

ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ
ЖУРНАЛ ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ УТВЕРЖДЕННЫХ ВАК РФ ИЗДАНИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИЙ ТРУДОВ СОИСКАТЕЛЕЙ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ

9 2011
(134)

СОДЕРЖАНИЕ

Экономика и организация сборочного производства

Лукина С.В. Оценка конкурентоспособности сборных металлорежущих инструментов на этапе их проектирования и выбора 3

Технологическая оснастка для сборки

Житников Ю.З., Житников Б.Ю., Матросова Ю.Н. Способ повышения точности моментов затяжки при сборке резьбовых соединений одношпindelными гайковертами ударного действия 9

Современные технологии сборки

Дроботов А.В., Кристаль М.Г. Повышение быстродействия и точности позиционирования пневматических поворотных столов 12

Сборочно-сварочные работы. Пайка

Быковский О.Г. Современное состояние технологии сварки цветных металлов и сплавов (Обзор) 15
Карабанов В.В., Бохоров И.О. Припои для пайки металлов 33

Информация

Иванов А.Н. Высокие технологии XXI века – ВТ XXI–2011. 41
Кристаль М.Г., Лунарски Е. 7-я Международная научно-техническая конференция "Техника и технология сборки машин" – ТТСМ-2011 (Жешув – Цисна) 46

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. 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

ВЛАДИВОСТОК
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

НИЖНИЙ НОВГОРОД
С.В. ГОЛУБЕВ

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.А. 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

ТУЛА
В.В. ПРЕЙС

ХАБАРОВСК
В.А. ЛАШКО

Украина

КИЕВ
А.С. ЗЕНКИН
В.А. МАТВИЕНКО

ДОНЕЦК
А.Н. МИХАЙЛОВ

СЕВАСТОПОЛЬ
Е.Л. ПЕРВУХИНА

Беларусь

МИНСК
В.Л. БАСИНЮК
М.Л. ХЕЙФЕЦ

ГОМЕЛЬ
В.Е. СТАРЖИНСКИЙ

Ответственные за подготовку и выпуск номера:

Л.Д. ПАРШЕНКОВА, И.М. ГЛИКМАН

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

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.

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

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

9 2011
(134)

CONTENTS

Economy and the organization of assembly

Lukina S.V. Estimation of competitiveness of modular metal-cutting tools at a stage of their designing and a choice 3

Technological equipment for assembly

Zhitnikov Yu.Z., Zhitnikov B.Yu., Matrosova Yu.N. Way of increase of accuracy of the moments of the inhaling at assemblage of carving connections single-spindle screwdrivers shock action. 9

Modern technologies in assembly

Drobotov A.V., Kristal M.G. Increase processing speed and positioning accuracy pneumatic rotary indexing table 12

Assembly welding works. Solder

Bikovski O.G. Current state of technology of welding of nonferrous metals and alloys 15

Karabanov V.V., Bokhorov I.O. Solders for the soldering of metals 33

Information

Ivanov A.N. High technologies of the XXI-st century – VT XXI–2011 41

Kristal M.G., Lunarsky E. 7-th International scientific and technical conference "Technics And technology of assemblage of cars" – TTCM-2011 (Rzeszow – Tsisna) 46

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

Editors

MOSCOW

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

Regional editors

BELGOROD

N.A. PELIPENKO

BRIANSK

O.A. GORLENKO

VLADIVOSTOK

Yu.N. KULSHIN
A.A. SUPONIA
V.M. KORNIENKO

VOLGOGRAD

M.G. KRISTAL
V.G. KARABAN'
V.I. LYSAK
V.M. TRUKHANOV

IZHEVSK

I.V. ABRAMOV
B.A. YAKIMOVICH
V.G. OSETROV
I.K. PITCHUGIN

KAZAN

R.I. ADGAMOV

KOVROV

Yu.Z. ZHITNIKOV

KOLOMNA

Yu.D. AMIROV

KOMSOMOLSK-ON-AMUR

B.N. MARJIN
V.I. SCHPORT
A.M. SHPILEV

NABEREZHNYE CHELNY

S.V. DMITRIEV
R.M. KHISAMUTDINOV

NIZHNY NOVGOROD

S.V. GOLUBEV

OMSK

V.N. KOSTIUKOV

OREL

Yu.S. STEPANOV
G.A. KHARLAMOV

ORENBURG

A.N. POLYAKOV
A.I. SERDUK
A.P. FOT

RYBINSK

V.F. BEZIAZYSHNY
V.V. NEPOMILUEV
A.N. SEMENOV

SAMARA

M.A. EVDOKIMOV
Yu.A. VASHUKOV
G.A. KULAKOV
V.A. NIKOLAEV

ST.-PETERSBURG

V.F. KUZMIN
E.V. SHALOBAEV

TULA

V.V. PREYS

TOLIATI

B.F. KHAZOV
A.I. RYZHKOV

KHABAROVSK

V.A. LASHKO

Ukraine

KIEV

A.S. ZENKIN
V.A. MATVIENKO

DONETSK

A.N. MIKHAILOV

SEVASTOPOL

E.L. PERVUKHINA

Belarus

MINSK

V.L. BASINJUK
M.L. KHEIFETZ

GOMEL

V.E. STARZHINSKI

Executive editors of current issue:

L.D. PARSHENKOVA, I.M. GLIKMAN

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
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.

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

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 681.2

С.В. Лукина, д-р техн. наук (МГТУ "МАМИ")

Тел.: (495) 223-0523

Оценка конкурентоспособности сборных металлорежущих инструментов на этапе их проектирования и выбора*

Рассмотрены вопросы оценки конкурентоспособности металлорежущих инструментов при проектировании по системе частных показателей качества.

The issues of the estimation to competitive strength of cutting tools when designing on system individual factors quality are considered.

Ключевые слова: конкурентоспособность, металлорежущий инструмент, показатели качества.

Keywords: competitiveness, the metal-cutting tool, quality indicators.

В условиях рыночной экономики и жесткой конкуренции недостаточно спроектировать и поставить на рынок какой-либо режущий инструмент. Чтобы выдержать конкуренцию и получить прибыль, инструмент должен обладать набором свойств, показатели которых наилучшим образом отвечают требованиям потребителя (экономическим, экологическим и др.).

Под конкурентоспособностью режущего инструмента, поступающего на внешний рынок, следует понимать его соответствие требованиям рынка в рассматриваемый период времени, т.е. это характеристика инструмента, отражающая его отличия от конструкции-конкурента как по степени соответствия потребностям покупателя, так и по затратам на ее удовлетворение.

Рассмотрим последовательность оценки конкурентоспособности конструкции режу-

щего инструмента. На первом этапе проводят сбор данных и маркетинговое изучение рынка с целью выявления прогрессивных конструктивных решений в области проектирования режущих инструментов, соответствующих запросам покупателя (потребителя), на втором – выделение и анализ группы факторов, определяющих формирование спроса на продукцию. Для объективного анализа поставщик (проектировщик) должен оперировать теми же показателями, что и покупатель (потребитель). Конструкцию режущего инструмента оценивают по совокупности следующих показателей качества [1]:

- назначение, характеризующее свойства инструмента, которые определяют его основные функции;
- надежность определяющая стабильность качества инструмента вследствие сохранения высоких показателей назначения в течение заданного времени;
- эргономичность, объединяющая физиологические, антропометрические, гигиенические и психологические показатели;
- эстетичность, определяющая показатели информационной выразительности, рациональности формы, целостности компоновки;
- технологичность, характеризующая свойства конструкции, которые обуславливают оптимальное распределение затрат материалов, средств, труда и времени при технологической подготовке производства, изготовлении и эксплуатации инструмента;
- унификация, отражающая насыщенность конструкции инструмента стандартными и оригинальными составными элементами, а

* Материалы научно-технического семинара "Прогрессивные технологии и оборудование механосборочного производства". М.: МАМИ, 3 декабря 2009 г.



также уровень унификации с другими составляющими технологической системы;

– патентно-правовой показатель, характеризующий патентную чистоту режущего инструмента;

– экологичность, определяющая вредное воздействие на окружающую среду;

– безопасность при эксплуатации режущего инструмента;

– экономичность, отражающая затраты на производство и эксплуатацию инструмента, выраженные системой частных критериев оптимальности и соответствующих им целевых функций.

Оценить количественно перечисленные показатели достаточно сложно. Одна из основных задач на этапе технической подготовки производства – обоснование выбора варианта режущего инструмента из множества конструкций, отличающихся между собой, например, организацией режущей части протяжек или способом крепления и базирования пластин в сборных инструментах. Сравнительную оценку вариантов конструкций режущих инструментов корректно проводить по частным показателям, количественно приведенным к показателям качества и аналитически выраженным через систему геометрических, конструктивных и эксплуатационных параметров инструмента [2].

Показатели назначения следует оценивать по следующей системе частных показателей: точность (погрешность) σ и чистота обработанной поверхности (шероховатость) Ra , масса M , габаритные размеры W инструмента и т.д. Лучшим при прочих равных условиях будет вариант конструкции режущего инструмента, имеющий следующие значения частных показателей:

$$\delta \rightarrow \min; Ra \rightarrow \min;$$

$$K_{\text{бл}} = \frac{Q_c}{l_1} \rightarrow \max;$$

$$M = \sum_{i=1}^{l_1} W_i g_i \rightarrow \min,$$

где $K_{\text{бл}}$ – коэффициент блочности;

Q_c – количество стандартизованных элементов в компоновке инструмента;

l_1 – общее количество элементов в конструкции режущего инструмента;

g – плотность инструментального материала.

