ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ

ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

ЖУРНАЛ ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ УТВЕРЖДЕННЫХ ВАК РФ ИЗДАНИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИЙ ТРУДОВ СОИСКАТЕЛЕЙ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ

10 2009 (111)

СОДЕРЖАНИЕ

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Первухина Е.Л., Сопин П.К., Голикова В.В. Оценка состояния машиностроительных изделий в ходе производственных испытаний после сборки . . . 3

Тынок А.Н., Медарь А.В. Контрольно-измерительное оборудование в сборочном производстве бортовых кабельных сетей . . . 10

Басинюк В.Л., Мардосевич Е.И., Усс И.Н. Автоматизированный экспресс-анализ качества изготовления и сборки насосов в цеховых условиях и гидроприводов навесных устройств в составе трактора . . . 16

Сборочное оборудование и его элементы

Березин С.Я., Курбатова Л.С. Анализ принципа действия компенсирующих механизмов завинчивающих патронов . . . 21

Современные технологии сборки

Давыдова Н.С., Коновалов Д.А., Симаков А.Л. Анализ законов изменения углов отклонения входных звеньев дельта-робота при поисковом совмещении соединяемых деталей по спирали Архимеда . . . 30

Сборочно-сварочные работы. Пайка

Ковтунов А.И., Семистенов Д.А., Филатов А.М., Чермашенцева Т.В. Особенности формирования зоны термического влияния при аргонодуговой сварке тонколистовой стали, покрытой алюминием . . . 35

Разборка. Ремонт

Арефьев И.В., Савинов А.В., Лапин И.Е., Лысак В.И., Потапов А.Н. Снижение уровня макро- и микронапряжений в наплавленном металле при восстановлении крупногабаритных конструкций . . . 41

Макиенко В.М., Строителев Д.В., Романов И.О. Разработка сварочно-наплавочных порошковых проволок на основе минерального сырья Дальневосточного региона . . . 47

Информация

Джанахмедов А.Х., Амиров Ф.Г. Состояние и перспективы использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии . . . 51

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индексы по каталогу “Роспечать” – **79748**, Объединенному каталогу “Пресса России” – **84967**, каталогу "Почта России" – **60257**) или непосредственно в издательстве
Тел.: (499) 268-38-42; тел./факс: 268-85-26. Факс: (499) 269-48-97.
E-mail: sborka@mashin.ru; tsmm@mashin.ru
Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Сборка в машиностроении, приборостроении", допускаются только с разрешения редакции и со ссылкой на источник информации.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

Председатель редакционного совета
Ф.М. МИТЕНКОВ, *академик РАН*

Редакционный совет

МОСКВА
А.С. ВАСИЛЬЕВ (главный редактор)
А.А. ГУСЕВ
М.В. ВАРТАНОВ
А.М. ДАЛЬСКИЙ
И.Н. ЖЕСТКОВА (зам. главного редактора)
И.Н. ЗИНИНА
Ю.Л. ИВАНОВ
Ю.Г. КОЗЫРЕВ
А.И. КУМЕНКО
А.В. МЕДАРЬ
Е.А. МИКРИН
Ю.Ф. НАЗАРОВ
В.В. ПОРОШИН
Б.В. ШАНДРОВ
А.А. ШАТИЛОВ
А.Г. ХОЛОДКОВА
Г.А. ЯРКОВ

Региональные редсоветы

БЕЛГОРОД
Н.А. ПЕЛИПЕНКО
БРЯНСК
О.А. ГОРЛЕНКО
ВЛАДИВОСТОК
Ю.Н. КУЛЬЧИН
А.А. СУПОНЯ
В.М. КОРНИЕНКО
ВОЛГОГРАД
В.Г. КАРАБАНЬ
М.Г. КРИСТАЛЬ
В.И. ЛЫСАК
В.М. ТРУХАНОВ
ИЖЕВСК
И.В. АБРАМОВ
Б.А. ЯКИМОВИЧ
В.Г. ОСЕТРОВ
И.К. ПИЧУГИН
КАЗАНЬ
Р.И. АДГАМОВ
КОВРОВ
Ю.З. ЖИТНИКОВ
КОЛОМНА
Ю.Д. АМИРОВ
КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ
Б.Н. МАРЬИН
В.И. ШПОРТ
А.М. ШПИЛЕВ
НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ
С.В. ДМИТРИЕВ
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ
ОМСК
В.Н. КОСТЮКОВ
ОРЕЛ
Ю.С. СТЕПАНОВ
Г.А. ХАРЛАМОВ
ОРЕНБУРГ
А.Н. ПОЛЯКОВ
А.И. СЕРДЮК
А.П. ФОТ
РЫБИНСК
В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ
В.В. НЕПОМИЛУЕВ
А.Н. СЕМЕНОВ
САМАРА
М.В. ЕВДОКИМОВ
Ю.А. ВАШУКОВ
Г.А. КУЛАКОВ
В.А. НИКОЛАЕВ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
В.Ф. КУЗЬМИН
Е.В. ШАЛОБАЕВ
ТОЛЬЯТТИ
А.И. РЫЖКОВ
Б.Ф. ХАЗОВ
ХАБАРОВСК
В.А. ЛАШКО

Украина
КИЕВ
А.С. ЗЕНКИН
В.А. МАТВИЕНКО
ДОНЕЦК
А.Н. МИХАЙЛОВ
СЕВАСТОПОЛЬ
Е.Л. ПЕРВУХИНА
ХАРЬКОВ
Б.М. АРПЕНТЬЕВ

Беларусь
МИНСК
В.Л. БАСИНЮК
ГОМЕЛЬ
В.Е. СТАРЖИНСКИЙ
ПОЛОЦК
М.Л. ХЕЙФЕЦ

Ответственные за подготовку и выпуск номера:
Н.М. КУЩ-ЖАРКО, Л.Д. ПАРШЕНКОВА

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-1747 от 25 февраля 2000 г.

Издательство “Машиностроение”, “Сборка в машиностроении, приборостроении”, 2009

THE MONTHLY NEWSMAGAZINE FOR SCIENTISTS AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

THE MAGAZINE IS PUBLISHED UNDER THE PATRONAGE OF INTERNATIONAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERS

THE JOURNAL IS AMONG THOSE APPROVED BY AAC RF FOR DISSERTATION PUBLICATION

10 2009 (111)

CONTENTS

Quality assurance. Testing. Monitoring

Pervukhina E.L., Sopin P.K., Golikova V.V. Machine state estimation during industrial tests after assemblage . . . 3

Tynock A.N., Medar A.V. Controlling and measuring equipment in assembly manufacture on-board cable net . . . 10

Basiniuk V.L., Mardasevich E.I., Uss I.N. Automated rapid analysis of shopfloor manufacturing and assembling quality of pumps and hitch hydraulic actuators of tractors . . . 16

Production Tools and Machinery for Assembly

Berezin S.J., Kurbatova L.S. Analysis of the principles action the compensating mechanisms of screwing chucks . . . 21

Modern technologies in assembly

Davidova N.S., Konovalov D.A., Simakov A.L. Analysis of laws variation of angles swerving delta-robot's control arms in search overlapping of mating parts on Archimedean spiral . . . 30

Assembly Welding Works. Solder

Kovtunov A.I., Filatov A.M., Semistenov D.A., Chermaschentceva T.V. Features of formation of heat-affected area at argon-arc light-gage welding of steel covered by aluminium . . . 35

The dismantling. Repair

Arefjev I.V., Savinov A.V., Lapin I.E., Lysak V.I., Potapov A.N. Level decrease macro and microstresses in weld metal at restoration of large-sized designs . . . 41

Makienko V.M., Stroitelev D.V., Romanov I.O. Development welding of the powdered wires on base mineral raw Far eastern region . . . 47

Information

Janahmedov A.H., Amirov F.G. Condition and prospect of use of nonconventional renewed energy sources . . . 51

Journal is distributed on subscription, which can be issued in any post office (index on the catalogue of the "Rospechat" agency **79748**, the union catalogue "Pressa Rossii" **84967**, the catalogue "Pochta Rossii" **60257**) or directly in editorial of the journal.
Ph.: (499) 268-38-42; ph./fax: 268-85-26. Fax: (499) 269-48-97.
http://www.mashin.ru E-mail: sborka@mashin.ru; tsmm@mashin.ru
Labor Red Banner Order Public Corporation "Publishing House "Mashine Building"
107076, Moscow, Stromynsky per. 4
The reference to the Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making Journal during reprint of the materials is mandatory.
Advertisers are responsible for the content of their advertisements.

Chair of Editorial Advisory Board –
Member of Russian Academy of Science
F.M. MITENKOV

Editors

MOSCOW
VASIL'EV A.S. (Chief editor)
VARTANOV M.V.
DALSKY A.M.
GUSEV A.A.
ZHESTKOVA I.N. (Deputy chief editor)
ZININA I.N.
IVANOV YU.L.
KOZYREV YU.G.
KUMENKO A.I.
MEDAR' A.V.
MIKRIN E.A.
NAZAROV Yu.F.
POROSHIN V.V.
SHANDROV B.V.
SHATILOV A.A.
KHOLODKOVA A.G.
YARKOV G.A.

Regional editors

BELGOROD
PELIPENKO N.A.
BRIANSK
GORLENKO O.A.
VLADIVOSTOK
KULSHIN Yu.N.
SUPONIA A.A.
KORNIENKO V.M.
VOLGOGRAD
KRISTAL M.G.
KARABAN' V.G.
LYSAK V.I.
TRUKHANOV V.M.
IZHEVSK
ABRAMOV I.V.
YAKIMOVICH B.A.
OSETROV V.G.
PITCHUGIN I.K.
KAZAN
ADGAMOV R.I.
KOVROV
ZHITNIKOV Yu.Z.
KOLOMNA
AMIROV Yu.D.
KOMSOMOLSK-ON-AMUR
MARJIN B.N.
SCHPORT V.I.
SHPILEV A.M.
NABEREZHNYE CHELNY
DMITRIEV S.V.
KHISAMUTDINOV R.M.
OMSK
KOSTIUKOV V.N.
OREL
STEPANOV Yu.S.
KHARLAMOV G.A.
ORENBURG
POLYAKOV A.N.
SERDUK A.I.
FOT A.P.
RYBINSK
BEZIAZYSHNY V.F.
NEPOMILUEV V.V.
SEMENOV A.N.
SAMARA
EVDOKIMOV M.V.
VASHUKOV Yu.A.
KULAKOV G.A.
NIKOLAEV V.A.
ST.-PETERSBURG
KUZMIN V.F.
SHALOBAEV E.V.
TOLIATI
KHAZOV B.F.
RYZHKOV A.I.
KHABAROVSK
LASHKO V.A.

Ukraine
KIEV
ZENKIN A.S.
MATVIENKO V.A.
DONETSK
MIKHAILOV A.N.
SEVASTOPOL
PERVUKHINA E.L.
KHARKOV
ARPENTIEV B.M.

Belarus
MINSK
BASINJUK V.L.
GOMEL
STARZHINSKI V.E.
POLOTSK
KHEIFETZ M.L.

Executive editors of current issue:
KUSH-ZHARKO N.M., PARSHENKOVA L.D.

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-and Broadcasting and Mass Communications Media.
Registration certificate ПИ № 77-1747, February 25, 2000 Free price

"Mashinostroenie Publishers", "Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making", 2009

УДК 621.002:681.324

Е.Л. Первухина, *д-р техн. наук, профессор каф. технической механики и машиноведения,* **П.К. Сопин,** *канд. техн. наук, доцент каф. автомобильного транспорта,* **В.В. Голикова,** *старший преподаватель каф. технической механики и машиноведения (Севастопольский национальный технический университет, ул. Университетская, 33, 99053, Севастополь, Украина) Тел. +38(0692) 23 51 61*
E-mail: elena@pervuh.sebastopol.ua

Оценка состояния машиностроительных изделий в ходе производственных испытаний после сборки

Предложен метод оценки состояния машиностроительных изделий в ходе их производственных испытаний после сборки. Метод основан на коинтеграционном анализе нестационарных случайных процессов и ориентирован на выявление причинно-следственных зависимостей между диагностическими параметрами испытуемых изделий. Рассматриваются случаи нарушения таких зависимостей. Предлагается методика практического использования строящихся на их основе статистических моделей в ходе производственных испытаний (приемосдаточных, контрольных) изделий на примере двигателей внутреннего сгорания.

The method to estimate the machines state during their industrial state just after assemblage is proposed. The method is based on cointegration analysis of non-stationary stochastic processes which characterize dynamics of the diagnostic parameters of tested objects and is oriented to determine cause and effect dependences between them. The cases of dependence breaking are considered. The methods of practical using of stochastic models which are cointegration analysis result during industrial tests are proposed. The main example is connected with testing of internal combustion engines.

Ключевые слова: машиностроительные изделия, приемосдаточные, контрольные испытания, диагностические параметры, причинно-следственные зависимости.

Key words: machines, industrial testing, diagnostic parameters, cause and effect dependences.

Автоматизация приемосдаточных и контрольных стендовых испытаний машиностроительных изделий, проводимых после сборки для оценки их технического состояния и готовности к эксплуатации, диктует необходимость создания современного математического обеспечения на основе новых методов и подходов, в том числе многомерного анализа статистических связей и зависимостей между параметрами.

В научной литературе [1–4] встречаются немногочисленные публикации по этому вопросу, поскольку по результатам такого анализа при соблюдении ряда не очень строгих ограничений можно получить достоверные сведения о скрытых нарушениях рабочих процессов в изделиях, возникающих задолго до их внешнего проявления. Однако эти работы связаны в основном с традиционными технологиями обработки экспериментальных данных для выявления корреляционных и регрессионных связей между диагностическими параметрами изделий, поэтому их результаты не имеют однозначного физического толкования.

К настоящему моменту разработаны новые статистические методы [5], позволяющие выявлять и в реальном времени контролировать статистические зависимости между нестационарными случайными процессами, в том числе различной физической природы, описывающими поведение системы. Это открывает новые возможности для анализа экспериментальной информации, регистрируемой в ходе испытаний штатными контрольно-измерительными приборами. Преимуществом методов является простота и однозначность физи-

ческой интерпретации результатов, а также наглядность и оперативность контроля.

Целью работы является дальнейшее развитие и объяснение метода оценки состояния машиностроительных изделий в ходе их производственных испытаний после сборки, отраженного в публикациях [6, 7]. Метод основан на коинтеграционном анализе нестационарных случайных процессов и ориентирован на выявление причинно-следственных зависимостей между диагностическими параметрами испытуемых изделий. Рассматриваются случаи нарушения таких зависимостей. Предлагается методика практического использования строящихся на их основе статистических моделей в ходе производственных испытаний (приемосдаточных, контрольных) изделий на примере двигателей внутреннего сгорания.

Приемосдаточные и контрольные испытания собранных изделий проводят на специальных стендах, подключенных к общим цеховым коммуникациям. При обнаружении неполадок или дефектов их возвращают в сборочный цех для устранения, а затем повторно испытывают. Как правило, приемосдаточные испытания проходят все серийные изделия, выходящие с завода-изготовителя. Штатные контрольно-измерительные приборы регистрируют параметры, отражающие характеристики изделий, через равноотстоящие промежутки времени.

Параметры функционирования называют диагностическими или косвенными. Из-за погрешностей сборки и ошибок измерительных приборов экспериментальная (измерительная) информация о последовательных значениях параметров имеет вид случайных процессов. Для достоверной оценки состояния изделий по диагностическим параметрам предлагается объединение скалярных процессов измерений отдельных параметров (мощности, расхода топлива, давления, температуры различных узлов и агрегатов, уровней вибрации, шума и т.п.) в многомерные процессы.

Обоснованием для такого объединения служат стандартные характеристики изделий (например, для двигателей внутреннего сгорания это скоростные, нагрузочные, регулировочные характеристики) либо так называемые "общие факторы" [2, 7]. Под последними в контексте данного исследования рассматриваются прямые параметры изделий, непосредственно отражающие их техническое состояние: шероховатость деталей, отклонения размеров от номинальных значений, отклонения формы реальных поверхностей от номинальных, погрешности балансировки вращающихся узлов, зазоры в сопряжениях и, как следствие, качество сборки и регулировки узлов и изделий в целом. Прямые параметры меняются при изменении технического состояния изделий. Их не измеряют в ходе испытаний. Измеряемые диагностические (косвенные) параметры функционально зависят от прямых параметров.

Для подготовки трущихся поверхностей деталей к восприятию нагрузок такие изделия, как двигатели, подвергаются обкатке. В этом процессе происходит приработка деталей, шероховатость поверхностей приближается к оптимальной, исправляются отклонения макрогеометрии. По завершении приработки в отсутствие погрешностей сборки значения диагностических параметров группируются вокруг определенных эталонных значений, для годных изделий отклонения от них являются случайными величинами, распределенными по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и постоянной конечной дисперсией (ковариацией для многомерных распределений) [1, 6]. Однако многие заводы ограничивают время обкатки, предлагая ее осуществление на стадии начальной эксплуатации, в результате чего процессы изменения основных диагностических параметров на первой стадии производственных испытаний представляют нестационарные случайные процессы даже при работе на установившихся режимах.

Между нестационарными случайными процессами, отражающими результаты измерения различных диагностических параметров изделий, существуют устойчивые

статистические зависимости, которые в теории временных рядов называются коинтеграцией. Методы исследования зависимостей относятся к коинтеграционному анализу [5, 6, 8]. Существование коинтеграционных зависимостей является следствием физически интерпретируемых связей между наблюдениями за параметрами системы или, как объясняется в специальной литературе, "наличием общих трендов" [5, 8]. Если зависимости между параметрами системы устойчивые, то предполагается, что система, поведение которой описывается этими параметрами, тоже устойчивая, и наоборот, нарушение зависимостей является следствием дисбалансов в системе [5].

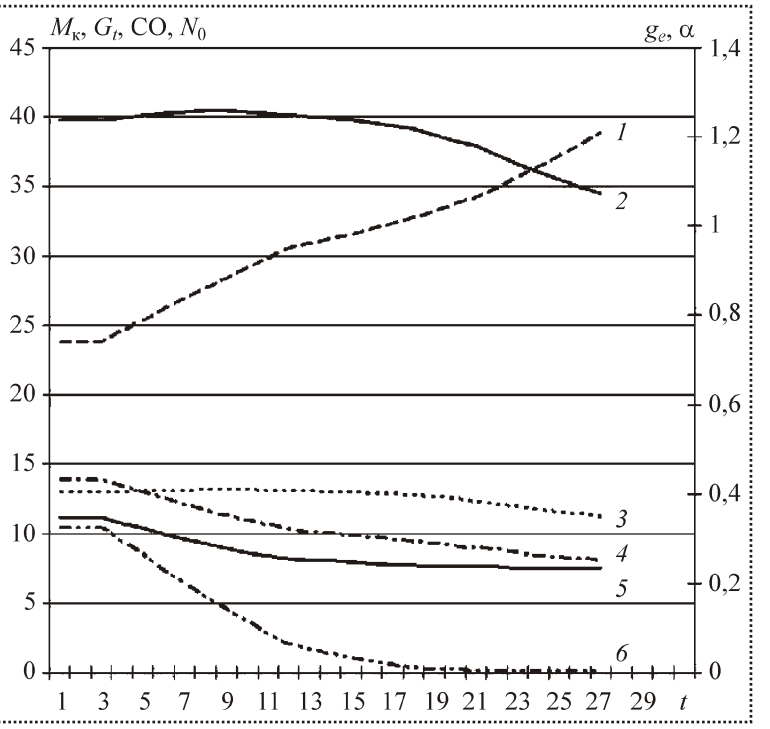


Рис. 1. Последовательные измерения параметров:
1 – ; *2* – N_0, кВт; *3* – $M_к$, Н м; *4* – G_t, кг/ч; *5* – g_e, кг/кВт ч; *6* – CO, %

Алгоритм выявления статистических зависимостей между диагностическими параметрами двигателей внутреннего сгорания в ходе приемосдаточных и контрольных стендовых испытаний приведен в работе [6], а соответствующие примеры – в работах [6, 7]. В частности, проанализированы изменения пяти параметров, используемых для построения стандартной регулировочной характеристики карбюраторного двигателя в ходе контрольных испытаний на постоянной частоте вращения коленчатого вала n = 3000 об/мин:

– часового расхода топлива G_t, кг/ч;
– крутящего момента $M_к$, Н м;
– эффективной мощности N_0, кВт;
– удельного расхода топлива g_e, кг/кВт ч;
– содержания CO, %, в отработавших газах.

Изменения отдельных параметров представляют нестационарные случайные процессы со стационарными приращениями (рис. 1). Статистическая зависимость между процессами имеет вид линейной комбинации, определяемой путем построения модели векторной авторегрессии, в которой значение каждого параметра в момент времени t выражается через значения этого и остальных параметров в предыдущие моменты времени:

$$
\begin{aligned}
M_{к_t} &= 6{,}496 + 0{,}540 M_{к_{t-1}} + 0{,}914 G_{t_{t-1}} - \\
&- 0{,}037 CO_{t-1} - 0{,}307 N_{0_{t-1}} - 31{,}789 g_{e_{t-1}} + \varepsilon_t; \\
G_{t_t} &= 27{,}817 + 0{,}236 M_{к_{t-1}} - \\
&- 1{,}775 G_{t_{t-1}} - 0{,}010 CO_{t-1} - 0{,}569 N_{0_{t-1}} - \\
&- 118{,}84 g_{e_{t-1}} + \varepsilon_t; \\
CO_t &= 49{,}498 - 1{,}999 M_{к_{t-1}} - \\
&- 4{,}511 G_{t_{t-1}} - 0{,}482 CO_{t-1} - 0{,}320 N_{0_{t-1}} - \\
&- 224{,}97 g_{e_{t-1}} + \varepsilon_t; \\
N_{0_t} &= 19{,}227 - 1{,}789 M_{к_{t-1}} - 2{,}662 G_{t_{t-1}} - \\
&- 0{,}083 CO_{t-1} - 1{,}023 N_{0_{t-1}} - 94{,}621 g_{e_{t-2}} + \varepsilon_i; \\
g_{e_t} &= 0{,}730 - 0{,}060 M_{к_{t-1}} - 0{,}077 G_{t_{t-1}} - \\
&- 0{,}002 CO_{t-1} - 0{,}002 N_{0_{t-1}} - 4{,}189 g_{e_{t-2}} + \varepsilon_t,
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

или в матричной форме:

$$x_t \quad {}_0 \quad {}_1 x_{t\ 1} \quad {}_t, \qquad (2)$$

где $x_t \quad \begin{matrix} M_{\text{к}_t} \\ G_{t_t} \\ \text{CO}_t \\ N_{\text{O}_t} \\ g_{e_t} \end{matrix}$;

$${}_0 \quad \begin{matrix} 6{,}496 \\ 27{,}82 \\ 49{,}50 \\ 19{,}23 \\ 0{,}730 \end{matrix} ;$$

$${}_1 \quad \begin{matrix} 0{,}540 & 0{,}914 & 0{,}037 & 0{,}307 & 31{,}789 \\ 0{,}236 & 1{,}775 & 0{,}010 & 0{,}569 & 118{,}84 \\ 1{,}999 & 4{,}511 & 0{,}482 & 0{,}320 & 224{,}97 \\ 1{,}789 & 2{,}662 & 0{,}083 & 1{,}023 & 94{,}621 \\ 0{,}060 & 0{,}077 & 0{,}002 & 0{,}002 & 4{,}189 \end{matrix} ;$$

${}_t = ({}_{1t}, \ldots, {}_{nt})^T$ – вектор ошибок оценивания, порядок модели выбран по минимальному значению статистического критерия Шварца (Schwartz Information Criterion):

$$SIC \quad \ln(RSS) \quad K\frac{\ln T}{T},$$

здесь K – число независимых переменных в модели;

T – число измеренных значений контролируемого параметра;

$RSS \quad {}_{t\ 1}^{n} \quad {}_t$ – сумма квадратов ошибок оценивания (Residual Sum of Squares) [8].

Значения ошибок оценивания ${}_t$ в модели (1), (2) независимы и распределены по нормальному закону с нулевым средним, поэтому модель признана адекватной эмпирическим данным.

Возможные линейные зависимости (комбинации) между исходными процессами определены путем поиска коинтегрирующих векторов. Для этого модель (2) представлена приращениями исходных нестационарных процессов:

$$x_t \quad {}_0 \quad ({}_1 \quad I)x_{t\ 1} \quad {}_t; \qquad (3)$$
$${}_1 \quad I \quad {}^T,$$

где – разностный оператор;

I – единичная матрица размера $n \quad n$;

^{T} – $n \quad r$ – матрица коинтегрирующих векторов;

– $n \quad r$-матрица корректирующих коэффициентов.

Если $r = 0$, то $= 0$ и стационарных линейных комбинаций процессов не существует. Если $r = n$, то любая линейная комбинация процессов стационарна. Если значение ранга матрицы находится между 0 и n, т.е. $0 < m < < n$, то существует m коинтегрирующих векторов, описывающих линейные зависимости между элементами многомерного нестационарного случайного процесса, отражающего изменение вектора x_t [5, 8].

Для определения коинтегрирующих векторов использован метод максимального правдоподобия для последовательности регрессий с пониженным рангом в векторной авторегрессионной модели. Количество коинтегрирующих векторов (ранг коинтеграции) рассчитано по значениям случайной функции (статистики отношения правдоподобия), подробно описанной в работе [8]. Другими словами, для проверки гипотез о значении ранга коинтеграции r использована случайная функция

$$LR \quad {}^{\max} \quad T\ln(1 \quad {}_{r\ 1}), \qquad (4)$$

называемая статистикой максимального собственного числа, так как она пропорциональна логарифму максимального собственного числа матрицы [8]. Здесь ${}_i$ – оценка собственных чисел матрицы , T – число используемых наблюдений. Пять (по числу исследуемых параметров) характеристических корней мат-

рицы упорядочены по убыванию [5, 8]. Проверена гипотеза H_0 о том, что ранг коинтеграции равен r, против альтернативной гипотезы H_A о том, что ранг равен $r + 1$. Для случаев, когда экспериментальная величина статистики $LR^{\max}$ значима, нулевая гипотеза отвергнута. Результаты проверки гипотез занесены в табл. 1.

В результате последовательной проверки гипотез о значении ранга коинтеграции от 0 до 5 установлено число коинтегрирующих векторов, равное трем: $r = 3$.

