭВС при участии кафедр "АПЛА" и "Аэродинамика и конструкция ЛА" в рамках факультета "Аэрокосмические конструкции и технологии".

Кафедра "ТЭВС" готовит специалистов по направлению "Авиастроение" и специальности "Самолето- и вертолетостроение", в том числе:

- надежность и эксплуатационная технологичность конструкций авиационной техники;
- конструкторско-техническая отработка и испытания систем авиационной техники;
- нормирование летной годности и сертификация авиационной техники;
- информационно-измерительные системы авиационной техники.

Основными направлениями деятельности кафедры "ТЭВС" являются целевая подготовка и переподготовка специалистов в соответствии с кадровым заказом авиакомпаний РФ, авиационных и ракетных ОКБ, организация и проведение научно-исследовательских работ и программ (в том числе международных) в области совершенствования технологий и систем эксплуатации самолетов (воздушных судов) российскими авиакомпаниями и ОКБ отрасли, оказание консультативной помощи авиакомпаниям, ОКБ и др.

Кадровый заказ на подготовку специалистов сформирован консорциумом авиакомпаний "Внуково", авиаремонтных предприятий и Ассоциацией грузовых авиационных перевозчиков. Кафедра ведет подготовку на дневном (очном) и вечернем (очно-заочном) отделении. Срок обучения студентов очного отделения — 5 лет. Срок обучения студентов очно-заочного отделения — 6 лет. После защиты диплома присваивается квалификация инженера.

Кафедра ведет подготовку специалистов высшей квалификации через аспирантуру.

Образовательные программы обучения студентов на кафедре "ТЭВС" предусматривают базовую университетскую подготовку по социально-гуманитарным, естественно-научным и общепрофессиональным дисциплинам в соответствии со стандартом подготовки инженера.

На кафедре предусмотрена специальная инженерная подготовка, обеспечивающая профессиональные знания в следующих областях:

- техническое обслуживание самолетов;
- техническая диагностика и неразрушающий контроль воздушного судна и авиационного двигателя;
- летная эксплуатация установок и функциональные системы воздушных судов;
- технология модернизации воздушных судов;
- технология обслуживания по состоянию;
- обеспечение летной годности воздушных судов и функциональных систем проектирования и эксплуатации;
- авиационный бизнес и логистика.

Эксплуатация и ремонт воздушных судов являются замыкающими звеньями базовой подготовки знаний, поэтому по рекомендациям центральных и региональных авиакомпаний и крупных авиакосмических ОКБ на кафедре "ТЭВС" введен в учебный процесс

ряд специализаций (на этапе завершения обучения) по следующим направлениям:

- информационные технологии для эксплуатационных стадий на протяжении всего жизненного цикла воздушного судна (база данных);
- информационное обеспечение эксплуатации изделия (базы знаний) для обеспечения безопасности воздушных судов;
- технологии создания компактных измерительных систем — средств объективного диагностического контроля;
- технологии переноса на летающие лаборатории (Software технологии);
- технологии продления ресурса авиационной техники.

Учебный процесс кафедры организован в специальных аудиториях факультета, лабораториях филиала кафедры в авиационном учебном центре авиакомпании "Сибирь" и на учебных воздушных судах АТБ "Внуково".

Все технологические практики студенты кафедры проходят на базе филиала "Внуково" по направлению "Анализ технико-технологического состояния конструкции и систем воздушных судов". После прохождения практики студентам кафедры присваивается квалификация авиационного механика (с разрядом). В процессе всего курса обучения в университете студенты кафедры проходят языковую многоуровневую подготовку по программе "ReWorde".

Базовыми предприятиями кафедры являются авиакомпании "Сибирь", "Аэрофлот", "Домодедовские авиалинии", ГК "Россия", "Атлант-Союз"; авиационные ОКБ: ОАО "Туполев", ОАО АК им. С. В. Ильюшина, НИЦ им. Бабакина (НПО им. С. А. Лавочкина), ГУЛ "НПО машиностроения", ГОС МКБ "Вымпел", МАЛО МИГ. Кафедра имеет деловое партнерство со следующими учебными заведениями: МАИ им. С. Орджоникидзе, МГТУГА, ВАТУ им. Н. Е. Жуковского, МГТУ им. Н. Э. Баумана, КГТУ им. А. Н. Туполева, СГТУ им. С. П. Королева, Балтийской академией ГА, Кингстонским университетом (Англия) и др.

Кафедра "ТЭВС" участвует в международном сотрудничестве в рамках программы аэрокосмической школы с авиакомпаниями Boeing, Air France, British Air Ways, Luftgansa и английскими предприятиями "Бритиш Аэроспейс" (отделение по производству Харриеров), "Роллс Ройс" (отделение по производству авиационных двигателей), "Бритиш Эрвейз" (производственный комплекс обслуживания самолетов гражданской авиации).

Студенты кафедры обучаются у ведущих специалистов авиакосмической отрасли, имеют возможность пользоваться как динамическими авиационными тренажерами, так и учебными самолетами и летающими лабораториями.

Наземная отработка авиационной техники проходит на базе АТБ "Внуково" в АУЦ авиакомпании "Сибирь".

Содержание зарубежных журналов¹

DIMA (Die Maschine)
(N 7, Vol. 61, 2007, Германия)

Универсальные станки для крупногабаритных деталей, с. 22, 23.

Рассматриваются технические характеристики универсального сверлильного станка серии KDS фирмы Hans Kaltenbach Maschinenfabrik GmbH (Германия), используемого совместно с обрезающим станком KBS 1010, и обрабатывающего центра KF 2512. Станки работают в автоматическом и полуавтоматическом режимах и предназначены для обработки профилированных прокатных балок и других деталей. Они снабжены установками высокоскоростной резки и средствами плазменной обработки металлических деталей.

Glück R. Выбор оборудования, с. 30, 31, ил. 4.

Рассмотрены технологические возможности новых типов обрабатывающих станков (фрезерных, многоцелевых и др.), оснащенных системами измерения, системами смены инструментов, эффективными системами охлаждения и регулирования, которые позволяют сократить подготовительно-заключительное и основное технологическое время, что приводит к снижению затрат на обработку.

Комплексная обработка деталей с одного станка, с. 32, 33, ил. 1.

Высокоточное точение и круглое шлифование высокотвердых материалов с одного станка возможны на многоцелевом станке S242, отличающемся высокой эксплуатационной гибкостью. При обработке наряду с высокой производительностью обеспечивается и высокое качество поверхности деталей. Длительность процесса обработки сокращена до 45 % по сравнению с обычными отдельными методами обработки.

Обработка деталей сложного профиля, с. 35, ил. 1.

Сложные и высокоточные детали автомобильных двигателей и компрессоров могут фрезероваться с высокой производительностью и экономичностью на новом многоцелевом станке Mikron HSM 400U фирмы Agie Charmilles (Швейцария) с использованием пяти осей. Приведены также примеры технологических возможностей нового станочного оборудования, разработанного в последнее время и оснащенного системами ЧПУ типа CNC, характеризующимися новыми ПО и высокой степенью автоматизации.

Würfel A. et al. Резка материалов струей воды под высоким давлением, с. 42, 43, ил. 2.

Приведен краткий хронологический очерк развития данного метода, основанного в 1971 г. фирмой Flow

Systems (США). Первую установку использовали для резки детских пеленок. В 1981 г. была запатентована режущая головка Paser, которую в усовершенствованном виде применяют и в настоящее время. Основными вехами в развитии метода являются добавка в воду абразива и повышение давления воды до 600 МПа. В настоящее время в мире работают около 9000 насосов высокого давления, изготовленных фирмой Flow Systems.

Schenk W. Усовершенствованная технология фрезерования высококачественных сталей, с. 52—54, ил. 5.

Проанализированы возможные пути повышения эффективности фрезерования высококачественных сталей. Изложен опыт фирмы Lödige (Германия), применившей комбинированную обработку таких сталей, что привело к достижению высоких экономических показателей и повышению производительности обработки. Рассмотрены особенности технологии и приведены примеры обработки с указанием технологических параметров.

Способ сверления, с. 57, ил. 1.

Обработка отверстий диаметром 3,1—8,5 мм в деталях из стали и чугуна с глубиной резания до семи диаметров сверла теперь возможна с помощью новых сверл типа 2 × 2 фирмы Kennametal. Обработку можно производить со скоростью резания до 200 м/мин. Стойкость сверл типа 2 × 2 существенно превышает стойкость известных сверл при выполнении подобных операций, причем достигается высокая производительность обработки.

Cutting Tool Engineering
(N 1, Vol. 60, 2008, США)

Одна большая деталь за один станок, с. 38, 46—51, ил. 7.

Анализируется опыт работы фирмы Mori Seiki USA Inc., которая выпускает серию NT многоцелевых станков, предназначенных для обработки тяжелых деталей, в том числе асимметричных. Станок NT 5400 оснащен патронами диаметром 400, 500 и 600 мм. Деталь полностью обрабатывается с одного станка, что обеспечивается большим ходом по оси Y. Деталь не надо поворачивать в процессе обработки: шпиндель надежно зажимается, перемещения осуществляются инструментами. Такая конструкция обеспечивает высокую точность обработки. Приведены рекомендации и технологические режимы обработки.

Biggs T. et al. Твердое фрезерование: новые технологии, с. 62, 64—71, ил. 6.

Твердое фрезерование при правильном выборе технологии и оборудования может обеспечить высокую производительность обработки. Описаны процесс и тех-

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

нология твердого фрезерования, приведены режимы резания и условия для повышения производительности. Производительность твердого фрезерования повышается, если пользователь умеет контролировать толщину стружки. Например, при глубине чистового резания 0,5 мм круглой пластиной диаметром 8 мм, подаче на зуб 0,076 мм и скорости подачи 540 мм/мин средняя толщина стружки составляет 0,017—0,020 мм. Она меньше, чем ширина заглаженной передней поверхности у режущей кромки. Увеличение скорости подачи до 725 мм/мин обеспечивает среднюю толщину стружки больше ширины заглаженной поверхности, что неблагоприятно (интенсифицируется истирание инструмента). Получению более толстой стружки способствует применение попутного фрезерования, при котором наибольшая толщина образуется сразу после врезания. Ленточка, создающая отрицательный передний угол, направляет силы непосредственно в тело пластины, а не на слабую режущую кромку, что позволяет осуществлять прерывистое твердое фрезерование. Чтобы минимизировать натирание и скалывание, у режущей кромки образуется заглаженная поверхность. При твердом фрезеровании у кромки образуется узкая ленточка. Кромку ушивают, если имеет место трудно обрабатываемая прерывистая поверхность на заготовке. При финишном твердом фрезеровании материалов, склонных к твердению, применяют инструменты с большим положительным передним углом. Выбор станка осуществляется в зависимости от характеристик фрез. Твердое фрезерование можно выполнять на многих станках, но когда применяют керамические пластины и высокие скорости подачи, необходимы машины большой мощности и передающие большие крутящие моменты. Например, обработка фрезой диаметром 51 мм стали твердостью 50 HRC при глубине резания 0,19 мм может выполняться при мощности главного привода 11 кВт, крутящем моменте 28 Н·м и частоте вращения шпинделя 2165 мин⁻¹.

Станки с ЧПУ для микрофрезерования, с. 91, ил. 1.

Американская фирма Microlution Inc. выпускает станки для микрофрезерования, имеющие ЧПУ типа CNC. Они предназначены для обработки миниатюрных прецизионных деталей, занимают площадь 0,37 м² и оснащаются магазинами на 36 инструментов. Точность позиционирования составляет 2 мкм. Обрабатываются детали со сложной геометрией из различных материалов.

Охлаждающее устройство, с. 93, ил. 1.

Согласно данным фирмы Coll Clean Technologies, разработанное фирмой устройство CoolTool повышает эффективность процессов обработки по сравнению с тем, что достигается при обработке без СОЖ. Такое устройство можно эффективно применять при сверлении, точении, фрезеровании, шлифовании и штамповке. Устройство CoolTool может быть непосредственно встроено в новое или существующее обрабатывающее оборудование и функционировать, создавая охлаждение и смазку.

EDM European
(N 4, Vol. 6, 2007/2008, межд.)

Перечень оборудования программ, материалов и комплектующих для электровырезных станков на 2008 г.

В табличной форме в восьми разделах приведены данные фирм, перечень выпускаемого оборудования, опции, телефоны и веб-сайты: раздел 1 — фирмы, выпускающие ПО (с. 17); раздел 2 — материалы (с. 19), раздел 3 — оборудование (с. 24, 25); раздел 4 — принадлежности (с. 28, 29); раздел 5 — средства автоматизации (с. 31); раздел 6 — металлообрабатывающее оборудование (с. 35); раздел 7 — принадлежности к МОО (с. 40); раздел 8 — измерения и контроль (с. 42); перечень фирм по алфавиту (с. 43—46).

Применение крупного электроэрозионного вырезного станка, с. 14, ил. 1.