Показатели надежности могут быть оценены по комплексу частных показателей, таких как стойкость конструкции T , напряжение в теле инструмента σ , перемещение вершины инструмента при приложении или снятии нагрузки, время $t_{\text{вос}}$ восстановления инструмента:

$$U \rightarrow \min; \sigma \rightarrow \min;$$

$$T = \Phi_t K_t;$$

$$\Phi_t = v^x s^y t^z \rightarrow \max;$$

$$t_{\text{вос}} = \Phi_{t_{\text{вос}}} K_{t_{\text{вос}}} \rightarrow \min;$$

$$K_{t_{\text{вос}}} = \frac{\Phi_{t_0}}{\Phi_t};$$

$$\Phi_{t_{\text{вос}}} = x_{\text{гр}} x_{\text{к}} \frac{\Phi_{t_0}}{\Phi_t} \rightarrow \min,$$

где Φ_t – величина, численно характеризующая переменную составляющую стойкости, зависящую от конструктивных и эксплуатационных параметров проектируемого инструмента;

K_t – поправочный коэффициент на стойкость инструмента для измененных условий обработки;

v – скорость резания;

s – подача;

t – глубина или ширина резания;

x, y, z – показатели степени;

$\Phi_{t_{\text{вос}}}, K_{t_{\text{вос}}}$ – соответственно переменные и постоянные составляющие времени $t_{\text{вос}}$ на восстановление инструмента (переточку или поворот режущего элемента);



Φ_{t_0} – норма времени на операцию металлообработки;

$x_{гр}$ – количество рабочих граней пластин;

x_k – число элементов крепления пластин.

Напряжения σ в теле инструмента и перемещения U вершины режущей кромки инструмента могут быть определены для каждого варианта конструкции путем лабораторных или численных экспериментов.

К числу частных эргономических показателей проектируемого инструмента следует относить норму времени Φ_t на операцию металлообработки, наличие и состав СОТС, уровень вибрации технологической системы, допустимую скорость резания, силу крепления режущих элементов, габаритные размеры и массу инструмента.

Таким образом, при оценке эргономичности проектируемой конструкции необходимо обеспечить:

$$\Phi_t \rightarrow \min; A \rightarrow \min; f \rightarrow \min; B \rightarrow \min, \quad (3)$$

где A – амплитуда собственных колебаний инструмента;

f – их частота;

B – состав СОТС.

Эстетичность проектируемой конструкции режущего инструмента следует определять по наличию в ее компоновке определенного набора конструктивных элементов. Например, любая конструкция режущего инструмента состоит из рабочей x_1 и хвостовой x_2 частей: $l_1 = \{x_1, x_2\}$. Рабочая часть инструмента l_{x_1} состоит из режущей x_{11} и калибрующей x_{12} частей. Хвостовая часть инструмента l_{x_2} объединяет в себе корпусную x_{21} , направляющую x_{22} и крепежную x_{23} части. Величины $l_{x_{11}}$, $l_{x_{21}}$, $l_{x_{22}}$ и $l_{x_{23}}$ определяют области формирования основных частей инструмента.

Эстетичность проектируемой конструкции следует определять по следующим частным показателям:

$$\begin{aligned} l_{x_1} &\rightarrow \min; l_{x_2} \rightarrow \min; l_{x_{11}} \rightarrow \min; \\ l_{x_{21}} &\rightarrow \min; l_{x_{22}} \rightarrow \min; \\ l_{x_{23}} &\rightarrow \min; l_{l_{\min}} \leq l_1 \leq l_{l_{\max}}; \\ l_{x_{1\min}} &\leq l_{x_1} \leq l_{x_{1\max}}; l_1 = [l_1]; l_{x_1} = \lfloor l_{x_1} \rfloor, \end{aligned} \quad (4)$$

где $[l_{x_1}]$, $[l_1]$ – минимально допустимый в соответствии со служебным назначением набор конструктивных элементов рабочей части и инструмента в целом.

К числу частных критериев, характеризующих технологичность проектируемого варианта конструкции режущего инструмента, следует относить минимальные затраты на основные материалы $\Phi_{к_м}$, стоимость (себестоимость) изготовления $\Phi_{ст}$ и сборки $\Phi_{к_сб}$ инструмента, основное время на операцию металлообработки Φ_{t_0} , минимальную длину инструмента Φ_L . Таким образом, технологичность проектируемой конструкции может быть оценена по следующей системе частных показателей:

$$\begin{aligned} \Phi_{к_м} &\rightarrow \min; \Phi_{ст} \rightarrow \min; \Phi_{к_сб} \rightarrow \min; \\ \Phi_{t_0} &\rightarrow \min; \Phi_L \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (5)$$

Экологические показатели характеризуют уровень вредного воздействия на окружающую среду, возникающего при эксплуатации инструмента. Частным показателем является показатель рационального стружкозавивания (стружкодробления) при резании:

$$\begin{aligned} \lambda_{\min} &\leq \lambda \leq \lambda_{\max}; \gamma_{\min} \leq \gamma \leq \gamma_{\max}; \\ s_{\min} &\leq s \leq s_{\max}; r_{\min} \leq r \leq r_{\max}; \\ h_{\min} &\leq h \leq h_{\max}, \end{aligned} \quad (6)$$

где λ – угол наклона главной режущей кромки инструмента;

γ – передний угол;

r – радиус скругления режущей кромки;

h – высота профиля зубьев.

К частным показателям безопасности режущего инструмента следует относить показатель рационального стружкодробления при



резании, максимально допустимую скорость резания, прочность механизма крепления элементов конструкции и инструмента в целом при соблюдении ограничения

$$P_{\min} \leq P \leq P_{\max},$$

где P_{\min} , P_{\max} – минимально и максимально допустимая сила резания.

При оценке конструкции проектируемого режущего инструмента следует рассчитывать показатель патентной чистоты варианта:

$$\Phi_{\text{к.п.т}} = \sum_{j=1}^{l_1} \sum_{i=1}^{10} \frac{l_1 - N_{ij}}{l_1} k_{ij} \rightarrow \min, \quad (7)$$

где N_{ij} – количество составных элементов инструмента, защищенных авторскими свидетельствами или патентами в России или странах предполагаемого экспорта;

k_{ij} – коэффициент весомости j -го составного элемента конструкции, защищенного авторскими свидетельствами или патентами в России или в странах предполагаемого экспорта по i -му показателю качества.

Среди показателей унификации, характеризующих насыщенность конструкции унифицированными и оригинальными составными элементами, следует выделить способность к унификации корпусных $l_{x_{21}}$ и крепежных $l_{x_{23}}$ элементов с различными вариантами режущих элементов $l_{x_{11}}$, вспомогательным инструментом и металлорежущим оборудованием. Показатель унификации может быть лимитирующим при оценке вариантов конструкций модульного режущего инструмента. Унификацию сборного режущего инструмента следует определять по следующим соответствиям:

$$l_{x_{11}} \subset l_{x_{21}}; l_{x_{11}} \subset l_{x_{23}}; l_{x_{21}} \subset l_{x_{23}}.$$

Заключение о технико-экономическом уровне режущего инструмента в общем случае может быть сформулировано на основе анализа обобщенных критериев эффективности – себестоимости и производительности операции металлообработки.

При сравнительной оценке качества вариантов конструкций инструментов, отличающихся либо компоновкой, либо типоразмером, а следовательно, стоимостью и временем резания, следует определять переменную составляющую технологической себестоимости операции металлообработки:

$$C = t(K_3 + K_{\text{ЭН}} + K_{\text{ИН}}) \rightarrow \min, \quad (8)$$

где t – норма времени;

K_3 , $K_{\text{ЭН}}$, $K_{\text{ИН}}$ – нормативы затрат на заработную плату основных рабочих, силовую электроэнергию, режущий инструмент.

Без учета стоимости возвратных отходов величина $K_{\text{ИН}}$ характеризуется первоначальной стоимостью (или себестоимостью) $C_{\text{ИН}}$ единицы рабочего инструмента и стоимостью (себестоимостью) $C_{\text{ВОС}}$ его восстановлений (переточек или поворотов режущего элемента):

$$K_{\text{ИН}} = \frac{C_{\text{ИН}} + C_{\text{ВОС}}}{Tn_{\text{ВОС}}} \rightarrow \min \quad (9)$$

или

$$K_{\text{ИН}} = \Phi_{K_{\text{ИН}}} K_{K_{\text{ИН}}} \rightarrow \min; \quad (10)$$

$$C_{\text{ВОС}} = \Phi_{C_{\text{ВОС}}} K_{C_{\text{ВОС}}} \rightarrow \min, \quad (11)$$

где $\Phi_{K_{\text{ИН}}}$ – величина, численно характеризующая переменную составляющую затрат на инструмент;

$K_{K_{\text{ИН}}}$ – постоянная величина затрат, не зависящая от конструктивных и эксплуатационных параметров проектируемого инструмента;

T – средняя стойкость инструмента между двумя восстановлениями;

$K_{C_{\text{ВОС}}}$ – возможное количество восстановлений инструмента;

$\Phi_{C_{\text{ВОС}}}$ – величина, численно характеризующая переменную составляющую затрат на восстановление инструмента.

Например, для сборного режущего инструмента переменная составляющая затрат на восстановление определяется количеством ра-



бочих граней режущего элемента и самих режущих элементов $x_{пл}$:

$$\Phi_{c_{вос}} = x_{гр} x_{пл}.$$

Для сравнительной оценки вариантов конструкций режущих инструментов, проектируемых для обработки конкретной детали, достаточно провести анализ и расчет составляющей нормы времени на операцию t_n , определяемой основным временем на операцию t_o и временем на восстановление режущего элемента $t_{вос}$:

$$t_n = t_o + t_{вос} \rightarrow \min; \quad (12)$$

где

$$t_o = \Phi_{t_o} K_{t_o} \rightarrow \min, \quad (13)$$

где Φ_{t_o}, K_{t_o} – соответственно переменные и постоянные составляющие основного времени на операцию металлообработки.

Например, для сборного режущего инструмента величины, численно характеризующие переменные составляющие нормы времени и производительности операции металлообработки, следует определять по выражениям:

$$\Phi_{t_n} = \Phi_{t_o} + x_{гр} x_k \frac{\Phi_{t_o}}{\Phi_t} \rightarrow \min; \quad (14)$$

$$\Phi_n = \frac{\Phi_t}{\Phi_{t_o} (\Phi_t + x_{гр} x_k)} \rightarrow \max. \quad (15)$$

Величины, численно характеризующие переменные составляющие технологической себестоимости операции металлообработки с использованием проектируемого инструмента и технологической себестоимости обработки поверхности, следует определять по выражениям:

$$\Phi_c = \sum_{i=1}^{I_1} (\Phi_{к_{ини}} + K_c) \Phi_{t_{in}} \rightarrow \min, \quad (16)$$

$$\Phi_c = \sum_{j=1}^{n_m} \sum_{i=1}^{I_1} (\Phi_{к_{ини}} + K_c) \Phi_{t_{nj}} \rightarrow \min, \quad (17)$$

где K_c – коэффициент, определяющий долю затрат на инструмент к затратам на заработную плату и электроэнергию;

$j = 1, \dots, n_t$ – количество операций технологического процесса обработки поверхности.