Таблица 1

Определение ранга коинтеграции для исходных процессов

Собственные числа	$LR^{-\max}$	H_0	$LR^{\max}$ (90 %)
0,88	53,93	0	31,24
0,76	36,19	1	25,12
0,75	34,68	2	18,89
0,37	11,65	3	12,30
0,01	0,25	4	2,71

Матрица = ^{T} без ограничений имеет вид:

$$\begin{matrix} 0{,}03 & 0{,}02 & 0{,}01 & 0{,}04 & 0{,}00 & 0{,}69 & 0{,}18 & 2{,}01 & 607{,}84 & 6{,}80 \\ 0{,}01 & 0{,}01 & 0{,}01 & 0{,}01 & 0{,}00 & 39{,}83 & 4{,}07 & 162{,}87 & 5272{,}72 & 12{,}43 \\ 0{,}01 & 0{,}02 & 0{,}03 & 0{,}02 & 0{,}01 & 201{,}55 & 582{,}22 & 55{,}08 & 2097{,}9 & 0{,}51 \\ 0{,}00 & 0{,}01 & 0{,}00 & 0{,}00 & 0{,}00 & 94{,}67 & 255{,}89 & 47{,}55 & 1262{,}29 & 6{,}91 \\ 0{,}02 & 0{,}03 & 0{,}06 & 0{,}08 & 0{,}01 & 87{,}02 & 225{,}34 & 52{,}18 & 1743{,}19 & 3{,}45 \end{matrix}.$$

Каждая строка матрицы ^{T} содержит элементы одного из трех возможных линейно независимых коинтегрирующих векторов. С позиций коинтеграционного анализа возможно проведение дополнительных экспериментов, ограничивающих количество таких векторов, для выявления однозначной зависимости между переменными. Поскольку для целей данного исследования это не является определяющим фактом, в качестве коинтрегрирующего выберем вектор, образованный элементами первой строки матрицы. Как считает большинство специалистов в области коинтеграционного анализа, этот вектор с большей вероятностью обеспечивает стационарную линейную комбинацию исходных процессов [8]. После деления всех элементов вектора на его первый элемент получен коинтегрирующий вектор:

$$(1{,}000;\ 0{,}258;\ \ 2{,}929;\ \ 884{,}952;\ 9{,}90)^T. \quad (1)$$

Статистическая зависимость между значениями параметров в каждый момент времени (т.е. в отличие от авторегрессионной зависимости (1) не содержащая прошлые значения параметров) принята в виде:

$$\hat{N}_{\mathrm{O}_t} \quad 0{,}258 M_{\mathrm{к}_t} \quad 2{,}929 G_{t_t} \quad 884{,}952 G_{e_t} \quad 9{,}90 \mathrm{CO}_t. \quad (5)$$

Таким образом, линейная комбинация исходных нестационарных случайных процессов существует и представляет стационарный случайный процесс. Поэтому исходные случайные процессы являются коинтегрированными, или, другими словами, их динамика одинакова.

Последнее утверждение легко объяснить, анализируя физические процессы, происходящие в карбюраторных двигателях внутреннего сгорания. Параметры G_t, $M_{\mathrm{к}}$, N_{O}, g_e, CO вместе с температурой охлаждающей жидкости и давлением масла отражают соответствие структурных параметров номинальным значениям, т.е. несут максимум информации о техническом состоянии собранных двигателей и, как следствие, об их пригодности к дальнейшей эксплуатации.

Нахождение G_t в допустимых пределах прямо свидетельствует об удовлетворительной работе систем питания и зажигания, в определенной степени – о нормальном сгорании топлива, характеризуя процессы карбюрации, зажигания, а также состояние цилиндропоршневой группы, опережение зажигания и т.д. Эффективная мощность в первую очередь отражает качество сборки.

Содержание СО в отработавших газах характеризует полноту сгорания топлива в зависимости от технического состояния цилиндропоршневой группы, исправности системы зажигания, систем питания воздухом и топливом. Концентрация СО в отработавших газах X_{co} (в процентах от объема) зависит от коэффициента избытка воздуха , определяющего состав топливовоздушной смеси. Для карбюраторных двигателей [9]

$$X_{\text{CO}} = 61{,}3 + \quad (53 \quad - 114).$$

Средний коэффициента избытка воздуха

$$G_{\text{в}}/(G_t l_0),$$

где $G_{\text{в}}$, G_t – измеренные расходы воздуха и топлива, кг/ч;

l_0 – теоретически необходимое количество воздуха, кг/кг топл.

Для средних нагрузок при работе двигателя на бедной смеси (при = 1,1...1,2) концентрация углеводородов достигает минимума, и двигатель наиболее экономичен. Отклонение состава смеси в сторону как обеднения, так и обогащения вызывает резкое повышение концентрации углеводородов в выпускных газах. При неисправности двигателя содержание СО резко возрастает и может превышать номинальную концентрацию в 2,7 раза [10]. Содержание оксида углерода увеличивается при малой частоте вращения коленчатого вала двигателя, если нарушается работа системы холостого хода карбюратора, и при большой частоте вращения, если главная дозирующая система отклоняется от нормы, негерметичны клапаны экономайзера, насоса ускорителя карбюратора и неисправна система зажигания. В любом случае повышение содержания СО означает, что из-за неисправности двигателя в цилиндры поступает лишнее топливо.

Таким образом, при дефектах или поломках двигателей, сопровождающихся отклонением значений структурных параметров от номинальных, меняются значения диагностических параметров. Поэтому стандартные характеристики функционирования двигателей также отклоняются от номинальных, происходит разрушение статистических связей, в том числе коинтеграционных, между параметрами.

Для иллюстрации последнего утверждения рассмотрим, как изменится характер и коэффициенты причинно-следственной зависимости (5) между анализируемыми диагностическими параметрами в случае отклонения СО и G_t от номинальных значений при нарушении настройки карбюратора, например, холостого хода, или в результате использования свечей зажигания несоответствующего номинала, т.е. калильного числа (на стадии эксплуатации это может означать, что свечи вышли из строя: искра недостаточной мощности, а также износ жиклеров карбюратора) (рис. 2).

Результаты коинтеграционного анализа новых статистических данных для определения ранга коинтеграции многомерного процесса, отражающего динамику анализируемых параметров в случае перечисленных нарушений, представлены в табл. 2. Наблюдаемые значения статистики (4) не превышают 10%-ное критическое значение, чем отличаются от соответствующих значений табл. 1. Поэтому гипотеза H_0: $r = 0$ не отвергается в пользу альтернативной гипотезы H_A: $r = 1$. В итоге значение ранга коинтеграции принимается равным 0, что говорит об отсутствии линейной стационарной зависимости между исходными случайными процессами.

Таким образом, при дефектах, сопровождающихся отклонением параметров изделий от номинальных, происходит нарушение причинно-следственной зависимости (5).

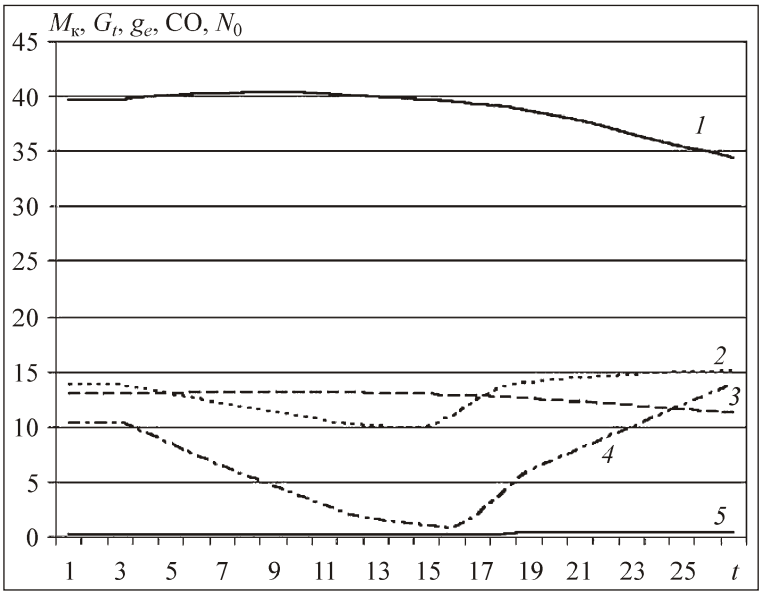


Рис. 2. Многомерный случайный процесс измерений параметров ДВС: *1* – $N_О$, кВт; *2* – G_t, кг/ч; *3* – $M_к$, Н м; *4* – CO, %; *5* – g_e, кг/кВт ч

Таблица 2

Определение ранга коинтеграции нового процесса

Собственные числа	$LR^{-\max}$	H_0	$LR^{\max}$ (90 %)
0,969467	37,22339	0	38,33101
0,560368	20,54541	1	32,11832
0,450683	14,97699	2	25,82321
0,375424	11,76704	3	19,38704
0,094025	2,468598	4	12,51798

Методика выявления момента нарушения зависимостей в ходе испытаний основана на отслеживании выборочных значений дисперсий и средних значений коэффициентов линейных комбинаций, описывающих связи между диагностическими параметрами испытуемых изделий. Соответствующее программное обеспечение реализовано с использованием прикладного программного обеспечения RATS (*Regression Analysis of Time Series*)/CATS (*Cointegration Analysis of Time Series*) в среде Windows. При сохранении физически интерпретируемых связей между диагностическими параметрами двигателей между ними сохраняются статистические связи, в том числе коинтеграционные. Наоборот, при разрушении системных связей вследствие дефектов статистические связи между параметрами нарушаются.

Библиографический список

1. **Ахметдзянов А.М., Дубравский Н.Г., Тунаков А.П.** Диагностика состояния ВРД по термогазодинамическим параметрам. М.: Машиностроение, 1983. 206 с.

2. **Рыбалко В.В.** Параметрическое диагностирование энергетических объектов на основе факторного анализа в среде Statistica // Exponenta Pro, 2004. С. 78–83.

3. **Alwan L.C., Roberts H.V.** Time Series Modeling for Statistical Process Control // Journal of Business and Economics Statistics, 1988. Vol. 6. № 1. P. 87–95.

4. **Добровольский А.В.** К вопросу о расчете теоретической линии регрессии при обработке статистической информации // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2004. № 1. С. 85–87.

5. **Гребенюк Е.А.** Обнаружение изменений свойств нестационарных случайных процессов // Автоматика и телемеханика. 2003. № 12. С. 44–59.

6. **Первухина Е.Л., Голикова В.В.** Анализ нестационарных случайных процессов в задачах автоматизации производственных испытаний машиностроительных изделий // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2007. № 8.

7. **Первухина Е.Л., Голикова В.В., Сопин П.К.** Статистическое моделирование машиностроительных изделий по диагностическим параметрам // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2008. № 11.

8. **Johansen S.** Likelihood-based Inference in Cointegrated Vector Autoregressive Models. Oxford: Oxford University Press, 1995.

9. **Говорущенко Н.Я.** Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. М.: Транспорт, 1990. 135 с.

10. **Харазов А.М., Кривенко Е.И.** Диагностирование легковых автомобилей на станциях технического обслуживания. М.: Высшая школа, 1987. 272 с.

УДК 621.315.2+621.395

А.Н. Тынок, *канд. техн. наук,* **А.В. Медарь,** *д-р техн. наук (127018, Москва, 3-й пр. Марьиной Рощи, д. 40, НПО "Техномаш")*
Тел. 8(495) 689-95-11

Контрольно-измерительное оборудование в сборочном производстве бортовых кабельных сетей

Представлены принцип работы и конструктивные особенности аппаратно-программного комплекса автоматизированного контроля технических параметров бортовых кабельных сетей изделий специального машиностроения в сборочном производстве. Описана функциональная схема работы комплекса, обеспечивающего выявление и локализацию явных и скрытых дефектов кабельно-жгутовых изделий за один цикл испытаний кабельной сети.

Represent maxims work and constructional peculiarity hard warily soft complex automatize inspection technological characteristic on-board cable net production special engineering industry in assembly manufacture. Describes functional logic scheme work complex, provide detection identification and positioning explicit and concealed defect cable harness ware during the one cycle testing cable net.

Ключевые слова: бортовая кабельная сеть, кабельно-жгутовая продукция, аппаратно-программный комплекс, контрольная цепь, адресный коммутатор, приборный коммутатор.

Key words: on-board cable net, cable harness ware, hard warily soft complex, monitoring circuit, pilot circuit, address commutator, instrument commutator.

Сборочное производство сложных технических систем неизбежно связано с размещением внутри образующих систему конструкций кабельно-жгутовых изделий (КЖИ), формирующих бортовую кабельную сеть (БКС) изделия. Контроль технических параметров БКС – неотъемлемая часть технологии сборки и последующих регламентных проверок изделия на всех этапах его жизненного цикла.

Несмотря на широкую номенклатуру и многообразие вариантов исполнения различных измерительных устройств для контроля отдельных технических параметров КЖИ, ряд используемых в специальном машиностроении аппаратных средств для комплексного контроля БКС весьма ограничен.

Постоянно растущие требования к надежности и ресурсу эксплуатации бортовых комплексов приводит к необходимости существенного повышения качества изготовления всех его подсистем, включая и БКС. В свою очередь, существенное повышение надежности и качества изготовления КЖИ невозможно без применения высокоэффективных средств контроля, позволяющих выявлять наряду с явными дефектами (обрыв или замыкание цепей) также и скрытые дефекты (непропай, "холодная" пайка или "мерцающий" обрыв).

Принцип работы предлагаемого комплекса основан на прецизионном измерении параметров контролируемых цепей, позволяющем фиксировать переходные электрические параметры, такие как, например, проводимость контактного, обжимного соединения или соединения пайкой.

При построении прецизионного комплекса контроля необходимо наряду с прецизионными измерительными приборами применять и прецизионные адресные и приборные коммутаторы с высокостабильными электрическими параметрами коммутируемых технологических цепей.

Техническое решение опытного образца аппаратно-программного комплекса автоматизированного контроля – АПК БКС (рис. 1), предлагаемого к серийному производству, отвечает самым высоким требованиям по функциональности, точности, быстродействию и

Рис. 1. Аппаратно-программный комплекс АПК БКС

эргономичности. Ниже приводится краткое описание состава, функциональной схемы (рис. 2) и принципов функционирования комплекса контроля кабельных сетей.

АПК БКС состоит из приборной стойки с консолью оператора и стыковочных модулей, количество которых зависит от требуемого числа точек подключения контрольного кабеля.

Функционирование АПК БКС осуществляется под управлением мультисистемного вычислительного комплекса. Измерительные приборы и источник питания коммутаторов управляются через параллельную высокоскоростную шину EEEI-488 (GPIB), адресные и приборный коммутаторы – через гальванически развязанный интерфейс цифрового ввода-вывода.

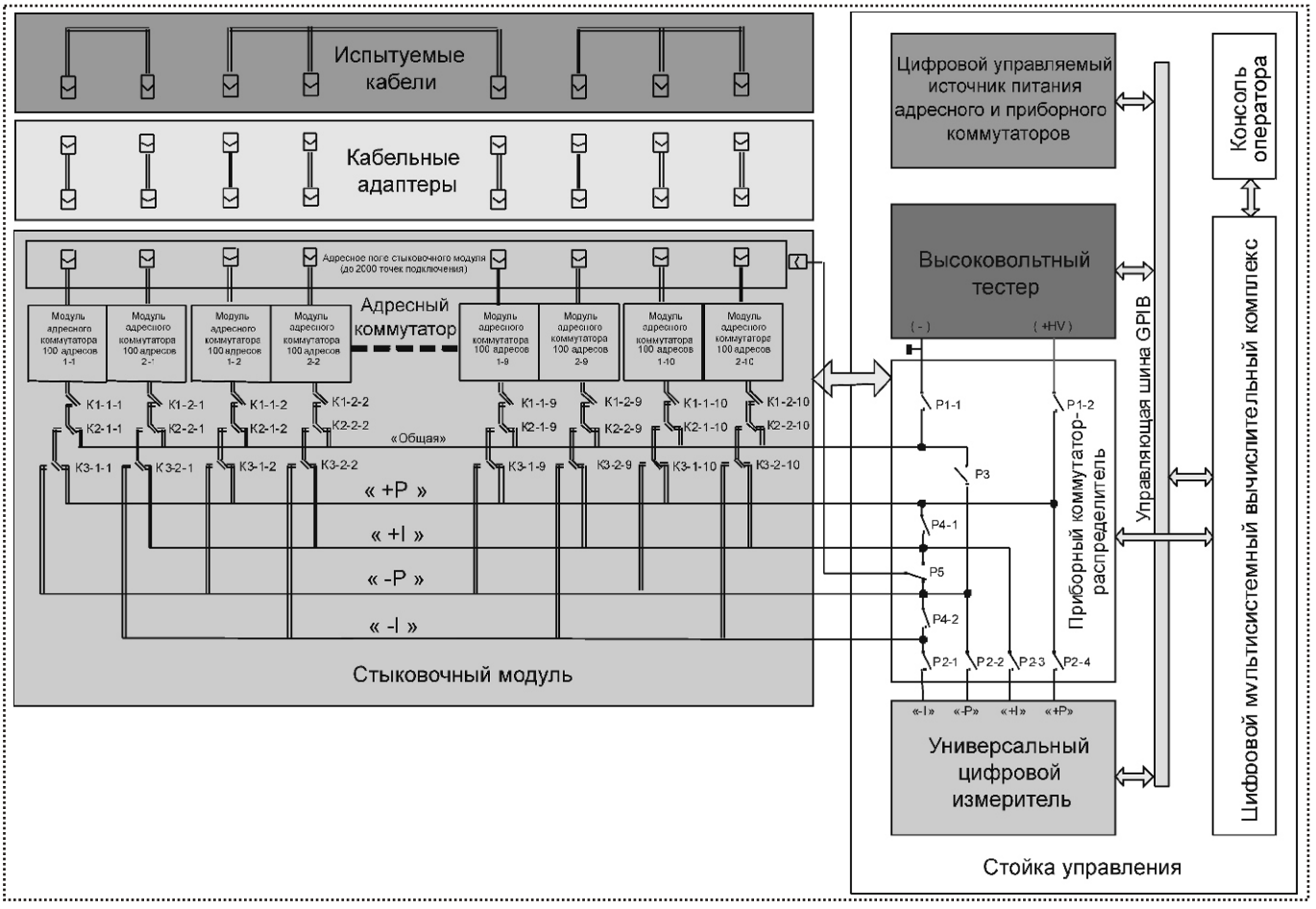


Рис. 2. Функциональная схема аппаратно-программного комплекса контроля бортовых кабельных сетей

Комплексом поддерживаются следующие виды испытаний кабельных изделий:

• контроль обтекания цепей (контроль наличия цепей и измерение их характеристик);

• контроль разобщенности цепей (контроль наличия замыканий цепей на другие цепи и на корпус соединителей);

• измерение сопротивления изоляции по постоянному току;

• измерение диэлектрической прочности изоляции по переменному или постоянному току;

• калибровка технологических цепей адресного и приборного коммутаторов (технологический режим).

Испытания могут быть проведены в полном объеме или частично в следующей последовательности:

☐ через консоль оператора в соответствии с инструкциями вводят

– электрическую схему кабеля с описанием номинальных значений параметров контролируемых цепей;

– схему стыковки разъемов кабеля к соединителям стыковочного модуля с указанием типов кабелей-адаптеров;

– вид и профиль испытаний для настройки контрольно-измерительных приборов;

☐ подстыковывают контрольные кабели к соединителям стыковочного модуля через кабели-адаптеры в соответствии с введенной электрической схемой;

☐ выполняют в соответствии с инструкцией запуск пакета специального программного обеспечения испытаний через консоль оператора;

☐ запускают процесс испытаний через консоль оператора.

Программа управления процессом испытаний кабелей реализует временну́ю циклограмму выдачи команд в каждом из видов испытаний, что приводит контактные группы реле адресного и приборного коммутаторов в состояние, соответствующее назначенным видам и профилям испытаний.

Ниже описывается логика и последовательность выдачи команд при проверках кабелей по каждому из видов испытаний.

1. Исходное состояние

Адресный коммутатор.

Контакты всех реле группы K1 замкнуты и обеспечивают подключение всех доступных (установленных в крейте) модулей к общей измерительной шине.

Контакты всех реле группы K2 замкнуты и обеспечивают подключение всех адресов внутри доступных (установленных в крейте) модулей к общей измерительной шине.

Приборный коммутатор.

Контакты реле групп P1, P2 и P3 разомкнуты (измерительные приборы отключены, объединенная шина измерения "–" отключена от общей шины).

Контакты реле группы P4 замкнуты (шины токового и потенциального минуса, а также токового и потенциального плюса объединены).

Контакты реле P5 соединяют калибровочный щуп с объединенной шиной "–".

2. Контроль обтекания цепей (контроль наличия цепей и измерение их характеристик)

Адресный коммутатор.

Контакты всех реле группы K1 замкнуты и обеспечивают подключение адресов всех доступных (установленных в крейте) модулей к общей измерительной шине.

Контакты всех реле группы K2 замкнуты и обеспечивают подключение всех адресов внутри доступных (установленных в крейте) модулей к общей измерительной шине, за исключением тех, которые отключаются от общей шины и подключаются с помощью контактов реле группы K3 к шинам "+" или "–" в соответствии со схемой кабеля и программой испытаний участка контрольной цепи.

Примечание. При двухпроводном способе измерений модули коммутаторов групп 1 и 2 работают независимо друг от друга. Количество независимых точек подключения кон-

трольного кабеля – до 2000. При четырехпроводном способе измерений модули коммутаторов группы 2 синхронизируются с модулями коммутаторов группы 1 (синхронно коммутируются одноименные адреса). Количество независимых точек подключения контрольного кабеля – до 1000. Организация четырехпроводного способа измерений предполагает подключение контрольного кабеля к соединителям стыковочного модуля через четырехпроводные кабели-адаптеры.

Приборный коммутатор.

Контакты реле групп Р2 замкнуты (измерительный прибор подключен к измерительным шинам). Контакты реле групп Р1 и Р3 разомкнуты.

Двухпроводный способ.

Контакты реле группы Р4 замкнуты (шины токового и потенциального минуса, а также токового и потенциального плюса объединены).

Четырехпроводный способ.

Контакты реле группы Р4 разомкнуты (шины токового и потенциального минуса, а также токового и потенциального плюса разъединены), что в сочетании с четырехпроводной схемой коммутации адресов адресного коммутатора и применением четырехпроводных кабелей-адаптеров позволяет измерять напряжение и протекающий ток непосредственно на участке контролируемой цепи, исключая все погрешности, вносимые технологическими коммутационными цепями.

Контакты реле Р5 соединяют калибровочный щуп с объединенной шиной "–".

3. Контроль разобщенности цепей (контроль наличия замыканий цепей на другие цепи и на корпус соединителей)

Адресный коммутатор.

Контакты всех реле группы К1 замкнуты и обеспечивают подключение адресов всех доступных (установленных в крейте) модулей к общей измерительной шине.

Контакты всех реле группы К2 замкнуты и обеспечивают подключение всех адресов внутри доступных (установленных в крейте) модулей к общей измерительной шине, за исключением тех, которые отключаются от общей шины и подключаются с помощью контактов реле группы К3 к шине "+" в соответствии со схемой кабеля и программой испытаний всей контрольной цепи (все контакты контрольной цепи локализуются на объединенной шине "+").

Примечание. Контроль разобщенности цепей проводится только при двухпроводном способе измерения (при объединенных токовых и потенциальных шинах измерительного прибора независимо от типов применяемых кабелей-адаптеров).

При наличии замыкания проводится поиск замкнутых цепей путем их последовательного отключения от общей шины контактами реле группы К2 и подключения их к объединенной измерительной шине "+" с помощью контактов реле группы К3.

Для ускорения процесса поиска замкнутых цепей методом декадного деления используются контакты реле группы К1, отключающие от общей шины 100 адресов модуля одновременно.

Приборный коммутатор.

Контакты реле групп Р2 замкнуты (измерительный прибор подключен к измерительным шинам).

Контакты реле групп Р3 замкнуты (общая шина подключается к объединенной измерительной шине "–").

Контакты реле групп Р1 разомкнуты.

В этом режиме используется только двухпроводный способ измерения. Контакты реле группы Р4 замкнуты (шины токового и потенциального минуса, а также токового и потенциального плюса объединены).

Контакты реле Р5 соединяют калибровочный щуп с объединенной шиной "–".

После проведения коммутации проводится измерение наличия замыкания контрольной цепи, локализованной на объединенной шине

"+", с общей шиной, на которой локализованы контакты всех остальных цепей контрольного кабеля.

4. Измерение сопротивления изоляции по постоянному току

Адресный коммутатор.

Контакты всех реле группы К1 замкнуты и обеспечивают подключение всех доступных (установленных в крейте) модулей к общей измерительной шине.

Контакты всех реле группы К2 замкнуты и обеспечивают подключение всех адресов внутри доступных (установленных в крейте) модулей к общей измерительной шине за исключением тех, которые отключаются от общей шины и подключаются с помощью контактов реле группы К3 к шине "+" в соответствии со схемой кабеля и программой испытаний всей контрольной цепи (все контакты контрольной цепи локализуются на объединенной шине "+").

Примечание. Контроль сопротивления изоляции проводится только при двухпроводной схеме коммутации (при объединенных токовых и потенциальных шинах независимо от типов применяемых кабелей-адаптеров).

Приборный коммутатор.

Контакты реле групп Р2 разомкнуты (измерительный прибор отключен от измерительных шин).

Контакты реле групп Р3 разомкнуты (общая шина отключается от объединенной измерительной шины "–").

Контакты реле групп Р1 замкнуты (заземленный "–" высоковольтного тестера подключается к общей шине, а "+" высокого испытательного напряжения – к объединенной измерительной шине "+", на которой локализованы все контакты контрольной цепи).

В этом режиме используется только двухпроводная схема коммутации измерительных шин, т.е. контакты реле группы Р4 замкнуты (шины токового и потенциального минуса, а также токового и потенциального плюса объединены).

Контакты реле Р5 соединяют калибровочный щуп с объединенной шиной "–".

После проведения коммутации включается высокое напряжение постоянного тока по команде программы вычислительного комплекса и контролируется сопротивление изоляции контрольной цепи, локализованной на объединенной измерительной шине "+", по отношению ко всем остальным цепям кабеля, локализованным на общей шине.

5. Измерение диэлектрической прочности изоляции по переменному или постоянному току

Коммутация контактов реле адресного и приборного коммутаторов аналогична режиму измерения сопротивления изоляции.

После проведения коммутации включается высокое напряжение переменного тока по команде программы вычислительного комплекса и контролируется диэлектрическая прочность контрольной цепи, локализованной на объединенной измерительной шине "+", по отношению ко всем остальным цепям кабеля, локализованным на общей шине.

6. Калибровка технологических цепей адресного и приборного коммутаторов (технологический режим)

Проводится в целях измерения и паспортизации сопротивления технологических цепей, каждого адреса для последующего ввода поправки в случае использования двухпроводного способа измерения.

Адресный коммутатор.

Контакты реле группы К1 замкнуты, а с помощью контактов реле групп К2 и К3 осуществляется последовательное подключение каждого адреса к объединенным измерительным шинам "+" и "–".

Приборный коммутатор.