На заводе бельгийской фирмы Penne S. A. применяют оборудование для обработки деталей давлением, для этого необходимы крупные штампы. Для их изготовления приобрели самый большой в Европе проволочно-вырезной станок FA50-V компании Mitsubishi Electric Europe B.V. (Германия), на котором устанавливают заготовки размером до 2000 × 1600 × 395 мм. Новый станок отвечает стремлению пользователей полностью сосредоточить технологию обработки детали на одной машине. На вырезном станке, в частности, обрабатываются крупные штампы последовательно действия.

Новое поколение электроэрозионных вырезных станков с ЧПУ типа CNC, с. 21, ил. 1.

Компания Mitsubishi Electric Europe B.V. (Германия) разработала серию FAS Advance электроэрозионных проволочно-вырезных станков нового поколения, в которых используется автоматическое адаптивное управление с помощью генератора PowerMaster с 3D компонентом, что позволяет эффективно выполнять вырезку ступенчатых и прерывистых поверхностей. Выпускают две модели: FA10-S и FA20-S, которые созданы на базе хорошо зарекомендовавших себя моделей FA-5 и FA-VS. Высокие рабочие режимы обеспечивают производительность 500 мм/мин. В качестве опции пользователям поставляется генератор V-Generator. При совместном применении антиэлектролизного генератора AE и V-Generator цифровая система управления позволяет контролировать вертикальное расположение разряда, что обеспечивает получение строго параллельного расположения поверхностей изделия, причем нет необходимости вводить коррекции по координатам U и V , чтобы компенсировать износ электрода-проволоки.

Микроэлектроэрозионный станок с ЧПУ, с. 22.

Микроэлектроэрозионный станок фирмы Sarix S. A. (Швейцария) характеризуется гибкой модульной конструкцией: он может оснащаться рядом устройств для обработки микроотверстий или 3D полостей. Испол-

зуется наладка относительно начальной опорной точки. Осуществляется измерение профилированного электрода: готовятся электроды любой формы и пользователю нет необходимости обращаться к сторонним организациям. Станок оснащен ПО 3D SX-//EDM Milling CAM, которое сочетается с устройством профилирования электродов WDress, с помощью которого все необходимые электроды готовятся на станке. В полости образуются самые минимальные радиусы на участках сопряжения поверхностей.

Электроэрозионный проволочно-вырезной станок с ЧПУ, с. 25, ил. 1.

Электроэрозионный вырезной станок AU-1000iA, который выпускает германская фирма AccuteX Europe GmbH, предназначен для работы на тяжелых режимах. Базовые детали изготавливают из оребренного чугуна "Механит", что обеспечивает эффективное рассеивание теплоты. Применяют также водяное охлаждение. Перемещения по осям X, Y и Z составляют соответственно 1100, 650 и 500 мм (опция по оси Z 600 мм, по осям U и Y — 150 мм). Применяют прямые приводы по осям подач и шариковые винты с малым шагом. С помощью стеклянных шкал и серводвигателей высокого разрешения обеспечивается позиционирование при разрешении 0,0001 мм. Обрабатываются заготовки размером до 1685 × 990 × 495 мм (опция по оси Z 595 мм), массой до 4000 кг. Вырезка осуществляется проволочкой диаметром от 0,1 до 0,33 мм. Применяется интеллектуальная система заправки проволоки и при разрывах нет необходимости в возврате на исходную позицию, причем при разрыве заправка выполняется за 10 с. Характеристики станка (в том числе надежность) позволяют эксплуатировать его в безлюдном режиме.

Fertigung (N 9, Vol. 34, 2007, Германия)

Тенденции микрообработки, с. 20—22, 24, 25, ил. 4.

В последние годы очень быстро развивается рынок изготовления микродеталей. В последние три года его объем составил 9,6 млрд евро. Прогнозируется, что до 2009 г. он вырастет до 20 млрд. В связи с этим в Германии создано Общество содействия распространению микроструктурной техники (IVAM), занимающееся в основном вопросами технологии микрорезания, в первую очередь микрофрезерованием.

Обрабатывающий микроцентр Microgantry nano 35X, с. 34, ил. 1.

Центр выпущен германской фирмой Kugler GmbH и предназначен для изготовления и структурирования микродеталей с использованием лазера или обычного режущего инструмента. Центр, характеризующийся высокой динамикой, имеет стабильную станину из специального гранита, систему подавления вибраций, линейные оси с пневмоопиранием, водяным охлаждением и тормозами. Скорость ускоренного хода составляет до

10 м/мин, ускорения до 1g. Абсолютная точность позиционирования в плоскости X—Y равна ±0,7 мкм.

Автоматические линии для изготовления колец, с. 52—54, ил. 3.

Описан опыт работы фирмы Diehl Metal Stiftung & Co. KG/Schmiedetechnik по изготовлению синхронизирующих колец из специальной латуни для автомобильных коробок передач. Годовой объем производства 42—45 млн шт. в 60 различных исполнениях с диаметром 45—140 мм.

Модернизация вертикального токарного станка, с. 80, 82, ил. 2.

Германская фирма H-D. Schunk GmbH Co. KG Spann-technik KG специализируется на разработке и изготовлении зажимных устройств разного назначения, ориентированных в первую очередь на снижение вспомогательного времени станков. Ее последняя разработка — быстросменяемый патрон типа Rota THWplus для заготовок диаметром до 330 мм и массой до 100 кг, который установлен на токарном станке CTV 400 linear фирмы Gildemeister AG. Применение патрона позволило экономично обрабатывать заготовки с величинной партии 20—100 шт.; одновременно скорость ускоренного хода была повышена до 90 м/мин, а крутящий момент — до 730 Н·м.

Экономичная модернизация токарных станков, с. 90, ил. 1.

Фирма Domes Scharmann Technologie GmbH (Германия) модернизировала токарный станок фирмы Schiess, построенный в 1971 г., сделав на его основе обрабатывающий центр массой 124 т, на котором теперь можно обрабатывать заготовки диаметром до 6100 мм и высотой до 2000 мм. Радиальное биение не превышает 10 мкм на диаметре 4000 мм. Подача увеличена с 2000 до 6000 м/мин, мощность привода — с 75 до 100 кВт. Фирме Koilmeder Presswerk GmbH & Co. KG, для которой выполнялась модернизация, работы обошлись на 40 % дешевле, чем покупка нового центра.

IDR (Industrial Diamond Review) (N 1, 2008, Великобритания)

Flucke C. et al. Изготовление прецизионных призматических микроструктур посредством усовершенствованного технологического процесса алмазной обработки, с. 25, 28—30, ил. 14.

Изложен новый процесс обработки призматических микроструктур оптического качества путем алмазного микроскалывания. Этот процесс позволяет обрабатывать призматические микрополости с достижением оптического качества при размерах 50—500 мкм. Приведено сравнение известных и нового способов обработки таких микроструктур. Представлены экспериментальные данные по новому способу обработки, результаты которых свидетельствуют о невозможности достижения их прежними методами.

Комбинированный инструмент, с. 40, ил. 3.

Фирма Komet Prazisionswerkzeuge предлагает комбинированные инструменты (инструментальные головки Vabos-M) для растачивания отверстий и нарезания резьбы на многоцелевых станках в мелких элементах деталей из алюминия. Центральный инструмент головки закрепляется в гидравлическом патроне, а режущие пластины T и V для обработки зенковки, фаски и для фрезерования закрепляются с помощью специальных втулок.

Suzuji K. et al. Алмазные шлифовальные круги, с. 41, 42, 44, 45, ил. 11.

Для прецизионной микрообработки используют различные мелкозернистые алмазные круги. К недостаткам этих кругов относятся неравномерное распределение режущих зерен и относительно слабая связь этих зерен с матрицей круга. Описаны новые круги CMX850 из поликристаллических алмазов, предложенные недавно на рынке фирмой Element Six и предназначенные для обработки очень мелких V-образных канавок с радиусом 1,6 мкм в пластинах из твердого сплава.

Возможность обработки особо плоских поверхностей, с. 45, ил. 1.

На предприятии фирмы Okamoto разработана технология, позволяющая обрабатывать поверхности с точностью до 30 нм на площади до 1,5 м² для изготовления прецизионных компонентов оптических и полупроводниковых устройств, а также компонентов машин. Такое качество поверхности обрабатываемых деталей достигается притиркой и полированием на одном станке. Основными факторами, обеспечивающими высокие показатели, являются стол станка, выполненный из натурального камня, высокая точность монтажа стола, мониторинг процесса обработки, система корректировки процесса.

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

Использование лазерного станка, с. 20, 21, ил. 2

На станке Synchrono фирмы Prima Laser (США) лазером обрабатывают материалы в зоне размером 1524 × 3048 мм. Безвибрационную резку, как и прошивку отверстий, выполняют при непрерывном позиционировании луча, причем надежная и точная обработка осуществляется в том числе на небольших и сложных профилях. При минимизированных массах подвижных органов развиваются ускорения до 6g, возможна прошивка до 1000 отверстий в 1 мин. Компенсация ударных нагрузок средствами ЧПУ и перемещения по осям X и Y легких компонентов не сопровождаются переносом колебаний, что также гарантирует эффективное CNC управление. Резка толстых материалов кон-

тролируется программой Laser Piercing Monitor, что минимизирует длительность обработки.

(N 9, Vol. 41, 2007, США)

Станок для фрезерования шпоночных канавок, с. 20, 22, 24, ил. 3.

Описан станок для фрезерования шпоночных канавок MorrisKeyseater, запатентованный фирмой Morris Welding & Machining (США). Отмечается значительное упрощение инструмента за счет использования концевых фрез вместо дорогостоящих протяжек, универсальность и сокращение времени резания с 20 до 1 мин на одну шпоночную канавку.

Применение станков с ЧПУ, с. 28, 30, 31, ил. 1.

Описан опыт работы американской компании Alan Manufacturing Inc., изготавливающей высокоточные изделия струйной техники, хирургическое оборудование, двигатели судов и вооружения. На прутковых материалах осуществляются обточка, растачивание, сверление, резьбонарезание, поперечное сверление и фрезерование. Некоторые изделия обрабатываются после термической обработки с точностью порядка 1,25 мкм шлифованием, хонингованием и твердым резанием. В связи с этим рассматриваются возможности токарных центров Emco Maier 332 MC и Lico LNT36, которые оснащены тремя независимыми суппортами и противощпинделем. Центры Emco Maier 332 NC и Lico LNT36 оснащены системами Sinumerik 840D CNC корпорации Siemens, что обеспечивает эффективную эксплуатацию станков. Коэффициент использования центров близок к 100 %. Остановки производятся только для замены режущих пластин.

(N 10, Vol. 41, 2007, США)

Водоструйные станки, с. 30, 31, ил. 2.

Описан опыт эксплуатации водоструйного станка High Rail Gantry фирмы Jet Edge, приобретенного в 2002 г. Отмечается, что прежние технологии устарели при изготовлении металлических проставок. Сейчас вместо бумажных шаблонов используются файлы САПР, с помощью которых получают более сложные контуры. Последний из приобретенных компанией AP (США) Services водоструйных станков компании Jet Edge имеет на перекладине портала шесть режущих головок, каждая из которых оснащена мультипликатором давления мощностью 75 кВт. Используется расширительный брус длиной 1,8 м, который увеличивает рабочую зону до 3,6—4,8 м, что необходимо для изготовления некоторых больших металлических проставок (по прежней технологии их вообще нельзя было изготовить).

10-я Международная выставка "Металлообработка—2008"

С 26 по 31 мая 2008 г. в ЦВК "Экспоцентр" (Москва) проходила 10-я Международная выставка "Оборудование, приборы и инструменты для металлообрабатывающей промышленности", представляющая мегапроект в сфере высоких технологий обработки металла.

Организаторы выставки — ЦВК "Экспоцентр" и Российская ассоциация производителей станкоинструментальной продукции "Станкоинструмент".

На выставке национальные экспозиции представили 10 стран — Белоруссия, Германия, Испания, Италия, Россия, Словакия, Тайвань, Турция, Швейцария, Чехия.

На стендах выставки были показаны интеллектуальные станочные системы, высокотехнологичное оборудование нового поколения, передовой металлорежущий инструмент, прогрессивные системы промышленной автоматизации предприятий машиностроительного комплекса и др. Вместе с тем следует отметить, что ситуация в инновационной сфере оставляет желать лучшего. Технологические инновации осуществляли лишь 9,3 % российских организаций, что совершенно недостаточно.

В статье приведено краткое описание экспонатов, демонстрировавшихся на выставке, и предложенный предприятиями-разработчиками, вызвавших наибольший интерес у специалистов.

Савеловский машиностроительный завод (г. Савелово) демонстрировал на выставке станки различного назначения.