При оценке конкурентоспособности инструмента вначале определяют допустимые границы целевых функций частных параметров качества. Затем принимают за базовую какую-либо работоспособную конструкцию режущего инструмента, параметры качества которой находятся в установленных пределах. На третьем этапе оценивают конкурентоспособность проектируемой конструкции инструмента качественным или количественным способом.

Качественный метод оценки конкурентоспособности основан на выделении и обобщении следующих правил:

- оцениваемый образец считают превосходящим аналог, если он превосходит его хотя бы по одному потребительскому свойству и не уступает при этом ни по каким другим;

- образец считают уступающим аналогу, если он уступает хотя бы по одному потребительскому свойству и не превосходит его ни по каким другим;

- оценка конкурентоспособности считается неопределенной, если по части показателей оцениваемый образец превосходит аналог, а по части уступает ему; в этом случае следует выделить предпочтительные свойства и их ранжировать;

- оцениваемый образец считают равноценным аналогу, если все потребительские свойства у них совпадают.

При необходимости оценки проектируемой конструкции инструмента по групповым нормативным, техническим или экономическим показателям следует использовать количественный метод оценки конкурентоспособности по выражениям аддитивной и мультипликативной сверток.

Оценка конкурентоспособности по выражению аддитивной свертки частных критериев предпочтения



$$K_{ад} = \sum_{i=1}^n l_i k_{зн_i};$$

$$l_i = \frac{C_{iобр}}{C_{iан}},$$

где $k_{зн_i}$ – коэффициент значимости i -го показателя качества;

n – общее число целевых функций, подлежащих учету.

$C_{iобр}, C_{iан}$ – i -е потребительское свойство соответственно образца и аналога, которое может быть выражено системой частных критериев качества и целевых функций (1)–(17).

Значения частных потребительских свойств инструментов могут быть приняты по паспортным и экспериментальным данным. В случае качественного задания потребительских свойств они могут быть нормированы балльным методом.

К достоинствам аддитивной свертки относятся: учет большого количества потребительских свойств, изменение параметров влияет на конкурентоспособность в зависимости от их весомости.

Для уменьшения неравноценности влияния абсолютных значений отдельных целевых функций на итоговый результат при формировании аддитивной свертки следует проводить шкалирование значений целевых функций критериев предпочтения относительно их заданных возможных экстремальных значений.

Оценка конкурентоспособности по выражению мультипликативной свертки частных критериев предпочтения

$$K_{мульти} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n l_i}.$$

Окончательное решение о конкурентоспособности проектируемого инструмента принимается по среднему коэффициенту конкурентоспособности

$$K_{кc} = \frac{K_{ад} + K_{мульти}}{2}.$$

При $K_{кc} < 1$ проектируемый вариант инструмента уступает аналогу (базовому), при $K_{кc} = 1, \dots, 1,1$ – конкурентоспособность вариантов равна; при $K_{кc} > 1,1$ проектируемый вариант превосходит образец.

Выводы

Сформирована система целевых функций, позволяющая оценить конкурентоспособность режущих инструментов по одному или множеству частных критериев предпочтения при проектировании.

В качестве критериев предпочтения могут быть приняты любые известные технико-экономические характеристики инструментов. Изменение критерия выбора не оказывает влияния на сформированные структуры целевых функций.

Библиографический список

1. **Справочник** конструктора-инструментальщика / под общ. ред. В.А. Гречишникова и С.В. Кирсанова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2006.
2. **Управление** качеством, персоналом и логистика в машиностроении / С.В. Лукина и др.: учеб. пособ. 2-е изд. СПб.: Питер, 2005.

УДК 621.757

Ю.З. Житников, Б.Ю. Житников, д-ра техн. наук, профессора,
Ю.Н. Матросова, канд. техн. наук, доцент (Ковровская государственная
технологическая академия им. В.А. Дегтярева)
E-mail: kgta_tms@mail.ru

Способ повышения точности моментов затяжки при сборке резьбовых соединений одношпindelными гайковертами ударного действия*

Предложен способ повышения точности моментов затяжки резьбовых соединений одношпindelными гайковертами ударного действия.

In work the way of increase of accuracy of the moments of an inhaling of carving connections single-spindle screwdrivers shock action is offered.

Ключевые слова: ударный гайковерт, точность, момент затяжки, угол затяжки.

Keywords: shock screwdrivers, accuracy, the inhaling moment, an inhaling corner.

В современном производстве требуется обеспечивать сборку одиночных резьбовых соединений одношпindelными гайковертами с погрешностями моментов затяжки не более 30 % номинального значения. Для сборки резьбовых соединений широкое применение нашли одношпindelные гайковерты ударного действия, которые делятся на редкоударные (2–3 удара/с) и высокоударные (16–200 ударов/с).

Классическая схема конструктивного исполнения редкоударного гайковерта [1] представлена на рисунке.

Ударный механизм размещен в корпусе 3 и содержит боек 7 с рабочими кулачками 5, подпружиненный пружиной 8, и наковальню 4 с рабочими кулачками 21, изготовленную за одно целое со шпинделем 22. На приводном валу 17 выполнены спиральные канавки 18, на

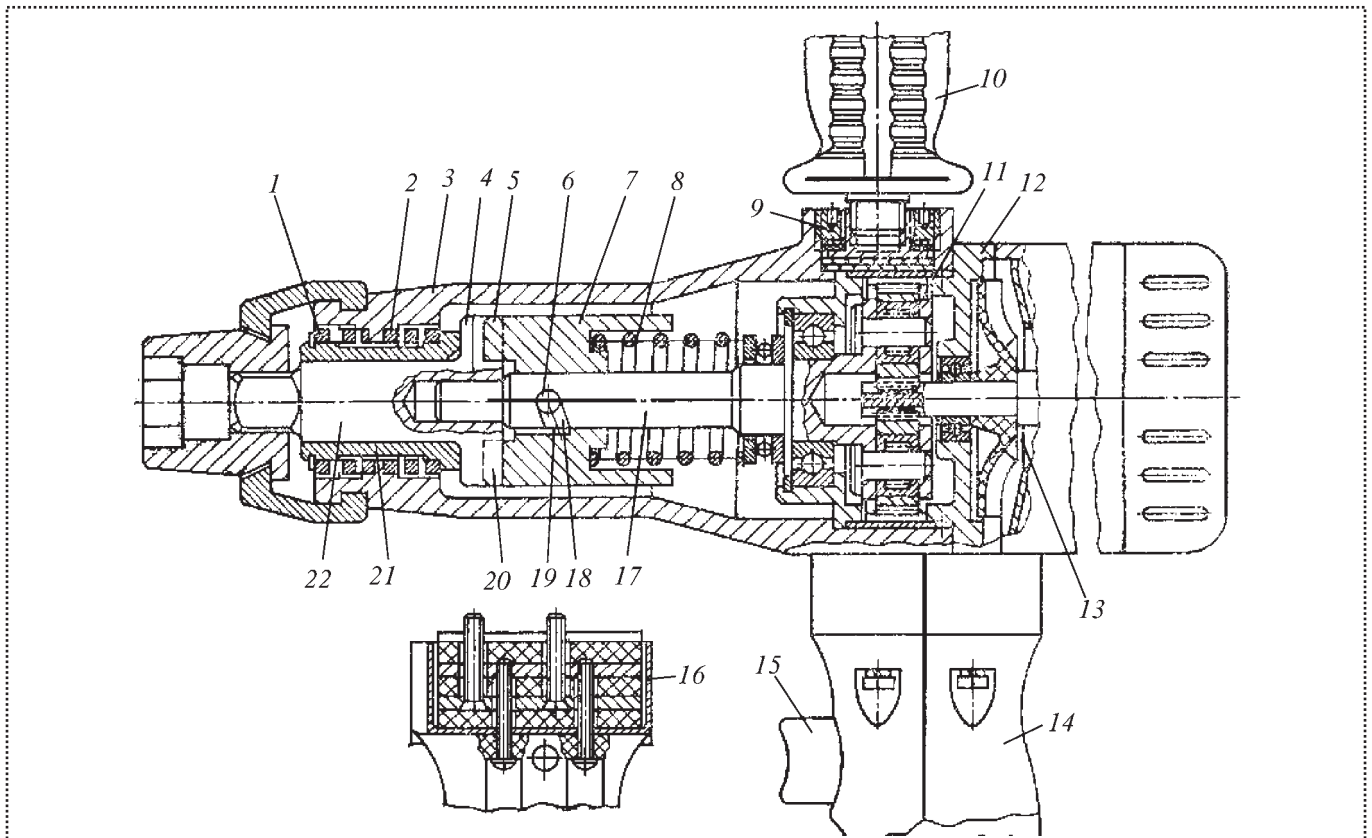
бойке – кулачковые поверхности 19, взаимодействующие через шарики 6. Планетарный редуктор 11 также размещен в корпусе 3, который через промежуточный щит 12 соединен с корпусом двигателя 13. Гайковерты снабжены основной рукояткой 14 с пусковым курком 15 и дополнительной съемной рукояткой 10.

Виброгасящие элементы гайковертов в виде металлорезиновых пакетов 9 и 16 размещены между корпусом и рукоятками, кроме того, подшипниковая втулка 21 шпинделя 22 упруго подвешена с помощью пружин 1 и 2.

После установки торцевой головки на затягиваемую гайку (болт) и включения электродвигателя боек 7 и наковальня 4, сцепленные рабочими кулачками 5 и 20, вращаются как единое целое и передают на шпindel вращающий момент от вала редуктора или двигателя.