Контакты реле групп Р2 замкнуты (измерительный прибор подключен к измерительным шинам). Контакты реле групп Р1 и Р3 разомкнуты.

Измерение ведется двухпроводным способом.

Контакты реле группы Р4 замкнуты (шины токового и потенциального минуса, а также токового и потенциального плюса объединены).

Контакты реле Р5 коммутируются синхронно с контактами реле К3 адресного, но, находясь в противофазе, когда контакт реле группы К3 подключает выбранный адрес к объединенной шине "+", контакт реле Р5 подключает измерительный калибровочный щуп к объединенной шине "–", и наоборот, когда контакт реле группы К3 подключает выбранный адрес к объединенной шине "–", контакт реле Р5 подключает измерительный калибровочный щуп к объединенной шине "+".

Разъем калибровочного щупа последовательно подключается ко всем разъемам адресного поля стыковочного модуля.

Приведенная выше схема калибровки позволяет для каждого адреса измерять сопротивление технологических коммутируемых цепей (оно равно измеренному прибором сопротивлению за вычетом эталонного паспортизуемого сопротивления калибровочного щупа), запоминать его в базе данных вычислительного комплекса и вводить в качестве поправки при проведении измерений сопротивления цепей двухпроводным способом.

После завершения цикла испытаний выбранной по программе цепи комплекс переводится в исходное состояние, программой испытаний назначается новая контрольная цепь и цикл испытаний повторяется до полного исчерпания предусмотренных программой испытания контрольных цепей.

Выводы

Предлагаемая к внедрению конструкция аппаратно-программного комплекса высокотехнологична в производстве, монтаже и эксплуатации. Она обеспечивает:

– контроль КЖИ с топологией любой сложности;

– обнаружение всех возможных явных и скрытых дефектов КЖИ за один цикл испытаний с локализацией дефекта по трассе проводников КЖИ;

– адаптацию испытаний КЖИ к различным методикам путем переназначения профилей испытаний через интерактивный интерфейс оператора;

– учет совместимости существующей оснастки (переходники-адаптеры);

– использование разработанного банка программ испытаний БКС;

– максимальное сокращение срока адаптации операторов-испытателей к работе на новом оборудовании.

Применение предлагаемого аппаратно-программного комплекса позволяет обеспечить высокое качество и надежность БКС, отвечающих самым современным требованиям к изделиям подобного класса.

УДК 629.36-82:621.43.032

В.Л. Басинюк, *д-р техн. наук, директор Научно-технического центра "Технологий машиностроения и технологического оборудования",* **Е.И. Мардосевич,** *канд. техн. наук,* **И.Н. Усс**
(Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, 220072, ул. Академическая 12, г. Минск, Республика Беларусь)
Тел./факс: 017 2842910
E-mail: basenuk@inmash.bas-net.by; mardlen@mail.ru

Автоматизированный экспресс-анализ качества изготовления и сборки насосов в цеховых условиях и гидроприводов навесных устройств в составе трактора

Приведены методы и аппаратно-программные средства мониторинга технического состояния гидроприводов навесных устройств тракторов по их КПД, включающие определение КПД гидропривода для контроля качества его изготовления и сборки с использованием в качестве нагружающего устройства гидроаккумулятора или программно-управляемого дросселя, и косвенной оценки КПД гидропривода навесного устройства трактора по параметрам колебаний давления, обусловленных собственными затухающими колебаниями гидромеханической системы навесного устройства, возникающими в начальный момент выдвижения штоков гидроцилиндров.

The report deals with hardware and software for efficiency-based monitoring of the technical condition of hitch hydraulic actuators in tractors including efficiency testing of hydraulic actuators for monitoring the quality of its manufacturing and assembling using as loading device a hydraulic accumulator or a software controlled throttle as well as for indirect efficiency assessment of the hitch hydraulic actuator of a tractor by measuring pressure oscillations induced by characteristic convergent oscillation of the hydromechanical hitch system appearing during the initial moment of hydraulic cylinder rod extension.

Ключевые слова: гидропривод, качество, контроль, КПД, трактор.

Key words: hydraulic actuator, quality, monitoring, efficiency, tractor.

Конкурентоспособность современных тракторов во многом определяется их функциональными возможностями, надежностью и экологической безопасностью, что в значительной мере обеспечивается входящими в их состав приводными системами навесных устройств. Поэтому повышение надежности и экологической безопасности гидроприводов тракторов можно отнести к одной из наиболее актуальных для тракторостроения задач. Важнейшим направлением решения этой задачи является создание и совершенствование эффективных методов и программно-аппаратных средств мониторинга качества изготовления и сборки гидроприводов навесных устройств, позволяющих оценивать прогнозируемый ресурс в рабочих диапазонах параметров их функционирования.

Методический подход

В основу разработки методов и аппаратно-программных средств контроля качества изготовления и сборки насосов и гидроприводов навесных устройств тракторов по значениям их КПД было положено два методических подхода.

Один из них ориентирован на контроль качества изготовления и сборки шестеренных нерегулируемых насосов и гидроприводов на их основе. При его реализации в качестве нагружающих устройств использованы гидроаккумулятор или программно-управляемый дроссель [1–6]. Это позволяет создать в процессе одного цикла испытаний монотонно увеличивающуюся во всем диапазоне рабочих давлений нагрузку и определить КПД гидропривода при одной из скоростей вращения

входного вала насоса, а в течение нескольких циклов – во всем диапазоне скоростных режимов функционирования.

Второй подход предназначен для контроля качества изготовления и сборки гидроприводов с шестеренными или аксиально-поршневыми насосами в реальных условиях функционирования навесных устройств в составе трактора. В этом случае определение КПД гидропривода осуществляется по параметрам колебаний давления рабочей жидкости [1], возникающим вследствие собственных затухающих колебаний связанной со штоками гидроцилиндров поднимаемой навесным устройством массы. Это позволяет без применения дополнительных вспомогательных средств с помощью датчика давления осуществить комплексную оценку качества изготовления и сборки и прогнозируемого ресурса гидропривода.

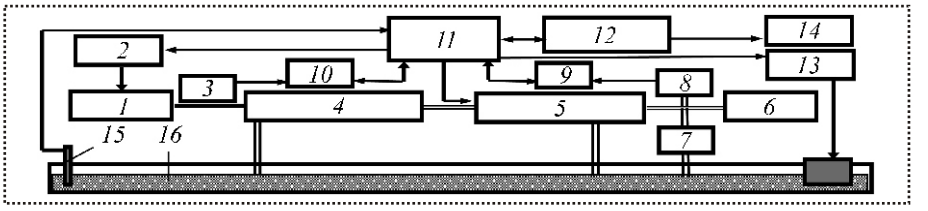


Рис. 1. Схема устройства для контроля качества изготовления и сборки насосов и гидроприводов тракторов в стационарных условиях с использованием гидроаккумулятора:
1 – двигатель;
2 – система управления угловой скоростью вращения входного вала насоса диагностируемого гидропривода;
3 – импульсный датчик частоты вращения входного вала насоса гидропривода (тахометр);
4 – диагностируемый гидропривод;
5 – программно-управляемый гидрораспределитель;
6 – гидроаккумулятор;
7 – предохранительный клапан;
8 – датчик давления масла в гидроприводе;
9, *10* – программно-регулируемые усилители;
11 – контроллер;
12 – вычислительное средство;
13 – блок нагрева, охлаждения и поддержания заданной температуры масла;
14 – индикаторное устройство;
15 – датчик температуры;
16 – емкость для масла

Схема аппаратно-программного средства с гидроаккумулятором показана на рис. 1.

В процессе контроля осуществляется зарядка гидроаккумулятора, при этом регистрируется давление рабочей жидкости на его входе (рис. 2).

С использованием полученной диаграммы изменения давления определяют объем поступившей в гидроаккумулятор рабочей жидкости за период времени $t = t_2 - t_1$, при котором давление изменилось от p_1 до p_2. Среднее значение КПД гидросистемы в этом интервале давлений рассчитывают по известной зависимости

$$Q/Q_R \quad 2\ (V_{p_2} \quad V_{p_1})/(q \quad t), \qquad (1)$$

где Q, Q_R – соответственно действительная и расчетная подачи насосом рабочей жидкости;

q – объемная постоянная насоса;

– угловая скорость вращения насоса гидропривода;

V_{p_1}, V_{p_2} – объем рабочей жидкости в гидроаккумуляторе при давлениях p_1 и p_2.

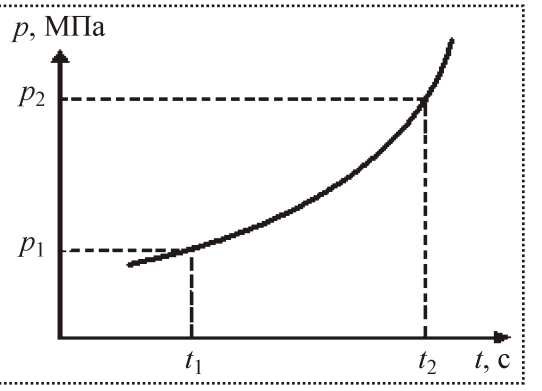


Рис. 2. Определение КПД насоса в заданном интервале рабочих давлений:
p – давление в гидроприводе;
p_1, p_2 – соответственно минимальное и максимальное значения давления, при которых регистрируется КПД насоса;
t – текущее время;
t_1, t_2 – время достижения соответственно минимального p_1 и максимального p_2 давлений

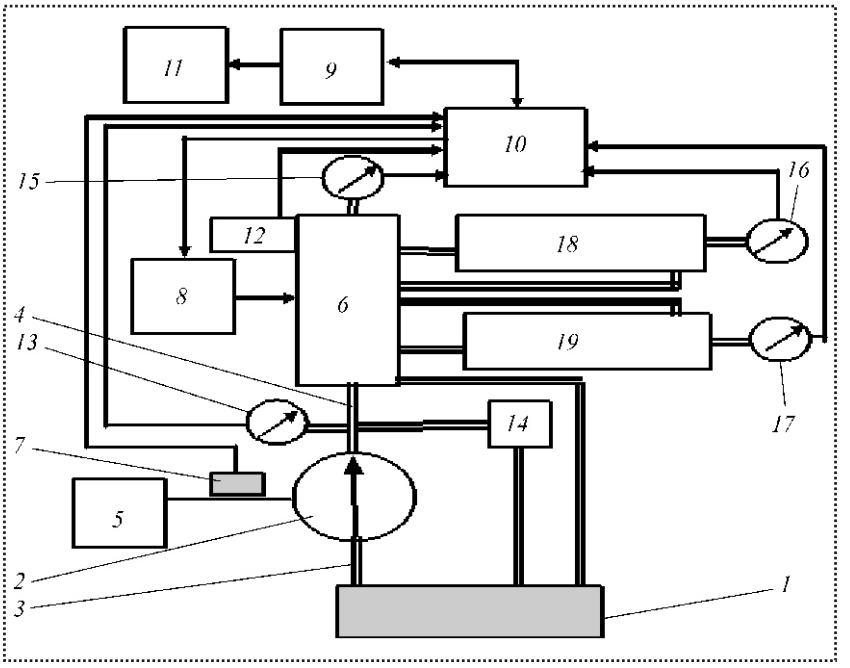


Рис. 3. Схема устройства для мониторинга технического состояния гидропривода навесных устройств в условиях эксплуатации:
1 – бак трактора для масла;
2 – шестеренный насос;
3 – всасывающая гидролиния;
4 – напорная гидролиния;
5 – двигатель трактора;
6 – гидрораспределитель;
7 – тахометр;
8 – блок управления гидрораспределителем;
9 – бортовой компьютер;
10 – контроллер с АЦП;
11 – индикаторное устройство;
12 – датчик положения гидрораспределителя;
13 – датчик давления на выходе насоса;
14 – переливной предохранительный клапан;
15 – датчик давления на гидрораспределителе;
16, *17* – датчики давления масла в нагнетательных полостях силовых гидроцилиндров;
18, *19* – гидроцилиндры навесных устройств

Использование зависимости (1) позволяет определить не только средние, но и мгновенные значения КПД гидропривода во всем диапазоне рабочих давлений, а анализ градиентов давления – прогнозируемый ресурс.

В случае применения в качестве нагружающей системы программно-управляемого дросселя могут быть заданы различные законы изменения давления, однако в этом случае необходим контроль подачи рабочей жидкости с использованием расходомера.

Для мониторинга технического состояния гидроприводов навесных устройств в составе тракторов также используются аппаратно-программные средства, схема которых показана на рис. 3.

В процессе контроля при заданных частотах вращения двигателя и величинах поднимаемых грузов на бортовом или переносном компьютере регистрируются изменения давления в гидроприводе. Осциллограммы изменений давления показаны на рис. 4.

Из полученных данных с помощью специализированного программного обеспечения выделяют значения максимальной амплитуды колебаний давлений $p_{\max}$ (для гидроприводов с шестеренными нерегулируемыми насосами) или максимальной разности давлений за цикл подъема груза $p_{a_{1\max}}$ (для гидроприводов с аксиально-поршневыми регулируемыми насосами) и определяют собственную частоту f_m затухающих колебаний давления и ориентировочное значение коэффициента u_m затухания колебаний давления. Затем с учетом этих данных рассчитывают значение КПД $_i$ в каждом цикле нагружения.

При установке в гидроприводе шестеренных нерегулируемых насосов КПД определяется из зависимости

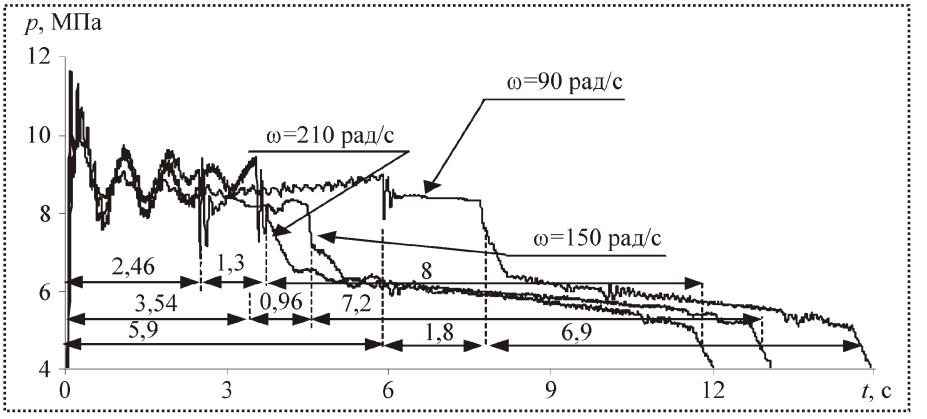


Рис. 4. Осциллограммы колебаний давления рабочей жидкости в гидроприводе навесного устройства трактора "Беларус" при подъеме груза

$$_{i} \quad 4 \;^{2} k \;\; p_{\max i} \frac{f_{mi}(S \;\;)^{2}}{_{i}(1 \;\; 0{,}68 u_{mi}) C_{m} q}, \qquad (2)$$

где $p_{\max\ i}$ – максимальная амплитуда колебаний давления в гидроприводе в i-м цикле нагружения, МПа;

k – определенный экспериментально поправочный коэффициент, учитывающий влияние конструктивных, кинематических и инерционно-жесткостных особенностей рассматриваемого гидропривода на зависимость $p_{\max_i}$ от ;

f_{m_i} – частота колебаний давления в гидроприводе, обусловленных собственными колебаниями поднимаемой навесным устройством массы m, зафиксированными в i-м цикле нагружения, Гц;

S – суммарная площадь поршней гидроцилиндров навесного устройства;

C_m – жесткость гидромеханической системы навесного устройства;

$_{i}$ – угловая скорость вращения насоса, рад/с;

u_{m_i} – коэффициент затухания колебаний давления, зафиксированный в i-м цикле нагружения.

При контроле качества изготовления и сборки гидроприводов с регулируемыми по подаче аксиально-поршневыми насосами в зависимость (2) вводится откорректированное значение $p_{a_1 \max\ i}$. В основу этой методики положено то, что максимальные значения амплитуд колебаний давления p_{a_1} и ускорения $\ddot{x}_{m(\max)}$ колеблющейся на штоках гидроцилиндров массы m связаны зависимостью [7]

$$p_{a_1} \quad \frac{m\ddot{x}_{x(\max)}}{S}. \qquad (3)$$

В свою очередь, зависимость максимального ускорения $\ddot{x}_{m(\max)}$ массы m от скорости v ее подъема навесным устройством имеет вид:

$$\mathrm{v} \quad |\ddot{x}_{m(\max)} e^{0{,}25\ u_m} \big/ \;_{m}|, \qquad (4)$$

а величина v определяется не только частотой вращения двигателя трактора, но и КПД насоса.

В качестве вспомогательного параметра, используемого для оценки качества изготовления и сборки гидропривода навесного устройства трактора, может быть использовано выделенное из осциллограммы давления время t_p полного выдвижения штоков гидроцилиндров.

Как показал анализ результатов проведенных исследований, взаимосвязь между t_p и КПД $_{R}$ контролируемого гидропривода может быть описана зависимостями:

$$t_p \quad a_p \big/ \;\; ; \qquad _{R} \quad 2 \;\; \frac{k_{pr}}{a_p k_Q}, \qquad (5)$$

где a_p – безразмерный коэффициент, связывающий технические характеристики гидропривода и его КПД с угловой скоростью вращения двигателя;

k_{pr} – расчетное число оборотов вала насоса, необходимое для заполнения всего объема $V_g = LS$ (L – полный ход гидроцилиндров) напорных полостей гидроцилиндров при $_{R} = 1$ и $k_Q = 1$, определяемое из зависимости $k_{pr} V_g = LS\ /q$;

k_Q – безразмерный коэффициент, учитывающий, при наличии нескольких потребителей подаваемой насосом в гидропривод рабочей жидкости, ее объемную часть, направляемую распределителем в напорные полости гидроцилиндров навесного устройства.

При создании аппаратно-программных средств контроля необходимо учитывать, что амплитуды колебаний давления в гидроприводе, обусловленные колебаниями размещенной на навесном устройстве массы m, при использовании аксиально-поршневых насосов типа A10CN045 могут достигать 45...50 % от величины среднего давления. Связанная с этим динамическая добавка нагруженности гидропривода практически линейно пропорциональна

(погрешность не превышает 8 %) угловой скорости вращения двигателя трактора.

Выводы

Разработаны методы и аппаратно-программные средства оценки качества изготовления и сборки насосов и гидроприводов навесных устройств тракторов по их КПД, включающие:

– определение КПД не установленных на трактор насосов или гидроприводов в процессе контроля качества их изготовления и сборки с использованием в качестве нагружающего устройства гидроаккумулятора или программно-управляемого дросселя, что позволяет оценить за один цикл испытаний значения КПД во всем диапазоне рабочих давлений и существенно сократить длительность и трудоемкость контроля при значительном повышении его информативности;

– косвенную оценку КПД гидропривода навесного устройства трактора по параметрам колебаний давления, обусловленных собственными затухающими колебаниями гидромеханической системы навесного устройства, возникающими в начальный момент выдвижения штоков гидроцилиндров.

Библиографический список

1. **Усс И.Н., Басинюк В.Л., Мардосевич Е.И.** Мониторинг технического состояния приводных систем тракторов "Беларус". Гомель: ИММС НАН Беларуси. 278 с.

2. **Басинюк В.Л., Усс И.Н., Басинюк Я.В., Мардосевич Е.И.** Диагностика технического состояния гидроприводов машин // Вестник БГТУ. Машиностроение. 2002. № 4 (16). С. 38–40.

3. **Усс И.Н., Басинюк В.Л., Мардосевич Е.И., Глазунова И.Н.** Мобильный мониторинг технического состояния гидроприводов тракторов // Инновации в машиностроении: сб. науч. тр. Междунар. Науч.-техн. конф. ОИМ НАН Беларуси, Минск, 30–31 окт. 2008 г. / ОИМ НАН Беларуси; редкол.: М.С. Высоцкий и др. Минск, 2008. С. 280–287.

4. **Способ** испытаний гидронасосов и устройство для его осуществления: пат. 8242 Респ. Беларусь, МПК 7 F04 B51/00 / В.И. Адашкевич, В.Л. Басинюк, В.Е. Борейшо, И.Н. Усс; НАН Беларуси, Ин-т механики и надежности машин. № a200330782; заявл. 31.07.2003; опубл. 30.03.2005 // Изобрет. 2005. № 3. С. 114.

5. **Устройство** для диагностики гидроприводов машин: пат. 7240 Респ. Беларусь, МПК 7 G 01 F 1/00 / В.Л. Басинюк, М.Г. Мелешко, И.Н. Усс, В.С. Шевченко, Е.И. Мардосевич, Я.В. Басинюк, В.Е. Борейшо; НАН Беларуси, Ин-т механики и надежности машин. № a20030544/u20010114; заявл. 17.05.2001; опубл. 30.09.2005 // Афіцыйны бюл. / Вынаходства. Карысныя мадэли. Прамысл. узоры. Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. 2005. № 3. С. 194–195.

6. **Устройство** для диагностики гидроприводов машин: пат. 7241 Респ. Беларусь, МПК 7 G 01 F 1/00 / В.Л. Басинюк, М.Г. Мелешко, И.Н. Усс, В.С. Шевченко, Е.И. Мардосевич, Я.В. Басинюк, В.Е. Борейшо; НАН Беларуси, Ин-т механики и надежности машин. № a20030545/u20010115; заявл. 17.05.2001; опубл. 30.09.2005; Афіцыйны бюл. / Вынаходства. Карысныя мадэли. Прамысл. узоры. Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. 2005. № 3. С. 195–196.

7. **Басинюк В.Л., Бармина И.К., Мардосевич Е.И., Усс И.Н.** Моделирование собственных колебаний, возникающих при переходных процессах в системах с упругими связями элементов // Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин: сб. науч. тр. VI Междунар. науч.-техн. конф., 24–26 апр. 2007 г.: в 3 т. / НАН Беларуси и др.; под ред. П.А. Витязя, С.А. Астапчика. Новополоцк, 2007. Т. 2. С. 30–34.

УДК 621.9.06

С.Я. Березин, *д-р техн. наук (Читинский государственный университет),* **Л.С. Курбатова**, *канд. техн. наук (Забайкальский государственный гуманитарно-педагогический университет им. Н.Г. Чернышевского, г. Чита)*
E-mail: ChumakovR@mail.ru

Анализ принципа действия компенсирующих механизмов завинчивающих патронов

Изложены теоретические принципы методики и обоснования этапов проектирования компенсирующих узлов вспомогательной оснастки для резьбонарезных и резьбосборочных операций. Приведены рекомендации по выбору компоновочных вариантов компенсирующих подвижностей патронов в соответствии с требованиями обеспечения точности переходов ориентирования и наживления.

Theoretical principles of a technique and substantiation of design stages of auxiliary equipment for screwing operations are stated. Recommendations at the chucks of layout variants of compensating mobility of cartridges are resulted.

Ключевые слова: патрон, компенсирующий механизм, сборка, нарезание резьбы, обеспечение точности, выбор.

Key words: the chuck, the compensating mechanism, screwing up of a groove, maintenance of accuracy, a choice.

Качество сборки резьбовых соединений и обработки отверстий во многом определяется эффективностью применяемой вспомогательной резьбозавинчивающей оснастки, в частности, патронов различного типа. Анализ появления брака в реальных условиях производства позволил установить более 15 ситуаций, включая излом инструмента или стержня крепежной детали, нестабильность крутящего момента при сборке соединений с натягом или завинчивании деталей в гладкие отверстия, низкую надежность наживления, искажение профиля или срыв начальных ниток резьбы, недоввинчивание инструмента или детали, выворачивание шпилек из гнезда при реверсе и др. Кроме того, установлена связь видов брака с конкретными недостатками в работе механизмов патронов, их настройки и регулировки.

При наличии значительного числа соединений становится очевидной важность влияния качественной работы механизмов патрона на производительность, точность и надежность выполняемых технологических операций. На рис. 1 представлен корпус компрессора 14ВК, собираемого на Читинском ОАО "Машзавод". Большое количество шпилечных и винтовых соединений в данном узле требует обеспечения высокой эффективности вспомогательной оснастки для монтажных операций.

Патрон должен не только удерживать крепежную деталь или инструмент (метчик) и производить их завинчивание, но и отрабатывать все переходы сопряжения, обеспечивать ориентацию детали относительно отверстия, компенсировать погрешности технологической системы, устранять реактивные момен-

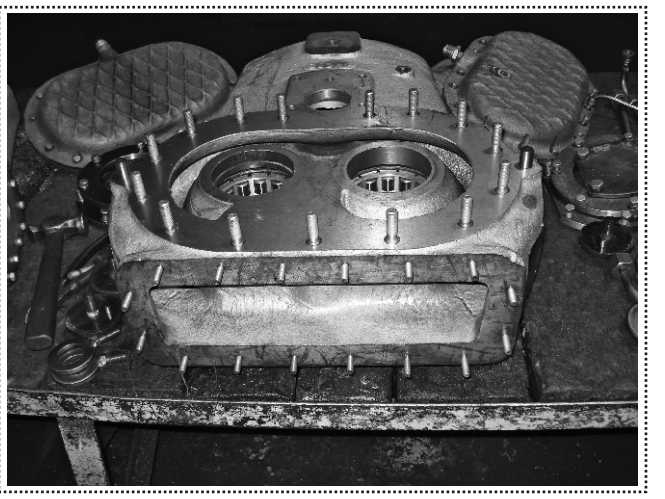


Рис. 1. Корпус компрессора 14ВК

ты, приводящие к перекосу осей, производить затяжку соединения, наживление, реверс, выключение вращения и т.д.

Все эти действия производят различные механизмы патронов, которые разделены на управляющие, функциональные и компенсирующие [1].

Многообразие требований, предъявляемых к оснастке, ведет к постоянному усложнению и удорожанию ее конструкций [2]. В настоящее время известные зарубежные фирмы – Briney Tooling System, TM Smith Tool Inc. (США), D'Andrea (Италия), Rohm GmbH, Kleinhebezenge SchmalkaEden (Германия), Nikken (Япония) и др. выпускают инструментальные системы, включающие резьбозавинчивающую вспомогательную оснастку для станков с ЧПУ, сборочных автоматов, агрегатных завинчивающих станков, в том числе для групповой сборки.

Выход из ситуации постоянного усложнения конструкций производители видят в создании модульных систем инструментальной оснастки для сборочно-резьбонарезных операций. Например, фирма D'Andrea (Италия) при посредничестве фирмы Tool Inc. (США) производит модульную оснастку, в состав которой входят наборы хвостовиков, корпусов патронов с различной механикой, переходные адаптеры, инструментодержатели [3].

Фирмы Jacobs Chuck (США) и Bilz Co. (Германия) совместно выпускают серию патронов модульной конструкции для метчиков и раскатников. Она включает функциональные блоки со сменными инструментодержателями на разные диаметры резьб. Производят также жесткие и компенсирующие патроны с быстросменными адаптерами под различные хвостовики [4].