Станок ФП-17ВСЗС для высокоскоростного (контурного и объемного) фрезерования по заданной программе деталей типа балок, лонжеронов, кронштейнов, корпусов, штамповой оснастки, мастер-моделей и др. Его применяют для обработки сталей, жаропрочных и титановых сплавов, а в верхнем диапазоне частоты вращения шпинделя — 7000 мин⁻¹ — фрезерует алюминий и его сплавы. В конструкции станка применены литые бронзовые детали повышенной жесткости, комбинированные направляющие, силовая фрезерная головка, высокоточные шариковые винтовые пары в сочетании с высокودинамичными приводами подачи, централизованная смазка, система подачи и сбора СОЖ. Станок оснащен УЧПУ SINUMERIK 8400 и приводом подачи фирмы Siemens, главный привод — электрошпиндель фирмы Bosch Rexroth. Имеется механизм смены инструмента на 12 позиций, механизм уборки стружки, станция микросмазки и охлаждения инструмен-

та, станция смазки подшипников шпинделя и фторопластовые направляющие скольжения. Наибольшая масса устанавливаемой заготовки 2 т. Наибольшее перемещение стола продольное 1600 мм, ползуна — поперечное 660 мм, каретки — вертикальное 480 мм. Мощность привода электрошпинделя 45 кВт, номинальный крутящий момент на шпинделе 480 Н·м. Габаритные размеры станка 5675 × 4800 × 3600 мм, масса 16 т.

Токарный станок АТ-600 РС с ЧПУ и автоматической сменой инструмента для обработки в патроне или специальном приспособлении деталей типа фланцев, барабанов, колец, дисков, корпусных деталей и др. из любых сталей и сплавов. На станке можно осуществлять обработку по наружному фасонному и цилиндрическому профилю, расточку отверстий, подрезку торцов и нарезание резьбы. В конструкции станка также применены базовые детали повышенной жесткости, централизованная смазка, частотный управляемый привод для регулирования частоты вращения шпинделя. Он оснащен УЧПУ "FLEX C". Привод главного движения — асинхронный электродвигатель 5А225М мощностью 37 кВт. Наибольший диаметр устанавливаемого изделия над станиной 1000 мм, над суппортом — 800 мм. Наибольшая длина устанавливаемого изделия 800 мм. Наибольшее перемещение суппорта: продольное по оси Z — 1150 мм, поперечное по оси X — 550 мм. Мощность приводов подачи: продольного — 3 кВт, поперечного — 3 кВт. Пределы частот вращения шпинделя 2—710 мин⁻¹. Наибольшее усилие резания 25 кН. Усилие зажима инструмента 50 кН. Число инструментов, устанавливаемых на станке, 17 шт. Параметр шероховатости обрабатываемых поверхностей Ra = 1,6÷1,25 мкм. Габаритные размеры станка 4635 × 2452 × 3000 мм, масса 15,7 т.

Вертикально-фрезерный станок МА-655 А14 с ЧПУ и автоматической сменой инструмента (рис. 1) для обработки по заданной программе деталей сложной криволинейной формы типа дисков, плит, рычагов, корпусных деталей и др. На станке можно производить фрезерование плоскостей, пазов, наружных фасонных контуров и выемок с высокой точностью. В конструкции станка применены базовые литые детали повышенной жесткости, высокоточные шариковые винтовые пары в сочетании с высокودинамичными сервоприводами подачи, централизованная смазка и сис-

тема подачи СОЖ. Размеры рабочей поверхности: длина 1250 мм, ширина 500 мм. Расстояние от торца шпинделя до поверхности стола 790—160 мм. Наибольшая масса устанавливаемой заготовки 500 кг. Наибольшее перемещение стола продольное по оси X 1000 мм с точностью позиционирования 0,025 мм, ползуна поперечное по оси Y — 500 мм с точностью позиционирования 0,016 мм, каретки вертикальное по оси Z — 630 мм с точностью позиционирования 0,02 мм. Пределы частот вращения шпинделя 20—2500 мин⁻¹. Мощность привода главного движения 17 кВт. Максимальный крутящий момент на шпинделе 955 Н·м. Габаритные размеры станка с учетом приставного оборудования 3950 × 3490 × 3650 мм, масса 10 т.

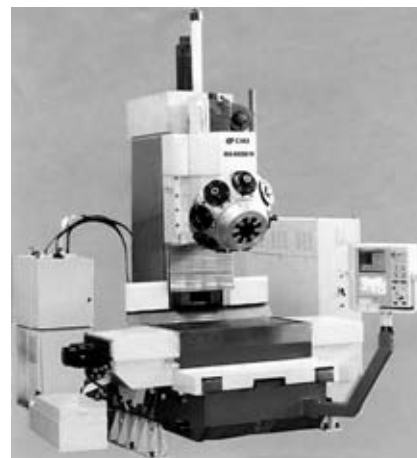


Рис. 1. Вертикально-фрезерный станок МА-655 А14 с ЧПУ и автоматической сменой инструмента

ОАО "Красный пролетарий" (Москва) показал новые токарно-винторезные станки повышенной точности с регулируемым приводом.

Станок МК6046Р для выполнения широкого спектра токарных операций: наружного точения и растачивания внутренних цилиндрических и конических поверхностей, сверления, зенкерования и развертывания, а также нарезания наружных и внутренних метрических, дюймовых, модульных и питчевых резьб. Станок оснащен устройством цифровой индикации в комплекте с регулируемым приводом главного движения мощностью 7,5 кВт. Он имеет главный пуск, торможение и реверсирование, а также режим поддержания постоянной скорости резания. Термообработан-

ные, шлифованные направляющие станины обеспечивают длительный срок службы и повышенную точность обработки. Наибольшие диаметр обрабатываемого изделия, устанавливаемого над станиной, 500 мм, над суппортом — 275 мм, над выемкой в станине — 700 мм, длина обрабатываемого изделия 1500 мм. Число подач суппорта продольных и поперечных 24. Габаритные размеры станка 3380 × 1420 × 1740 мм, масса 3,4 т.

Токарный центр с ЧПУ МК 7702-00 для механической обработки деталей типа тел вращения, начиная от простой двухосевой обработки до сложной комплексной двухсторонней обработки деталей с применением противопинделя, приводного инструмента, полярной координаты "С" и координаты "У". Модульный принцип построения токарного центра позволяет оптимизировать его под конкретные технологические операции. Наклонная компоновка обеспечивает оптимальные условия обработки, сход стружки, доступность и обзор рабочей зоны. Массивная станина из металлобетонного гранитного композита обладает высокой статической и динамической жесткостью. Центр оснащен двенадцатипозиционной серворевольверной головкой со временем смены инструмента 0,14 с. Он может быть укомплектован системой ЧПУ фирм Siemens или FANUC с системами цехового программирования "Shop Tom" или "Manual Guide".

Ивановский завод тяжелого машиностроения показал на выставке тяжелый обрабатывающий центр ИП Р160МФ4, предназначенный для выполнения следующих технологических операций: растачивания и развертывания отверстий; фрезерования плоскостей, пазов, уступов, в том числе контурного фрезерования поверхностей, объемного фрезерования; сверления, рассверливания, центрования и зенкерования отверстий; нарезания резьбы в отверстиях метчиками и резцом; обточки поверхностей, обработки кольцевых канавок и подрезки торцов при комплектации съемной планшайбой; обработки корпусов с четырех сторон, а при комплектации угловой фрезерной головкой — с пятой стороны. Обрабатывающий центр также оснащен комплектом измерительных головок и щупов фирмы Renishaw для определения износа инструмента, а также для привязки координат детали к координатам станка. Для расширения технологических возможностей станок может быть оснащен угловой головкой, планшайбой, накладным поворотным столом и различными специальными приспособлениями. Диаметр расточного шпинделя станка 160 мм, его частота вращения 2—1600 мин⁻¹. Наибольшие перемещения подвижных узлов:



Рис. 2. Вертикально-фрезерный обрабатывающий центр ГФ5171М

стойки — 3150 мм, шпиндельной бабки — 2500 мм, ползуна — 800 мм, шпинделя — 1000 мм. Мощность главного привода 55 кВт. Допустимые нагрузки: момент на выдвижном шпинделе 2400 Н·м, момент на фрезерном шпинделе 7000 Н·м, усилие подач по осям X, V, Z, W 30 кН. Габаритные размеры обрабатывающего центра без пристаночного оборудования 10 800 × 5000 × 6400 мм, масса без пристаночного оборудования 37 т.

ООО "Завод фрезерных станков" (Нижний Новгород) предложил потребителям свою продукцию.

Вертикально-фрезерный обрабатывающий центр ГФ5171М (рис. 2) для многооперационной обработки разнообразных деталей сложной формы. Наряду с фрезерными операциями на станке можно производить сверление, зенкерование, развертывание и растачивание точных отверстий, связанных координатами, нарезание резьбы. Мощный привод главного движения, широкий диапазон подач и частот вращения шпинделя позволяют обрабатывать детали из чугуна, стали, цветных металлов и их сплавов, пластмасс на рациональных режимах с высокой производительностью и точностью. Размер рабочей поверхности стола 500 × 1600 мм при продольном перемещении 1200 мм, поперечном — 510 мм. Вертикальное перемещение шпиндельной бабки по оси Z — 510 мм. Частота вращения шпинделя 8000 мин⁻¹, мощность его привода 18 кВт. Вместимость инструментального магазина 24 инструмента, время смены инструмента 4 с. Максимальная скорость перемещения узлов по координатным осям 15 000 мм/мин. Масса обрабатываемых деталей до 1 т. Обрабатывающий центр укомплектован гидростанцией, станциями смазки и охлаждения шпинделя, системой ЧПУ NC-210, шнековым механизмом уборки стружки.

Продольный фрезерно-расточной обрабатывающий центр ГФ3680 для комплексной обработки различных деталей

сложной формы (см. технические характеристики ГФ5171М). Размер рабочей поверхности стола 800 × 2500 мм. Его максимальное продольное перемещение по оси X 3000 мм, поперечное перемещение шпиндельной бабки по оси Y 2000 мм, вертикальное перемещение ползуна по оси Z 630 мм. Максимальная частота вращения шпинделей: ползуна — 4000 мин⁻¹, накладной угловой головки — 2000 мин⁻¹, накладной поворотной головки — 2000 мин⁻¹. Максимальная масса обрабатываемой детали 6 т. Обрабатывающий центр укомплектован гидростанцией, системой ЧПУ FANUC и механизмом уборки стружки.

ОАО "Астраханский станкостроительный завод" показал на выставке свои новые разработки.

Ленточно-отрезной станок по металлу двухколенного типа "Аллигатор-900" для поперечной распиловки сплошных заготовок сечением до 900 мм (прокат, поковки) круглого и квадратного профилей. Размер пильного полотна 9300 × 67 × 1,6 мм. Скорость подачи рамы 1—200 мм/мин. Максимальная величина открытия тисков 920 мм со скоростью 3000 мм/мин, высота рабочего стола 790 мм. Станок обладает жесткой конструкцией и обеспечивает ровный и чистый срез при резке заготовок. Для достижения оптимальной производительности и ресурсов полотна на станке применено независимое гидравлическое управление скоростью и подачей, автоматическое гидравлическое натяжение полотна. Станок оснащен высокоточными линейными направляющими каретками для опускания пильной рамы; регулятором усилия зажима тисков; системой автоматического контроля рабочей высоты пильного полотна и системой быстрого позиционирования; детектором хода с автоматическим отключением станка при обрыве пильного полотна или его заклинивания; щетками механической очистки пильного полотна; конвейером для уборки стружки; подающим и принимающим устройствами. Мощность двигателей: привода полотна — 11 кВт, гидравлического насоса — 3 кВт, насоса охлаждения — 0,55 кВт. Габаритные размеры станка 4850 × 1680 × 3200 мм, масса 8,45 т.

Станок СГА-55М для холодной гибки труб и прутков арматуры железобетонных конструкций на заводах сборного железобетона и на строительных площадках под навесом в условиях умеренного климата при температуре -15—45 °С и влажности не более 80 %. Диаметр изгибаемой арматуры 9—40 мм, радиус изгиба прутка по внутреннему контуру 12—65 мм. Диаметры изгибаемых труб 21, 26, 33, 42, 48 и 60 мм, угол изгиба до 180°. Частота вращения гибочного диска 5,8 мин⁻¹, точность позиционирования ±2°. Мощность электродви-



Рис. 3. Переносная двухкоординатная консольная машина Steel Tailor

гателя станка 4 кВт. Его габаритные размеры 1400 × 940 × 890 мм, масса 700 кг.

ООО "Фактор" (Москва) демонстрировало на выставке новые разработки — машины для термической резки металлов.

Переносную двухкоординатную консольную машину Steel Tailor для термической резки с ЧПУ (рис. 3), представляющую легкий обрабатывающий комплекс. Машина осуществляет вырезку заготовок сложной формы с высокой точностью и качеством поверхности реза. Размеры рабочей зоны резки 1200 × 2000 мм. Подготовка управляющих программ осуществляется системой автоматизированного устройства САПР "Fast Cam". Эта система подготавливает карты раскроя для вырезки деталей с минимальным количеством отходов металла. Машина может оснащаться любым аппаратом для воздушно-плазменной резки металлов, а также оборудованием для газовой резки. Конструктивное исполнение машины — моноблок (процессор, платы связи с датчиками, энергозависимая оперативная память и энергозависимая постоянная память). Машина оснащена черно-белым жидкокристаллическим дисплеем. Ввод управляющих программ осуществляется через клавиатуру, порт USB. Загрузка и выгрузка осуществляются в диалоговом режиме системного меню. Толщина разрезаемого металла одним резаком: плазменная резка — 1—70 мм, газокислородная резка — 6—150 мм, скорость резания 50—2500 мм/мин. Давление горючего газа не более 0,1 МПа, кислорода — не более 1,1 МПа. Мощность машины 0,18 кВт, масса 70,5 кг. Машина проста и удобна в эксплуатации и имеет малую массу, что позволяет легко перемещать ее вдоль раскроечного стола.