Как только сопротивления в резьбовой паре превысят величину, определяемую в основном силой предварительного сжатия пружины 8, углом наклона спиральных канавок 18 и кулачковых поверхностей 19, боек отстает во вращательном движении от приводного вала 17 и в результате взаимодействия шариков 6, канавок 18 и кулачковых поверхностей 19 движется в осевом направлении от наковальни 4, сжимая пружину 8. Осевое перемещение бойка продолжается до тех пор, пока не расцепятся рабочие кулачки 5 и 20. После этого под действием пружины 8 вращающийся боек перемещается в направлении наковальни и западает рабочими кулачками 5 между рабочими

*Работа выполнена в рамках реализации государственного контракта № 14.740.11.0984.



Вибробезопасный гайковерт с винтовым перемещением бойка

кулачками 20 наковальни. При этом кинетическая энергия вращающегося бойка, в которую преобразовалась работа двигателя и накопленная работа деформации пружины, посредством вращательного удара передается на наковальню и через торцовую головку – в затягиваемое соединение, где преобразовывается в работу затяжки. Боек и наковальня находятся в контакте до полного затормаживания, после чего расцепляются, и описываемый процесс периодически повторяется.

Процесс завинчивания и предварительной затяжки резьбовых соединений до момента начала процесса ударной затяжки описывается дифференциальным уравнением в проекции на ось вращения шпинделя:

$$I_z \ddot{\phi} = M_{кр} - M_c,$$

где I_z – приведенный момент инерции вращающихся частей гайковерта и резьбовой детали к оси шпинделя;

$\ddot{\phi}$ – угловое ускорение в процессе предварительной затяжки;

$M_{кр}$ – максимальный момент предварительной затяжки;

M_c – максимальный момент сопротивления в подвижных элементах гайковерта, приведенный к оси шпинделя, и сопротивление в резьбовом соединении при предварительной затяжке.

Максимальная погрешность момента предварительной затяжки определяется сопротивлением в резьбовом соединении, которое в основном определяется нестабильностью коэффициентов трения в резьбе и на торце болта.

Процесс ударной затяжки описывается дифференциальными уравнениями:

– для первого удара

$$I_z \ddot{\phi} = M_1^{уд} - M_{1кр};$$



– для второго удара

$$I_z \ddot{\phi} = M_2^{уд} - (M_1^{уд} - M_{1кр});$$

.....

– для n -го удара

$$I_z \ddot{\phi} = M_n^{уд} - [M_{n-1}^{уд} - (M_{n-2}^{уд} - M_{(n-2)кр})],$$

где $M_1^{уд}, M_2^{уд}, \dots, M_n^{уд}$ – моменты ударных импульсов;

$M_{1кр}, M_{2кр}, \dots, M_{(n-2)кр}$ – моменты затяжки при каждом ударе.

Нет необходимости решать данные уравнения, чтобы определить последовательное возрастание погрешности момента затяжки при каждом ударе, тем более что диапазон разбро-

са погрешностей при каждой сборке резьбового соединения может достигать 35 %.

Для уменьшения погрешностей моментов затяжки ударными гайковертами необходимо дополнительно ввести контроль по углу поворота резьбовой детали, а не осуществлять контроль по числу ударов при затяжке. Такое решение несколько усложнит конструкцию гайковертов, но решит проблему повышения их точности. При контроле точности момента затяжки по углу поворота резьбовой детали можно обеспечить погрешность в пределах 10 % его номинального значения.

Библиографический список

1. Гельфанд М.Л. Сборка резьбовых соединений / М.Л. Гельфанд, Я.И. Ципенюк, О.К. Кузнецов. М.: Машиностроение, 1978.

СПРАВОЧНИК СВАРЩИКА

О.Г. Быковский, В.Р. Петренко, В.В. Пешков

2011. – 336 с. ISBN 978-5-94275-557-7

Цена 500 р.



В справочнике систематизирована информация о свариваемости сплавов на железной основе, технических возможностях известных электродных материалов и способов электрической и газовой сварки, наплавке и напыления сталей и сплавов. Приведены параметры, режимы этих технологических процессов, технические характеристики современного оборудования для ручных и механизированных способов сварки, резки, наплавки и напыления при изготовлении металлоконструкций.

Рассчитан на специалистов, работающих в области сборочно-сварочного производства, будет полезен студентам, обучающимся по специальности “Оборудование и технология сварочного производства” в учебных заведениях всех уровней аккредитации и рабочим-сварщикам.

107076, г. Москва, Стромывский пер., 4; факс: (499) 269-48-97; e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98.
WWW.MASHIN.RU

УДК 62-18'2.52

А.В. Дроботов, инженер, М.Г. Кристаль, д-р техн. наук
(Волгоградский государственный технический университет)
E-mail: crysmar@mail.ru

Повышение быстродействия и точности позиционирования пневматических поворотных столов*

Рассмотрены особенности перемещения изделий при автоматической сортировке и комплектации, обозначены способы повышения быстродействия, проведено сравнение быстродействия известных конструкций поворотных столов и устройств на основе пневматического турбинного привода и воздушной прослойки. Представлен цикл работы такого поворотного стола и схема пневмораспределителя, предназначенного для повышения точности позиционирования планшайбы.

The features of work-parts automatic transporting for sorting and completion are investigated, indicated ways to improve performance, a performance of well-known structures and rotary tables based on air-turbine drive and an air layer compared. A cycle of rotary table and a scheme of pneumatic valve for positioning accuracy increasing are represented.

Ключевые слова: поворотный стол, быстродействие, точность позиционирования, пневматический турбинный привод.

Keywords: rotary indexing table, processing speed, positioning accuracy, air-turbine drive.

Для достижения заданных показателей точности серийно выпускаемых изделий зачастую используют метод групповой взаимозаменяемости. Он предусматривает автоматическую сортировку деталей по группам с последующим комплектованием и сборкой изделий. Наибольшее время при сортировке занимает перемещение деталей от измерительной позиции к сортировочному отсеку, а при комплектовании – перемещение деталей из накопителей к позиции сборки. Это ограничивает производительность таких процессов.

*Работа выполнена в рамках реализации государственного контракта № 14.740.11.0984.

Для автоматической сортировки и комплектования изделий, например деталей подшипников массой более 0,5 кг, целесообразно использовать автоматические поворотные столы (ПС), выполненные на базе устройств поворота с переменным характером трения [3]. Особенностью таких конструкций является то, что поворот подвижной части ПС с планшайбой осуществляют на воздушной прослойке турбинным приводом, на турбину которого воздействуют струи сжатого воздуха, истекающие из сопел разгона или торможения. Позиционирование планшайбы обеспечивается системой временного управления по показаниям датчика обратной связи, а ее фиксация – созданием между основанием ПС и подвижной частью разрежения.

Использование предложенных ПС предполагает, что технологические или вспомогательные устройства располагают равномерно по периферии ПС. При сортировке и комплектовании характерно не последовательное перемещение детали от позиции к позиции, а поворот через несколько позиций и реверс.

В конструкциях ПС, в которых для поворота планшайбы используют электромеханический или пневматический приводы, а в качестве делительного устройства – храповой, мальтийский или зубчатый механизмы, остановку в заданном угловом положении осуществляет фиксатор в виде штока или муфты. Такие механизмы поворачивают планшайбу только на один угловой шаг φ_2 за время t_2 (рис. 1), а остановка происходит за время $t_{x,x}$ холостого хода ($t_{x,x} = t_2 k_{x,x}$, где $k_{x,x}$ – коэффициент холостого хода). Из рис. 2 видно, что поворот на угол $\varphi_1 = n\varphi_2$ без промежуточных остановок происходит существенно быстрее,

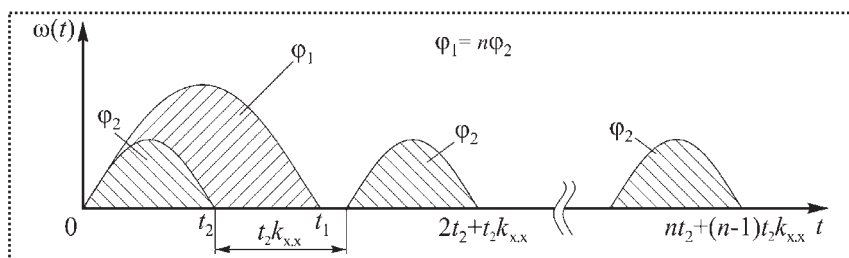


Рис. 1. Поворот на угол φ_1 за один шаг и за n шагов:
 $\omega(t)$ – угловая скорость поворота планшайбы ПС

чем поворот на тот же угол за n шагов с $n - 1$ остановками. Если принять за единицу угловую скорость поворота планшайбы, то в общем случае коэффициент быстродействия $\zeta = \sqrt{n} / [n + (n - 1)k_{xx}]$.

Предложенная конструкция поворотного стола [2] с реверсируемым пневматическим турбинным приводом позволяет выполнить поворот на произвольный угол без промежуточных остановок, обеспечивает практически полное отсутствие холостых ходов, характеризуется низкой конструктивной сложностью.

Цикл управления таким ПС состоит из следующих этапов.

1. Создание воздушной прослойки между подвижной и неподвижной частями устройства путем подачи через пневмораспределитель сжатого воздуха в зазор между ними. Это приводит к всплытию подвижной части за время $t_{вспл}$ (рис. 3). Поскольку пневмораспределитель, обеспечивающий всплытие, обладает некоторой задержкой по времени срабатывания, то к питанию его обмотки необходимо под-

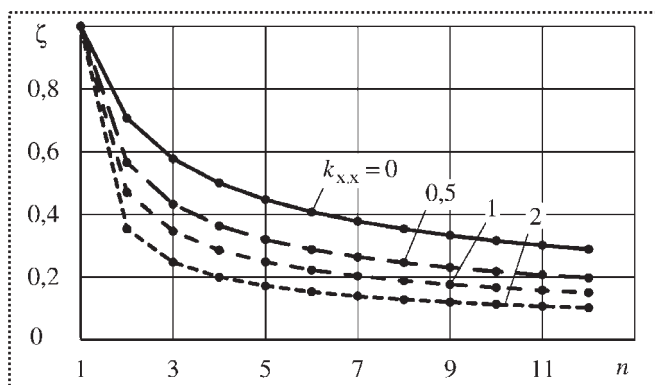


Рис. 2. Зависимость коэффициента ζ быстродействия поворота на угол $\varphi_1 = n\varphi_2$ от числа n угловых шагов при различных значениях коэффициента k_{xx} холостого хода

ключить ранее, на величину $t_{пр1}$ времени его срабатывания.