При резьбообразовании и сборке резьбовых соединений особое значение необходимо придавать начальным переходам операции – ориентации и наживлению, от качества которых зависит весь дальнейший ход процесса. В большей степени это зависит от структуры и свойств компенсирующих блоков патронов, которые включают несколько механизмов, поглощающих погрешности технологической системы, обеспечивают устойчивое положение крепежной детали или инструмента, необходимое осевое усилие для наживления и пр.

В источниках [1, 5] компенсирующие блоки включают плавающие (радиальные), качающиеся (угловые) и комбинированные механизмы.

При разработке патронов с компенсирующими механизмами часто возникает вопрос о величине компенсирующих смещений подвижной части патрона (инструментодержателя) относительно его базы, в качестве которой принимается хвостовик или корпус. Основная задача компенсирующих механизмов – поглощение погрешностей от радиальных, осевых и угловых смещений по осям отверстия детали и шпинделя завинчивающей машины. Наличие подобных компенсаторов стабилизирует процессы обработки или сборки, делает их более устойчивыми.

В известных источниках в основном имеется информация о величине осевых подвижностей при различных отношениях шага резьбы и осевой подачи, а также о величине радиальной подвижности в пределах 0,5 мм [6]. При этом не ясно, из каких соображений выбрана именно такая величина. Также нет сведений о предельных значениях угловой подвижности компенсатора и, тем более, о совокупных подвижностях. Например, в имеющейся литературе нет ответа на вопрос, в каких случаях необходима угловая компенсация, радиально-угловая или только радиальная.

Отсутствие анализа и системного подхода к разработке компенсирующих механизмов ставит задачу установления методики и обоснования этапов проектирования вспомогательной оснастки.

Действительно, если учесть, что конечной целью работы компенсирующих механизмов является обеспечение точного углового положения инструмента или резьбообразующе-

го крепежа относительно привалочной плоскости детали или устранение изгибающих усилий при угловых смещениях осей шпинделя и отверстия, то можно выделить три основных случая появления компенсирующих смещений (рис. 2). Очевидно, что наиболее неблагоприятна третья схема. Однако если перейти от плоской модели к пространственной, то величина необходимой компенсации *a* будет еще больше.

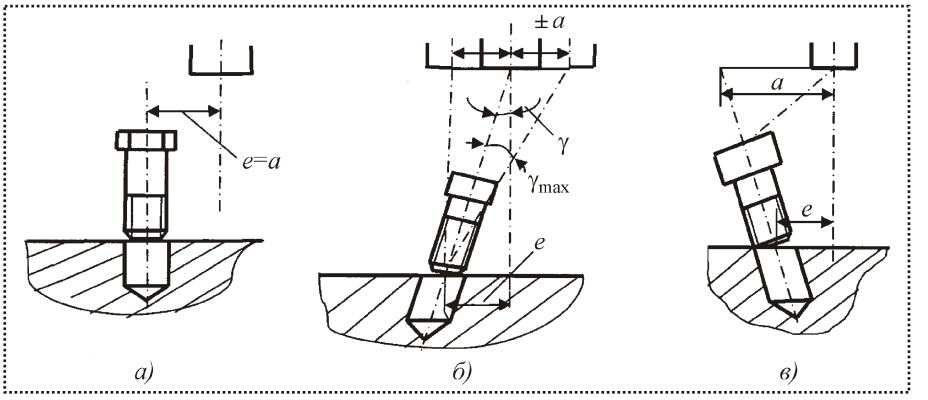


Рис. 2. Схема формирования величин компенсирующих смещений:
а – только в радиальном направлении;
б и *в* – радиальное и угловое соответственно к оси шпинделя и от оси шпинделя;
a – компенсирующее смещение;
e и – радиальная и угловая погрешности

Рассмотрим смещения в системе координат *XYZ*O (рис. 3), где *Z* – ось шпинделя.

Если радиальные смещения произошли только по осям *X* или *Y*, то наибольшие величины компенсации составят:

в точке А:

$$a_x \quad e_x \quad L\mathrm{tg}\ _y; \qquad a_y \quad L\mathrm{tg}\ _x, \tag{1}$$

в точке Б:

$$a_y \quad e_y \quad L\mathrm{tg}\ _x; \qquad a_x \quad L\mathrm{tg}\ _y, \tag{2}$$

где *L* – высота от точки компенсации до привалочной плоскости детали.

В наиболее вероятном случае при одновременном смещении по осям величина радиальной погрешности будет равна $e_{xy} \quad \sqrt{e_x^2 \quad e_y^2}$, а угол наклона ее вектора относительно оси O*X* найдем из выражения

$$tg \quad \frac{e_y}{e_x},$$

где – угловая координата точки смещения.

Тогда наибольшие величины необходимых компенсаций будут равны:

– только при угловой погрешности относительно оси O*Y*:

$$a_{xy}(\ _y) \quad e_{xy} \quad L\mathrm{tg}\ _y \cos \tag{3}$$

где $_x$, $_y$ – углы перекоса оси инструментодержателя относительно координатных осей,

– то же относительно O*X*:

$$a_{xy}(\ _x) \quad e_{xy} \quad L\mathrm{tg}\ _x \sin \tag{4}$$

– при одновременном наличии угловых погрешностей относительно осей O*X* и O*Y*:

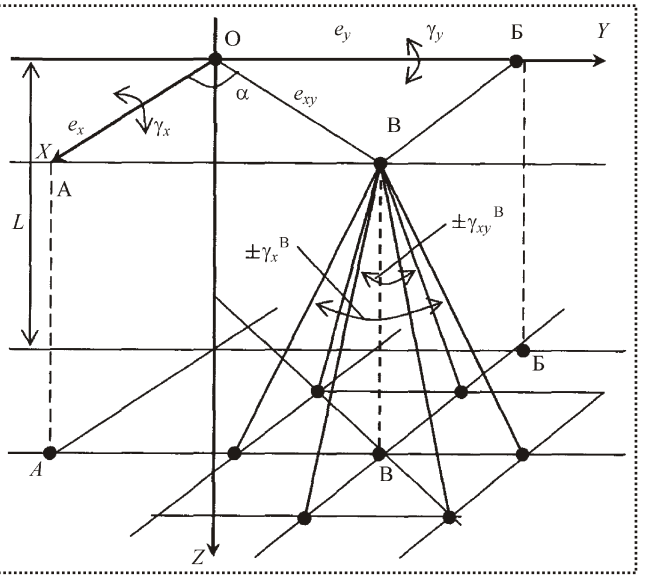
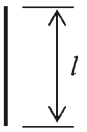
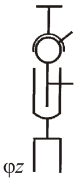
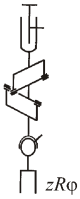
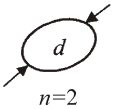
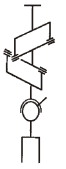
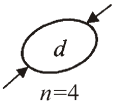
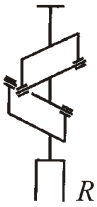
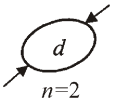


Рис. 3. Схема пространственных смещений

Таблица 1

Конструктивные особенности компенсирующих механизмов патронов

С одним механизмом		С группой механизмов			
Схема	Вид компенсирующего пространства	Схема	Вид компенсирующего пространства	Схема	Вид компенсирующего пространства
Вид 1		***Вид 1***		***Вид 4***	
z	 l, n=1	 φz	n=3	 zRφ	n=5
Вид 2		***Вид 2***		***Вид 5***	
φ	 d, n=2	 Rφ	 d, n=4	φzφ	n=5
Вид 3		***Вид 3***			
 R	 d, n=2	Rz	n=3	*Обозначения:* n – количество степеней подвижности; z, R, – смещения соответственно осевое, радиальное и угловое	

$$a_{xy}(\ _{xy})\ \ e_{xy}\ \ L\sqrt{\mathrm{tg}^2\ \ _y\cos^2\ \ \ \mathrm{tg}^2\ \ _x\sin^2\ \ \ }\ ; \quad (5)$$

– при $_x\ \ \ _y$:

$$a_{xy}(\ )\ \ e_{xy}\ \ L\mathrm{tg}\ . \quad (6)$$

Даже в том случае, если мы не будем учитывать погрешность от позиционного расположения отверстий во фланце детали по ГОСТ 14140–81, а учтем только погрешность позиционирования стола станка с ЧПУ в пределах (0,03...0,05) мм и угловые погрешности на уровне (20...30), то наибольшие компенсирующие смещения составят (0,82...1,26) мм при средней длине подвески патрона с инструментом 200 мм. Это достаточно высокие значения, которые в реальных условиях могут оказаться еще выше.

Вопрос о том, каким образом компенсировать возникающие погрешности в технологической системе завинчивающей машины, следует решать на основе подробного анализа структуры компенсирующих механизмов, придающих инструментодержателю необходимую подвижность. При этом механизмы могут располагаться в определенной последовательности, начиная от хвостовика патрона и заканчивая инструментодержателем. Порядок их последовательности и расположение влияют не только на величину, но и на форму компенсирующего простран-

ства. Рассмотрим особенности данного анализа.

Все известные механизмы компенсаторов в патронах можно разделить на три группы: свободные, упругие и комбинированные. Первые включают классические механизмы (муфты, шарниры, плоскостные и осевые пары и т.д.), вторые основаны на пружинах, сильфонах, гибких стержнях, мембранах.

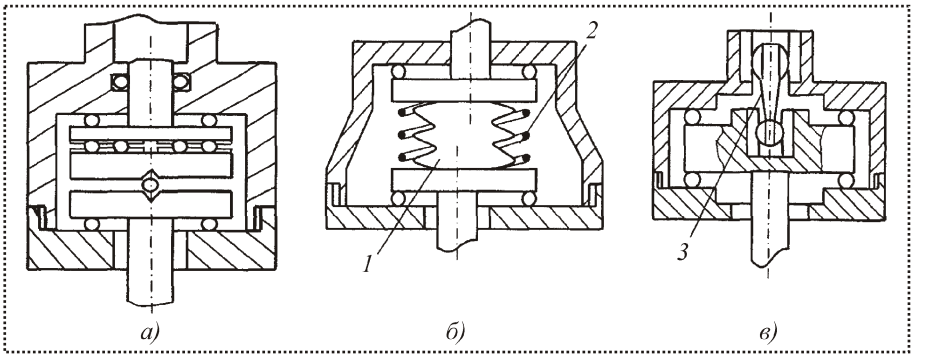


Рис. 4. Виды плоскостных пар:
а – муфтовая; *б* – упругая с сильфоном *1* и распорной пружиной *2*; *в* – шариковая с приводной качающейся крестовиной *3*

Выделим наиболее применяемые виды компенсирующих механизмов патронов (табл. 1). Плоскостная пара *R* представляет собой двухстепенный механизм линейных смещений по двум осям (рис. 4) при одновременной передаче крутящего момента или без его передачи.

Муфтовые плоскостные пары, передающие крутящий момент, широко распространены в шпилькозавертывающих патронах. В шариковых парах со свободным ходом выходного вала последний сам по себе не может передавать крутящий момент (рис. 4, *в*), поэтому для его передачи используется приводная крестовина *3*. Такие конструкции применены в плавающих патронах для метчиков и разверток по ГОСТ 28484–85. Сильфонные плавающие пары (рис. 4, *б*) встречаются в различных устройствах для ориентирования и совмещения осей собираемых деталей.

Двухстепенные пары для механизмов угловой компенсации представлены шарнирами различных конструкций. Они применяются в качающихся патронах для метчиков и разверток по ГОСТ 20505–75.

Осевая компенсация необходима чаще всего для устранения погрешностей осевого хода, когда подача резьбообразующего инструмента не совпадает с шагом резьбы. При этом рассматривается два случая: $S_0 > P$ и $S_0 < P$ (S_0 – подача на один оборот шпинделя). В этих случаях применяют две конструкции осевых компенсаторов, схемы которых показаны на рис. 5.

Осевые компенсаторы используют также в оснастке, работающей по принципу самозатягивания, т.е. со свободным ходом инструментодержателя. В этом случае инструменту или крепежной детали первоначально передается осевое усилие наживления, а затем они свободным ходом заворачиваются в деталь, вытягивая при этом подвеску из корпуса патрона.

Существуют конструкции универсальных осевых пар, выполняющих как функции компенсации разности ($S_0 - P$), так и передачи усилия наживления и самозатягивания (рис. 6).

Для увеличения компенсирующего пространства и расширения тем самым функциональных возможностей патронов применяют групповые компенсаторы, которые содержат несколько кинематических пар, связанных друг с другом последовательно (табл. 2). Выбор той или иной совокупности пар произво-

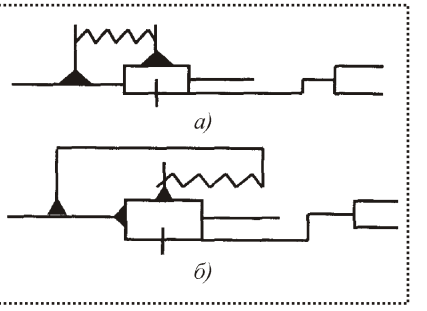


Рис. 5. Схемы осевых компенсаторов:
а – с превышением подачи ($S_0 > P$);
б – с преобладанием шага ($P > S_0$)

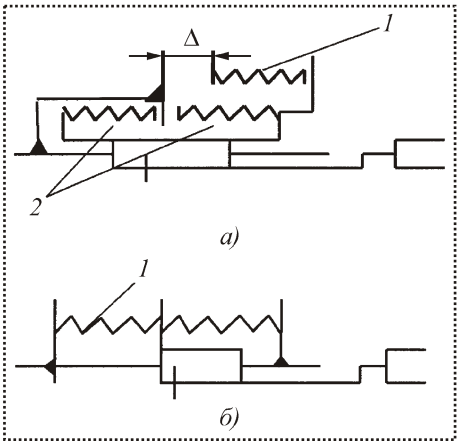


Рис. 6. Осевые пары:
а – универсального типа с пружинами наживления *1* и компенсирующими *2* (– величина хода для включения пружины наживления);
б – простая осевая пара с пружиной наживления *1*, одновременно выполняющей функцию компенсации

дят либо интуитивно, надеясь на хороший результат, либо на основе сравнительных испытаний ряда конструкций. В последнем случае выбирают тот механизм, который показал лучшие результаты. Какого-либо системного подхода в обосновании применения компенсирующих механизмов в настоящее время не разработано.

Для системного представления компенсирующих механизмов необходимо установить возможные комбинации расположения отдельных кинематических пар от хвостовика патрона к инструментодержателю. Рассмотрим конструкцию патрона (рис. 7) со структурной формулой компенсирующего механизма – R – z – – I, где – обозначение хвостовика; R, z, – плавающая, осевая и угловая кинематические пары соответственно; I – условное обозначение инструментодержателя. Эти же обозначения применены в табл. 2.

Сравнив рис. 7 и табл. 2, можно заметить, что патрон на рис. 7, *б*, *в* имеет тройную совокупность кинематических пар, а совокупность механизмов, представленных в табл. 2, неполная, так как описывает только двойные комбинации. Общее же число комбинаций можно установить на основе анализа числа сочетаний и перестановок, однако предварительно необходимо установить следующее:

- количество возможных и реализуемых путей соединения механизмами хвостовика и инструментодержателя;
- парное сочетание механизмов угловой подвижности образует сдвоенный шарнир 2 (+ > 2);
- сочетание механизма и 2 не меняет кинематической структуры, т.е. не добавляет подвижностей, а только увеличивает длину перемещений и, следовательно, компенсирующий объем:

$$2 \quad n^{*} \quad 4.$$

Таким образом, из табл. 2 можно без ущерба для анализа убрать столбец и строку с 2 . Это

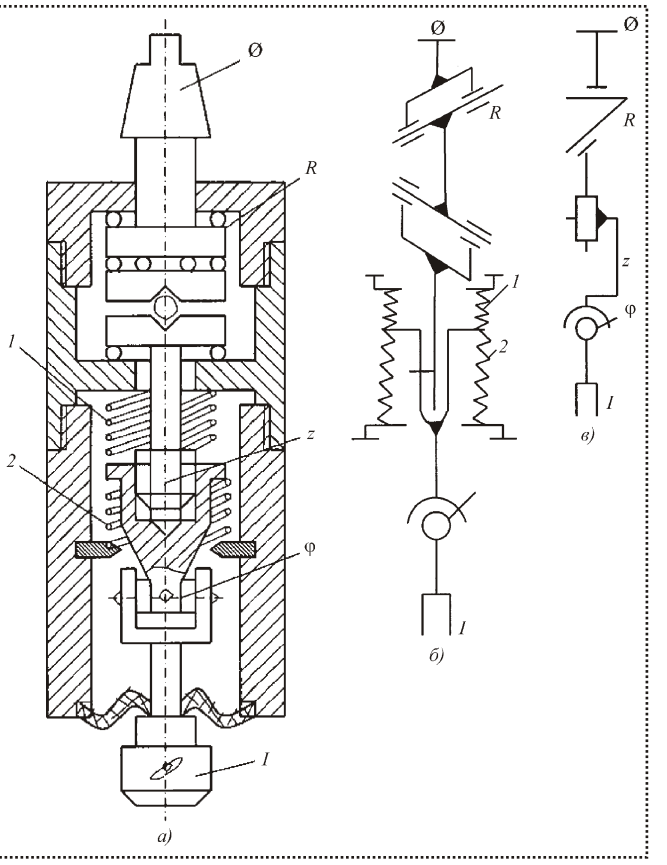
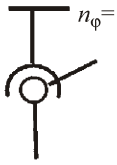
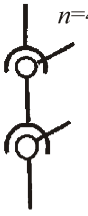
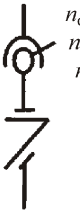
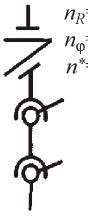


Рис. 7. Конструкция компенсирующего патрона:
а – общий вид;
б – точная кинематическая схема;
в – упрощенная схема; *1* – пружина наживления; *2* – пружина возврата инструментодержателя

Таблица 2

Парные сочетания механизмов

		z	*R*	2	*I*
	 $n_\varphi=1$	$n_z=1$	$n_R=2$	$n_\varphi=2+2$ $n=4$	$n=0$
	 $n=4$	$n_\varphi=2$ $n_z=1$ $n=3$	 $n_\varphi=2$ $n_z=2$ $n=4$	$n = 4$	$n_\varphi=2$
z	$n_z=1$ $n_\varphi=2$ $n=3$	$n_z=1$ $n^*=1$	$n_z=1$ $n_R=2$ $n=3$	$n_0=1$ $n_\varphi=2+2$ $n=5$	$n_z=1$
R	$n_R=2$ $n_\varphi=2$ $n=4$	$n_R=2$ $n_z=1$ $n=3$	$n^*=2$	 $n_R=2$ $n_\varphi=4$ $n^*=6$	$n_R=2$
2	$n^* = 4$	$n_\varphi=4$ $n_z=1$ $n=5$	$n_\varphi=4$ $n_R=2$ $n=6$	$n^* = 4$	$n_\varphi=4$

Обозначения: n_z, n , n_R – число осевых, угловых, радиальных подвижностей соответственно; n – общее число степеней подвижности; n^* – общее число лишних, дублирующих степеней подвижности.

легко увидеть, если представить табл. 2 в форме матрицы (табл. 3), где ясно видны структуры с дублирующими подвижностями.

Кроме того, в компенсирующей кинематике возможны тройные и четверные сочетания, как видно из рис. 7.

Таблица 3

Матрица компенсирующих подвижностей

	Инструментодержатель						
Хвостовик				*z*	*R*	2	*I*
		0	2	1	2	4	0
		–	4	3	4	4*	1
	z	–	3	1	3	5	1
	R	–	4	3	2*	4*	2
	2	–	4*	5	4*	4*	4
	I	–	–	–	–	–	0

Решить задачу нахождения общего числа возможных комбинаций механизмов можно на основе графа, устанавливающего связи между и *I* (рис. 8). Анализ графа показывает, что в структуре механизма за счет двунаправленных связей возможны нулевые (элемент рассматривается сам по себе), одинарные, двойные, тройные и четверные комбинации механизмов, например:

- или *I*. Рассматривается хвостовик или инструментодержатель;
- (– *I*). Структура превращается в жесткую оправку с хвостовиком и наконечником;
- (– – *I*) – качающийся патрон; (– *R* – *I*) – плавающий патрон;
- (– [*R* –] – *I*) – двойная комбинация механизмов компенсации в виде плавающе-качающегося патрона;
- (– [*R* – *z* –] – *I*) – тройная комбинация механизмов предыдущего типа с узлом осевой компенсации;
- (– [2 – *z* – *R*] – *I*) – четыре кинематических пары в узле компенсации.

За счет определяющего числа возможных перестановок количество указанных комбинаций значительно увеличивается.

Определим общее число возможных компоновок компенсирующих механизмов. Для этого в табл. 4 представим все сочетания (пути) согласно графу на рис. 8.

Нереализуемые варианты конструктивно основаны на том, что впереди плавающей пары *R*

Таблица 4

Пути, соединяющие хвостовик и инструментодержатель

Непосредственный		Одинарные связи		Двойные связи			
– *I*		, *R*, *z*				*R*	*z*
					1	(1)	1
				R	1	*	1
				z	1	1	*
Тройные связи							
		R	*z*	*R*	*Rz*	*z*	*zR*
	*	[1]	1	(1)	(1)	1	(1)
R	1		1			1	
z	(1)	1		1			
Четверные связи							
		R	*z*	*R*	*Rz*	*z*	*zR*
					1		1
R			(1)			(1)	
z		(1)		(1)			
R			1			1	
Rz	1						
z		1		(1)			
zR	1						

Обозначения:

1 – реализуемый вариант;

(1) – нереализуемый вариант;

[1] – структура с лишней, неработающей связью;

* – дублирующая (лишняя) степень подвижности.

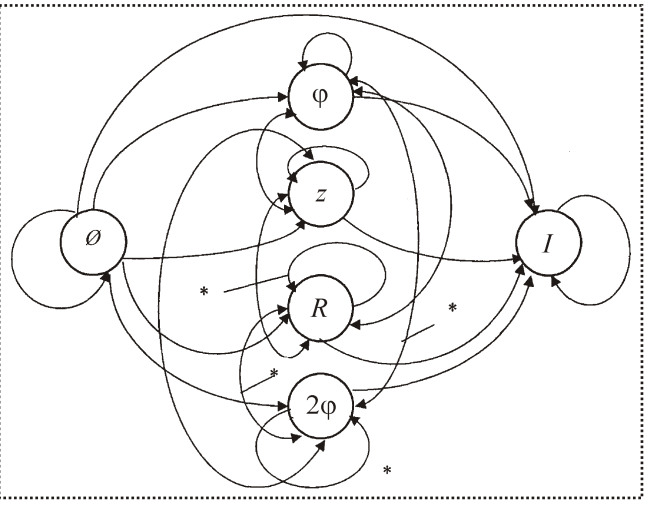


Рис. 8. Граф связей компенсирующего механизма патрона с хвостовиком и инструментодержателем

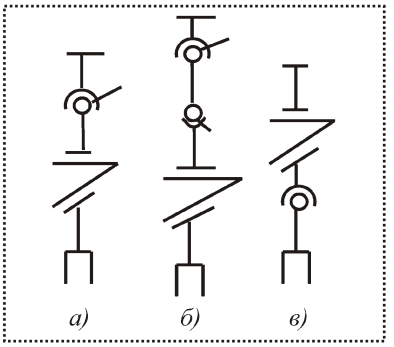


Рис. 9. Нереализуемый (*а*) и реализуемые (*б* и *в*) варианты

не может находиться шарнирный механизм с двумя угловыми подвижностями, так как при этом пара R будет качаться, а предназначена она строго для радиальных перемещений (рис. 9). Угловая пара может находиться после пары R, обеспечивая две радиальные $n_R = 2$ и две угловые подвижности $n = 2$ (рис. 9, *в*). Структура на рис. 9, *б* конструктивно реализуется, но сдвоенная пара 2 не отвечает своему назначению – обеспечивать повышенную угловую подвижность, а только расширяет компенсирующее пространство для пары R (см. последнее примечание табл. 3).

Общее количество компоновочных вариантов описывается формулой

$$N \quad 1 \quad N_4^1 \quad N_4^2 \quad N_4^3 \quad N_4^4 \quad 1 \quad 4 \quad \frac{n!}{2(n \quad k)!} \quad 1 \quad {}_4^2$$

$$2 \quad \frac{n!}{2(n \quad r)!} \quad {}_4^3 \quad |_4^4 \quad 5 \quad 7 \quad 2\ 12 \quad 1 \quad 37, \qquad (7)$$

где n – общее число компенсирующих пар , 2 , R, z, т.е. $n = 4$;

k – число совокупностей в комбинации (пары, тройки, четверки);

r – количество неповторяющихся пар, $r = 3$;

N_n^k – число сочетаний из n общих пар по k совокупностям.

С учетом нереализуемых и неблагоприятных вариантов, отмеченных в табл. 4, общее число реальных вариантов $N = 24$. Выбор оптимального варианта зависит от ряда положений, среди которых можно отметить следующие:

☐ конкретная совокупность компенсирующих подвижностей должна устанавливаться на основе анализа особенностей технологической операции, для которой проектируется патрон;

☐ каждая операция реализуется на протяжении ряда переходов, в которых компенсирующие механизмы могут принимать или не принимать участие. В обязательном порядке они работают на переходе сопряжения или резьбообработки;

☐ каждый из переходов требует только определенных подвижностей. Например, при ориентировании – угловая , на переходе наживления – радиальная R, а на переходе сопряжения – , R. Таким образом, в конструкции патрона должны быть предусмотрены переключающие механизмы, а структура его должна быть изменяемой;

☐ компенсирующие механизмы работают не только на основном переходе завинчивания крепежных деталей или обработки резьбы, но и принимают участие в переходе ориентирования, обеспечивая совпадение осей отверстия с крепежной деталью или метчиком, а также реализуют наживление при осевом усилии и параллельности осей.

Рекомендации о назначении конкретной структуры компенсирующих механизмов патронов должны формироваться на основе тщательной проработки процессов, происходящих на каждом из переходов сборки или резьбонарезания, с учетом анализа размерных связей и силовых схем реализации переходов. Если на всей последовательности операции возникают различные подходы к назначению компенсирующих механизмов для основных ее переходов, то появляется необходимость введения в конструкцию механизмов переключения компенсаторов. После этого разрабатывают подробную структурно-кинематическую, а затем конструктивную схемы патронов.

Библиографический список

1. **Березин С.Я., Курбатова Л.С.** Классификация резьбонарезных патронов по конструктивным и технологическим признакам // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2005. № 10. С. 16–19.