Переносную двухкоординатную машину "Магнит-CNC" с ЧПУ для термической резки. Она представляет комплекс для криволинейного раскроя листового металлопроката по заданным чертежам с исполь-

зованием системы ЧПУ. Аппаратная часть комплекса (модуль ЧПУ) предназначена для управления приводами машины и представляет миниатюрное, мобильное (переносное) микропроцессорное устройство с энергозависимой памятью. Машина оснащена продольной направляющей, по которой движется каретка с установленной на ней поперечной траверсой. Размеры рабочей зоны машины 1000 × 2000 мм, скорость рабочих подач до 6000 мм/мин. Машина работает одним резаком. Толщина разрезаемого материала: газовая технология — 6—150 мм, плазменная технология — 1—70 мм. Машина удобна в работе и оснащена магнитным держателем для крепления машины к обрабатываемому листу, имеет малую массу, что позволяет легко перемещать ее вдоль раскроечного стола.

Компания "КОНСАР" (Саров, Нижегородская обл.) предложила предприятиям машиностроения свою продукцию.

Передвижной электростатический фильтр ФВУ-1200 для удаления и очистки загрязненного воздуха от сварочного аэрозоля, газов и мелкодисперсной пыли, выделяющихся при различных технологических процессах, удаления неприятных запахов с возвратом очищенного воздуха в рабочее помещение. Фильтр оснащен поворотным устройством с радиусом действия 2,5 м. Фильтр применяется в машиностроении, сварочном производстве, металлообрабатывающей, химической, электротехнической промышленности и приборостроении.

Установку MAXI IPER JET-4 для удаления и очистки воздуха от дымов, образующихся при сварке, плазменной, газовой и лазерной резке, дымов с небольшой примесью металлической пыли с возвратом очищенного воздуха в рабочее помещение. Установка стационарная с четырьмя фильтрами картриджного типа. Очистка картриджа осуществляется сжатым воздухом в автоматическом режиме, степень очистки 99,9 %. Производительность установки 3500 м³/ч, габаритные размеры 950 × 1120 × 2920 мм.

Установку УВП-1200А для удаления и очистки загрязненного воздуха от абразивной, металлической пыли, мелкой стружки, образующихся при работе заточных, шлифовальных и отрезных станков с возвратом очищенного воздуха в рабочее помещение. Производительность установки 1200 м³/ч. Она состоит из вентилятора, четырех фильтров рукавного типа и воздуховода длиной 2 м. Габаритные размеры установки 820 × 540 × 1670 мм.

Установку OIL STOP/M 6 S/E для очистки воздуха от масляных туманов, аэрозолей, образующихся при различных технологических процессах, с возвратом очи-

щенного воздуха в рабочее пространство. Маслоуловитель стационарный модульного типа оснащен фильтром карманного типа с тремя степенями очистки до 99 %. Производительность установки 24 000 м³/ч, габаритные размеры 4210 × 1380 × 1908 мм.

Барановичский завод автоматических линий (Республика Беларусь) предложил потребителям свою продукцию.

Токарный патронный станок СБ 5540 с ЧПУ для высокоточной обработки деталей типа фланцев, дисков, колец подшипников, тройников, угольников, крестовин различных типов. Отличительной особенностью станка является возможность использования двухкулачковых поворотных патронов и восьмипозиционной револьверной головки с вертикальной осью вращения диска. Наибольший диаметр обрабатываемого изделия: над станиной — 250 мм, над суппортом — 200 мм. Мощность привода главного движения 30 кВт. Продольный ход суппорта 360 мм, поперечный — 250 мм. Точность позиционирования суппорта при продольном перемещении 10 мкм, при поперечном перемещении — 6 мкм. Габаритные размеры станка 2000 × 3500 × 2100 мм, масса 3,5 кг.

Специальный токарный станок СБ 5565 с ЧПУ для обработки корпусов подшипника кулака заднего и переднего, а также тел вращения. Станок оснащен шпиндельной бабкой, в конструкции которой предусмотрено охлаждение подшипников шпинделя. Широкие диапазоны скоростей и подач в сочетании с высокой жесткостью узлов обеспечивают эффективное использование резаков. В качестве зажимного приспособления используется трехкулачковый патрон. Зажим детали в патроне — гидравлический. Продольное и поперечное перемещения крестового суппорта осуществляются от отдельных бесступенчатого регулируемых приводов подач через шариковинтовые подачи. Для повышения точности и надежности станка применены закаленные и шлифовальные направляющие в паре с накладными из антифрикционной пластмассы. В главном приводе мощностью 7,5 кВт применено бесступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя. В станке предусмотрены удобный доступ к рабочим органам и простота установки и снятия заготовок; централизованная система смазки направляющих с контролем подачи масла, а также точная смазка подшипников шпинделя; защита оператора от стружки и эмульсии ограждением зоны обработки; система охлаждения инструмента эмульсией. Максимальный диаметр обработки на станке 200 мм. Диапазон частоты вращения шпинделя 0—1000 мин⁻¹. Перемещение суппорта: продольное — 250 мм, поперечное —

300 мм. Габаритные размеры станка 2800 × 1200 × 2200 мм, масса 4,4 т.

Специальный фрезерный станок СБ832 (рис. 4) для обработки подпятникового места в адресорной балке. Станок горизонтальный односторонний. Обработка заготовок производится рабочей подачей стола и круговой подачей поворотного ротора, фрезерованием двумя комбинированными фрезами с механическим креплением неперетачиваемых пластин. В случае обработки деталей разных наименований обработка производится партиями с переналадкой станка, заключающейся в смене режущего инструмента. Система управления — программируемый контроллер. Проектная производительность станка 6,3 шт/ч, установленная мощность 28,11 кВт, габаритные размеры 3600 × 3500 × 2000 мм, масса 12 т.

Барановичский завод автоматических линий проводит восстановление и глубокую модернизацию колесотокарных станков фирмы RAFAMET и станков, выпускаемых заводом "КЗТС", для обточки профиля поверхности качения колесных пар.

ООО "Диамех" (Москва) предложило балансировочные станки различного назначения, разработанные за рубежом.

Балансировочный станок Tooldyne SV (рис. 5) для балансировки широкого модельного ряда инструмента и держателей инструмента с получением высокоточных результатов балансировки за кратчайший промежуток времени. Пневматическое устройство станка приводит в действие быстросъемное устройство автоматической фиксации инструмента в шпинделе с целью точного моделирования условий работы для обеспечения прецизионной балансировки. Использование балансировочных программ обеспечивает быстрый подсчет дисбаланса. Питающее напряжение станка 230 В, габаритные размеры 500 × 1500 × 820 мм, масса ротора станка 30 кг.

Балансировочный станок Туре 400 FBTU для измерения и коррекции дисбаланса якорей электродвигателей различных типоразмеров. Коррекция дисбаланса проводится фрезерованием в одной или двух плоскостях. Корректировочный модуль оснащен системой цифрового контроля фрезерования и позиционирующим устройством. Операционное время при балансировке 20—25 с, пропускная способность 180—240 шт/ч, время перенастройки 5—15 мин, точность балансировки 3 г · мм/кг.

ЗАО "ТОЛЕДО" (С.-Петербург) продемонстрировало и предложило потребителям заточные станки различного назначения, разработанные в США.

Станок E 90i для заточки твердосплавных концевых фрез и фрез из быстрорежущей стали. На станке можно затачивать главный задний угол и угол на торце концевых фрез. "Плавающий" пневмошпиндель станка плавно и легко вращается и перемещается на всю длину заточки фрезы. Диаметр затачиваемых фрез 1,5—52 мм. Диаметр хвостовиков фрез 1,5—26 мм

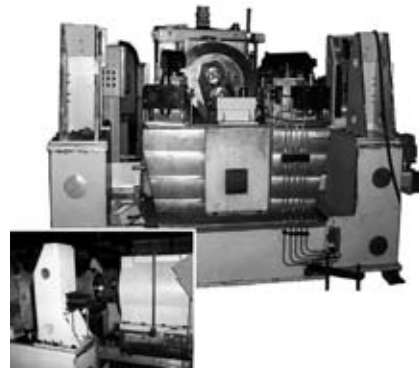


Рис. 4. Специальный фрезерный станок СБ832



Рис. 5. Балансировочный станок Tooldyne SV



Рис. 6. Станок XT-3000

(имеется возможность использования переходников для хвостовиков большего диаметра с точной цанговой системой крепления). Максимальная длина канавок фрез 156 мм при их числе 2—6 шт. Среднее время заточки до 2 мин (для двухканавочной концевой фрезы диаметром 12 мм). Питающее напряжение станка 220 В, габаритные размеры 450 × 430 × 280 мм, масса 33 кг.

Станок XT-3000 (рис. 6) для стандартной и крестообразной заточки спиральных твердосплавных сверл из быстрорежущей стали. Специальные приспособления станка позволяют затачивать ступенчатые сверла, зенковки, сверла для деревообработки и тонколистового металла. Цикл заточки одного сверла до 1 мин. Профиль заточки сверла регулируется. Предусмотрена вакуумная вытяжка отработанного материала. Станок оснащен двумя кулачковыми зажимными патронами повышенной точности. Диаметр затачиваемых сверл 3—21 мм при длине от 50 мм. Питающее напряжение станка 220 В, частота вращения рабочего органа до 3450 мин⁻¹. Габаритные размеры станка 410 × 410 × 260 мм, масса 28 кг.

Станок Micra 10 Integral для заточки твердосплавных сверл и сверл из быстрорежущей стали диаметром 0,5—16 мм. Число режущих кромок станка 2 шт. Углы заточки сверл 80—180°, резания — 0—18°. Сверла крепятся в высокоточном универсальном четырехкулачковом патроне или цанговом патроне с набором из 10 цанг. Правка кругов осуществляется встроенным алмазным приспособлением. Габаритные размеры станка 680 × 500 × 520 мм, масса 57 кг.

На выставке "Металлообработка—2008" специалисты ознакомились с последними достижениями в технологии металлообработки, оборудованием, приборами и инструментами качественно нового уровня. Машиностроители-потребители металлообрабатывающего оборудования получили на выставке полезную информацию экономического характера, коммерческого и маркетингового характера, расширили партнерские связи.

В рамках выставки прошла научно-практическая конференция "Российское инновационное станкостроение. Комплексные технологии. Наука. Производство", организованная Ассоциацией "Станкоинструмент". На ней ведущие российские и зарубежные специалисты, руководители предприятий и конструкторских бюро в докладах предложили новые идеи в различных областях металлообработки и станкостроения.

А. Н. ИВАНОВ, инж.

Алфавитный указатель статей за 2008 г.