2. Включение на время t_p через пневмораспределитель поворота питания сопла 7 разгона турбины 6 (рис. 4) пневматического турбинного привода в прямом направлении и разгон планшайбы ПС (пневмораспределитель поворота также включают ранее на величину $t_{пр2}$ времени его срабатывания).

3. Включение на время торможения t_t через пневмораспределитель поворота питания сопла 5 торможения турбины 6 пневматического турбинного привода в режим реверса и торможение планшайбы ПС (команду на переключение пневмораспределителя подают за время $t_{пр2}$ – см. рис. 3).

4. Создание разрежения в зазоре между неподвижной и подвижной частями поворотного стола для фиксации планшайбы последнего (команду на подключение питания пневмораспределителя фиксации подают за время $t_{пр1} + t_{фикс}$ до момента достижения требуемого угла поворота – см. рис. 3).

На экспериментальном образце предложенного ПС проведена оценка [1] величин времени $t_{вспл}$ всплытия, времени разгона t_p , времени торможения t_t и времени фиксации $t_{фикс}$ его подвижной части. На рис. 3 представлен закон изменения угловой скорости $\omega(t)$ планшайбы ПС в процессе поворота последней на заданный угол в 100° , полученный по показаниям

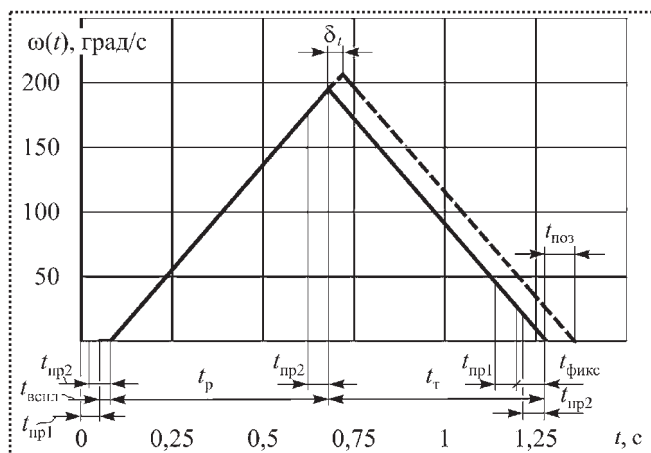


Рис. 3. Закон изменения скорости поворота $\omega(t)$ подвижной части ПС

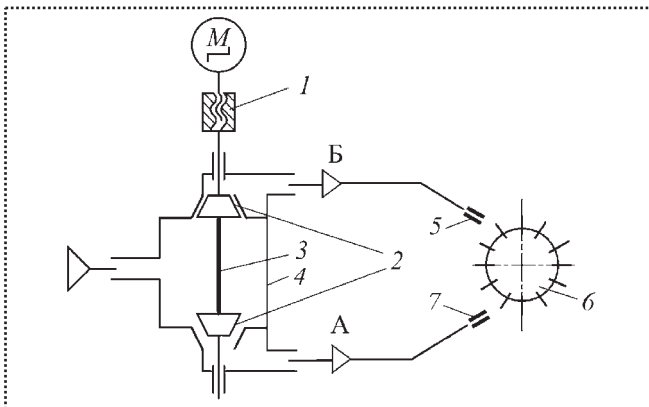


Рис. 4. Устройство дифференциального управления позиционированием планшайбы ПС

датчика угла поворота ЛИР-158А-2500 и подтвержденный скоростной видеосъемкой камерой VS-FAST/G06. Однако погрешность δ_t времени ($t_{пр1}$ и $t_{пр2}$) срабатывания пневмораспределителей приводит к образованию временной погрешности $t_{поз}$ позиционирования, что приводит к угловой погрешности в $10\text{--}15^\circ$ позиционирования планшайбы ПС.

Для повышения точности позиционирования планшайбы ПС предложен дифференциальный автоматический дроссель (см. рис. 4), позволяющий перераспределять расход сжатого воздуха между соплом 7 разгона (подключенного к каналу А) и соплом 5 торможения (подключенного к каналу Б) пневматического турбинного привода 6. В устройстве шаговый двигатель M соединен через передачу 1 винт-гайка со штоком 3, с обеих сторон которого расположены иглы 2, взаимодействующие с находящимся в корпусе 4 коническими окнами. Перемещение штока 3 вверх увеличивает расход сжатого воздуха через канал А и, соответственно, уменьшает его расход через канал Б. Это приводит к росту крутящего момента на турбине 6 при разгоне. Смещение штока в противоположном направлении увеличивает крутящий момент на турбине привода при торможении. Для обеспечения повышенной точности позиционирования с использованием предложенного устройства применяют следующий алгоритм.

Разгон турбины (рис. 5) выполняют до достижения планшайбой половины заданного системой управления угла поворота ($0,5\varphi$).

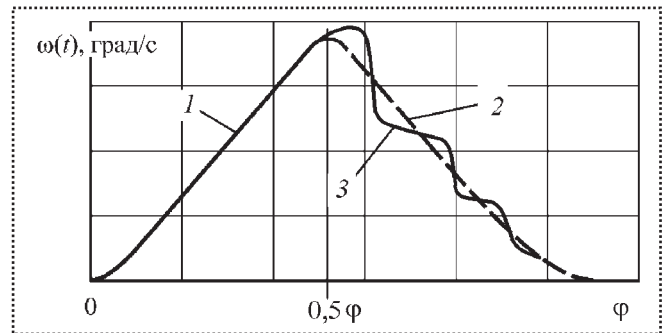


Рис. 5. Закон изменения скорости поворота $\omega(t)$ планшайбы ПС с дифференциальным автоматическим дросселем

При этом с датчика угла поворота снимаются показания значений угловой скорости $\omega(t)$ и угла поворота $\varphi(t)$ и заносятся в соответствующие массивы, по которым получают зависимость $\omega = f(\varphi)$. Затем эту зависимость 1 в интервале значений $\varphi \in [0, 0,5\varphi]$ зеркально отображают до интервала $\varphi \in [0,5\varphi, \varphi]$. Полученный таким образом годограф 2 является траекторией-задатчиком. Сравнение значений этой траектории с показаниями 3 датчика обратной связи ПС позволяет вырабатывать сигнал управления работой шагового двигателя M .

В зависимости от знака управляющего сигнала изменяется направление вращения вала двигателя, что приводит к перераспределению потоков сжатого воздуха в каналах А и Б и, соответственно, соплах 5 и 7 (см. рис. 4).

Такой подход позволяет исключить влияние временной погрешности срабатывания пневмораспределителей, перейти от временного к позиционному управлению работой поворотного стола, повысить точность его позиционирования.

Библиографический список

1. Дроботов А.В., Кристаль М.Г. Динамика перемещения планшайбы перенастраиваемого поворотного стола со струйным приводом // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2010. № 5. С. 8–11.
2. Дроботов А.В., Кристаль М.Г. Особенности управления работой струйных поворотных устройств // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2010. № 3. С. 13–16.
3. Кристаль М.Г., Дроботов А.В., Чернышев Д.Ю. Автоматические поворотные устройства с турбоприводом для сборки // Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej № 279 (Mechanika, z. 83). Rzeszow 2011. P. 113–117.

СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ. ПАЙКА

УДК 621.79:669.2

О.Г. Быковский, д-р техн. наук (Запорожский национальный технический университет, Украина)
E-mail: ershov@zntu.edu.ua

Современное состояние технологии сварки цветных металлов и сплавов (Обзор*)

Проанализированы основные трудности, связанные со свариваемостью алюминия и его сплавов (наличие оксидной пленки, пористость, склонность к образованию горячих и холодных трещин, обеспечение равнопрочности) и пути их преодоления как на стадии предварительной подготовки изделий под сварку, так и во время сварочного процесса. Приведены отечественные и зарубежные сварочные материалы, а также способы и технологические рекомендации по сварке этих сплавов. Рассмотрены современные тенденции по совершенствованию свариваемости, технологии и техники изготовления сварных алюминиевых металлоконструкций.

The article the main problems connected with welding capacity of aluminum and its alloys (oxide film, weld porosity, inclination to form hot-tearing and cooling cracks equivalent solid) and the ways that help to overcome them both on stage to preliminary prepare of wares before welding and during of the welding process are analyzed. The fatherland and foreign welding materials are presented as the methods and technological recommendations by the welding this alloys are given too. Modern tendencies on perfection welding capacity, technology and technique of manufacture aluminum welded constructions are examined.

Ключевые слова: сварка, цветные металлы, алюминий, оксидная пленка, свариваемость, электрод, импульсный ток, металл шва, присадочные материалы.

Keywords: welding, non-ferrous metals, aluminium, oxide film, welding capacity, electrode, current pulses, welded metal, welding materials.

Работоспособность соответствующих изделий, часто эксплуатирующихся в экстремальных условиях (повышенные и пониженные

* Составлен на основе анализа рекомендованной литературы и статей в периодических изданиях за последние 25 лет.

температуры, наличие агрессивных сред, трение металла о металл и т.п.), зависит от качества сварных соединений, которое в значительной степени определяется свариваемостью металла. Для преодоления трудностей, обусловленных этим показателем, часто приходится использовать присадочные материалы, отличающиеся по составу от основного металла, специальные технологические приемы и технику сварки.

Хотя наибольшее количество металлоконструкций изготавливается из сталей и чугунов, отдельные отрасли экономики требуют использования изделий из цветных металлов и сплавов. Так, при производстве судов, самолетов, вагонов, автомобилей, строительных конструкций с каждым годом возрастают объемы использования алюминиевых сплавов, авиакосмическая и ракетная техника немыслима без применения титановых и магниевых сплавов, а изделия из меди, никеля и их сплавов, а также свинца незаменимы в металлургической, нефтехимической, электротехнической и других отраслях.