2. **Березин С.Я.** Современные инструментальные системы для резьбосборочных и нарезных операций // Материалы научно-практической конференции "Технические науки, технологии и экономика". Ч. I. – Чита: ЧитГТУ, 2002. С. 14–21.

3. **Касьянов О.Н., Никулин И.К., Страшко Ю.Г.** Патрон для нарезания точных резьб // Станки и инструменты. – 1977. № 4.

4. **Якухин В.Г., Ставров В.А.** Изготовление резьбы: Справочник – М.: Машиностроение, 1989. 192 с.

5. **Moore D.** Driving the tap. // Cutting Tool Engineering. – 1995. 47. № 5. P. 52–60.

6. **Tapping** attachment // Tooling and Production. – 2002. 68. № 1. P. 12.

УДК 621.757

Н.С. Давыдова, Д.А. Коновалов, А.Л. Симаков, *д-р техн. наук (Ковровская государственная технологическая академия)*
Тел. (49232) 3-20-99

Анализ законов изменения углов отклонения входных звеньев дельта-робота при поисковом совмещении соединяемых деталей по спирали Архимеда

Определены зависимости, описывающие изменение во времени углов отклонения входных звеньев дельта-робота при перемещении центра его исполнительного органа по спирали Архимеда. Исследовано влияние изменения размеров звеньев устройства на законы движения входных звеньев. Сформулированы ограничения на геометрические параметры дельта-робота при проектировании автоматизированного сборочного устройства.

Laws, describing variation of angles swerving delta-robot's control arms in moving of center its movable element on Archimedean spiral in the time, are formulated. Influence of variation device's dimension arms on laws' moving control arms is investigated. Boundary conditions delta-robot's geometrical parameters at design engineering automated assembly device are formulated.

Ключевые слова: дельта-робот, законы изменения углов отклонения управляющих звеньев, размер звеньев, условия ограничения длин звеньев.

Key words: delta-robot, laws variation control arms' angles swerving, dimensions of arms, conditions of boundary conditions arms' length.

При автоматизированной сборке для ориентации деталей путем ненаправленного поиска большое значение имеет выбор формы поисковой траектории. Он влияет на производительность устройства ориентации, вероятность совмещения сопрягаемых поверхностей в зависимости от их начального относительного расположения, значение механических нагрузок, действующих на детали, и сложность конструкции устройства ориентации. Оптимальной поисковой траекторией является спираль Архимеда [1].

Исполнительный орган устройства с параллельными кинематическими цепями (дельта-робота) при перемещении продукции на конвейерных линиях упаковки совершает простые линейные возвратно-поступательные перемещения в пространстве [2]. При применении такого устройства в качестве манипулятора средства предварительной ориентации, перемещающего присоединяемую деталь [3] по поисковой траектории в форме спирали Архимеда, одной из первостепенных задач является выяснение законов перемещения его входных звеньев для получения требуемого перемещения исполнительного органа манипулятора.

В статье выведены зависимости, описывающие изменение углов отклонения входных звеньев дельта-робота при перемещении центра его исполнительного органа по спирали Архимеда, и проведен анализ влияния размеров звеньев устройства на характер законов их изменения.

Кинематический анализ устройства показал, что манипулятор с тремя кинематическими цепями обладает тремя степенями подвижности, т.е. все три входных звена дельта-робота являются ведущими и для перемещения его исполнительного органа по поисковой траектории необходимо одновременное управление ими.

Для вывода уравнений, описывающих изменение углов отклонения входных звеньев дельта-робота при перемещении центра его исполнительного органа по поисковой траектории, рассмотрим обратную геометрическую

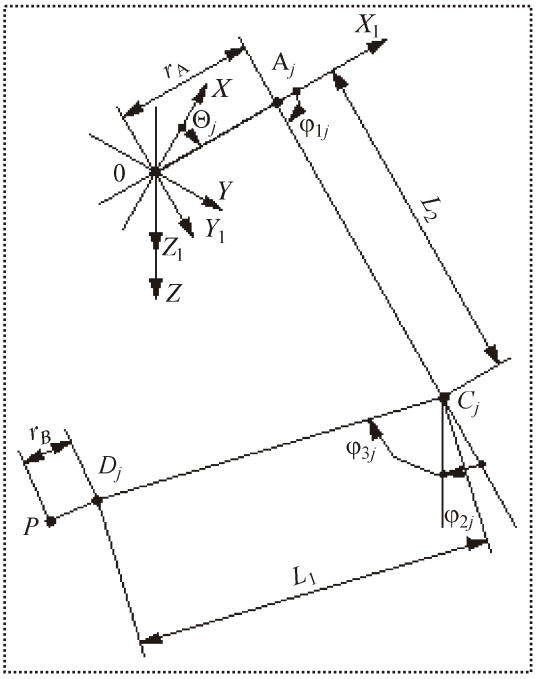


Рис. 1. Схема расчета одной кинематической цепи устройства с параллельной кинематикой:
$0X_1Y_1Z_1$ – неподвижная система координат, связанная с звеном $0A_j$;
$_j$ – угол, определяющий положение звена $0A_j$ (j = 1, 2, 3) в системе координат $0XYZ$;
r_A – длина звена $0A_j$;
$_{1j}$ – угол, определяющий положение звена A_jC_j в системе координат $0X_1Y_1Z_1$;
L_2 – длина звена A_jC_j;
$_{2j}$ – угол, определяющий поворот звена C_jD_j относительно звена A_jC_j в плоскости $0X_1Z_1$;
$_{3j}$ – угол, определяющий поворот звена C_jD_j относительно звена A_jC_j в плоскости $0Y_1Z_1$;
L_1 – длина звена C_jD_j;
r_B – длина звена PD_j

модель устройства. Кинематическая схема одной цепи представлена на рис. 1. В соответствии с [4] при заданных параметрах L_1, L_2, r_A, r_B, $_1 = 0$, $_2 = 120$, $_3 = 240$ координаты точки P, соответствующие центру рабочего органа в системе координат $0XYZ$, могут быть найдены из уравнений:

$$X_P \quad X_A \quad \cos \quad _j[L_2 \cos \quad _{1j} \quad L_1 \cos \quad _{3j} \cos(\quad _{1j} \quad _{2j}) \quad r_A] \quad L_1 \sin \quad _j \sin \quad _{3j};$$
$$Y_P \quad Y_A \quad \sin \quad _j \quad [L_2 \cos \quad _{1j} \quad L_1 \cos \quad _{3j} \cos(\quad _{1j} \quad _{2j}) \quad r_A] \quad L_1 \cos \quad _j \sin \quad _{3j};$$
$$Z_P \quad L_2 \sin \quad _{1j} \quad L_1 \cos \quad _{3j} \sin(\quad _{1j} \quad _{2j}). \qquad (1)$$

Исключив переменные, описывающие промежуточные узлы, возведя получившиеся выражения в квадрат и сложив их, получим [4]

$$[(r \quad L_2 \cos \quad _{1j})\cos \quad _j \quad X_P]^2 \quad [(r \quad L_2 \cos \quad _{1j})\sin \quad _j \quad Y_P]^2 \quad [\quad L_2 \cos \quad _j \quad Z_P]^2 \quad L_1^2 \quad 0, \qquad (2)$$

где $r = r_A - r_B$; j = 1, 2, 3.

Тогда задача определения неизвестных углов отклонения входных звеньев устройства с тремя параллельными кинематическими цепями $_{1j}$, $_{2j}$, $_{3j}$ для заданных координат точки центра исполнительного органа P (X_P, Y_P, Z_P) описывается системой уравнений

$$[(r \quad L_2 \cos \quad _{11}) \quad X_P]^2 \quad Y_p^2 \quad (L_2 \quad Z_P)^2 \quad L_1^2 \quad 0;$$
$$\frac{1}{2}(r \quad L_2 \cos \quad _{12}) \quad X_P \quad ^2 \quad \frac{\sqrt{3}}{2}(r \quad L_2 \cos \quad _{12}) \quad Y_P \quad ^2 \quad \frac{1}{2}L_2 \quad Z_P \quad ^2 \quad L_1^2 \quad 0;$$
$$\frac{1}{2}(r \quad L_2 \cos \quad _{13}) \quad X_P \quad ^2 \quad \frac{\sqrt{3}}{2}(r \quad L_2 \cos \quad _{13}) \quad Y_P \quad ^2 \quad \frac{1}{2}L_2 \quad Z_P \quad ^2 \quad L_1^2 \quad 0, \qquad (3)$$

где $_{11}$ – угол, определяющий положение входного звена первой кинематической цепи относительно базового основания в системе координат $0X_1Y_1Z_1$;

X_P – абсцисса точки центра исполнительного органа (точки P) в системе координат $0XYZ$;

Y_P – ордината точки центра исполнительного органа (точки P) в системе координат $0XYZ$;

Z_P – аппликата точки центра исполнительного органа (точки P) в системе координат $0XYZ$;

$_{12}$ – угол, определяющий положение входного звена второй кинематической цепи относительно базового основания в системе координат $0X_1Y_1Z_1$;

$_{13}$ – угол, определяющий положение входного звена третьей кинематической цепи относительно базового основания в системе координат $0X_1Y_1Z_1$.

Считая значения L_1, L_2, r_A, r_B известными, запишем систему (3) в виде

$$
\begin{aligned}
&L_2^2\cos^2{}_{11} \quad 2L_2(r \quad X_P)\cos{}_{11} \\
&[r \quad X_P)^2 \quad Y_P^2 \quad (L_2 \quad Z_P)^2 \quad L_1^2] \quad 0; \\
&L_2^2\cos^2{}_{12} \quad L_2(2r \quad X_P \quad \sqrt{3}Y_P)\cos{}_{12} \quad [X_P(r \quad X_P) \\
&Y_P(Y_P \quad \sqrt{3}r) \quad \frac{1}{2}(L_2 \quad 2Z_P)^2 \quad r^2 \quad L_1^2 \quad 0; \\
&L_2^2\cos^2{}_{13} \quad L_2(2r \quad X_P \quad \sqrt{3}Y_P)\cos{}_{13} \quad [X_P^2 \quad Y_P^2 \\
&r(X_P \quad \sqrt{3}Y_P \quad r) \quad \frac{1}{2}(L_2 \quad 2Z_P)^2 \quad L_1^2 \quad 0.
\end{aligned}
\tag{4}
$$

Система уравнений (4) представляет собой систему трех квадратных уравнений, при решении которых относительно cos , cos $_{12}$, cos $_{13}$ получили по два решения для каждого из них – одно положительное, другое отрицательное. При выводе законов изменения углов отклонения входных звеньев дельта-робота при поисковом совмещении соединяемых деталей использовать отрицательные решения нецелесообразно, так как отрицательное значение косинуса соответствует углу более 90 , а устройствам с параллельной кинематикой при реализации поисковой траектории необходимо обеспечить перемещение на малые углы.

Тогда законы изменения углов отклонения входных звеньев дельта-робота будут иметь вид:

$$
{}_{11} \quad \arccos \frac{\sqrt{L_1^2 \quad Y_P^2 \quad (L_2 \quad Z_P)^2} \quad r \quad X_P}{L_2};
$$

$$
{}_{12} \quad \arccos \frac{\sqrt{4L_1^2 \quad \frac{1}{2}(L_2 \quad 2Z_P)^2 \quad [\sqrt{3}X_P \quad Y_P]^2} \quad 2r \quad X_P \quad \sqrt{3}Y_P}{2L_2};
$$

$$
{}_{13} \quad \arccos \frac{\sqrt{4L_1^2 \quad \frac{1}{2}(L_2 \quad 2Z_P)^2 \quad [\sqrt{3}X_P \quad Y_P]^2} \quad 2r \quad X_P \quad \sqrt{3}Y_P}{2L_2}.
\tag{5}
$$

В соответствии с рис. 2,*а* для поисковой траектории в форме спирали Архимеда абсциссу X_P и ординату Y_P точки центра исполнительного органа в системе координат $0XYZ$ находим по формулам

$$X_P \quad \cos \quad ; \tag{6}$$

$$Y_P \quad \sin \quad . \tag{7}$$

Центр исполнительного органа дельта-робота перемещается по поверхности сферы радиусом L_1 [4]. Тогда согласно рис. 2, *б* аппликата Z_P точки центра исполнительного органа

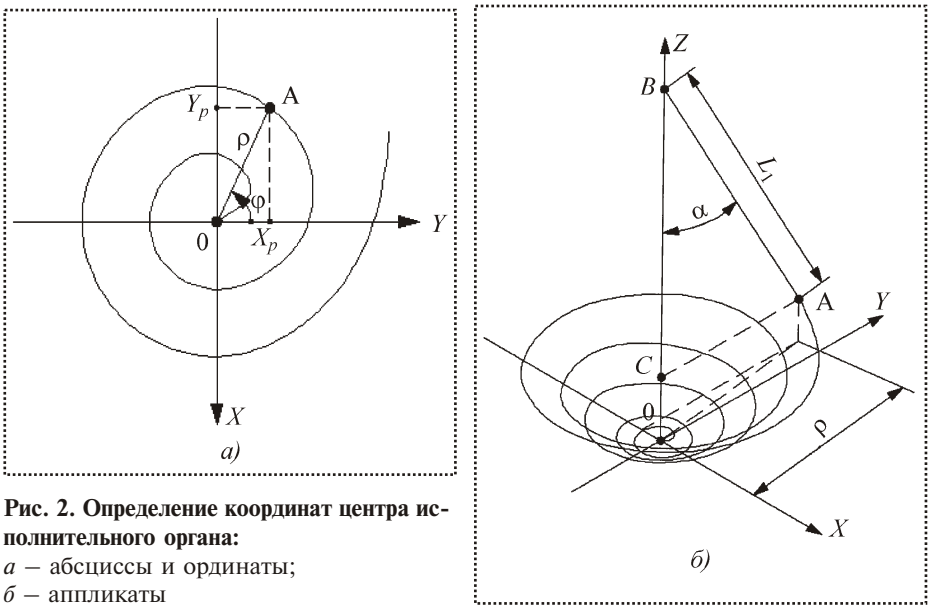


Рис. 2. Определение координат центра исполнительного органа:
а – абсциссы и ординаты;
б – аппликаты

в системе координат $0XYZ$

$$Z_P \quad 0C \quad 0B \quad CB;$$

$$0B \quad L_1;$$

$$CB \quad L_1 \cos \quad ,$$

где – угол между вертикальной осью симметрии сегмента сферы, по которой перемещается центр исполнительного органа дельта-робота, и его текущим положением на ее поверхности в данной точке траектории автопоиска;

$$\sin \quad \frac{}{L_1},$$

где – значение радиуса траектории автопоиска в текущей точке;

$$\arcsin \frac{}{L_1} \ ;$$

$$Z_P \quad L_1 \ 1 \ \cos \arcsin \frac{}{L_1} \quad . \qquad (8)$$

При помощи системы компьютерной математики MathCAD на основании формул (5)–(8) построены графики (рис. 3) $_{11}(t)$, $_{12}(t)$, $_{13}(t)$ изменения во времени углов отклонения входных звеньев устройства с тремя параллельными кинематическими цепями при перемещении центра исполнительного органа P (X_P, Y_P, Z_P) по поисковой траектории в форме спирали Архимеда. Геометрические параметры L_1, L_2, r_A, r_B заданы. Сканирование выполняется от полюса кривой к периферии.

Выполнен анализ влияния изменения размеров звеньев устройства на характер законов изменения углов отклонения управляющих звеньев, из которого можно сделать **выводы**:

◆ для различных комбинаций параметров устройства с тремя параллельными кинематическими цепями зависимости $_{11}(t)$, $_{12}(t)$, $_{13}(t)$ имеют характер синусоидальной функции с постоянной частотой и амплитудой, увеличивающейся по мере удаления присоединяемой детали от полюса спирали Архимеда;

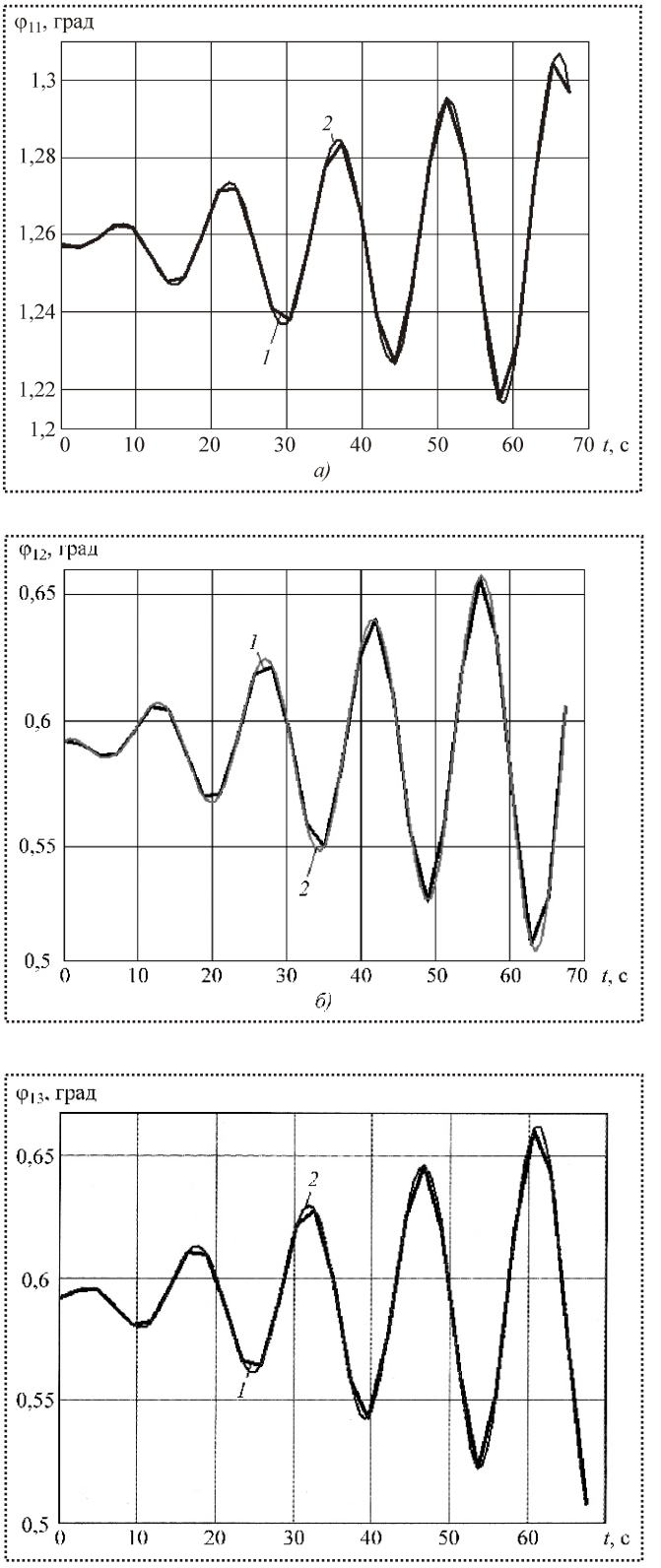


Рис. 3. Графики изменения углов $_{11}$ (*а*), $_{12}$ (*б*), $_{13}$ (*в*) отклонения управляющих рычагов дельта-робота с течением времени:

1 – построенный по уравнению системы (5); *2* – график *1*, аппроксимированный методом Ньютона

Таблица 1

Волна амплитуды, считая от начала координат (рис. 3)	Отношение средней амплитуды последующей волны к предыдущей, %		
	$_{11}(t)$	$_{12}(t)$	$_{13}(t)$
1–2	131,4	94,5	220,3
2–3	56,5	50,6	73,1
3–4	37,1	37,5	45,4

◆ частота изменения углов отклонения входных звеньев устройства с тремя кинематическими цепями при перемещении центра исполнительного органа по поисковой траектории в форме спирали Архимеда зависит от скорости перемещения присоединяемой детали – увеличению в 3 раза скорости движения присоединяемой детали соответствует увеличение в 2,8 раза частоты;

◆ амплитуда изменения углов зависит от соотношения конструктивных параметров звеньев манипулятора и не зависит от скорости движения присоединяемой детали;

◆ каждой из зависимостей $_{11}(t)$, $_{12}(t)$, $_{13}(t)$ соответствует свой, не зависящий от варьирования параметров устройства с параллельными кинематическими цепями, характер роста амплитуды от предыдущей волны к последующей, величина которого убывает по мере удаления присоединяемой детали от полюса спирали Архимеда (табл. 1);

◆ смещение графиков $_{12}(t)$, $_{13}(t)$ относительно $_{11}(t)$ по оси абсцисс не зависит от комбинации геометрических параметров манипулятора и составляет:

– для $_{12}(t)$ 33,2 % периода графика;

– для $_{13}(t)$ 65,4 % периода графика;

◆ для графиков $_{11}(t)$, $_{12}(t)$, $_{13}(t)$ характерен перекос относительно линии симметрии, проходящей через точку начала графиков – нижняя полуволна длиннее верхней, однако по мере удаления от полюса спирали Архимеда перекос уменьшается;

◆ справедливо учитывать при выведении зависимостей $_{11}(t)$, $_{12}(t)$, $_{13}(t)$ только положительные решения квадратных уравнений, так как при варьировании геометрических параметров устройства достигается максимальный угол отклонения входного звена, равный 1,35 рад, что в 66,6 раза меньше 90 ;

Таблица 2

Параметр	Изменение начального смещения по оси ординат					
	$_{11}(t)$ (рис. 3, *а*)		$_{12}(t)$ (рис. 3, *б*)		$_{13}(t)$ (рис. 3, *в*)	
	увеличение	уменьшение	увеличение	уменьшение	увеличение	уменьшение
L_1	–	+	–	+	–	+
r_B	–	+	–	+	–	+
r_A	+	–	+	–	+	–

Примечание: "+" соответствует увеличению геометрического параметра устройства с тремя параллельными кинематическими цепями, "–" – его уменьшению.

◆ для законов изменения углов отклонения входных звеньев устройства с тремя кинематическими цепями свойственно смещение точки начала графика по оси ординат относительно нуля, величина которого зависит от геометрических параметров устройства (табл. 2). Смещения $_{12}(t)$, $_{13}(t)$ равны и всегда меньше, чем для $_{11}(t)$;

◆ при выборе параметров устройства с тремя параллельными кинематическими цепями необходимо учитывать ограничения геометрических параметров:

$$1{,}1L_2 \quad L_1 \quad 1{,}2L_2, \tag{9}$$

$$1{,}46r_B \quad r_A. \tag{10}$$

Библиографический список

1. **Давыдова Н.С., Симаков А.Л.** Анализ поисковых траекторий перемещения в средствах адаптации деталей для автоматизированной сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2008. № 12. С. 9–13.

2. **Роботы-**упаковщики для щадящей работы с продуктом. – http://www.bosch.by, 2008.

3. **Давыдова Н.С.** Применение дельта-робота для относительной поисковой ориентации деталей при автоматизированной сборке // Современные технологии в машиностроении: сборник статей XII Международной научно-практической конференции. Пенза: Приволжский дом знаний, 2008. С. 168–171.

3. **Parallel** Manipulators. Towards New Applications. M.A. Laribi, L. Romdhane, S. Zeghloul. Advanced Synthesis of the DELTA Parallel Robot for a Specified Workspace. – Viena: Tech Education and Publishing – http://www.intehweb.com., 2008. P. 224.

УДК 621.791.754'293:669.14:669.71

А.И. Ковтунов, Д.А. Семистенов, *канд-ты техн. наук, доценты,* **А.М. Филатов,** *ведущий инженер,* **Т.В. Чермашенцева,** *ассистент (кафедра "Оборудование и технология сварочного производства и пайки" Тольяттинского государственного университета, ОАО "АВТОВАЗ")*
E-mail: tatyana717@mail.ru

Особенности формирования зоны термического влияния при аргонодуговой сварке тонколистовой стали, покрытой алюминием

При аргонодуговой сварке неплавящимся электродом тонколистовой стали, покрытой алюминием, реальное содержание алюминия в металле шва превышает расчетное на 2–3 %. Это связано с особенностями формирования зоны термического влияния сварного соединения при сварке таких сталей, которые заключаются в коагуляции алюминия в высокотемпературной области, прилегающей к сварочной ванне, и к его стеканию в ванну.

At argon-arc welding light-gage steel covered by aluminium the real maintenance of aluminium in metal of a seam exceeds its settlement maintenance on 2–3 %. It is connected with features of formation of heat-affected area influence of welded connection at welding such steel which consist in coagulation of aluminium in the high-temperature area adjoining to molten metal, and to its running off in molten metal.

Ключевые слова: сталь с алюминиевым покрытием, аргонодуговая сварка, коагуляция, зона термического влияния, интерметаллиды железо-алюминий.

Key words: steel covered by aluminium, argon-arc welding, coagulation, heat-affected area, intermetallic phases Fe–Al.

Аргонодуговая сварка широко применяется для тонколистовых материалов. При аргонодуговой сварке тонколистовых сталей, покрытых с двух сторон алюминием, он в значительном количестве замешивается в металл сварочной ванны, что препятствует формированию равнопрочного сварного соединения и повышает склонность металла шва к образованию трещин. Алюминий, растворяясь в феррите до 7 % (по массе) [1], искажает его кристаллическую решетку и заметно снижает прочностные и пластические свойства металла шва.

Как показали расчеты, среднее содержание алюминия в металле шва после сварки может составлять от 1,5 до 12 % в зависимости от соотношения толщины стального листа (0,5–4 мм [2]) и покрытия (10–100 мкм). Однако по экспериментальным данным содержание алюминия в шве при аргонодуговой сварке обычно на 2–3 % выше. Это объясняется особенностями формирования зоны термического влияния при аргонодуговой сварке сталей, покрытых алюминием.

Для исследования особенностей формирования зоны термического влияния использовали пластины из стали марки 08кп без покрытия (ГОСТ 1050–74) и покрытой с двух сторон слоем алюминия по ТУ 1881-033-07528141–2002 (изготовитель ОАО "Нытва"). Размеры пластин 350 150 1,5 мм, толщина покрытия 40 мкм. Сварку вели на постоянном токе прямой полярности вольфрамовым электродом диаметром 3 мм на режимах: сила тока I = = 50...90 А; скорость сварки $v_{св}$ = 0,2...0,3 см/с, расход газа $Q_г$ = 14...15 л/мин. В качестве защитного газа применяли аргон высшего сорта по ГОСТ 10157–75.

Для исследования процессов, происходящих в покрытиях при нагреве от сварочной дуги, моделировали процессы нагрева в муфельной печи сопротивления ТК-27.1250.Н.1Ф с программным регулятором температуры "Термолюкс-50" в интервале температур 400...1000 С и сопоставляли внешний вид образцов-свиде-

телей и образцов сварных соединений из стали, покрытой алюминием.