- Абрамов А. Д., Галай М. С.** — Применение виброударной технологии для упрочнения поверхностей деталей машин — № 11.
- Агамиров Л. В., Говорун М. В.** — Методика моделирования сложных переходных зон при проектировании крупногабаритных элементов конструкций авиационной техники — № 10.
- Аглас А. А., Новосадов В. С.** — Технологические особенности формирования адгезионных соединений при лазерной пайке в сборочно-монтажном производстве — № 6.
- Ананьев А. С., Серов В. П.** — Математическая модель процесса нарезания резьбы метчиком — № 4.
- Антонов А. А., Капустин О. Е.** — Оптико-электронный интерферометр для измерения остаточных напряжений — № 3.
- Афанасьев А. А.** — Технология восстановления и упрочнения изношенных поверхностей стальных деталей — № 2.
- Афонин Е. А.** — Комплексная методика статистического анализа дефектности рабочих лопаток газотурбинного двигателя — № 12.
- Бабенко П. Г., Иванов И. Н.** — Высокочастотные индукторы для индукционной пайки — № 6.
- Багаев К. А.** — Контроль геометрических параметров железно-дорожного колеса — № 4.
- Бажанов А. В., Пронин Н. С., Федоров С. А., Фролов В. А.** — Технологические особенности низкотемпературной пайки оптических модулей — № 4.
- Бажанов А. В., Федоров С. А., Пронин Н. С., Фролов В. А.** — Изготовление узлов радиоэлектронной аппаратуры низкотемпературной пайкой с использованием сфокусированного светового луча — № 8.
- Бакулин С. С.** — Особенности пайки тонкостенных конструкций из жаропрочных никелевых сплавов — № 6.
- Балабин В. Н.** — Повышение топливной экономичности тепловозных дизелей — № 7.
- Барабанова О. А., Могорычный В. И., Набатчиков С. В.** — Слоистые композиционные материалы в теплообменной технике криогенных систем — № 7.
- Батов Г. П.** — Влияние объемности напряженно-деформированного состояния на скорость роста усталостных трещин — № 12.
- Батов Г. П., Бирюкова Н. П., Ермолаев А. А.** — 1-я Международная школа-семинар "Определение напряженно-деформированного состояния и оценка остаточного ресурса технических устройств и сооружений" — № 3.
- Бекасов Д. Л.** — Фрезоточение некруглых профилей с продольной подачей — № 3.
- Бекасов Д. Л., Воронов В. Н.** — Классификация схем фрезоточения некруглых профилей — № 7.
- Бекасов Д. Л., Воронов В. Н.** — Методика расчета основных геометрических параметров некруглых профилей, обработанных фрезоточением — № 4.
- Бекасов Д. Л., Воронов В. Н.** — Экспериментальные исследования процесса фрезоточения некруглых профилей — № 5.
- Бендерский Г. П., Федоров В. К., Кислуха А. Е.** — Управление инновационным процессом в условиях действия государственного оборонного заказа — № 2.
- Бербасова Н. Ю., Куликов В. П., Основский В. А., Тарасенко С. И.** — Управление качеством сварных конструкций на основе системно-процессного моделирования — № 5.
- Бернадский В. Н.** — Новые рубежи Института сварки Франции — № 10.
- Бернадский В. Н., Маковецкая О. К.** — Европейское судостроение наращивает производство — № 2.
- Бигус Г. А., Попков Ю. С.** — Перспективы применения метода акустической эмиссии для слежения за развитием коррозионных повреждений — № 8.
- Бирюков Г. П., Блатиков Г. А., Торпачев А. В.** — Анализ качества стартовых комплексов с использованием системных показателей — № 9.
- Богданович Е. Н., Шалимов Ю. Н.** — Электрохимическая технология получения сплавов с компонентами различных потенциалов восстановления для антифрикционных покрытий — № 4.
- Бойко А. Ф., Погонин А. А., Воронкова М. Н.** — Оптимизация вылета электрода-инструмента при электроэрозионной прошивке микроотверстий — № 10.
- Болдырев А. М., Биржев В. А., Мартыненко А. И.** — Исследование влияния внешнего магнитного поля на коэффициент расплавления электродного металла при дуговой наплавке — № 3.
- Боченин В. И.** — Экспресс-анализ карбида вольфрама радиоизотопным способом при производстве высокопрочных металлокерамических сплавов — № 3.
- Будкин Ю. В.** — Механизм и стратегия развития инновационных производственных процессов — № 3.
- Будкин Ю. В.** — Модель управления инновационными процессами в сварочном производстве — № 4.
- Бузановский В. А.** — Технология синтеза информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств веществ — № 10.
- Бутовский М. Э.** — Отходы машиностроительного предприятия и пути их использования — № 11.
- Васин В. А.** — Технология проектирования и производства устройств и элементов, исключающих трение движения систем вакуумного оборудования производства изделий электронной техники и других высоких технологий — № 12.
- Васин В. А.** — Функциональные устройства вакуумного оборудования электронного машиностроения на основе приводов управляемой упругой деформации — № 7.
- Вдовенко В. Г., Потапов В. Н., Чуйкин С. А.** — Применение bipolarного электрода для управления процессом электрохимической обработки деталей машин на принципах синергетики — № 4.
- Вдовенко В. Г., Потапов В. Н., Чуйкин С. А.** — Управление процессом электрохимической обработки деталей машин с применением принципов синергетики — № 2.
- Волков Д. В., Щукин М. В.** — Архив конструкторской документации: от бумажных оригиналов к электронным копиям — № 5.
- Волкова О. А.** — Внедрение в систему менеджмента качества новых технологических процессов — № 4.
- Волобуев Ю. С., Потапов В. Н., Старченко Е. Г., Волобуев О. С.** — Состояние и перспективы развития производства и применения сварочных флюсов в отечественной промышленности — № 11.
- Волочиненко В. А.** — Организация выполнения оперативных планов производства на основе распознавания проблемных ситуаций, вызванных внешними и внутренними возмущениями — № 5.
- Вячеславова О. Ф., Потапов В. Н., Иванайский А. В.** — Применение информационных технологий для контроля параметров поверхности изделия ракетно-космической техники — № 9.
- Гаврилова Т. М.** — Физико-механические свойства поверхностного слоя деталей после ультразвукового раскатывания — № 11.

- Гавриш С. В.** — Технология выращивания и характеристики профилированных сапфировых труб для оболочек разрядных ламп — № 6.
- Гадалов В. Н., Алехин Ю. Г., Скрипкина Ю. В., Бредихина О. А., Абашкин Р. Е., Винокуров О. В.** — Электроискровые покрытия, подвергнутые выглаживанию минералокерамикой — № 11.
- Галкин В. И., Анохин А. О.** — Практический опыт модернизации автоматизированных систем технологической подготовки производства — № 8.
- Галкин В. И., Преображенский Е. В.** — Перспективы получения бесшовных оболочек из волоконистых композиционных материалов — № 8.
- Георгиевский Г. М., Георгиевский М. Г., Батышев К. А., Батышев А. И.** — Совершенствование конструкций шестеренных насосов — № 2.
- Герасимов М. В.** — Влияние неметаллов на электрохимическое поведение быстрозакаленных сплавов железа и титана — № 10.
- Герасимов М. В.** — Многослойные никель-фосфорные покрытия для защиты стали от атмосферной коррозии — № 8.
- Гецкин О. Б., Полосков С. И., Ерофеев В. А., Витько О. П.** — Имитационное моделирование особенностей управления переносом капель при сварке с короткими замыканиями — № 10.
- Глебов А. А.** — Методика гармонизации стандартов России и API на продукцию нефтегазового машиностроения — № 5.
- Глебов А. А.** — Сертификация породоразрушающего бурового инструмента с применением методики сертификационных испытаний алмазных буровых долот — № 10.
- Гнюсов С. Ф., Гнюсов К. С., Дураков В. Г.** — Электронно-лучевая наплавка карбидосталей. Ч. 2. Особенности формирования структуры и свойств покрытий сталь Р6М5—WC — № 1.
- Головаш А. Н., Слинкин С. А., Должиков С. Н., Шахов В. Г.** — Оценка геометрических параметров колесных пар железнодорожных вагонов — № 5.
- Головкин П. А., Фесенко С. А.** — Управление деформацией как инструмент обеспечения заданных структуры и свойств поковок из титановых сплавов — № 8.
- Гордеев Ю. И., Абкарян А. К., Зеер Г. М.** — Перспективы использования нанопорошков для повышения эксплуатационных характеристик твердосплавного инструмента — № 9.
- Горев Б. В.** — Технология формообразования крупногабаритных деталей из листа и плит в режиме ползучести — № 2.
- Городилов А. А., Синенко Е. Г., Сорокин Е. А.** — Механико-технологический факультет Сибирского федерального университета. Этапы развития — № 9.
- Гриненко В. И., Рощин В. В., Хаванов В. А., Полосков С. И.** — К вопросу об автоматизации сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций — № 8.
- Гришагин В. М., Нестерук Д. Н.** — Методика учета социальных факторов при определении экономической эффективности сварочных работ — № 8.
- Губанов В. Ф.** — Выглаживатели с повышенной износостойкостью — № 2.
- Гузев В. С., Шумячер В. М.** — Повышение эффективности алмазного хонингования деталей гидроаппаратуры за счет выбора рациональных режимов обработки — № 9.
- Гурвич А. К.** — Приемочный и предшествующие ему виды неразрушающего контроля — № 6.
- Демин В. А., Ужва В. В.** — Университетский комплекс как интегрированная система обучения — № 7.
- Демин В. Г., Пикалов Я. Ю., Шатохин С. Н.** — Проектирование адаптивных гидростатических опор для шпиндельных узлов и направляющих металлорежущих станков — № 9.
- Дерябин И. П., Кожарина О. А.** — Исследование наследования погрешностей расположения осей отверстий при многопереходной обработке — № 6.
- Дзоценидзе Т.** — Концепция национальной инновационной программы "Создание новой экспортно-ориентированной автомобильной промышленности России" — № 12.
- Дидик Ю. И., Иоффе Ю. Е., Симо Д. К.** — Метрологическое обеспечение измерения тока вторичного контура контактных машин — № 7.
- Добринский Е. С.** — К 100-летию В. В. Бойцова — № 3.
- Добринский Е. С., Сеин В. А.** — Биодизель и двигатели на выставке "Золотая осень — 2007" — № 2.
- Добринский Е. С., Сеин В. А.** — Инновационные продукты. Технология, инструменты и материалы зарубежных фирм — № 2.
- Добринский Е. С., Сеин В. А.** — Инновационные продукты, современные материалы, технологии и инструменты зарубежных фирм — № 11.
- Добринский Е. С., Сеин В. А.** — Международный конгресс "Биодизель — 2007": состояние, прогнозы и тенденции — № 3.
- Добринский Е. С., Сеин В. А.** — Особенности развития национального автомобилестроения в 2007 г. — № 5.
- Добринский Е. С., Сеин В. А.** — Проблемы энергосбережения и экологии автомобильной техники — № 3.
- Добринский Е. С., Сеин В. А.** — Промышленная сборка: положительные истораживающие тенденции реальной экономики российского автомобилестроения — № 1.
- Добринский Е. С., Сеин В. А.** — Региональная политика частногосударственного партнерства развития российского автотропа — № 7.
- Докшанин С. Г., Докшанина И. И.** — Моделирование контактных напряжений на поверхности качения с учетом сил трения — № 9.
- Дорошенко Н. В.** — Вентиляция участков газовой резки металлолома — № 5.
- Дудников С. В.** — Роль и место службы занятости по трудоустройству выпускников учреждений профессионального образования — № 10.
- Дуюн Т. А., Гринек А. В.** — Математическая модель стружкообразования при точении коллекторной меди — № 11.
- Дуюн Т. А., Гринек А. В.** — Особенности токарной обработки поверхности коллекторов электродвигателей постоянного тока — № 9.
- Ежов Г. П.** — Современный производственный менеджмент и перспективы его развития — № 6.
- Еренков О. Ю., Гаврилова А. В.** — Термомеханические параметры процесса резания полимерных материалов — № 3.
- Жаров М. В., Ширяев Е. В.** — Рациональное применение термомеханических процессов при производстве изделий из отходов, полученных при механической обработке титановых сплавов — № 8.
- Журавлев В. В.** — Особенности пайки алмазных резцов — № 11.
- Звягинцева А. В., Шалимов Ю. Н.** — Особенности электрохимического образования Ni—В-покрытий — № 3.
- Зинченко В. М., Чертов В. М.** — Объединение разработки новой технологии и изготовления современного оборудования — № 3.
- Зубков Н. Н., Ломакин А. В.** — Получение гранных отверстий методом качающейся прошивки — № 7.
- Зубков Н. С., Золотов А. А.** — Технологическая прочность наплавленной быстрорежущей стали с повышенным содержанием серы — № 7.
- Зуев А. К., Зуев А. А., Савинов Ю. П.** — О методике расчета цилиндрических зубчатых колес — № 10.