Как и стали, цветные металлы и сплавы можно рассматривать относительно их технологической свариваемости, разделяя их на отдельные группы.

К *первой группе* относятся сварные соединения, которые можно получить без использования каких-то особенных дополнительных приемов; такие материалы характеризуются хорошей свариваемостью.

К *второй группе* относятся сварные соединения, высокое качество которых можно обеспечить только при условии строгого выполнения параметров режима сварки и использова-



Таблица 1

Технологическая свариваемость конструкционных цветных металлов и сплавов

Свариваемый металл	Группа свариваемости	Рекомендованные способы сварки ¹
АД0, АД1, АМц, АМг3, АМг6, Д1, Д31, АК12, АК5М, АК12М2МгН (АЛ25), серия 1400	II II III	P ² , ПЗ ² , НЭ ² , ПФ, ЭШ, К, Э, Т, Г ³ P ³ , НЭ ³ , ПЗ НЭ ³ , ПЗ ³ , Т
МА1, МА3 МЛ3, МЛ8	II III	НЭ ³ , К, ПЗ ³ , Г ² НЭ ³ , Г ²
ВТ1-00, ВТ1-0, ВТ5	I	ПЗ, НЭ, ПФ, ЭШ, К, Т, Э
ОТ4, ВТ20, АТ2, ВТ6, ВТ15	II	НЭ, К, Т, Э
М0, М1, М2, БрМц2 Л63, ЛЦ63, А6Ж3Мц2 БрАЖ9-4, БрАМц9-2 БрАМцЖ8,5-4-4-1,5, БрКМц3-1 БрОЦС 5-5-5	II II II II II III	Г ⁴ , P ⁴ , ПЗ, НЭ, ПФ, ЭШ, К, Т Г ⁴ , P ² , ПЗ, НЭ, К, Т P ² , ПЗ, НЭ, ПФ, Г, К P, НЭ, Г ² P ⁵ , Г ² , НЭ, ПФ ² , ПЗ
БрХ07 МНЖ 5-1, МНЖМц 30-1-1	III I	P ² , ПЗ ² , ПФ Г, P, НЭ, ПЗ, ПФ
НП1, НП2 Х20Н80, НМЖМц28-2,5-1,5	I	Г, P, ПФ, НЭ, ЭШ, К
С0, С1, С2	I	Г ⁵ , P ⁵ , НЭ ⁵ , Т
Композиты	III	НЭ ⁶ , ПЗ ⁶ , Т ⁶
Алюминий + медь Алюминий + титан Титан + медь	II II II	НЭ ⁶ , Т НЭ, Т, К НЭ, Т

¹ Г – газовая; P – ручная графитовым или покрытым электродом; ПЗ – плавящимся электродом в защитных газах; НЭ – неплавящимся электродом в защитном газе; ПФ – под флюсом; ЭШ – электрошлаковая; К – контактная; Э – электронно-лучевая; Т – в твердой фазе.
² Необходим подогрев.
³ Необходимы подогрев и термическая обработка.
⁴ Необходимы подогрев и проковка.
⁵ Рекомендуется проковка.
⁶ Через третий металл или биметалл.

нии специальных электродных материалов, хотя иногда может быть рекомендовано выполнение предварительного подогрева, проковка швов, термическая обработка; такие материалы имеют удовлетворительную свариваемость.

К *третьей группе* относятся сварные соединения, высокое качество которых может быть достигнуто только при обязательных дополнительных операциях: предварительный (а иногда и сопутствующий) подогрев, проковка швов, промежуточная и финишная термическая обработка. Материалы этой группы при их обработке нуждаются в соблюдении дополнительных требований к качеству основного материала. Такие материалы имеют ограниченную свариваемость.

К *четвертой группе* относятся сварные соединения, высокое качество которых получить практически невозможно, несмотря на перечисленные дополнительные мероприятия. Эти материалы обладают плохой свариваемостью и не могут быть рекомендованы для изготовления сварных конструкций.

С учетом всего сказанного можно следовать рекомендациям относительно применения тех или иных способов сварки, приведенным в табл. 1.

Алюминий и его сплавы

По объему применения в металлоконструкциях эти материалы занимают 2-е место после сталей и чугунов и используются в различном



состоянии: деформированном, литом, термически обработанном и т.п. Основной трудностью при сварке плавлением является необходимость разрушения тугоплавкой ($T_{пл} = 2050\text{ °C}$) и не растворимой в жидком алюминии ($T_{пл} = 660\text{ °C}$) оксидной пленки Al_2O_3 , которая засоряет сварочную ванну и способствует пористости, являясь поверхностью раздела, облегчающей зарождение пор. Пленка может быть причиной микротечей и возникновения газопроводных каналов, которые под действием малоциклового растяжения превращаются в сквозные, а в сплавах серии 1400 они образуются в виде нитеподобных включений.

Толщина и структура оксидных пленок зависят от химического состава сплава. Толщина может отличаться в 4–24 раза и во всех случаях оксидная пленка является источником концентраторов напряжений, снижающих служебные характеристики металлоконструкции.

Борьба с пленкой ведется как на стадии предварительной подготовки поверхности под сварку, так и во время сварки за счет выбора параметров режима и сварочных материалов.

На первом этапе оксидную пленку со свариваемых кромок и околошовной зоны удаляют механическим путем щетками из нержавеющей проволоки или шабером, периодически промывая их ацетоном, и этого может быть достаточно при сварке сравнительно малоответственных и крупногабаритных сварных конструкций. Для изделий ответственного назначения обязательна последующая химическая обработка основного и особенно присадочного металлов; с последним в сварочную ванну поступает почти в 10 раз больше оксидов и других загрязнений. Существующие традиционные методы очистки предполагают применение щелочных и кислотных растворов разных составов, после обработки которыми оставшаяся пленка имеет небольшую равномерную толщину. При этом сварка подготовленных деталей должна быть выполнена в течение 16 ч, срок хранения проволоки на открытом воздухе — не более 12 ч, а в герметической таре — не больше

36 ч, так как толщина пленки с течением времени увеличивается.

Большей эффективности и производительности можно достичь проведением специальной магнито-абразивной очистки путем воздействия на поверхность порошковой ферромагнитной абразивной массы (Fe 60 %, TiC 40 %; серый чугун, ферромагнитный корунд) и т.п., уплотняемой энергией магнитного поля. Вместе со специальными смазочно-охлаждающими жидкостями эта смесь удерживается силами магнитного поля между вращающимися чашеобразными полюсными наконечниками и при поступательном движении кромок пластины обеспечивает зачистку одновременно торцевых и прилегающих боковых поверхностей детали. Качественно обработанная поверхность имеет светлый цвет с матовым оттенком.

В случае длительных циклов сборочно-сварочных работ оптимальным способом считается проведение термовакуумной обработки деталей (нагрев до 470 °C и выдержка в вакууме в течение 1–3 ч), что способствует термической диссоциации водородосодержащих фаз, удалению газов из микронесплошностей и из твердого раствора. Последующее высокоскоростное фрезерование и нанесение на кромки специального неметаллического покрытия позволяет продлить срок хранения деталей до 30 сут. Второй этап борьбы с оксидной пленкой проходит в сварочной ванне: она разрушается от действия сварочной дуги (катодное распыление) или вследствие химической реакции между пленкой и компонентами флюсов или покрытий, содержащих хлористые и фтористые соли щелочно-земельных металлов.

Последние вступают в реакцию с пленкой, разрыхляют и разжижают ее и переводят в легкоплавкий шлак. Эффективное удаление пленки осуществляется за счет создания специальных гидродинамических условий движения жидкого металла в сварочной ванне, что обеспечивается наложением на дугу кратковременных мощных импульсов, а также использованием асимметричного разнополярно-



го тока со сменой его амплитуды в период обеих полярностей или увеличением тока только в период прямой полярности.

Необходимо отметить, что чрезмерная очистка ванны от оксидной пленки ухудшает повторное зажигание дуги, она "задыхается", что свидетельствует о полной очистке сварочной ванны от пленки.

Можно считать эффективным и подогрев сварочной проволоки до 200 °С непосредственно при сварке на длине до 100 мм. Этим предотвращается охлаждение участка сварочной ванны в месте подачи проволоки, повышение и выравнивание температуры по всей ее поверхности, что способствует более действенному катодному разрушению пленки. Для исключения образования оксидных пленок в корне шва, уменьшения пористости и содержания газов в сварном шве эффективно применение специальных флюсов-суспензий, содержащих модификаторы (фторбораты и фторцирконаты калия МАТИ-6, ТФА-5), которые наносятся в корень шва и на боковые поверхности свариваемых деталей. При этом увеличивается поверхностное натяжение расплавленного металла в корне шва, что важно при сварке труб "на весу", облегчается отделение оксидных пленок от подложки и выведение их в шлак, дегазация и рафинирование сварочной ванны.

Пористость сварных швов связана со скачкообразным уменьшением растворимости водорода и других газов при переходе металла из жидкого состояния в твердое и обусловлена причинами металлургического и технологического характеров. Дефекты в виде пор, микровздутий и трещин возникают вследствие плохой металлургической наследственности, когда поверхностные слои насыщаются не только водородом, но и оксидом и диоксидом углерода и углеводородами, что имеет место при выплавке сплавов в газопламенных печах. Алюминиевые сплавы серии 1400 особенно склонны к пористости в зоне сплавления с основным металлом вследствие выделения углеводородных и литиевых соединений, как с поверхности, так и из основного металла впереди фронта плавления,

которое продолжается в сварочной ванне. Поскольку условия выделения пузырей в зоне сплавления и в корне шва стесненные, а время всплытия пузырей больше времени существования в жидком состоянии, то в результате образуются цепочки пор, а толщина газонасыщенных слоев составляет от 0,03 до 0,1 мм. Поэтому перед сваркой сплавов серии 1400 необходимо удалять поверхностный слой на глубину до 0,2 мм, а содержание водорода в основном металле должно быть ограничено величиной 0,7 см³/100 г. Для борьбы с подповерхностными порами необходимо применять термовакуумную обработку заготовок перед сваркой, зазоры при сборке металла толщиной 1–3 мм должны быть в пределах 0–0,05 мм, для толщины 4–6 мм – не больше 0,7 мм, а прихватки необходимо выполнять с полным проплавлением при минимальном их числе.