Состав и структуру покрытия в зоне термического влияния исследовали при помощи микрорентгеноспектрального и металлографического анализа. Микрорентгеноспектральный анализ проводили на комплексе сканирующего электронного микроскопа LEO 1455 VP (ZEISS, Германия) с блоками рентгеновского энергетического спектрометра INCA Energy-300 и рентгеновского волнового спектрометра INCA Wave-500. Образцы для анализа протравливали на алюминий реактивом Келлера (2,5 % HNO_3, 1,5 % HCl, 1 % HF, остальное – вода), на железо – в 4 %-ном спиртовом растворе азотной кислоты.

Расчеты ширины областей зон термического влияния для процесса аргонодуговой сварки тонколистового металла неплавящимся электродом проводили по модели действия нормально-кругового источника тепла на поверхность плоского слоя, испытывающего ограничивающее влияние нижней плоскости листа.

Температуру в бесконечном плоском слое от движущегося нормально-кругового источника описывают выражением [3]:

$$T \quad \frac{2q}{c\ (4\ a)^{1,5}} \quad \sum_{n\ \ N\ 0}^{N\ \ t} \frac{1}{\sqrt{t}(t_0\ \ t)} e^{-\frac{(z\ \ 2n\ )^2}{4at}\ -\ \frac{[x\ \ v(t_0\ \ t)^4\ \ y^2]}{4a(t_0\ \ t)}} dt, \qquad (1)$$

где x, y, z – координаты точки относительно подвижной системы координат источника теплоты, см;

t – время процесса сварки, с;

c – объемная теплоемкость, Дж/град см^3;

q – эффективная мощность дуги, Вт;

– толщина металла, см;

a – температуропроводность, см^2/с;

t_0 – постоянная времени, характеризующая сосредоточенность теплового потока от дуги к изделию, с;

v – скорость движения источника тепла, см/с;

N – количество фиктивных теплоисточников;

n – номер фиктивного теплоисточника.

К недостаткам расчетной схемы следует отнести отсутствие учета выделения скрытой теплоты плавления и кристаллизации, гидродинамических процессов в сварочной ванне, линейность постановки задачи в отношении теплофизических коэффициентов.

Для устранения влияния данных недостатков на расчетную модель эффективную мощность и сосредоточенность теплоисточника определяли по методике приведения [3].

В связи с высокой сложностью и трудоемкостью расчетов их выполняли путем программирования в математическом программном обеспечении с применением программного комплекса расчета тепловых полей " -АСП" [3].

Как показали исследования, в зоне термического влияния визуально можно выделить четыре области. Изменение цвета и появление ярко выраженных областей в покрытии связано с рядом физико-химических процессов, протекающих в покрытии при нагреве, и с процессами взаимодействия алюминиевого покрытия со сталью. При нагреве стали с покрытием на его поверхности наблюдается протекание как минимум двух процессов: из-за повышения температуры интенсифицируется окисление алюминия, а на границе взаимодействия алюминия и железа протекают реакции образования промежуточных фаз.

Проведенные исследования наплавленных образцов из стали, покрытой алюминием, и сопоставление областей зоны термического влияния с образцами-свидетелями, нагреваемыми в пространстве муфельной печи, позволили выделить следующие области (рис. 1): первая – область стекания алюминия; вторая – интерметаллидная, третья – область переплава, четвертая – окисленная.

В первой области покрытие отсутствует, так как алюминий с покрытия стекает в зону мак-

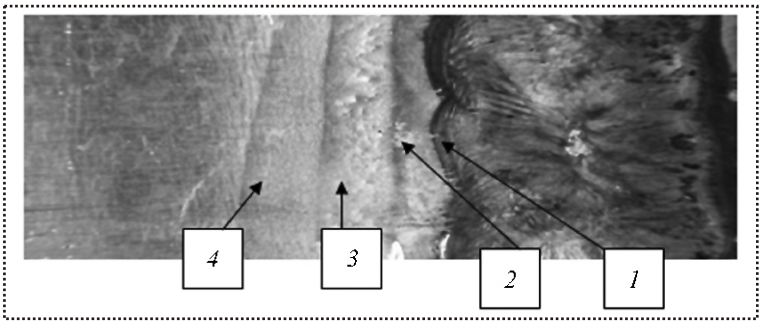


Рис. 1. Строение зоны термического влияния сварного соединения из стали, покрытой алюминием:
1 – область стекания;
2 – интерметаллидная;
3 – область переплава;
4 – окисленная.
Режим сварки: I = 90 А; $v_{св}$ = 0,2 см/с

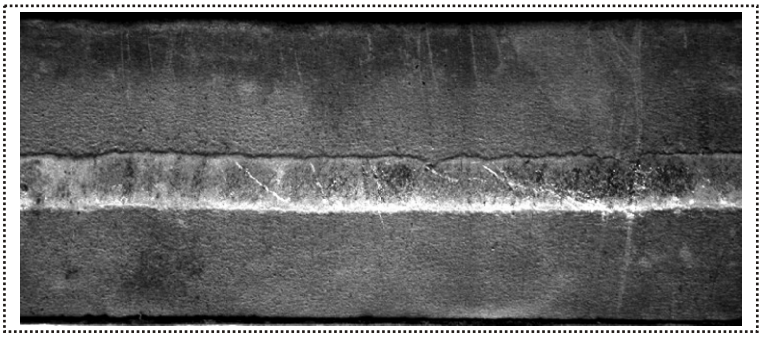


Рис. 2. Внешний вид пластины после нагрева до 700 С

симально высоких температур, т.е. в сварочную ванну (рис. 1). Это подтверждается тем, что при нагреве до 700 С стальных пластин с покрытием со скоростью свыше 30 С/с наблюдается подобный механизм стекания (рис. 2).

Проведенные исследования позволили сделать вывод, что коагуляция алюминия происходит в высокотемпературной области из-за превышения работы когезии расплавленного алюминия над работой адгезии к поверхности стали. Это приводит к стеканию с лицевой стороны шва перегретого алюминия в сварочную ванну, а с обратной стороны шва – к образованию жидкой алюминиевой ванны, которая в процессе перегрева растворяет сталь и объединяется со сварочной ванной (рис. 3). Явления коагуляции алюминия приводят к его повышенному содержанию в металле шва, что обуславливает снижение прочностных и пластических свойств.

По проведенным экспериментальным и расчетным исследованиям первая область ограничивается изотермами 1530...1150 С. Ширина этой области в зависимости от погонной энергии сварки и толщины пластины находится в пределах 1...3,5 мм (рис. 4). Увеличение толщины стали приводит к уменьшению ширины этой зоны.

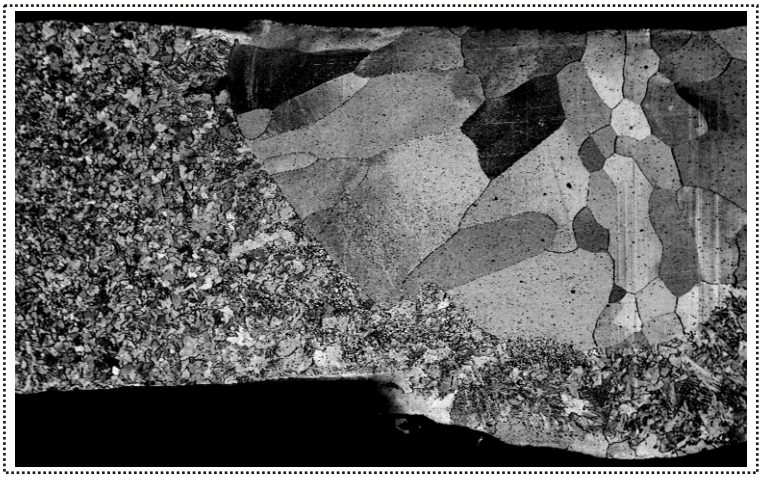


Рис. 3. Микроструктура (100) металла сварного шва, полученного аргонодуговой сваркой (I = 90 А; $v_{св}$ = 0,2 см/с)

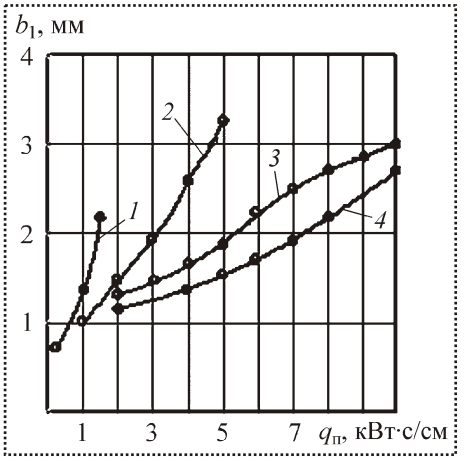


Рис. 4. Зависимость ширины b_1 зоны стекания от погонной энергии $q_п$ сварки для пластины толщиной:
1 – 0,5 мм; *2* – 1,5 мм; *3* – 2,5 мм; *4* – 3,5 мм

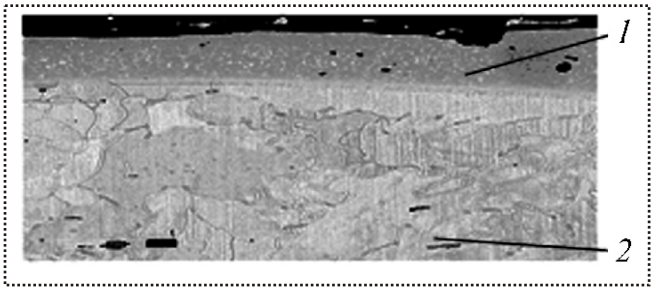


Рис. 5. Микроструктура (100) интерметаллидной области зоны термического влияния сварного соединения из стали *2* с алюминиевым покрытием *1* (*I* = 90 А; $v_{св}$ = 0,2 см/с)

Вторая область – интерметаллидная – характеризуется более низкими температурами перегрева над линией ликвидус и более высокой вязкостью жидкой фазы по сравнению с первой областью. Расплав из этой области не вытекает в сварочную ванну. Жидкий алюминий, имея высокую температуру перегрева, интенсивно взаимодействует со сталью. Продуктом их взаимодействия является интерметаллидный слой.

Металлографический анализ показал, что этот слой – однофазный (рис. 5), а химический анализ – что содержание алюминия в этом слое порядка 18...25 %. То есть согласно

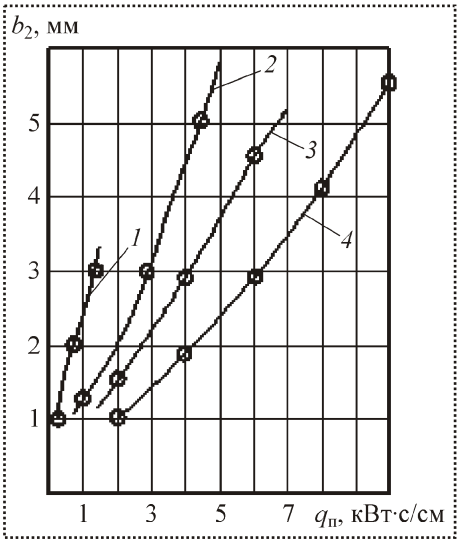


Рис. 6. Зависимость ширины b_2 интерметаллидной области от погонной энергии $q_п$ сварки для алюминированной пластины толщиной:
1 – 0,5 мм; *2* – 1,5 мм; *3* – 2,5 мм; *4* – 3,5 мм

диаграмме состояния эта область фазы Fe_3Al. Микротвердость этого покрытия (порядка 400 HV) подтверждает характер данной фазы [4]. Изменение цвета поверхности покрытия связано с протеканием реакций в оксидном слое, приводящих к образованию -Al_2O_3 -Al_2O_3 [5].

Исследования показали, что данная область ограничена температурой 800...1150 С. Расчетные данные подтвердили температурный интервал существования интерметаллидной зоны. Ширина этой зоны в зависимости от погонной энергии сварки и толщины листа составляет 1...6 мм (рис. 6).

Третья область – зона переплава – характеризуется повышенной шероховатостью поверхности. Исследования образцов-свидетелей, нагретых при температуре 660...800 С, позволили понять причины образования шероховатости. При нагревании происходит плавление алюминиевого покрытия и интенсивное образование слоя интерметаллидов на границе со сталью. После прекращения действия источника тепла алюминий кристаллизуется. Процесс кристаллизации из-за значительных различий в коэффициентах термического расширения алюминия, алюминидов железа и стали сопровождается короблением алюминия и оксида алюминия на поверхности. Кроме того, на поверхности покрытия видны следы иглообразных включений интерметаллидов.

Анализ химического состава показал, что на границе железа и алюминия образуется фаза, содержащая 56...57 % алюминия (рис. 7), т.е. фаза Fe_2Al_5. Микротвердость фазы, как показывают исследования, составляет более 1100 HV, что соответствует указанной фазе. На границе стали и соединения Fe_2Al_5 наблюдается тонкий светлый слой фазы Fe_3Al. Рентгеноспектральные исследования показали, кроме того, существование незначительного слоя на границе алюминия и соединения Fe_2Al_5 (рис. 7).

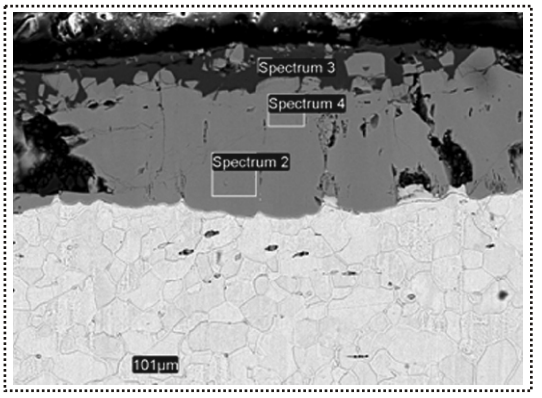


Рис. 7. Рентгенограмма (100) области переплава зоны термического влияния (I = 90 А; $v_{св}$ = 0,2 см/с):
места отбора проб и количественный химический состав

Spectrum	Al	Fe
Spectrum 2	57,00	43,00
Spectrum 3	100,00	
Spectrum 4	56,45	43,55

Исследование химического состава образцов-свидетелей и измерение микротвердости, которая составляет 800 HV, позволили сделать вывод, что это слой -фазы. Поверхностный слой покрытия, исходя из исследований [5], претерпевает превращение $-Al_2O_3$ $-Al_2O_3$, что является причиной изменения цвета покрытия.

Ширина третьей области составляет от 0,8 до 3,6 мм (рис. 8) в зависимости от погонной энергии сварки и толщины стального листа.

Четвертая область отличается более темной поверхностью, чем алюминиевое покрытие. Расчеты показали, что температура существования этой области составляет 550...660 С. Металлографический и химический анализы показали наличие интерметаллидного соединения на границе алюминия и стали. Содержание алюминия в соединении и твердость интерметаллида соответствуют фазе Fe_2Al_5. Толщина этого слоя порядка 15...20 мкм (рис. 9). В алюминиевом подслое наблюдаются единичные включения интерметаллидных фаз.

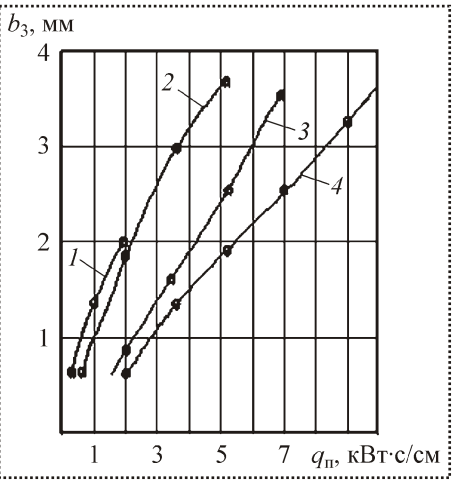


Рис. 8. Зависимость ширины b_3 зоны переплава от погонной энергии $q_п$ сварки для алюминированной пластины толщиной:
1 – 0,5 мм; *2* – 1; 5 мм; *3* – 2,5 мм; *4* – 3,5 мм

С внешней стороны покрытия при нагреве до 550...650 С происходит разложение гидроокиси алюминия по реакции [5, 6]

$$Al_2O_3\ H_2O \quad Al_2O_3\ \ H_2O.$$

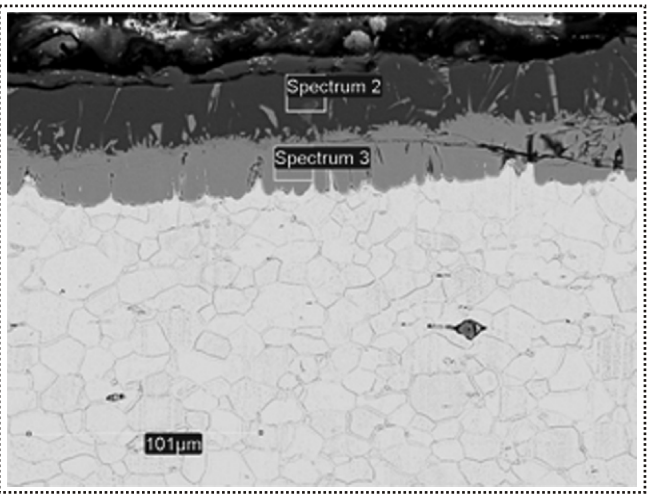


Рис. 9. Рентгенограмма (100) четвертой области (I = 90 А; $v_{св}$ = 0,2 см/с):
места отбора проб и количественный химический состав

Spectrum	Al	Fe
Spectrum 2	100,00	
Spectrum 3	57,26	42,74

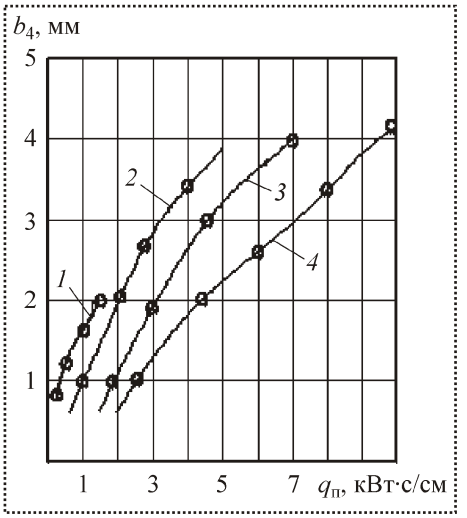


Рис. 10. Зависимость ширины b_4 четвертой зоны от погонной энергии сварки для алюминированной пластины толщиной: *1* – 0,5 мм; *2* – 1,5 мм; *3* – 2,5 мм; *4* – 3,5 мм

Это является причиной изменения цвета поверхности образцов.

Ширина зоны в зависимости от соотношения толщины стали и погонной энергии сварки составляет от 1 до 4,2 мм (рис. 10).

Выводы

В процессе аргонодуговой сварки сталей с двухсторонним алюминиевым покрытием происходит коагуляция алюминия в высокотемпературной области из-за превышения работы когезии расплавленного алюминия над работой адгезии к поверхности стали, что приводит с лицевой стороны шва к стеканию перегретого алюминия в сварочную ванну, а с обратной стороны шва – к образованию жидкой алюминиевой ванны, которая в процессе перегрева растворяет сталь и объединяется со сварочной ванной. Явления коагуляции алюминия приводят к повышенному содержанию алюминия в металле шва, что обуславливает снижение прочностных и пластических свойств.

В результате теплового воздействия при аргонодуговой сварке сталей с алюминиевым покрытием изменяется состав и свойства покрытия. Зона его термического влияния состоит из четырех областей с граничными температурами 1150, 800, 660, 550 С. Первая область не имеет покрытия вследствие стекания алюминия в сварочную ванну, вторая состоит из интерметаллида $FeAl_3$, третья – из слоя интерметаллида Fe_2Al_5 и алюминиевого слоя, пронизанного иглами Fe_2Al_5, четвертая характеризуется наличием незначительного слоя Fe_2Al_5 на границе алюминий-сталь и слоя оксида алюминия, образованного при разложении гидроксида алюминия.

Библиографический список

1. **Диаграммы** состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: справ. изд. / О.А. Банных, П.Б. Будберг, С.П. Алисова и др. – М.: Металлургия, 1986. 440 с.

2. **Раскатов В.М., Чуенков В.С., Бессонова Н.Ф., Вейс Д.А.** Машиностроительные материалы: краткий справочник. – М.: Машиностроение, 1980. 511 с.

3. **Семистенов Д.А.** Стабильность проплавления стыковых швов при возмущениях в процессе аргонодуговой сварки: дис. ...канд. техн. наук. – Тольятти, 2005. 150 с.

4. **Рябов В.Р.** Алитирование стали. – М.: Металлургия, 1973.

5. **Ахметов Т.Г., Порфильева Р.Т.** Химическая технология – М.: Высшая школа, 2002. 688 с.

6. **Никитинский А.М.** Пайка алюминия и его сплавов. – М.: Машиностроение, 1983. 192 с.

УДК 621.791.75.01

И.В. Арефьев, А.В. Савинов, *канд. техн. наук, доцент,* **И.Е. Лапин,** *д-р техн. наук, профессор,* **В.И. Лысак,** *д-р техн. наук, профессор, проректор по НИР, зав. кафедрой,* **А.Н. Потапов,** *канд. техн. наук, доцент (кафедра оборудования и технологии сварочного производства Волгоградского государственного технического университета)*
Тел. (844-2) 24-82-35.
E-mail: straga5@yandex.ru

Снижение уровня макро- и микронапряжений в наплавленном металле при восстановлении крупногабаритных конструкций

Рассмотрено влияние схемы наложения валиков при механизированной наплавке на величину и распределение остаточных макро- и микронапряжений в сварном соединении, ударную вязкость наплавленного металла. Выполнена оценка воздействия локальной аргонодуговой термообработки металла наплавки и зоны термического влияния на величину остаточных напряжений.

The effect of the pass scheme under manual arc welding on the rate and distribution of residual macro and microstresses in welded connection has been studied, fracture toughness in weld deposition. The effect of the local argon-arc welding and zones of thermal influence on the rate of residual stresses has been evaluated.

Ключевые слова: макронапряжения, микронапряжения, термический цикл сварки, наплавленный металл, термическая обработка, механические свойства, неплавящийся электрод.

Key words: macrostresses, microstresses, thermal cycle of welding, weld metal, thermal processing, mechanical properties, nonconsumable electrode.

Выход из строя и разрушение крупногабаритных конструкций и оборудования, работающих в условиях действия агрессивных сред и абразивного изнашивания, наиболее часто связаны с превышением расчетного срока эксплуатации. В условиях экономического кризиса актуальной становится разработка способов восстановительного ремонта, которые позволили бы продлить сроки эксплуатации действующих объектов [1, 2]. С помощью наплавки в ряде случаев удается эффективно и экономически выгодно решать задачи ремонта.

Одной из основных проблем восстановительного ремонта при помощи наплавки изношенных участков является возникновение остаточных напряжений, в большинстве случаев превышающих допустимые значения. При этом общая термообработка крупногабаритных конструкций практически невозможна, что обуславливает необходимость поиска альтернативных методов минимизации остаточных сварочных напряжений.

Цель данных исследований – разработка научно обоснованных технологий восстановительной наплавки и локальной дуговой термообработки наплавленного металла и зоны термического влияния, обеспечивающих минимальный уровень остаточных сварочных напряжений I и II рода и требуемые механические свойства при восстановлении участков технологического оборудования из низколегированных сталей.

Механизированную наплавку проводили на пластинах размерами 300 200 95 мм из стали 16ГС (отобранных из обечайки № 8 корпуса вертикального цилиндрического абсорбера, изготовленного в 1986 г.) в нижнем положении с использованием проволоки Св08Г2С диаметром 1,2 мм при величине тока $I_д$ = =145...150 А. Питание дуги осуществляли с

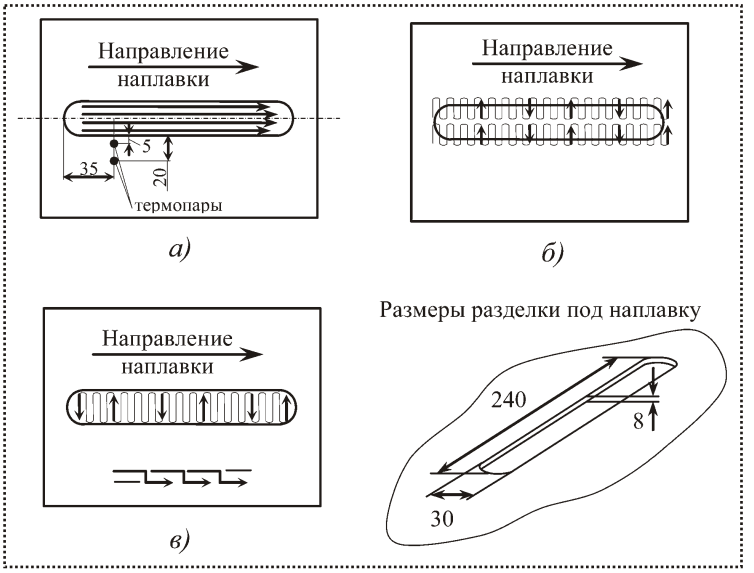


Рис. 1. Схемы наложения валиков и размеры разделки под восстановительную наплавку:
а – продольными валиками (схема № 1);
б – с поперечными колебаниями (схема № 2);
в – поперечными швами обратноступенчатым способом (схема № 3)

помощью источника Kemppi Pro Evolution 3200.

Наплавку проводили согласно схемам, приведенным на рис. 1. В процессе ее выполнения фиксировали термические циклы от наложения валиков с помощью хромель-алюмелевой термопары, зачеканенной на глубине 2 мм и на расстоянии 5 мм (при термообработке – 20 мм) от края шва, с выводом обработанных данных на ЭВМ.

Локальную аргонодуговую термообработку проводили аналогично наплавке по схеме № 2 с захватом зоны термического влияния на 15 мм неплавящимся электродом марки ЭВЛ диаметром 3 мм с рабочим участком, заточенным на обратный конус (патент РФ № 63279), с периодическим воздействием базового $I_б = 30$ А и импульсного $I_и = 70$ А токов ($_б = 3$ с, $_и = 2$ с). Конструкция электрода обеспечивала минимальные давление дуги на сварочную ванну и глубину проплавления, а применение импульсно-дуговой обработки на указанных режимах позволило снизить скорость охлаждения металла до 10–14 С/с, исключив вероятность пережогов и образования зон высоких концентраций напряжений.

Остаточные сварочные напряжения первого рода $_I$ определяли с помощью метода и аппаратуры спекл-интерферометрии с точностью 10 МПа [3–5]. Для регистрации микронапряжений второго рода $_{II}$ и размера блоков мозаики применяли рентгеноструктурный анализ с использованием универсального дифрактометра "ДРОН-3" [6, 7]. Испытания на динамический изгиб выполнены на маятниковом копре PSWO-30. Образцы для испытаний с V-образным концентратором (образцы Шарпи) по ГОСТ 9454–78 изготавливали из участков наплавки и зоны термического влияния.