- Зуев А. К., Савинов Ю. П.** — Бесшумные зубчатые передачи — № 4.
- Иванайский А. В., Иванайский В. А., Мыслевец Е. А.** — Технология изготовления отливок из высоколегированных сталей, склонных к пленкообразованию — № 11.
- Иванов А. Н.** — 8-я Международная выставка "Высокие технологии XXI века" — № 1.
- Иванов А. Н.** — 8-я Международная выставка "Индустрия пластмасс — 2007" — № 5.
- Иванов А. Н.** — 12-я Международная специализированная выставка "Интерлакокраска — 2008" — № 9.
- Иванов А. Н.** — 10-я Международная выставка "Intertool — 2007" — № 4.
- Иванов А. Н.** — 10-я Международная выставка "Металлообработка — 2008" — № 12.
- Иванов А. Н.** — Международный промышленный форум — 2007 — № 4.
- Иванов А. Н.** — Международный форум "Высокие технологии XXI века" — № 10.
- Иванов А. Н.** — 7-я Международная специализированная выставка "Передовые технологии автоматизации — 2007" — № 2.
- Иванов А. Н.** — 4-я Международная выставка "КИП Экспо — 2007" — № 3.
- Иванов В. С.** — Итерационный метод решения системы уравнений в задачах циклоидального формообразования деталей при обработке вращающимся лезвийным инструментом — № 5.
- Иванов Ю. В.** — Исследование вибраций и результаты работ по их снижению в кузнечных цехах — № 10.
- Илясов Е. П., Лисичкин С. В.** — О методе оценки эффективности работы центров содействия занятости учащейся молодежи и трудоустройству выпускников вузов — № 4.
- Информационно-коммуникационные технологии в образовании.** Интегрированная автоматизированная система управления учреждением высшего профессионального образования. Общие требования (ГОСТ Р 52655—2006) — № 3.
- Исакаев Э. Х., Гусев В. М., Мордынский В. Б.** — Повышение ресурса деталей с газотермическими покрытиями нефтепромыслового оборудования — № 12.
- Калашников Е. А.** — Презентация программы развития ОАО "Русич" — КЗКТ им. Д. М. Карбышева — № 3.
- Калашникова И. А., Калашников А. В.** — Технология получения порошка на основе базальта — № 4.
- Клименов В. А., Ковалевская Ж. Г., Ульяницкий В. Ю., Зайцев К. В., Борозна В. Ю.** — Влияние ультразвуковой обработки основы на формирование покрытия при детонационном напылении — № 7.
- Клочков В. В.** — Модели рынков услуг и работ по модернизации авиатехники — № 7.
- Клочков В. В., Шкадова А. А., Ждановский А. В.** — Экономические аспекты морального устаревания техники — № 11.
- Клюев В. В., Федосенко Ю. К., Мужичкий В. Ф.** — Вихретоковый контроль: современное состояние и перспективы развития — № 1.
- Козлов А. В., Шеркунов В. Г., Хилькевич Я. М.** — Опыт гибки тонкостенных труб в холодном состоянии — № 10.
- Козырев В. В., Козырева Л. В., Чупятов Н. Н.** — Применение CVD-метода металлоорганических соединений никеля при создании композиционных материалов и покрытий — № 2.
- Комплексная система контроля качества.** Контроль качества материалов и полуфабрикатов, используемых при изготовлении изделий авиационной, космической, оборонной техники и техники двойного применения на предприятиях-поставщиках (общие требования) (ГОСТ Р 52745—2007) — № 5.
- Кондратенко Л. А.** — Некоторые динамические особенности сверления глубоких отверстий — № 2.
- Коротков В. А., Шекуров А. В.** — Исследование плазменной закалки — № 3.
- Корчагин А. И., Зубрилов Г. Ю.** — Перспективы применения коллоидных растворов в качестве смазочных материалов при квазистатическом трении скольжения — № 9.
- Косаревский С. В.** — Интеграция внешних программных модулей с метрологическим программным обеспечением Calypso для автоматизации расчетов в процессе измерений — № 8.
- Косаревский С. В.** — Метод контроля геометрических параметров крупногабаритных деталей с перебазируванием на координатно-измерительной машине при помощи программного обеспечения Calypso — № 5.
- Котельников В. И.** — Резание металла с нагревом, совмещенное с поверхностным пластическим деформированием обработанной детали — № 8.
- Красильников С. Б., Сонин Г. И.** — Рентгеновский радиометрический контроль кольцевых сварных соединений при строительстве магистральных газопроводов — № 2.
- Кретов Е. Ф.** — Ультразвуковая толщинометрия в машиностроении — № 11.
- Кривошапко С. Н.** — Торсовые изделия, получаемые параболическим изгибанием тонких металлических заготовок — № 2.
- Кропачев Д. Ю., Никоненко В. А.** — Контроль и регулирование температуры хлорида бария в солевых печах — № 2.
- Крушенко Г. Г.** — Модифицирование доэвтектического алюминий-кремниевого сплава нанопорошком нитрида титана при литье сложнагруженных деталей транспортных средств — № 11.
- Кряжев Ю. А., Огневенко Е. С.** — Исследование колебательных процессов, возникающих при работе спирального сверла, с применением анализа акустического сигнала — № 1.
- Кудрявцев А. Ю.** — Автоматизация сварочного процесса в строительной индустрии при внедрении линии "АЛИКС-2601" — № 7.
- Курносоев Н. Е., Шерстобитова Т. И., Тарнапольский А. В.** — Проблемы коммерциализации вихревых устройств для распыления жидкостей — № 5.
- Куршаков Л. Е., Мироненко В. В.** — Некоторые аспекты возрождения российского машиностроительного комплекса в свете диверсификации отечественной экономики — № 2.
- Куценко А. И., Гурдин В. И., Жеребцов С. Н., Крупенков А. Н.** — Влияние модифицирования РЗМ на структуру и механические свойства сплава ЖС6-К — № 1.
- Куценко А. И., Гурдин В. И., Жеребцов С. Н., Крупенков А. Н.** — Влияние структуры никелевого сплава на механические свойства изделий — № 1.
- Ломаев В. И., Сагателян Г. Р., Иванайский В. А.** — Технологическое обеспечение точности изделий из композиционных материалов, изготавливаемых методом выкладки — № 11.
- Лукин Л. Л., Смирнов В. А.** — Методика проектирования прерывистых шлифовальных кругов с упругодеформирующими элементами — № 8.
- Людмирский Ю. Г., Солтовец М. В.** — Опыт реализации принципов организационно-технологического проектирования роботизированных комплексов для дуговой сварки — № 4.
- Макаренко В. Д., Синкевичус А. А.** — Нейросетевой анализ коррозионной стойкости трубных сталей нефтяного назначения — № 12.
- Малич Н. В.** — Основные формы развития сотрудничества Московского энергетического института (технического университета) и предприятий в условиях рыночной экономики — № 6.
- Малов И. Е., Мамалиев С. Ф., Шиганов И. Н.** — Фотополимеризующиеся композиции для лазерной стереолитографии — № 11.

- Мальшев Ю. О.** — Калибраторы серии КС — переносная поверочная лаборатория, удовлетворяющая требованиям ГОСТ Р 8.624—2006 — № 9.
- Мальцев В. Г., Моргунов А. П.** — Способ повышения точности формообразования цилиндрических поверхностей, основанный на сдвиге задней бабки токарного станка в поперечном направлении — № 1.
- Марголит Р. Б., Липатов С. И., Терехова О. А.** — Оптимизация силовых характеристик регулируемых главных приводов токарных станков — № 12.
- Машрабов Н.** — Моделирование тепловых полей при механической обработке металлов численным методом — № 9.
- Медарь А. В.** — Методология технологического синтеза — № 4.
- Медарь А. В.** — Принципы технологического синтеза — № 3.
- Мирош Ю. М., Птицын В. Ф., Сухова Т. С.** — Разработка методологии оценки рисков в процессе производства систем адаптации ракетносителей и космических аппаратов — № 1.
- Михайлин С. М., Жданов С. В.** — Подготовка формовочной смеси и полуфабрикатов абразивных изделий для высокочастотной бакелизации — № 6.
- Михалев О. Н., Янюшкин А. С.** — Программная реализация автоматизированного проектирования обработки точных отверстий на станках фрезерно-сверлильно-расточной группы с ЧПУ — № 10.
- Михеев А. А., Прокопьев С. В.** — Влияние защитной среды на стехиометрический состав пьезокерамики при диффузионной сварке — № 9.
- Мордынский В. Б., Тютяев А. С., Тазикова Т. Ф., Хачатурова А. Г.** — Возможности плазменных технологий для повышения ресурса теплоэнергетического оборудования (обзор) — № 9.
- Моргунов А. П., Сердюк В. С., Стищенко Л. Г., Коржова О. П., Чуранкин В. Г.** — Технология сборки профилейных подвижных соединений деформирующим протягиванием — № 3.
- Мосягин А. С., Алексеев И. В., Михнин И. Д.** — Технологический процесс изготовления сварных сотовых блоков — № 1.
- Мурзаханов Г. Х., Быстрова Н. А., Рябцев С. Л.** — Модель оценки остаточного ресурса резервуаров по критериям механики разрушения — № 7.
- Мчедлов С. Г.** — Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин (обзор). Ч. 1. Газопламенное и детонационное напыление — № 6.
- Нафиков М. З., Загиров И. И.** — Математическая модель формирования соединения при электроконтактной наплавке (наварке) проволоки — № 6.
- Неделько А. Ю.** — Измерение температуры бесконтактным способом при наличии электромагнитных полей и ТВЧ — № 12.
- Новосельцев Ю. Г., Черных Е. А., Туф С. М.** — Исследование условий для эффективной работы плазмы в сварочных процессах — № 9.
- Носачев А. Н.** — Аутсорсинг в тяжелом машиностроении: мировой опыт и возможности для российских компаний — № 3.
- Носенко В. А., Носенко С. В., Довгаль А. Н., Васильев А. А.** — Разработка рецептуры высокопористых кругов из карбида кремния для глубинного шлифования титановых сплавов — № 4.
- Носов В. К., Уваров В. Н., Мамонов С. А.** — Повышение профессиональной подготовки выпускников вузов и содействие их трудоустройству — № 11.
- Оборудование** технологическое для литейного производства. Оборудование для дробеметной, дробеструйной и дробеметно-дробеструйной обработки. Требования безопасности (ГОСТ 31335 — 2006) — № 6.
- Оголихин В. М., Шемелин С. Д.** — Получение композиционных материалов с заданной теплопроводностью сваркой взрывом — № 4.
- Оголихин В. М., Шемелин С. Д.** — Установка для обработки взрывом длинномерных изделий — № 7.
- Палтеевич А. Р.** — Получение изделий с заданным комплексом механических свойств в процессах обработки металлов давлением с применением методов математического моделирования — № 8.
- Панфилов В. А., Мурашко В. М., Тарасов А. Н.** — Титановые сплавы в композиции российского триколора для Северного Ледовитого океана — № 6.
- Пасси Г.** — Неразрушающий контроль как компонент стратегии минимизации рисков и затрат на эксплуатацию и обслуживание потенциально опасных объектов — № 3.
- Петецкий В. Н., Петецкий Н. В.** — Фазовая динамика в условиях сварки с ограниченным количеством шлака конструкций ответственного назначения — № 9.
- Петров А. П., Жаров М. В.** — Программное обеспечение для автоматизации изотермической штамповки с применением термокомпрессионной установки — № 8.
- Петров А. П., Соколов В. С.** — Кафедра "Технология обработки металлов давлением" "МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского — 65 лет — № 8.
- Плахтин В. Д., Паршин А. Н., Давыдов А. П.** — Изготовление зубчатых колес с арочными зубьями с применением пальцевых фрез — № 6.
- Погонин А. А., Дуон Т. А., Гринек А. В.** — Влияние технологических режимов на качество поверхности при отделочно-упрочняющей обработке коллекторов электродвигателей — № 10.
- Половцев В. А., Макаров Н. В., Шилло Г. В., Сабанцев А. В., Смирнова Т. Н., Штрикман М. М.** — Фрикционная сварка алюминиевых лайнеров металлокомпозитных баллонов высокого давления — № 1.
- Полянский М. А.** — Особенности применения термометров сопротивления и термоэлектрических преобразователей — № 11.
- Полянчиков Ю. Н., Полянчикова М. Ю., Плотников А. Л., Курсин О. А., Лешуков А. В.** — Повышение качества поверхности хонингованием с возрастающей скоростью — № 4.
- Попоудина С. А., Марцинкевич А. В.** — Нормативное обеспечение проблемы измерения толщины ультразвуковым методом — № 4.
- Потапов В. А., Феофанов А. Н.** — Автоматизация производства предприятия — № 11.
- Потапова Г. С.** — Содержание зарубежных журналов — № 1—12.
- Пыкин Ю. А., Анахов С. В.** — Факторы снижения шумов при работе плазменного оборудования — № 7.
- Расторгуев Г. А.** — Особенности автоматизации сборочных работ в машиностроении — № 7.
- Расторгуев Г. А., Соловьев В. В.** — Надежность станочных систем и стабильность технологических процессов в машиностроении — № 2.
- Рафаилов А. П., Проскураков В. А.** — Подходы к определению эффективности проекта и оценке труда разработчика на примере научно-исследовательской организации — № 5.
- Рогов В. А., Позняк Г. Г., Копылов В. В., Кошеленко А. С., Хамдан Я. М.** — Исследование напряженно-деформированного состояния стоек технологического оборудования с помощью поляризационно-оптической модели — № 5.
- Рогов В. А., Позняк Г. Г., Копылов В. В., Лыкова Е. С.** — Анализ возможности снижения колебаний шпинделя особо точного станка до нанометрического уровня — № 1.
- Рогов В. А., Расторгуев Г. А., Позняк Г. Г.** — Выбор метода получения заготовок в машиностроении — № 12.
- Руцкий Д. В., Жульев С. И., Бод К. Ю.** — Применение сдвоенных ступенчатых слитков для производства поковок — № 5.