С учетом всего сказанного для сварных конструкций из этих сплавов следует использовать только металл, полученный вакуумно-индукционной плавкой, с вакуумным миксером и разливкой в инертной атмосфере. Для гарантированного получения сварных швов с минимальной пористостью при сварке на отливках пористость последних должна быть не более 2 баллов по ОСТ 1.90029–79, а при изготовлении литоштампосварных конструкций балл пористости на отливках не должен превышать 1. Необходимо также соблюдать и требования к хранению деталей и проволоки до сварки. Так, после шабрения срок хранения составляет 5 ч, после удаления газонасыщенного слоя на глубину 0,2 мм – 3 мес., после термовакуумной обработки – 12 мес.

Присадочная проволока может храниться: после химического полирования в открытой кассете – 16 ч, в полиэтиленовом чехле – 38 ч, в герметичной таре в инертных газах – 120 ч.

На склонность к пористости оказывает влияние расход защитного газа и его минимальное давление, при которых пористость отсутствует. Подбором защитных газов и составом газовых смесей можно активно управлять порообразованием.



Так, при сварке сплавов АД0, АМг5, АМг6 с использованием сварочных проволок СвА5, СвАМг6 беспористые швы легче получить при сварке в газовых смесях: для сплава АД0 это 25–30 % Ar + 75–70 % He, а для сплава АМг6 это 55–45 % Ar + 45–55 % He.

Для улучшения условий выхода газовых пузырей применяют предварительный и сопутствующий подогрев: для сплава АМг6 – не более 100 °С, а для сплава АД0 – 100–200 °С.

Необходимо также управлять и скоростью охлаждения алюминиевых сплавов, что определяется содержанием в них магния. Так, для чистого алюминия она должна быть меньше 50 °С/с, а для сплава АМг6, наоборот, больше 50 °/с, так как при большом времени существования сварочной ванны увеличивается объем β -фазы, что приводит к образованию рыхлых участков и несплошностей. Как и в случае борьбы с оксидной пленкой, лучше использовать пульсирующую дугу асимметричного разнополярного тока прямоугольной формы, что создает условия для интенсивного перемешивания сварочной ванны и своевременного зарождения, срастания и удаления пузырей. Вообще хорошо очищенная от окисных пленок сварочная ванна всегда будет обеспечивать получение беспористого шва.

Существенно снизить склонность к порообразованию можно при уменьшении погонной энергии, а также за счет электромагнитного перемешивания сварочной ванны.

Температура и влажность в помещении оказывают также влияние на пористость, что связано с образованием конденсата на поверхности металла. Поэтому сборочно-сварочные работы можно выполнять только при температуре не ниже 10 °С при отсутствии сквозняков и потоков воздуха, ухудшающих защиту плавильного пространства.

Наличие внутренних дефектов в виде окисных пленок и пористости в сварных швах у сплавов, например, серии 1400 в количестве 1–2 % от площади рабочего сечения снижает показатели прочности таким образом: оксид-

ные пленки на 10–15 %, поры – на 3–10 %; поэтому в сварных швах допускаются дефекты в виде пор – не более 5 %, а в виде оксидных пленок не более 3 %.

Образование горячих трещин обусловлено действием металлургических и технологических факторов. Первое обычно связывается с совместным влиянием содержания железа и кремния, с образованием эвтектик в высоколегированных сплавах, при сварке разноименных алюминиевых сплавов и т.п. Горячие трещины возникают при температуре ниже солидусной в верхней части эффективного интервала кристаллизации вследствие действия нормальных напряжений. Они зарождаются в чистом алюминии по границам вторичных кристаллов, а в его сплавах – в зонах срастания первичных кристаллов и по границам дендритов за счет локализации деформации в узких приграничных зонах.

В этих зонах накапливаются легирующие элементы и вредные примеси, протекают структурные превращения, возникают межзеренные расслоения, что обуславливает высокую степень ограничения пластической деформации.

Для сплавов серии 1400 характерным является образование горячих трещин не только по середине сварного шва и в зоне сплавления с основным металлом, но и непосредственно в оклошовной зоне последнего, подверженного термическому влиянию. Они образуются в виде микрорыхлот в местах оплавления пограничных выделений и отдельных грубых включений интерметаллидов при дальнейшей кристаллизации расплава в замкнутых объемах. Для предупреждения горячих трещин при сварке низколегированных сплавов, например АМг2, следует использовать проволоку с повышенным содержанием магния типа СвАМг5, что уменьшит неоднородность его распределения и склонность к образованию трещин. При этом количество примесей железа, кремния и меди, как и соотношение Fe/Si, нужно всячески снижать, а в сплавах серии 1400 – снижать содержание магния и лития, которые в полуфабри-



катах образуют эвтектики и ликвационную неоднородность с участками, богатыми магнием и литием. Эффективным способом борьбы с горячими трещинами при одновременном повышении пластических свойств сварного шва является введение в сварочную ванну элементов модификаторов – циркония, титана, а также совместно сплавов титана с бериллием и титана с цирконием и, особенно, скандия. Они ограничивают или исключают низкотемпературный интервал кристаллизации сварного шва, снижают количество грубых интерметаллидных фаз, уменьшают протяженность межкристаллитных трещин, измельчают структуру.

Так, для улучшения свариваемости алюминиево-магниевых сплавов разработан специальный сплав 1423 (Li 1,8–2,2 %, Mg 3,2–4,2 %, Zr 0,06–0,10 %, Sc 0,10–0,20 %), а также сварочная проволока Св01597, содержащая до 0,5 % Sc. Это позволяет почти в три раза снизить склонность к горячему трещинообразованию и повысить прочность металла шва на 20 %.

Полезным является также применение упомянутых флюсовых композиций в сочетании с действием внешнего магнитного поля. Такого же эффекта можно добиться за счет колебания сварочной ванны при сварке неплавящимся электродом с подачей в плавильное пространство присадочной токоведущей проволоки. В результате взаимодействия магнитных полей, образованных этими составляющими, дуга отклоняется от вертикального положения, что вызывает периодическое колебание расплавленного металла и способствует формированию более однородной мелкокристаллической структуры, что, в свою очередь, прекращает распространение трещины.

В случае необходимости изготовления конструкций из разноименных, в том числе и литодеформированных сплавов, наилучшие сочетания свойств и наименьшую склонность к горячему трещинообразованию будут иметь следующие сочетания сплавов: ВАЛ16+АМг6, ВАЛ16+1420, АК8МЗч (ВАЛ8)+АМг6, ВАЛ14+АМг6, АК12 (АЛ2)+АМг6, АК12 (АЛ2) + АМг3,

1420+АМг6, ВАЛ16+01570, ВАЛ19+АМг6, ВАЛ19+1420, ВАЛ19+01570.

Прочность таких соединений составляет 80 % от этого показателя металла отливки, высокое качество которого достигается при литье в металлические формы. При сварке сплавов с разной системой легирования, например ВАЛ16+1420, слабым местом соединения является высокотемпературная область зоны термического влияния со стороны отливки, где нарушается герметичность вследствие выделения наследственных газов через несплошности. Поэтому следует использовать сопла с большим диаметром на срезе, чтобы уменьшить окисление поверхностных слоев зоны термического влияния. Рекомендуется также смешивать защитный газ аргон с 1–5 % сернистого газа или 0,5–3 % гексафторида серы, что обеспечит создание защитного слоя оксидов, препятствующего возникновению подповерхностных сетчатых газоусадочных рыхлот, через которые и осуществляется вытеснение газов и жидкого металла из основного металла в сварочную ванну.

Холодные трещины образуются при температурах ниже 200 °С, они характерны при сварке деформируемых и литейных термически упрочняемых сплавов со сложными системами легирования. Эти трещины имеют транскристаллитную направленность и возникают у сплавов с малым запасом пластичности, когда влияние усадочных и сварочных напряжений становится значительным в процессе охлаждения сварных швов. Поэтому желательно, по возможности, эти напряжения выносить в зону, не подверженную высокому нагружению, улучшать качество сборки (соблюдать минимальные зазоры, сварку производить по возможности без прихваток, в жестких кондукторах, центраторах, обеспечивать натяг в зоне стыка для создания сжимающих напряжений). Полезным может быть и предварительный или промежуточный отжиг.

При ремонте крупного литья следует изменять только общий предварительный или сопутствующий подогрев. При сварке тонко-



стенных небольших конструкций трудно контролировать границы холодного и нагретого металла, вследствие чего увеличивается вероятность прожогов и провалов из-за резкого падения прочности свариваемого металла при нагреве выше 400 °С, что характерно для сварки "на весу". В этом случае нужно увеличивать скорость сварки и подачи электродной проволоки или уменьшать сварочный ток.

При ручной сварке проблема решается путем повышения квалификации сварщика, при механизированной – точной настройкой параметров режима, сваркой по отбортовке, применением формирующих обратную сторону шва подкладок и т.п. С целью повышения усталостной прочности рекомендуется снимать усиление шва и его проплав, а также производить высокочастотную проковку сварных швов в зонах перехода на основной металл, которую нужно выполнять с меньшей интенсивностью наклепа по сравнению с этой процедурой для стали, используя бойки диаметром 5 мм.

В зависимости от марки основного металла для сварки одноименных и разноименных алюминиевых сплавов разработаны присадочные проволоки (табл. 2, 3). Сварка некоторых сплавов выполняется проволоками, не вошедшими в ГОСТ 7871–75, например, сплав 1151 сваривается проволокой 1177, сплав 01570 сваривается проволоками Св01597, Св01570, сплавы 1460, 01460-1 свариваются проволокой Св1207.

Металл шва, наплавленный некоторыми проволоками в соответствии с ГОСТ 7871–75, модифицирован бериллием и цирконием; в иностранных проволоках для этой же цели используют хром, но во всех случаях количество примесей железа и кремния не превышает 0,6 и 0,4 % соответственно при соотношении $Fe/Si \leq 1$.