Анализ термических циклов механизированной наплавки в диапазоне температур критических точек $T = 741...350$ С (рис. 2) показывает, что, наряду с разным темпом нарастания температуры в процессе наплавки по различным схемам, присутствует значительное расхождение скоростей охлаждения металла зоны термического влияния. Наиболее жестким термическим циклом характеризуется наплавка продольными узкими вали-

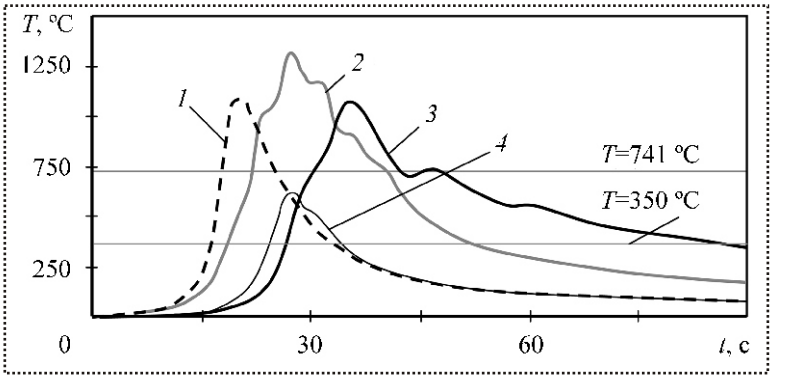


Рис. 2. Термические циклы процессов механизированной наплавки и термообработки:
1 – схема № 1;
2 – схема № 2;
3 – схема № 3;
4 – локальная аргонодуговая термообработка

ками (кривая *1*), при которой темп нагрева и скорость охлаждения металла в точке фиксации термопары достигают максимальных значений. При заполнении разделки с поперечными колебаниями электрода наблюдается снижение скорости охлаждения при значительном увеличении температуры максимума (кривая *2*). Выполнение наплавки поперечными швами обратноступенчатым способом позволяет значительно снизить скорость охлаждения (кривая *3*) за счет возвратного перемещения дуги, что отражается на циклограмме двойным пиком нагрева при сохранении максимума температуры цикла на том же уровне, что и при наплавке узкими продольными валиками.

Остаточные сварочные напряжения первого рода вдоль оси шва $_{I}$ в образце № 3 (наплавлен по схеме № 3) характеризуются меньшими, чем в образце № 1 (наплавлен по схеме № 1), значениями как растягивающих напряжений в наплавленном металле, так и сжимающих напряжений в зоне термического влияния (рис. 3, *а*, *б*), что связано с более низкими скоростями охлаждения металла сварного соединения. Применение локальной аргонодуговой термообработки позволяет снизить значения растягивающих макронапряжений в наплавленном металле до $_{I}$ = 105 МПа, несколько расширяя область их действия в зоне термического влияния (рис. 3, *в*).

Присутствие небольших сжимающих напряжений в поперечном направлении наплавленного слоя образцов, выполненных без локальной аргонодуговой обработки, связано с многопроходной наплавкой, при которой возникает двухосное напряженное состояние в поверхностном слое. Так, например, в наплавленном металле образца № 1 на расстоянии 15 мм до линии сплавления интерферограмма имеет вид розетки с четырьмя лепестками (рис. 4, *а*): четыре полосы растяжения и одна полоса сжатия. В данной точке существуют напряжения растяжения 200 МПа и сжатия 50 МПа.

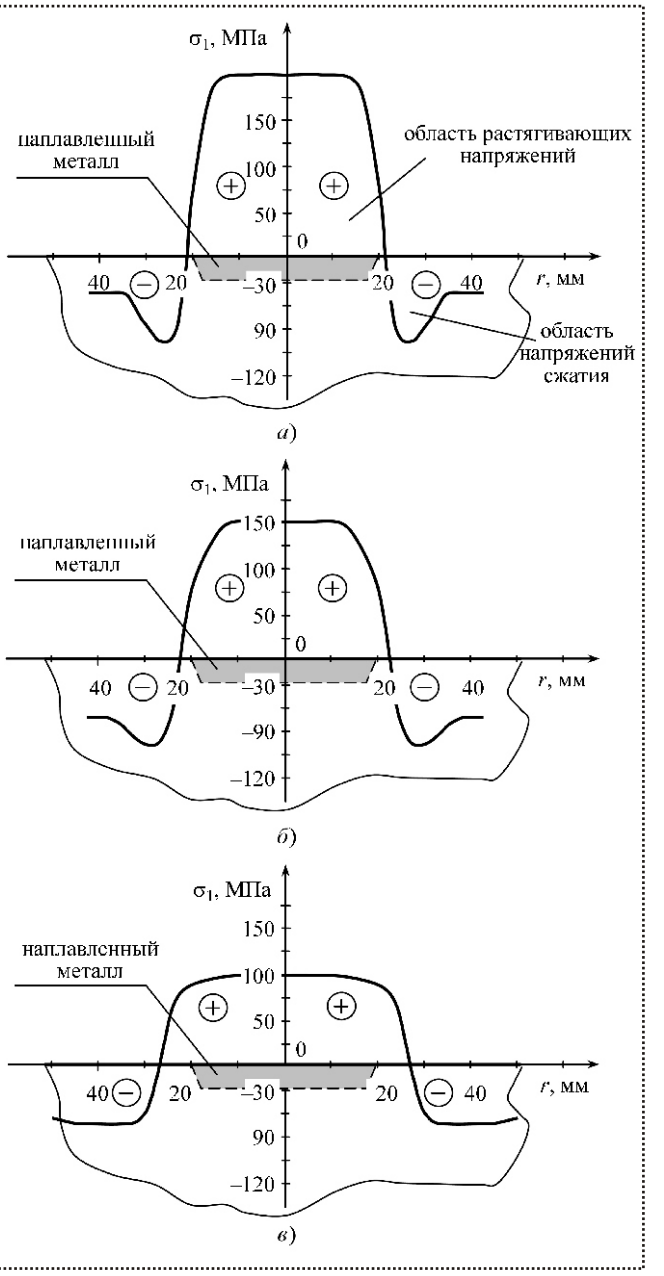


Рис. 3. Распределение напряжений I рода – макронапряжений в образцах:
а – № 1; *б* – № 3; *в* – № 3 с локальной термообработкой

В местах зоны термического влияния (ЗТВ), расположенных рядом с концевыми участками наплавки, интерферограммы имеют необычный вид розеток с тремя лепестками (рис. 4, *б*), ориентированными под разными углами к основным осям нормальных напряжений, расположенным вдоль и перпендикулярно оси наплавленного шва.

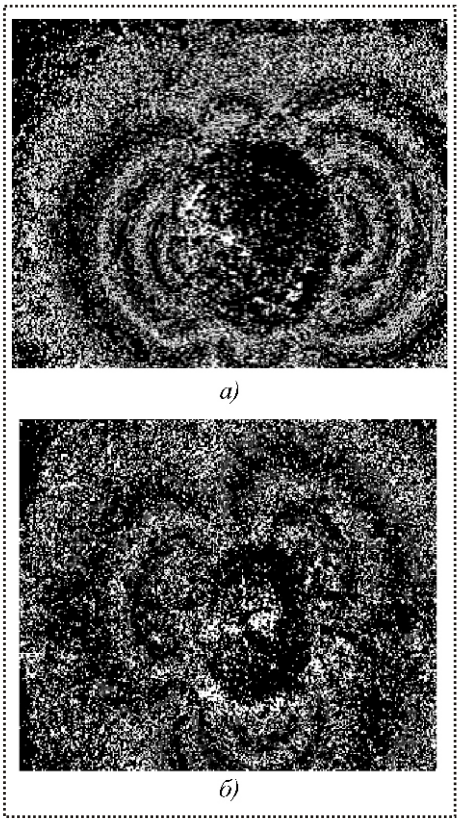


Рис. 4. Интерферограммы зондирующих глухих отверстий:
а – в наплавленном металле;
б – на концевом участке ЗТВ

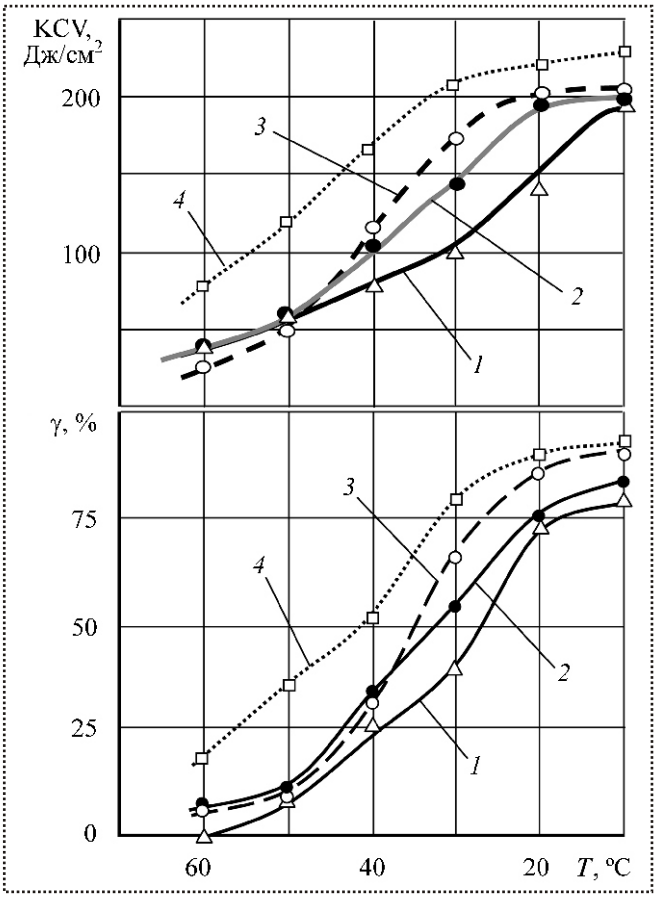


Рис. 5. Ударная вязкость KCV и доля вязкой составляющей γ в изломе наплавленного металла:
1 – продольными валиками;
2 – с поперечными колебаниями;
3 – поперечными швами обратноступенчатым способом;
4 – поперечными швами обратноступенчатым способом с термообработкой

Показатели ударной вязкости и доли вязкой составляющей в изломе наплавленного металла образцов (рис. 5), выполненных по различным схемам, свидетельствуют о том, что металл, наплавленный поперечными швами с обратноступенчатым наложением слоев, характеризуется большими значениями вязкой составляющей излома образца и стойкостью к динамическому разрушению в диапазоне температур (0... 35 С). При более низких температурах испытаний наблюдается снижение работы разрушения данного образца, что говорит о разупрочнении металла за счет некоторого укрупнения зерен, вызванного снижением скоростей охлаждения металла.

Преобладающими фазами в структуре наплавленного металла во всех случаях являются феррит и перлит (Ф + П = 54,8...69 %) при содержании бейнита и мартенсита 1,5...3 %. Значения твердости, измеренные по Виккерсу (ГОСТ 2999–75), от поверхности наплавленного слоя в глубь металла в образце, наплавленном поперечными швами обратноступенчатым способом, меньше, чем в образцах, выполненных по схемам № 1 и № 2, и не превышают 185 HV.

Результаты рентгеноструктурного анализа размеров блоков мозаики отражают их более равномерное распределение от зоны наплавленного металла к основе у образца, выполненного по схеме № 3, тогда как при наплавке по схемам № 1 и № 2 наблюдается значительное измельчение блоков в конце зоны термического влияния, имеющее наибольшее проявление при наложении продольных валиков

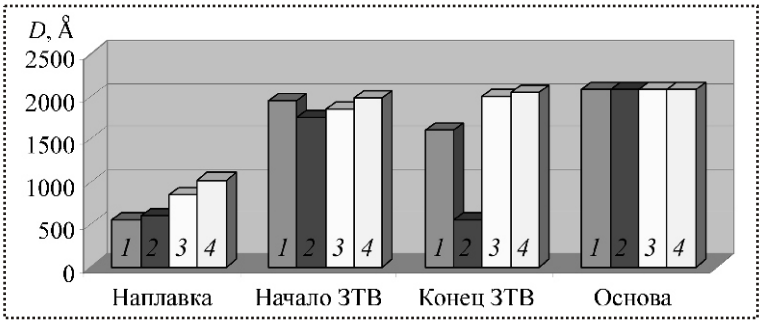


Рис. 6. Изменение размеров блоков мозаики в разных зонах образцов, наплавленных:
1 –продольными валиками;
2 – с поперечными колебаниями;
3 – поперечными швами обратноступенчатым способом;
4 – поперечными швами обратноступенчатым способом с термообработкой

(рис. 6). В то же время при наплавке поперечными швами обратноступенчатым наложением слоев достигаются наименьшие значения микронапряжений $_{II}$ 100 МПа при плавном их изменении от оси наплавки к основному металлу (рис. 7).

Применение аргонодуговой термообработки способствует получению более равновесной структуры соединения за счет увеличения размера зерна в наплавленном металле и приближения его значений в зоне термического влияния к параметрам основного металла.

Следует отметить, что при наплавке валиков на форсированных режимах (узкие продольные валики) на толстолистовые конструкции велика вероятность возникновения в поверхностных слоях неблагоприятных закалочных структур (вследствие большой толщины металла эквивалентное содержание углерода [C] > 0,42) и большого количества зон концентраций напряжений, в которых превышены допустимые значения 0,5 $_{т}$. Данное обстоятельство требует применения специальных мер. Как показывают полученные результаты, одним из вариантов решения проблемы может быть применение локальной термической обработки, позволяющей исключить снижение прочности и ударной вязкости при отрицательных температурах, не прибегая к общей термической обработке, осуществление которой часто затруднено или невозможно.

Результаты исследования свойств наплавленного металла и зоны термического влияния методом магнитной памяти металла после локальной аргонодуговой обработки свидетельствуют об уменьшении количества зон концентраций напряжений при переходе от шва к основному металлу, которые часто выступают очагами возникновения опасных дефектов в конструкциях высоконагруженного технологического оборудования, особенно при эксплуатации в агрессивных средах.

Рентгеноструктурным анализом после локальной термообработки выявлено снижение на 30...40 % уровня напряжений второго рода в наплавленном металле в результате процесса релаксации. При этом вследствие локальной термической обработки неплавящимся электродом в образце № 3 значительно снижен размер блоков мозаики в зоне термического влияния и одновременно увеличен на 200...300 Å в области наплавленного металла,

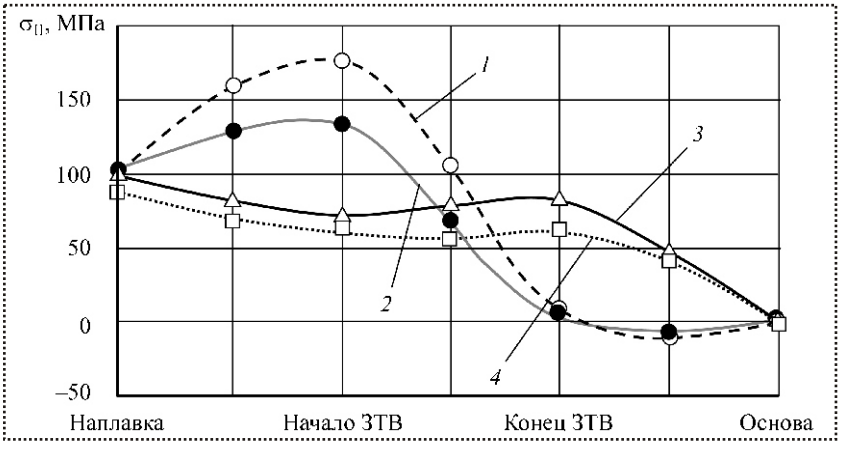


Рис. 7. Диаграмма распределения микронапряжений в наплавленном металле и ЗТВ при наплавке:
1 – продольными валиками;
2 – с поперечными колебаниями;
3 – поперечными швами обратноступенчатым способом;
4 – поперечными швами обратноступенчатым способом с термообработкой

что в целом позволило получить более равновесную структуру.

Макронапряжения после локальной аргонодуговой обработки образца с наплавкой по схеме № 3 снизились на 50...60 % в области наплавленного металла и на 30...40 % – в зоне термического влияния.

Результаты испытаний на ударный изгиб термообработанного образца свидетельствуют о значительном повышении работы разрушения и доли вязкой составляющей излома наплавленного металла в диапазоне температур от 0 до –50 С (рис. 5).

Выводы

Наименьшие значения макронапряжений и наиболее равномерное их распределение от зоны наплавки к основному металлу достигаются при выполнении наплавки поперечными швами обратноступенчатым способом. Наблюдаемое при этом снижение значений ударной вязкости и доли вязкой составляющей в изломе наплавки в диапазоне отрицательных температур из-за небольших скоростей охлаждения и укрупнения размеров зерен незначительно.

Применение аргонодуговой термообработки наплавленного металла и зоны термического влияния способствует снижению на 40...50 % максимумов напряжений и перераспределению растягивающих макронапряжений в наплавленном металле наряду с повышением ударной вязкости и доли вязкой составляющей излома при испытаниях в области отрицательных температур.

Библиографический список

1. **Особенности** ремонта сварных конструкций из низколегированных сталей / В.Д. Поздняков, С.Б. Касаткин, С.Л. Жданов и др. //Автоматическая сварка. – 2005. № 3. С. 32–37.

2. **Гринько В.С.** Сфера особого внимания. Техническое состояние линейной части магистральных нефтепроводов и резервуарных парков. Планы их приведения к нормативному состоянию // Трубопроводный транспорт нефти. – 2001. № 6. С. 17–20.

3. **Остаточные** напряжения в деформируемых твердых телах / Г.Н. Чернышев, А.Л. Попов, В.М. Козинцев и др. – М.: Наука. Физматлит, 1996. 240 с.

4. **Ya Min, Dai Fulong, Xie Huimin, Lu Jian.** Measurement of non-uniform residual stresses by combined moiri – interferometry and hole-drilling method: theory, experimental method and applications // Acta mechanica sinica. – 2003. № 6. P. 567–574.

5. **P.J. Withers, H. K.D.H. Bhadeshia.** Residual stress. Part 1 – Measurement techniques // Materials Science and Technology. – 2001. V. 17. April. P. 355–365.

6. **Русаков А.А.** Рентгенография металлов. – М.: Атомиздат, 1977. 479 с.

7. **Кристаллография,** рентгенография и электронная микроскопия / Я.С. Уманский, Ю.А. Скаков, А.Н. Иванов, Л.Н. Расторгуев. – М.: Металлургия, 1982. 632 с.

УДК 621.791.04

В.М. Макиенко, Д.В. Строителев, И.О. Романов, *канд-ты техн. наук (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск)*
E-mail: mvm_tm@festu.khv.ru

Разработка сварочно-наплавочных порошковых проволок на основе минерального сырья Дальневосточного региона

Представлены результаты работ по созданию сварочно-наплавочных порошковых проволок из минерального сырья Дальневосточного региона.

The article shows main stages of the creation welding of the powdered wires from mineral materials of the Far eastern region.

Ключевые слова: состав, структура, свойства, минеральное сырье.

Key words: composition, structure, characteristic, mineral raw.

Одна из основных технологий восстановления деталей узлов и механизмов подвижного состава – механизированная сварка и наплавка порошковой проволокой с сердечником карбонатно-флюоритного типа. Использование этого материала в сварочно-наплавочном производстве позволяет получать покрытия с разнообразными механическими и эксплуатационными свойствами за счет формирования наплавленного металла с широким спектром легирующих элементов. Кроме того, применение порошковой проволоки не требует обязательной защиты флюсами или газами и позволяет выполнять соединения во всех пространственных положениях.

В Дальневосточном регионе порошковые проволоки не нашли широкого применения вследствие их дороговизны и отдаленности предприятий по их производству – ближайшие заводы находятся в Магнитогорске, Череповце и Новосибирске. Учитывая, что на территории Дальнего Востока имеются большие запасы минерального сырья, содержащего необходимые компоненты (бадделеит, шеелит, титаномагнетит, брусит, датолит, флюорит, гранодиорит и др.), его можно использовать для производства сварочно-наплавочных материалов.

Однако это минеральное сырье значительно отличается по химическому составу и реологическим свойствам, что требует дополнительных исследований по влиянию компонентов шлаковой системы на физико-механические и технологические характеристики формируемых покрытий. В связи с этим проблема создания новых сварочно-наплавочных материалов на основе минерального сырья Дальневосточного региона является весьма актуальной.

Исследования проводили на основном типе сердечника с применением проволоки трубчатой конструкции. Для получения наплавленного металла с требуемыми механическими свойствами необходимо предотвратить попадание в расплавленный металл таких элементов, как азот, кислород, водород, сера и фосфор. Для выбранного типа сердечника наибольшую опасность представляет азот. Растворение в расплавленном металле более 0,04 % этого элемента приводит к порообразованию.

Для предупреждения попадания в металл шва азота применяют в основном газовую или шлаковую защиту. Кроме этого, для удаления азота и других вредных примесей и газов целесообразно использовать различные компоненты, влияние которых на растворимость азота приведено на рис. 1.

В данной работе для создания шихты порошковой проволоки применяли компоненты в виде минерального сырья, которым богат Дальневосточный регион (гранодиорит, флюорит, мрамор, бадделеит). На первом эта-

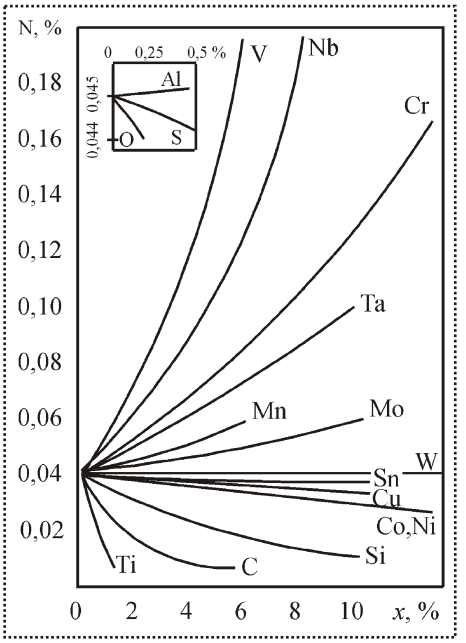


Рис. 1. Растворимость азота в жидких двойных сплавах Fe–*x* при 1870 К и давлении азота 1 атм. (*x* – содержание элементов)

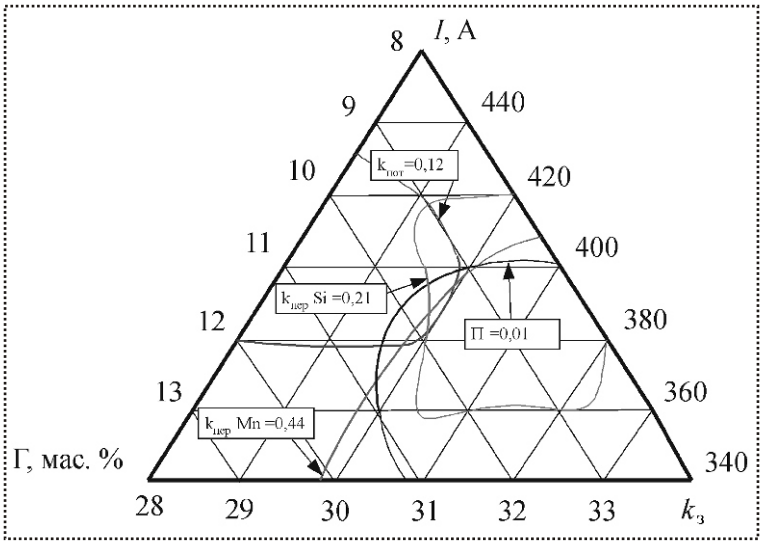


Рис. 2. Совмещенная диаграмма влияния содержания гранодиорита Г, силы тока *I* и коэффициента заполнения $k_з$ на качество наплавленного слоя:

$k_{пот}$ – коэффициент потерь;
$k_{пер}$ Si – коэффициент перехода кремния;
$k_{пер}$ Mn – коэффициент перехода марганца;
П – пористость металла, %

пе исследований были установлены пороговые массовые доли минеральных компонентов, входящих в шихту. Они составили 8–14 мас. % гранодиорита, 20–25 мас. % флюорита, 42–48 мас. % мрамора и 1–3 мас. % бадделеита.

Проведенный анализ результатов исследований показал, что на качество наплавленного металла наибольшее влияние оказывают содержание гранодиорита, коэффициент заполнения порошковой проволоки и режим наплавки (сила тока). Флюорит, мрамор и бадделеит значительного влияния на свойства наплавленного слоя не оказывают. В дальнейших экспериментах выбраны оптимальные уровни их массовых долей: флюорит – 23 %, мрамор – 45 %, бадделеит – 3 %.

Функциями отклика оптимизации качества наплавленного металла выбраны такие критерии оценки, как коэффициент потерь, коэффициенты перехода кремния и марганца и общая пористость металла П, которую определяли методом Розивиля (ГОСТ 22023–76) по формуле

$$П \quad \frac{l}{L_1} 100 \ \%,$$

где l – линейные размеры сечений пор на секущей;

L_1 – общая длина секущей.

Коэффициенты перехода легирующих элементов рассчитывали по формуле

$$k_{пер} \quad \frac{X_{экс}}{X_{рас}},$$

где $X_{экс}$ – массовая доля элемента, полученная в наплавленном металле;

$X_{рас}$ – расчетное содержание элемента в порошковой проволоке.

Анализ результатов исследований по нахождению требуемого состава минеральных компонентов шихты позволил установить область рабочих значений факторов, представленных на совмещенной диаграмме (рис. 2). Так, доля гранодиорита равна 9...11 %, сила тока

380...400 А, коэффициент заполнения 30...31 %.

На следующем этапе изучено влияние легирующих элементов (Si, Mn и C) на качественные (П) и технологические (коэффициент потерь) характеристики наплавленного металла. Для этого были проведены эксперименты и построена совмещенная диаграмма трехфакторного пространства (рис. 3). Из диаграммы видно, что рабочая линия находится при определенном соотношении содержания кремния и марганца – коэффициенте легирования $k_л$, который определяется как отношение расчетной массы кремния к расчетной массе марганца:

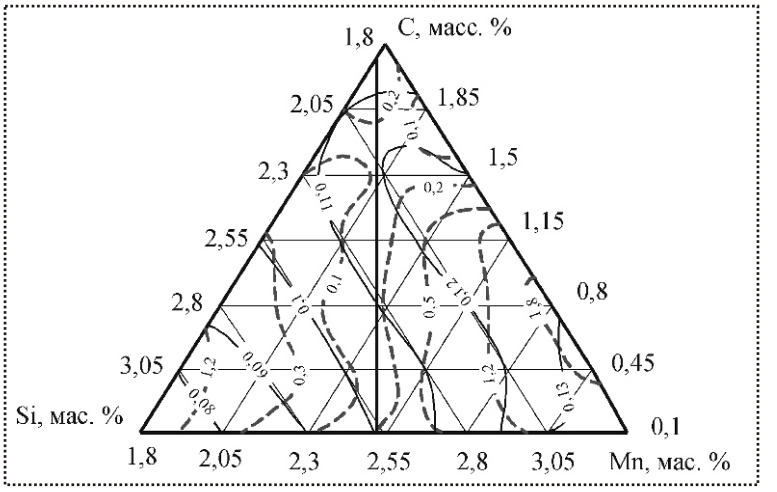


Рис. 3. Совмещенная диаграмма влияния содержания кремния, марганца и углерода на качество наплавленного металла:
– $k_{пот}$; – – – – П, %; – рабочая линия

$$k_л \quad m_{Si}/m_{Mn}.$$

На основе полученных результатов качественных характеристик наплавленного металла без стандартных нитридообразующих компонентов установили, что использовать кремний и марганец в сварочно-наплавочной системе возможно только при $k_л$ = 0,98...1,02.