- Сайфутдинов С. М.** — Капиллярный контроль: история и современное состояние — № 10.
- Сапрыкин А. А., Вальтер А. В.** — Производительность процесса 2,5-координатного формообразования и технологичность изделий сложной пространственной формы — № 2.
- Сараев Ю. Н., Безбородов В. П., Макарова Л. И., Екимов В. С., Труфакина Л. М.** — Применение новых технологий защиты магистральных трубопроводов от коррозии и износа — № 5.
- Свистун А. В., Юрченко А. В., Дидык А. В.** — Дефектоскоп УД4-76 — ультразвуковая лаборатория в габаритах ручного дефектоскопа — № 1.
- Сидлин З. А.** — К вопросу о качестве современных отечественных электродов для ручной дуговой сварки — № 1.
- Сидоренков А. А., Жуков С. А., Загребнев Д. А., Сапронова М. А.** — Подготовка специалистов для современной российской авиакомпании — № 12.
- Силуянова М. В.** — Повышение конкурентоспособности газотурбинных двигателей на основе функционально-стоимостного анализа производственных стадий жизненного цикла — № 5.
- Синенко Е. Г., Абазин Д. Д., Конищева О. В.** — Кинематика и динамика зубчатого эксцентричного дифференциала — № 9.
- Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования (ГОСТ 12.1.012—2004)** — № 7.
- Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Перечень эквивалентных терминов (ГОСТ Р 12.4.235—2007)** — № 11.
- Славин А. В., Шумячер В. М.** — Механо-химические процессы взаимодействия абразивного инструмента и заготовки при шлифовании металла — № 1.
- Смольников Н. Я., Скребнев Г. Г.** — Некоторые особенности процесса стружкообразования и износа зубьев фасонных угловых фрез — № 3.
- Смольников Н. Я., Скребнев Г. Г.** — Червячные фрезы для передач Новикова с модифицированным профилем зубьев — № 2.
- Солер Я. И., Казимиров Д. Ю., Стрелков А. Б.** — Исследование несущей способности плоских деталей из стали 08X15H5D2T при многопроходном шлифовании абразивными кругами высокой пористости — № 1.
- Соловьева И. П., Асаева Т. А.** — Сокращение логистических затрат на стадии формирования транспортных подразделений машиностроительных предприятий — № 9.
- Стенин В. А., Дрондель В. Г.** — Совершенствование технологии промывки гидравлических систем — № 3.
- Сторчай Е. И., Лантушенко Л. С.** — Экологически чистая технология бесфлюсовой пайки алюминиевых сплавов — № 2.
- Строшков В. П., Пшеничников В. А.** — Высокоточное скоростное электрохимическое формообразование — экономичный и ресурсосберегающий метод металлообработки — № 6.
- Суминов В. М., Гребенюк Е. И.** — Организационно-методическое сопровождение трудоустройства выпускников кафедры "Технология производства приборов и систем управления" "МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского — № 5.
- Суслов Ан. А.** — 8-й Международный салон инноваций и инвестиций — № 6.
- Суслов Ан. А.** — 8-я Специализированная выставка "Изделия и технологии двойного назначения. Диверсификация ОПК" — № 1.
- Суслов Ан. А.** — 5-я Международная специализированная выставка и конференция "Покрытия и обработка поверхности — 2008" — № 8.
- Суслов Ан. А.** — 4-я Специализированная выставка нанотехнологий и материалов "NTMEX — 2007" — № 4.
- Тарасов А. Б., Тарасов С. А.** — Определение зависимостей реакций подшипниковых опор от изменяющихся соотношений моментов инерций — № 6.
- Темных В. И., Казаков В. С., Митяев А. Е., Темных Е. В.** — Модели формирования композиционных структур припоев на основе галлия в процессе затвердевания — № 9.
- Токмин А. М., Теремов С. Г., Масанский О. А.** — Исследование структуры и свойств слоя, полученного индукционной наплавкой металлических порошков — № 9.
- Тополянский П. А.** — 10-я Международная научно-техническая конференция "Технология ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки" — № 6.
- Трыков Ю. П., Трыков А. Ю., Гуревич Л. М., Гурулев Д. Н., Петров А. Э.** — Кольцевые крупногабаритные титаностальные переходники с паяно-сварными стыковыми соединениями — № 2.
- Тюрин А. Н.** — Баланс энергии взаимодействия инструмента и заготовки при суперфинишировании — № 5.
- Тюрин А. Н.** — Определение энергии резания единичным абразивным зерном — № 6.
- Федоренко М. А.** — Ротационная обработка крупногабаритных поверхностей вращения — № 5.
- Федоренко М. А.** — Механическая обработка крупногабаритных поверхностей вращения без их демонтажа в условиях эксплуатации — № 10.
- Федоренко М. А.** — Обеспечение точности обработки цилиндрической поверхности с учетом перемещения оси вращения в пространстве — № 6.
- Федоренко М. А.** — Способ обработки цилиндрических поверхностей при базировании на эллиптических базах — № 9.
- Федоренко М. А.** — Формирование отклонений пространственного положения рабочих органов вращающегося оборудования — № 1.
- Федоров Д. Н., Жульев С. И., Мозговой А. В.** — Разработка геометрии кузнечного слитка для полых поковок — № 4.
- Федоров Ю. Н., Артамонов В. Д., Золотухина О. Л.** — Зубонарезание цилиндрических колес методом обката на модернизированных фрезерных станках — № 1.
- Феофанов А. Н.** — Понятие риска на этапе проектирования гибкой автоматической линии и возможности реализации данной продукции — № 3.
- Фетисов Г. П., Чертов В. М.** — Рецензия на книгу "Синергетика явлений и процессов в металловедении, упрочняющих технологиях и разрушении" — № 2.
- Фролов А. В.** — Пути решения проблемы внутренней проверки систем менеджмента качества авиакосмической отрасли — № 2.
- Фролов В. А., Федоров С. А.** — Проблемы, основные цели и направления реформирования системы подготовки профессиональных кадров технологического профиля — № 2.
- Фролов В. П.** — Принципиальные схемы процессов изготовления решетчатых крыльев — № 4.
- Ханов А. М., Онорин О. А., Игнатов М. Н.** — Динамические характеристики ультрафиолетового излучения и сварочной пыли при сварке — № 4.
- Хвастунов Р. М., Негримовская Н. П., Феофанов А. Н.** — Способы отбора специалистов в состав экспертных групп — № 10.
- Хвастунов Р. М., Феофанов А. Н., Негримовская Н. П.** — Обеспечение эргономичности технического устройства на стадии проектирования — № 12.
- Хромченко Ф. А.** — Сварочные технологии ремонта элементов трубопроводных систем теплотехники. Ч. 1. Ремонт элементов трубопроводов I категории — № 4.

- Хромченко Ф. А.** — Сварочные технологии ремонта элементов трубопроводных систем теплоэнергетики. Ч. 2. Ремонт сварных соединений трубопроводов II—IV категорий — № 5.
- Цумарев Ю. А.** — Оптимизация геометрии паяного телескопического соединения путем расчета напряженного состояния с использованием пакета прикладных программ "Cosmos-M" — № 7.
- Цыганкова И. В., Моргунов В. А.** — Генезис формирования концепции качества трудовой жизни — № 1.
- Чепчуров М. С.** — Контроль и регистрация основных параметров резания при обработке крупногабаритных деталей — № 3.
- Чепчуров М. С.** — Обработка деталей с неравномерным по структуре материалом припуска — № 10.
- Черепанов А. И., Бабкин В. Г.** — Расчет литейной усадки алюминиевых сплавов и композиционных материалов — № 9.
- Чертов В. М.** — Возможность замены бронзы в приборостроении — № 5.
- Чертов В. М.** — Волокнистые конструкционные материалы деталей оборудования для термической обработки — № 5.
- Чертов В. М.** — Качественная закалка литых и кованных заготовок — № 1.
- Чертов В. М.** — О структуре материала железнодорожных колес — № 10.
- Чертов В. М.** — От электролитного борирования к газовому: эволюция и перспективы — № 6.
- Чертов В. М.** — Повышение прочностных характеристик колесной стали за счет измельчения зерна — № 12.
- Чертов В. М.** — Способы предотвращения образования дефектов поверхности при термической обработке — № 2.
- Чертов В. М., Потемкин П. В.** — Высокие технологии и экология авиации — № 1.
- Чирков Г. В.** — Использование основных признаков нанотехнологии в технических системах — № 3.
- Чирков Г. В.** — Основы нанотехнологии обработки материалов — № 1.
- Шалимов Ю. Н., Харченко Е. Л., Пешков В. В.** — Особенности эффектов тепловыделения в условиях импульсного электролиза — № 2.
- Шевелев Ю. В.** — Внедрение ГОСТ Р 8.624—2006 с использованием метрологического оборудования производства ОАО "НПП "Эталон" — № 10.
- Шереметьев К. В.** — Вспомогательный инструмент для технологической модернизации фрезерных станков — № 9.
- Шехорин В. К.** — Экологический подход к проектированию технологических процессов в машиностроении — № 6.
- Ширинская Т. Н., Губанов В. Ф., Орлов В. Н., Марфицын В. В.** — Износостойкость минералокерамических и алмазных инденторов выглаживателей — № 10.
- Шленский А. Г.** — Исследование качества соединения при плакировании сплавов системы Al—Zn—Mg — № 8.
- Шрубченко И. В., Кузнецова И. И., Колобов А. В., Шрубченко М. И.** — Оптимизация параметров бесцентровой обработки крупногабаритных бандажей технологических барабанов на основе математического моделирования — № 2.
- Шум машин.** Определение уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других заданных точках по интенсивности звука (технический метод) (ГОСТ ИСО 11205—2006) — № 1.
- Шутченко А. П., Малахов Д. В.** — Разработка модели внутрипроизводственного планирования для машиностроительного предприятия — № 1.
- Юнин И. Ю., Феофанов А. Н., Феофанов О. А.** — Перекомпонованные производственные системы реконфигурируемого производства — № 12.
- Ямников А. С., Маликов А. А., Валиков Е. Н., Сидоркин А. В.** — Ресурсосберегающие технологии изготовления цилиндрических зубчатых колес — № 7.
- Янюшкин А. С., Кузнецов А. М.** — Износостойкость твердосплавного инструмента при обработке древесностружечных плит — № 11.
- Ярославцев В. М.** — Аналитико-эмпирическая зависимость ускоренного определения оптимальных режимов резания — № 12.

К. В. Фролов — № 2.

- | | | |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Абазин Д. Д. — № 9. | Барабанова О. А. — № 7. | Бутовский М. Э. — № 11. |
| Абашкин Р. Е. — № 11. | Батов Г. П. — № 3, 12. | Быстрова Н. А. — № 7. |
| Абкарян А. К. — № 9. | Батышев А. И. — № 2. | |
| Абрамов А. Д. — № 11. | Батышев К. А. — № 2. | Валиков Е. Н. — № 7. |
| Агамиров Л. В. — № 10. | Безбородов В. П. — № 5. | Вальтер А. В. — № 2. |
| Алексеев И. В. — № 1. | Бекасов Д. Л. — № 3—5, 7. | Васильев А. А. — № 4. |
| Алехин Ю. Г. — № 11. | Бендерский Г. П. — № 2. | Васин В. А. — № 7, 12. |
| Аллас А. А. — № 6. | Бербасова Н. Ю. — № 5. | Вдовенко В. Г. — № 2, 4. |
| Ананьев А. С. — № 4. | Бернадский В. Н. — № 2, 10. | Винокуров О. В. — № 11. |
| Анахов С. В. — № 7. | Бигус Г. А. — № 8. | Витько В. П. — № 10. |
| Анохин А. О. — № 8. | Биржев В. А. — № 3. | Волков Д. В. — № 5. |
| Антонов А. А. — № 3. | Бирюков Г. П. — № 9. | Волкова О. А. — № 4. |
| Артамонов В. Д. — № 1. | Бирюкова Н. П. — № 3. | Волобуев О. С. — № 11. |
| Асаева Т. А. — № 9. | Блатиков Г. А. — № 9. | Волобуев Ю. С. — № 11. |
| Афанасьев А. А. — № 2. | Богданович Е. Н. — № 4. | Волочиненко В. А. — № 5. |
| Афонин Е. А. — № 12. | Бод К. Ю. — № 5. | Воронкова М. Н. — № 10. |
| | Бойко А. Ф. — № 10. | Воронов В. Н. — № 4, 5, 7. |
| Бабенко П. Г. — № 6. | Болдырев А. М. — № 3. | Вячеславова О. Ф. — № 9. |
| Бабкин В. Г. — № 9. | Борозна В. Ю. — № 7. | |
| Багаев К. А. — № 4. | Боченин В. И. — № 3. | Гаврилова А. В. — № 3. |
| Бажанов А. В. — № 4, 8. | Бредихина О. А. — № 11. | Гаврилова Т. М. — № 11. |
| Бакулин С. С. — № 6. | Будкин Ю. В. — № 3, 4. | Гавриш С. В. — № 6. |
| Балабин В. Н. — № 7. | Бузановский В. А. — № 10. | Гадалов В. Н. — № 11. |