На заключительном этапе исследований было изучено влияние графита и ферросиликомарганца (ферромарганец+ферросилиций при $k_л$ = 1) на твердость, износостойкость и ударную вязкость наплавленного металла, а также установлены закономерности перехода легирующих элементов из шихты в наплавленный слой (рис. 4).

Анализ полученных результатов показал, что в изучаемой системе интенсивность легирования значительно изменяется. Каждый легирующий элемент переходит из шихты в металл с определенной закономерностью и интенсивностью, присущей только конкретному

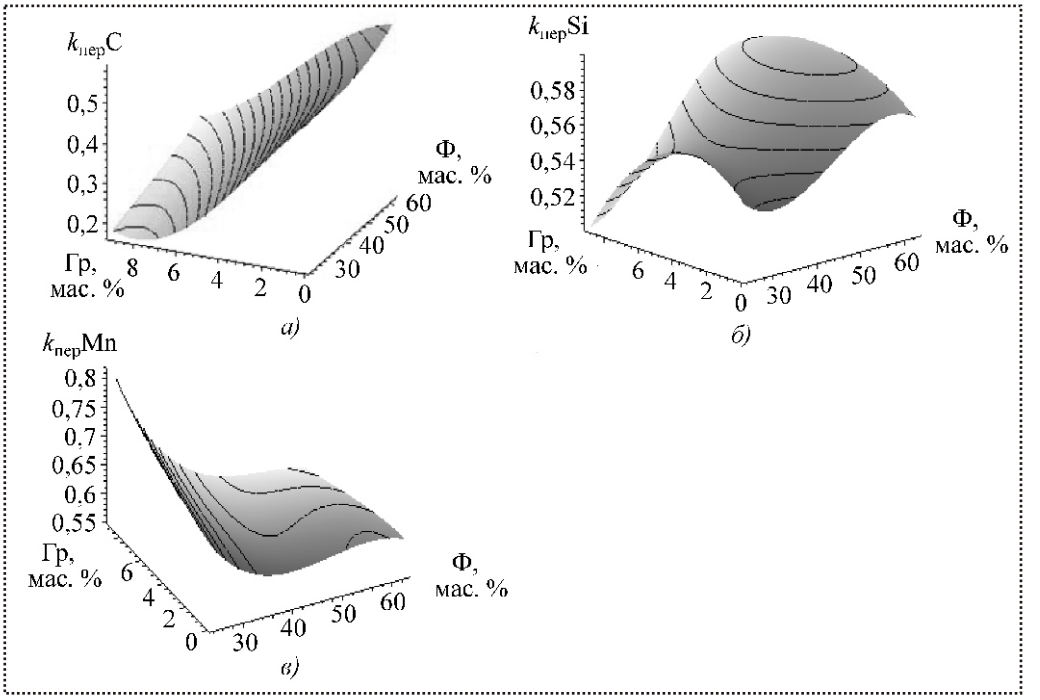


Рис. 4. Поверхности откликов в зависимости от массовых долей легирующих компонентов шихты (графита Гр и ферросиликомарганца Ф):
а – коэффициент перехода углерода;
б – коэффициент перехода кремния;
в – коэффициент перехода марганца

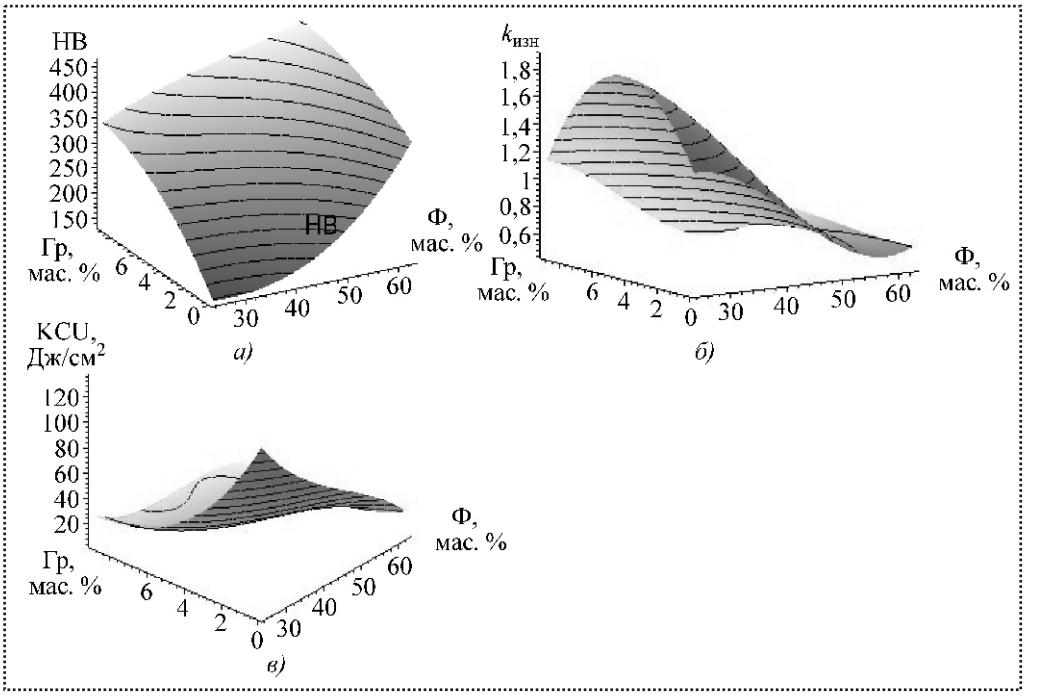


Рис. 5. Поверхности откликов в зависимости от массовых долей легирующих компонентов шихты:
а – твердость наплавленного слоя, HB;
б – коэффициент износостойкости относительно стали 20ФЛ;
в – ударная вязкость KCU, Дж/см^2

компоненту. Например, коэффициент перехода углерода повышается с увеличением ферросиликомарганца и снижается с ростом массовой доли графита (рис. 4, *а*).

На следующем этапе были установлены зависимости твердости, износостойкости и ударной вязкости наплавленного металла от содержания ферросиликомарганца и графита (рис. 5). Графики показывают, что твердость наплавленного металла изменяется от HB 150 до HB 450, износостойкость увеличивается в 1,8 раза, ударная вязкость находится в интервале 40...60 Дж/см^2.

Выводы

Разработанные порошковые проволоки на основе минерального сырья Дальневосточного региона позволяют получать покрытия с широким интервалом механических и эксплуатационных свойств.

На основании найденных зависимостей выбраны наплавочные порошковые проволоки ПП-Нп-20ГС-Т-С-2,8 (ГОСТ 26101–84) и ПП-Нп-25ГС-Т-С-2,8 (ГОСТ 260101–84) с твердостью наплавленного металла HB 250 и HB 350 (прототипы ПП-ТН 250 и ПП-ТН 350).

Проведенные эксплуатационные испытания подтвердили высокие технические характеристики новых порошковых проволок.

Библиографический список

1. **Морозов А.Н.** Водород и азот в стали. – М.: Металлургия, 1968. 203 с.

2. **Ozawa M., Morita T.** The Measurement of Heat Quantity in Melted Metals // Journal of the Japan Welding Society. 1963. V. 32. № 2.

3. **Тушенский Л.И., Плохов А.В., Токарев А.О., Синдеев В.И.** Методы исследования материалов. – М.: Мир, 2004. 384 с.

4. **Походня И.К.** Газы в сварных швах. – М.: Машиностроение, 1972. 255 с.

5. **Походня И.К., Суптель А.М., Шлепоков В.Н.** Сварка порошковой проволокой. – Киев: Наукова думка, 1972. 215 с.

6. **Думов С.И.** Технология электрической сварки плавлением. – Л.: Машиностроение, 1987. 642 с.

УДК 351.811

А.Х. Джанахмедов, *д-р техн. наук (Азербайджанская государственная нефтяная академия),*
Ф.Г. Амиров, *канд. техн. наук (Азербайджанский государственный технический университет)*
Тел.: 8-10-994-50-317-3179

Состояние и перспективы использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии

Проанализированы состояние и перспективы использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Приводятся технико-экономические показатели создания морского ветряного парка на стационарных платформах в Азербайджанском секторе Каспия. Предлагается модель для описания ветрового режима в этом регионе.

In article are analyzed a condition and prospect of use of nonconventional renewed energy sources. Technical and economic indicators of creation of sea Wind Park on stationary platforms in the Azerbaijan sector of Caspian sea are resulted. The model for the description of a wind mode in this region is offered.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, технико-экономические показатели, ветровой режим.

Key words: renewed energy sources, technical and economic indicators, wind mode.

Проблема внедрения нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ) является в настоящее время одной из наиболее актуальных в мире. Современное общество в начале XXI века столкнулось с серьезными энергетическими проблемами, поэтому человечество обратилось к альтернативным источникам энергии.

Стратегическая задача каждого государства – анализ состояния энергетического баланса и определение пути более эффективного использования природных энергетических ресурсов как важнейшего национального достояния страны.

За рубежом, особенно в промышленно развитых странах, накоплен значительный опыт по совершенствованию конструкции электрогенераторов для ветровых электростанций, который может быть использован при создании генераторов мощностью до 1000 кВт, способных работать с переменной частотой вращения [1].

За последние годы особенно заметен научно-технический прогресс в сооружении установок по использованию НВИЭ, в первую очередь солнечной и ветровой, а также биомассы. Масштабы исследований и реализации таких проектов характеризуют следующие данные. В настоящее время действуют более 100000 ветроэлектростанций мощностью 2500 МВт (из них примерно 1600 – в США), 233 ГеоТЭС суммарной мощностью 5136 МВт и строятся 117 ГэоТЭС мощностью 2017 МВт [2].

Согласно прогнозу Мирового энергетического конгресса на долю НВИЭ в 2020 г. будет приходиться 1150...1450 млн т условного топлива (5,6...5,8 % общего потребления). При этом прогнозируются доли каждого вида НВИЭ (Renewable Sourcess of Energy, Paris):

биомасса	35 %
солнечная энергия	13 %
ветроэнергия	18 %
гидроэнергия	16 %
геотермальная энергия	12 %
энергия океана	6 %

В 2009 г. предполагается довести долю НВИЭ в общем энергобалансе в США – до 20 %, Великобритании – до 20 % (до 600 МВт), Японии – до 9 %, Германии – до 12 %. В то же время в странах СНГ отмечается серьезное отставание по масштабам освоения НВИЭ.

Экономический ресурс возобновляемых источников энергии (ВИЭ) по всему миру в на-

стоящее время оценивают в 20 млрд т условного топлива в год, что в 2 раза превышает объем годовой добычи всех видов накопляемого топлива. Это указывает на путь развития энергетики в ближайшем будущем. Неисчерпаемость и экологическая чистота ВИЭ послужили причиной бурного развития возобновляемой энергетики за рубежом и оптимистических прогнозов их развития в ближайшем десятилетии.

Известны семь основных видов энергии: солнечная, гидроэнергия, ветровая, от сжигания газа, нефти, угля и ядерная. Результаты опроса в странах Европы показали, что наиболее предпочтительно использование солнечной энергии, на втором месте – гидроэнергия, затем ветровая, от сжигания газа, нефти, угля и ядерная.

Наиболее острые вопросы ветроэнергетики – экономическая эффективность и экологичность ветроэнергетических установок (ВЭУ). Исследования, проведенные в ряде стран, показали, что наиболее экономичны ВЭУ мощностью 100...300 кВт (в будущем – 250...350 кВт). Рентабельность ВЭУ средней мощности может быть обеспечена при комбинировании их использования с дизель-генераторами в качестве резервных источников энергии.

К недостаткам применения ВЭУ относятся блокировка территории оборудованием установки и связанные с этим экологические и экономические потери. Если на 1 км^2 можно разместить ТЭС мощностью 1000 МВт или солнечную ЭС на 30...60 МВт, то максимальная мощность ветровой ЭС в этих условиях составляет всего 10 МВт.

Кроме того, при работе ВЭУ возникает характерный шум, который вблизи нее может достигать 50...80 дБ. В этой связи в Германии, Дании, Нидерландах согласно законодательству уровень шума не должен превышать днем 50 дБ, ночью 35 дБ; минимальное расстояние ВЭУ от домов – 300 м, дорог – 20...75 м, линий электропередач – 39...52 м, аэропортов – 4...6 км [3].

Использование ВЭУ мощностью свыше 500 кВт позволяет значительно сэкономить занимаемую ими площадь, а также снизить удельные капитальные вложения и стоимость электроэнергии.

Следует отметить, что в мире увеличилась установленная мощность ВЭУ с 6172 МВт в 1966 г. до 12000 МВт в 1999 г., а прогноз на 2010 г. составляет примерно 36000 МВт.

Потенциальные ресурсы энергии ветра характеризуются скоростью и силой ветра и изменяются от 16 Вт/м^2 (скорость 20 м/с, сила – 10 баллов) до 15000 Вт/м^2 (скорость 30 м/с, сила 12 баллов). Теоретически на 1 м^2 территории в зависимости от скорости ветра может быть использовано около 57 % ветровой энергии, практически – не более 33 % [4].

Установленная мощность ВЭУ в Европе в 1990 г. составляла 324 МВт (наибольшая их часть – в Дании). По оценкам специалистов мощность ветряных ЭС к 2010 г. в Европе составит примерно 4860 МВт и в дальнейшем будет увеличиваться. Главные производители ВЭУ в Европе – Дания, Великобритания, Германия и Бельгия.

В настоящее время 3,75 % потребности промышленности в электроэнергии покрывается за счет энергии ветра. На севере Германии многочисленные береговые установки вырабатывают до 25 % потребной энергии. И это несмотря на то, что Германия по географическому положению представляет собой зону со слабыми ветрами. Тем не менее, этот показатель постоянно растет.

В развитых странах для обеспечения энергией средних и крупных промышленных объектов широко используются ветровые трубоэнергетические установки. Эффективность их применения заключается еще и в том, что они обладают синергетическим свойством, т.е. наряду с экономией традиционно используемых углеводородных и других природных ресурсов достигается экологическая чистота производства и появляется возможность их применения в качестве резерва в чрезвычайных ситуациях.

Предпринимаются попытки внедрения ветряных установок в удаленных от берега рай-

онах. Однако в этом направлении делаются только первые шаги.

Для удовлетворения потребности в электроэнергии морских стационарных платформ, очевидно, еще некоторое время наиболее экономичным будет вариант размещения ветроэнергетических установок в виде ветрового парка (Wind-Park) на побережье и транспортировка произведенной электроэнергии по подводным кабелям.

В Азербайджане с большим количеством склонов от высокогорных районов к Каспийскому морю и сильными стабильными воздушными течениями имеются идеальные условия для использования ветровой энергии.

В целях проведения надежных энергетических и технико-экономических расчетов по использованию энергии ветра, режимам работы ВЭУ и их производительности необходимы сведения о повторяемости скоростей ветра в рассматриваемой зоне, их хронологическом ходе и ряд других характеристик. Такие сведения приводятся в ветроэнергетическом кадастре, где показана совокупность объективно достоверных и необходимых количественных сведений о ветре как источнике энергии, позволяющих оценить его энергетические характеристики в той или иной местности.

Ветроэнергетический кадастр представляет собой районированную систему численных характеристик режима ветра, т.е. свод данных, по которым можно судить о длительности работы ветроагрегата с той или иной мощностью, его производительности, простоях, суммарной выработке энергии и др. Важнейшими кадастровыми характеристиками являются повторяемость (плотность распределения) скоростей, чередование рабочих и штилевых периодов, режимы максимальных (буревых) скоростей.

В кадастре сведения о ветре представляют обычно в виде статистических закономерностей, в табличной или графической форме, пользуясь материалами многолетних наблюдений на метеостанциях, а также данными специальных анеморазведок. Для наиболее полного математического описания изменений интенсивности ветра во времени используют модель случайного процесса, отражающую тенденции сезонной изменчивости ветра и случайные вариации его скоростей.

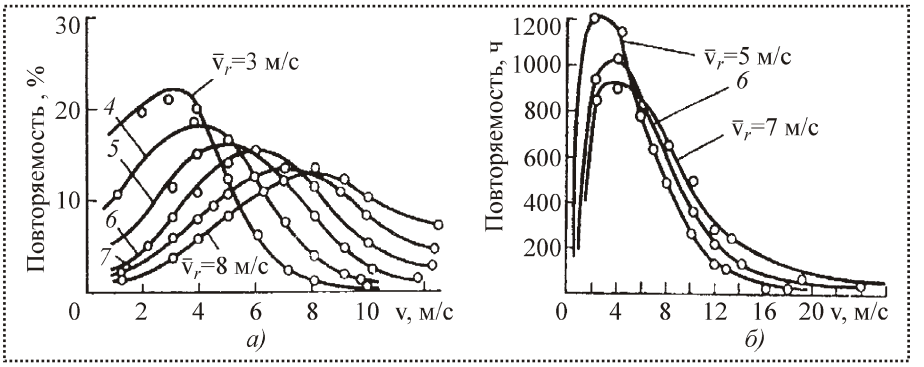
Применительно к задачам ветроэнергетики под штилевыми периодами понимают не метеорологические затишья, во время которых скорость ветра практически близка к нулю, а затишья, во время которых скорость ветра меньше минимальной скорости v_0, при которой ветроагрегат начинает вырабатывать полезную мощность.

Поскольку v_0 зависит от типа агрегата и характеристик присоединенной нагрузки, то и длительность энергетического затишья для заданной структуры ветра будет также определяться значением v_0, т.е. зависеть от конструкции и свойств ветроагрегата. Таким образом, простои агрегата обусловлены энергетическими затишьями, определяемыми средней скоростью ветра за этот период v_3 v_0, а также особенностями технических средств.

В отличие от энергетических простоев имеют место технологические простои, определяемые особенностями потребления энергии, а также простои для технического обслуживания и ремонта. Последние целесообразно по времени совмещать с периодами затиший.

Наиболее важной является функция $F(v)$ статистической закономерности частот вариаций скоростей ветра за время T. Зная структуру и параметры этой функции и характеристики агрегата, можно подсчитать его выработку, возможное число часов работы и длительность простоев, коэффициент использования установленной мощности, экономическую эффективность и т.д. Для многих районов с достаточной для практики точностью при проведении энергобалансовых и экономических расчетов используют кривые повторяемости М.М. Поморцева и А. Гулена, показанные на рисунке.

Г.А. Гриневич, разработавший ветроэнергетический кадастр республик Средней Азии, предложил общий вид уравнения кривой рас-



Кривые повторяемости скоростей ветра:
а – по М.М. Поморцеву;
б – по А. Гуллену

пределения существенно положительных величин, которыми всегда являются скорости ветра [4]. Статистические данные, полученные нами по ветровому режиму на Апшеронском полуострове, аналогичны кривым повторяемости скоростей ветра, приведенным на рисунке. Поэтому предложенная модель – уравнение кривой распределения – адекватно описывает рассматриваемый процесс ветрового режима:

$$y \quad {}_1 x^p e^{\ kx^n},$$

где y, x – переменные величины;

, p, k, n – коэффициенты, зависящие от типа (формы) кривой распределения.

С учетом значений скоростей ветра и их повторяемости в долях времени рассматриваемого периода уравнение имеет вид:

$$t \quad \frac{v}{\bar{v}} \quad \frac{v}{\bar{v}}^{p} e^{\frac{v}{\bar{v}}^{n}},$$

где t – частота или повторяемость скорости ветра;

$\bar{v}$ – средняя скорость за расчетный период;

v – скорость, относительная повторяемость которой находится в определенных интервалах;

v – выбранные интервалы градаций скорости ветра.

Опыты показывают, что во многих районах Азербайджана использование ветроэнергетических установок имеет большие перспективы. Расчетами установлено, что годовой ветроэнергетический запас Азербайджана по географическому расположению, природным ресурсам и экономической инфраструктуре составляет примерно 800 МВт (по предварительным расчетам 2,4 млрд кВт ч электроэнергии). Это в свою очередь означает экономию 1 млн т условного топлива и, самое главное, предотвращение огромного количества выбросов CO_2 в атмосферу.

Ветровой режим на Апшеронском полуострове за период 1965–2000 гг.:

среднегодовая скорость	5,8 м/с
максимальная годовая скорость	40 м/с
количество дней в году, когда скорость ветра достигает 15 м/с	67
количество дней в году, когда скорость ветра свыше 15 м/с	154

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что использование ветроэнергетических установок с мощностью 6 кВт всегда экономически оправдано при скорости ветра 3,5...4 м/с, большей мощности – при скорости ветра свыше 5,5...6 м/с.

Как известно, одной из наиболее энергоемких отраслей экономики Азербайджана является нефтегазодобывающая отрасль, которая ежегодно потребляет свыше 1 млрд кВт ч электроэнергии. Государственная Нефтяная компания Азербайджанской Республики (ГНКАР) заинтересована в применении ВТЭУ как источника, позволяющего сэкономить значительную часть энергии, так и с позиций экологической чистоты производства (отсутствие вредных выбросов) и непрерывного обеспечения электроэнергией добывающих предприятий в чрезвычайных ситуациях, связанных с перебоями в энергоснабжении.

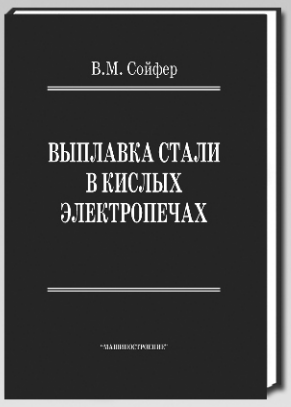
ВТЭУ мощностью 1 МВт может вырабатывать 5 млн кВт ч электроэнергии в год и в течение 5–6 лет окупает свою стоимость, беспрерывно производя электроэнергию в течение 20–25 лет с минимальными эксплуатационными расходами.

Проведенные технико-экономические расчеты показали, что при производстве в Азербайджане ВТЭУ мощностью 150, 1000 и 1600 кВт можно сэкономить до 40...45 % общих расходов по сравнению с закупкой этих установок в Германии (с учетом транспортировки). Планируется изготовление 50–60 комплектов ВТЭУ в год. Это позволит в течение 6–7 лет удовлетворить потребности ГНКАР в электроэнергии и тем самым сэкономить углеводородные энергоносители в объеме, необходимом для производства 1 млрд кВт ч электроэнергии.

Таким образом, создание морского ветряного парка на стационарных платформах в азербайджанском секторе Каспия представляет большой экономический интерес и позволит получить экологически чистую, надежную и экономически эффективную энергетическую систему.

Библиографический список

1. **Ветроэнергетические** установки / А.Х. Джанахмедов и др. – Баку: Чашыоглы, 2009. 164 с.
2. **Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю.** Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. – М.: Радио Софт, 2009. 232 с.
3. **Попель О.С., Туманов В.Л.** Возобновляемые источники энергии: состояние и перспективы развития // Альтернативная энергетика и экология. – 2007. № 22 (46).
4. **www.clean-wind.ru**
5. **Шефтер Я.И.** Использование энергии ветра. – М.: Энергоатомиздат, 1983. 200 с.



ВЫПЛАВКА СТАЛИ В КИСЛЫХ ЭЛЕКТРОПЕЧАХ

В.М. Сойфер

М.: Машиностроение, 2009 – 432 с. ISBN: 978-5-94275-467-9

Цена 880 р. с НДС

Изложены требования к качеству кислой электростали для отливок, теоретические основы выплавки стали кислым процессом, описаны конструкции и футеровки кислых дуговых и индукционных печей, технология выплавки и разливки стали. Освещены особенности дуговых сталеплавильных печей постоянного тока; сертификации дуговых и индукционных печей, приведены современные стандарты, касающиеся кислой электроплавки стали, результаты последних исследований; описана технология получения продукта прямого восстановления железа в качестве шихты для электросталеплавильных печей, результаты исследований напряженности магнитного поля индукционных печей, прогрессивные технологические процессы выплавки стали и футеровки печей.

Предназначена для инженерно-технических работников машиностроительных и металлургических предприятий, научных работников, может быть полезна студентам вузов.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

- Технология и организация сборки
- Размерные цепи
- Современные методы сборки
- Ориентирование деталей при сборке
- Инструмент для сборки
- Сборочное оборудование
- Робото-технические комплексы
- Гибкие ячейки, гибкие системы
- Сборка-сварка. Сборка-пайка
- Сборка с использованием клея
- Испытания и контроль
- Подготовка деталей к сборке
- Особенности сборки подшипников, редукторов, коробок переключения передач, приборов и т.д.
- "Деликатная" сборка хрупких и миниатюрных изделий
- Разборка и ремонт, консервация
- Изобретения и патенты
- Зарубежный опыт
- Подготовка специалистов
- Нормативная документация

Журнал распространяется только по подписке

Подписные индексы по каталогам:

84967 "Пресса России";

79748 "Роспечать";

60257 "Почта России"

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

Россия, 107076, Москва, Стромынский пер., д. 4, ООО "Издательство Машиностроение", редакция журнала "Сборка в машиностроении, приборостроении"
Тел.: (499) 268 38 42. Факс (499) 269 48 97. E-mail: sborka@mashin.ru. Http://www.mashin.ru

ООО "Издательство Машиностроение", 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Учредитель ООО "Издательство Машиностроение".
Адрес электронной почты издательства: E-mail: mashpubl@mashin.ru;
редакции журнала: sborka@mashin.ru; tsmm@mashin.ru http://www.mashin.ru
Телефон редакции журнала: (499) 268-38-42; тел./факс (499) 268-85-26; факс 269-48-97.
Технический редактор *Жиркина С.А.* Корректоры *Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.*
Сдано в набор 10.08.09 г. Подписано в печать 05.10.09 г. Формат 60 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 6,86. Уч.-изд. л. 6,47. Заказ 814. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Издательство Машиностроение".
Отпечатано в ООО "Подольская Периодика", 142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, д. 15.