- Галай М. С. — № 11.
 Галкин В. И. — № 8.
 Георгиевский Г. М. — № 2.
 Георгиевский М. Г. — № 2.
 Герасимов М. В. — № 8, 10.
 Гецкин О. Б. — № 10.
 Глебов А. А. — № 5, 10.
 Гнюсов К. С. — № 1.
 Гнюсов С. Ф. — № 1.
 Говорун М. В. — № 10.
 Головаш А. Н. — № 5.
 Головкин П. А. — № 8.
 Гордеев Ю. И. — № 9.
 Горев Б. В. — № 2.
 Городилов А. А. — № 9.
 Гребенюк Е. И. — № 5.
 Гринек А. В. — № 9—11.
 Гриненко В. И. — № 8.
 Гришагин В. М. — № 8.
 Губанов В. Ф. — № 2, 10.
 Гузев В. С. — № 9.
 Гурвич А. К. — № 6.
 Гурдин В. И. — № 1.
 Гуревич Л. М. — № 2.
 Гурулев Д. Н. — № 2.
 Гусев В. М. — № 12.
- Давыдов А. П. — № 6.
 Демин В. А. — № 7.
 Демин В. Г. — № 9.
 Дерябин И. П. — № 6.
 Дзоценидзе Т. — № 12.
 Дидик Ю. И. — № 7.
 Дидык А. В. — № 1.
 Добринский Е. С. — № 1—3, 5, 7, 11.
 Довгаль А. Н. — № 4.
 Докшанин С. Г. — № 9.
 Докшанина И. И. — № 9.
 Должиков С. Н. — № 5.
 Дорошенко Н. В. — № 5.
 Дрондель В. Г. — № 3.
 Дудников С. В. — № 10.
 Дураков В. Г. — № 1.
 Дуюн Т. А. — № 9—11.
- Ежов Г. П. — № 6.
 Екимов В. С. — № 5.
 Еренков О. Ю. — № 3.
 Ермолаев А. А. — № 3.
 Ерофеев В. А. — № 10.
- Жаров М. В. — № 8.
 Жданов С. В. — № 6.
 Ждановский А. В. — № 11.
 Жеребцов С. Н. — № 1.
 Жуков С. А. — № 12.
 Жульев С. И. — № 4, 5.
 Журавлев В. В. — № 11.
- Загиров И. И. — № 6.
 Загребнев Д. А. — № 12.
 Зайцев К. В. — № 7.
 Звягинцева А. В. — № 3.
 Зеер Г. М. — № 9.
 Зинченко В. М. — № 3.
 Золотов А. А. — № 7.
- Золотухина О. Л. — № 1.
 Зубков Н. Н. — № 7.
 Зубков Н. С. — № 7.
 Зубрилов Г. Ю. — № 9.
 Зуев А. А. — № 10.
 Зуев А. К. — № 4, 10.
- Иванайский А. В. — № 9, 11.
 Иванайский В. А. — № 11.
 Иванов А. Н. — № 1—5, 9, 10, 12.
 Иванов В. С. — № 5.
 Иванов И. Н. — № 6.
 Иванов Ю. В. — № 10.
 Игнатов М. Н. — № 4.
 Илясов Е. П. — № 4.
 Иоффе Ю. Е. — № 7.
 Исакаев Э. Х. — № 12.
- Казаков В. С. — № 9.
 Казимиров Д. Ю. — № 1.
 Калашников А. В. — № 4.
 Калашников Е. А. — № 3.
 Калашникова И. А. — № 4.
 Капустин О. Е. — № 3.
 Кислуха А. Е. — № 2.
 Клименов В. А. — № 7.
 Ключков В. В. — № 7, 11.
 Ключев В. В. — № 1.
 Ковалевская Ж. Г. — № 7.
 Кожарина О. А. — № 6.
 Козлов А. В. — № 10.
 Козырев В. В. — № 2.
 Козырева Л. В. — № 2.
 Колобов А. В. — № 2.
 Кондратенко Л. А. — № 2.
 Конищева О. В. — № 9.
 Копылов В. В. — № 1, 5.
 Коржова О. П. — № 3.
 Коротков В. А. — № 3.
 Корчагин А. И. — № 9.
 Косаревский С. В. — № 5, 8.
 Котельников В. И. — № 8.
 Кошеленко А. С. — № 5.
 Красильников С. Б. — № 2.
 Кретов Е. Ф. — № 11.
 Кривошапка С. Н. — № 2.
 Кропачев Д. Ю. — № 2.
 Крупенков А. Н. — № 1.
 Крушенко Г. Г. — № 11.
 Кряжев Ю. А. — № 1.
 Кудрявцев А. Ю. — № 7.
 Кузнецов А. М. — № 11.
 Кузнецова И. И. — № 2.
 Куликов В. П. — № 5.
 Курносос Н. Е. — № 5.
 Курсин О. А. — № 4.
 Куршаков Л. Е. — № 2.
 Куценко А. И. — № 1.
- Лантушенко Л. С. — № 2.
 Лешуков А. В. — № 4.
 Липатов С. И. — № 12.
 Лисичкин С. В. — № 4.
 Ломаев В. И. — № 11.
 Ломакин А. В. — № 7.
 Лукин Л. Л. — № 8.
- Лыкова Е. С. — № 1.
 Людмирский Ю. Г. — № 4.
- Макаренко В. Д. — № 12.
 Макаров Н. В. — № 1.
 Макарова Л. И. — № 5.
 Маковецкая О. К. — № 2.
 Малахов Д. В. — № 1.
 Маликов А. А. — № 7.
 Малич Н. В. — № 6.
 Малов И. Е. — № 11.
 Малышев Ю. О. — № 9.
 Мальцев В. Г. — № 1.
 Мамалиев С. Ф. — № 11.
 Мамонов С. А. — № 11.
 Марголит Р. Б. — № 12.
 Мартыненко А. И. — № 3.
 Марфицын В. В. — № 10.
 Марцинкевич А. В. — № 4.
 Масанский О. А. — № 9.
 Машрабов Н. — № 9.
 Медарь А. В. — № 3, 4.
 Митяев А. Е. — № 9.
 МIRONENKO В. В. — № 2.
 Мирош Ю. М. — № 1.
 Михайлин С. М. — № 6.
 Михалев О. Н. — № 10.
 Михеев А. А. — № 9.
 Михнин И. Д. — № 1.
 Могорычный В. И. — № 7.
 Мозговой А. В. — № 4.
 Моргунов А. П. — № 1, 3.
 Моргунов В. А. — № 1.
 Мордынский В. Б. — № 9, 12.
 Мосягин А. С. — № 1.
 Мужижкий В. Ф. — № 1.
 Мурашко В. М. — № 6.
 Мурзаханов Г. Х. — № 7.
 Мчедлов С. Г. — № 6.
 Мысловец Е. А. — № 11.
- Набатчиков С. В. — № 7.
 Нафииков М. З. — № 6.
 Негримовская Н. П. — № 10, 12.
 Неделько А. Ю. — № 12.
 Нестерук Д. Н. — № 8.
 Никоненко В. А. — № 2.
 Новосадов В. С. — № 6.
 Новосельцев Ю. Г. — № 9.
 Носачев А. Н. — № 3.
 Носенко В. А. — № 4.
 Носенко С. В. — № 4.
 Носов В. К. — № 11.
- Огневенко Е. С. — № 1.
 Оголихин В. М. — № 4, 7.
 Онорин О. А. — № 4.
 Орлов В. Н. — № 10.
 Основский В. А. — № 5.
- Палтиевич А. Р. — № 8.
 Панфилов В. А. — № 6.
 Паршин А. Н. — № 6.
 Пасси Г. — № 3.
 Петецкий В. Н. — № 9.
 Петецкий Н. В. — № 9.

- Петров А. П. — № 8.
 Петров А. Э. — № 2.
 Пешков В. В. — № 2.
 Пикалов Я. Ю. — № 9.
 Плахтин В. Д. — № 6.
 Плотников А. Л. — № 4.
 Погонин А. А. — № 10.
 Позняк Г. Г. — № 1, 5, 12.
 Половцев В. А. — № 1.
 Полосков С. И. — № 8, 10.
 Полянский М. А. — № 11.
 Полянчиков Ю. Н. — № 4.
 Полянчикова М. Ю. — № 4.
 Попков Ю. С. — № 8.
 Попоудина С. А. — № 4.
 Потапов В. А. — № 11.
 Потапов В. Н. — № 2, 4, 9.
 Потапов Н. Н. — № 11.
 Потапова Г. С. — № 1—12.
 Потемкин П. В. — № 1.
 Преображенский Е. В. — № 8.
 Прокопьев С. В. — № 9.
 Пронин Н. С. — № 4, 8.
 Проскуряков В. А. — № 5.
 Птицын В. Ф. — № 1.
 Пшеничников В. А. — № 6.
 Пыкин Ю. А. — № 7.
- Расторгуев Г. А. — № 2, 7, 12.
 Рафаилов А. П. — № 5.
 Рогов В. А. — № 1, 5, 12.
 Роцин В. В. — № 8.
 Руцкий Д. В. — № 5.
 Рябцев С. Л. — № 7.
- Сабанцев А. В. — № 1.
 Савинов Ю. П. — № 4, 10.
 Сагателян Г. Р. — № 11.
 Сайфутдинов С. М. — № 10.
 Сапронова М. А. — № 12.
 Сапрыкин А. А. — № 2.
 Сараев Ю. Н. — № 5.
 Свистун А. В. — № 1.
 Сеин В. А. — № 1—3, 5, 7, 11.
 Сердюк В. С. — № 3.
 Серов В. П. — № 4.
 Сидлин З. А. — № 1.
 Сидоренков А. А. — № 12.
 Сидоркин А. В. — № 7.
 Силуянова М. В. — № 5.
 Симо Д. К. — № 7.
 Синенко Е. Г. — № 9.
 Синкевичюс А. А. — № 12.
 Скробнев Г. Г. — № 2, 3.
 Скрипкина Ю. В. — № 11.
- Славин А. В. — № 1.
 Слинкин С. А. — № 5.
 Смирнов В. А. — № 8.
 Смирнова Т. Н. — № 1.
 Смольников Н. Я. — № 2, 3.
 Соколов В. С. — № 8.
 Солер Я. И. — № 1.
 Соловьев В. В. — № 2.
 Соловьева И. П. — № 9.
 Солтовец М. В. — № 4.
 Сонин Г. И. — № 2.
 Сорокин Е. А. — № 9.
 Старченко Е. Г. — № 11.
 Стенин В. А. — № 3.
 Стищенко Л. Г. — № 3.
 Сторчай Е. И. — № 2.
 Стрелков А. Б. — № 1.
 Стрешков В. П. — № 6.
 Суминов В. М. — № 5.
 Суслов Ан. А. — № 1, 4, 6, 8.
 Сухова Т. С. — № 1.
- Тазикова Т. Ф. — № 9.
 Тарасенко С. И. — № 5.
 Тарасов А. Б. — № 6.
 Тарасов А. Н. — № 6.
 Тарасов С. А. — № 6.
 Тарнапольский А. В. — № 5.
 Темных В. И. — № 9.
 Темных Е. В. — № 9.
 Теремов С. Г. — № 9.
 Терехова О. А. — № 12.
 Токмин А. М. — № 9.
 Тополянский П. А. — № 6.
 Торпачев А. В. — № 9.
 Труфакина Л. М. — № 5.
 Трыков А. Ю. — № 2.
 Трыков Ю. П. — № 2.
 Туф С. М. — № 9.
 Тюрин А. Н. — № 5, 6.
 Тюфтяев А. С. — № 9.
- Уваров В. Н. — № 11.
 Ужва В. В. — № 7.
 Ульяницкий В. Ю. — № 7.
- Федоренко М. А. — № 1, 5, 6, 9, 10.
 Федоров В. К. — № 2.
 Федоров Д. Н. — № 4.
 Федоров С. А. — № 2, 4, 8.
 Федоров Ю. Н. — № 1.
 Федосенко Ю. К. — № 1.
 Феофанов А. Н. — № 3, 10—12.
 Феофанов О. А. — № 12.
 Фесенко С. А. — № 8.
- Фетисов Г. П. — № 2.
 Фролов А. В. — № 2.
 Фролов В. А. — № 2, 4, 8.
 Фролов В. П. — № 4.
- Хаванов В. А. — № 8.
 Хамдан Я. М. — № 5.
 Ханов А. М. — № 4.
 Харченко Е. Л. — № 2.
 Хачатурова А. Г. — № 9.
Хвастунов Р. М. — № 10, 12.
 Хилькевич Я. М. — № 10.
 Хромченко Ф. А. — № 4, 5.
- Цумарев Ю. А. — № 7.
 Цыганкова И. В. — № 1.
- Чепчуров М. С. — № 3, 10.
 Черепанов А. И. — № 9.
 Черных Е. А. — № 9.
 Чертов В. М. — № 1—3, 5, 6, 10, 12.
 Чирков Г. В. — № 1, 3.
 Чуйкин С. А. — № 2, 4.
 Чупятов Н. Н. — № 2.
 Чуранкин В. Г. — № 3.
- Шалимов Ю. Н. — № 2—4.
 Шатохин С. Н. — № 9.
 Шахов В. Г. — № 5.
 Шевелев Ю. В. — № 10.
 Шекуров А. В. — № 3.
 Шемелин С. Д. — № 4, 7.
 Шереметьев К. В. — № 9.
 Шеркунов В. Г. — № 10.
 Шерстобитова Т. И. — № 5.
 Шехорин В. К. — № 6.
 Шиганов И. Н. — № 11.
 Шилло Г. В. — № 1.
 Ширинская Т. Н. — № 10.
 Ширяев Е. В. — № 8.
 Шкадова А. А. — № 11.
 Шленский А. Г. — № 8.
 Шрубченко И. В. — № 2.
 Шрубченко М. И. — № 2.
 Штрикман М. М. — № 1.
 Шумячер В. М. — № 1, 9.
 Шутченко А. П. — № 1.
 Щукин М. В. — № 5.
- Юнин И. Ю. — № 12.
 Юрченко А. В. — № 1.
- Ямников А. С. — № 7.
 Янюшкин А. С. — № 10, 11.
 Ярославцев В. М. — № 12.

Издательский центр “Технология машиностроения”

127018, Москва, ул. Октябрьская, 35

Сдано в набор 26.09.2008. Подписано в печать 18.11.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
 Усл.-печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 12,28. Заказ 12/08.

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”