Газовая сварка алюминия и его сплавов осуществляется мягким ацетиленокислородным пламенем проволокой необходимого состава с применением флюса марки АФ-4^а, состоящего из хлористых и фтористых солей щелочно-зе-

мельных металлов. Часто газовая сварка используется для устранения дефектов силуминового литья. Это простой и доступный в использовании способ сварки алюминиевых конструкций неотвественного назначения.

Дуговая сварка графитовым электродом, как и предыдущий способ, предполагает использование тех же присадочных материалов, технология сварки у этих способов одинаковая. Применяется для сварки электротехнических шин, вводов и других малонагруженных деталей.

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами применяется при изготовлении малонагруженных деталей из технического алюминия и сплавов типа АМг и АМц в монтажных условиях, при заварке мелких дефектов литья из силумина. Выполняется электродами, имеющими стержень соответствующего состава и покрытие из фтористых и хлористых солей щелочно-земельных металлов (табл. 4).

Поскольку алюминиевый электрод расплавляется в 2–3 раза быстрее стального, скорость сварки должна быть тоже увеличена. Сварку нужно вести до полного расплавления электрода, так как образующийся на его торце шлак затрудняет повторное зажигание дуги. Околошовную зону нужно защищать от брызг, а прихватки и нижележащие слои нужно тщательно защищать от шлака; после сварки остатки шлака смывать теплой водой и протравить поверхность 5–10%-ным раствором азотной кислоты.

Ручная дуговая сварка вольфрамовым электродом ведется в основном током промышленной частоты и пульсирующим током прямоугольной формы, который обеспечивает смену амплитуды импульсов "прямого" и "обратного" тока, а также их продолжительность. Пульсация дуги обеспечивается при асимметрии переменного тока благодаря низкочастотной модуляции сварочного тока или путем смены амплитуды импульсов на прямой полярности. Кромки под сварку подготавливаются в соответствии с ГОСТ 14806–80. Марки и номинальные размеры вольфрамовых электродов регла-



Таблица 2

Проволоки для сварки алюминия и алюминиевых сплавов

Марка сплава	Химический состав основного компонента, % мас.							Тип или система свариваемого материала
	Алюминий	Магний	Марганец	Железо	Кремний	Титан	Хром	
В соответствии с ГОСТ 7871–75 ¹								
СВА97	Не менее 99,97	–	–	–	–	–	–	АД0, АД1
СВА85Т	Ост.	–	–	–	–	0,2–0,5	–	АД1, АМц
СВА5	Не менее 99,5	–	–	0,2–0,35	0,10–0,25	–	–	АД1, АМц
СВАМц	Ост.	–	1,0–1,5	0,3–0,5	0,2–0,4	–	–	АМц, АМцМ
СВАМг3	То же	3,2–3,8	0,3–0,6	–	0,5–0,8	–	–	АМг3, АМг2М
СВАМг4	"	4,0–4,8	0,5–0,8	–	–	0,05–0,15	0,05–0,25	АМг4
СВАМг5	"	4,8–5,8	0,5–0,8	–	–	0,1–0,2	–	АМг5
Св1557	"	4,5–5,5	0,2–0,6	–	–	–	0,07–0,15	АМг6, 1915, 01320, 1920
СВАМг6	"	5,8–6,8	0,5–0,8	–	–	0,1–0,2	–	АМг6, 1915, 1920, АМг3, АМг5
СВАМг63	"	5,86,8	0,5–0,8	–	–	–	–	1420, АМг6М, АМг6, АМг4М, ВАЛ16 01430, 01570, 1915, 1920, 1421, 1423
СВАМг61	"	5,5–6,5	0,8–1,1	–	–	–	–	В1341
СВАК5	"	–	–	–	4,5–6,0	0,1–0,2	–	АД31, АД33, АД35, АК5М7, АК7ч, АК5М
СВАК10	"	–	–	–	7,0–10,0	–	–	...
Св1201	"	Медь 6,0–6,8	0,2–0,4	–	Ванадий 0,05–0,15	0,1–0,2	–	АД0, АД1, 1201, 1460, 01460-1, АК5М7, АЛ7, АЛ19, АЛ33
В соответствии с DIN 1732, Швейцария ²								
ALUFIL Al99,5Ti	"	–	–	–	–	0,1–0,2	–	АД0, АД1
ALUFIL AlSi5	"	–	–	–	4,5–5,5	–	–	Al–Si5–Mg, Al–Mg–Si0,5
ALUFIL AlMg3	"	2,6–3,6	0,1–0,6	–	–	–	0–0,30	Al–Mg, Al–Mg–Mn
ALUFIL AlMg5	"	4,5–5,6	0,1–0,5	–	–	–	0–0,30	Al–Mg5, Al–Mg3
ALUFIL AlMg4,5Mn	"	4,3–5,2	0,6–1,0	–	–	–	0,05–0,25	Al–Mg3–Si, Al–Mg10, Al–Mg5–Si



Окончание табл. 2

Марка сплава	Химический состав основного компонента, % мас.							Тип или система свариваемого материала
	Алюминий	Магний	Марганец	Железо	Кремний	Титан	Хром	
В соответствии со стандартом фирмы ESAB, Швеция ³								
OK Autrod 1070	"	–	0,03	–	–	–	–	АД1, АМц; аналог проволок СвА97, СвА85, СвАМц
OK Autrod 4043	"	–	0,05	–	5,0	0,15	–	АД31, АД33, АД35; аналог проволоки АК5
OK Autrod 1450	"	–	0,05	–	–	–	–	АД0; аналог проволоки Св1201
OK Autrod 5356	"	5,0	0,15	–	–	0,11	0,13	АМг3, АМг4, АМг5, АМг6; аналог проволоки АМг3
OK Autrod 5183	"	4,8	0,80	–	–	–	–	Al–Mg, Al–Mn; аналог проволоки СвАМг5
OK Autrod 5556	"	5,3	–	–	–	0,13	0,13	Al–Mg для тавровых соединений
OK Tigrod 1070	"	–	–	–	–	0,03	–	АД1, АМц; аналог проволок СвА97, СвА85, СвАМц
OK Tigrod 4043	"	–	0,05	0,60	5,0	0,15	0,50	Al–Si, Al–Si–Mg, АД31, АД33, АД35; аналог проволоки СвАК5
OK Tigrod 1450	"	–	–	–	–	0,15	–	АД0, АД1; аналог проволоки Св1201
OK Tigrod 5356	"	5,0	0,15	–	–	0,11	0,13	Al–Mg; аналог проволоки СвАМг3
OK Tigrod 5183	"	4,8	0,8	–	–	0,15	0,15	Al–Mg; аналог проволоки СвАМг5
OK Tigrod 5556	"	5,2	0,7	–	–	–	–	Al–Mg для тавровых соединений

¹ Диаметры проволок и прутков 0,8–12,5 мм.
² Диаметры проволок 0,8–1,6 мм, прутков 2,4–4,0 мм.
³ Диаметры проволок марок Autrod 0,8–2,4 мм. Диаметры проволок марок Tigrod 1,6–5,0 мм.



Таблица 3

Марки проволок для сварки разноименных алюминиевых сплавов

Свариваемый сплав	1201	1915	АД33	АД31	АВ	АМг6	АМг5	АМг3	АМцС	АД0	ВАЛ16	1420	АК8М3ч (ВАЛ8)	1207
А99	СвАК5	СвАК5	СвАК5	СвАК5	СвАК5	СвАМг6 СвАК5	СвАМг5	СвАМг5	СвАМц	СвА5				
АД0	СвАК5	СвАК5	СвАК5	СвАК5	СвАК5	СвАМг6	СвАМг5	СвАМг5	СвАМц					
АМцС	Св1201	СвАМг5	СвАК5	СвАК5	СвАК5	СвАМг6	СвАМг5	СвАМг5						
АМг3	СвАК5	СвАМг5	СвАМг5	СвАМг5	СвАМг5	СвАМг6	СвАМг5							
АМг5	СвАК5	СвАМг5	СвАМг6	СвАМг6	СвАМг6	СвАМг6								
АМг6	СвАК5	СвАМг6	СвАМг6	СвАМг6	СвАМг6						СвАМг63			
АВ	СвАК5	СвАМг6	СвАК5	СвАК5										
АД31	СвАК5	СвАМг6												
1915	СвАК5			Св1557										
ВАЛ16												АМг63		
1420						СвАМг6						Св01597 СвАМг63	СвАМг6	
1201	Св1207													
АК8М3ч (ВАЛ8)	Св1201					СвАМг6								
ВАЛ14						СвАМг6								
АК12 (АЛ2)						СвАМг6 СвАК5		СвАМг3 СвАК5						
1460														Св1207

ментируются ГОСТ 23949–80. Для повышения стойкости вольфрамового электрода и лучшей стабилизации анодного пятна разработан составной электрод, в котором вольфрамовая вставка утоплена в медном наконечнике, а ее торец заточен на конус с углом 90–120°. При сварке переменным током с импульсами прямоугольной формы можно иметь дугу, которая горит как с сосредоточенным катодным пятном, так и с рассредоточенным, что позволяет управлять проплавающей способностью дуги при сварке и наплавке.

Повысить эрозионную стойкость и глубину провара можно также за счет придания торцу электрода тороидальной формы, благодаря

чему достигается электромагнитное сжатие и самофокусирование плазмы дуги.

В качестве защитных газов используются аргон по ГОСТ 10157–79 и гелий по ГОСТ 20461–75, а также их смеси различного состава.

Надежные условия защиты обеспечиваются конструкцией свариваемых деталей, увеличенным расходом газа или применением специальных отражающих экранов. При сварке стыков труб используют кольцевые или секторные камеры, а для защиты корня шва защитный газ подается вовнутрь трубы.

Зажигание дуги производится с помощью осциллятора или на графитовой пластине; по мере перемещения головки присадочная про-



Таблица 4

Электроды для ручной дуговой сварки алюминия и его сплавов

Марка (изготовитель)	ТУ или стандарт	Содержание элементов, % по мас., остальное – Al				Механические свойства	
		Fe	Si	Mn	Ti	σ_b , МПа	δ , %
03А-1 ("Спецэлектрод", Россия)	ТУ 14-4-614–75	0,20–0,35	0,10–0,25	–	–	80	28
03А-2 ("Спецэлектрод", Россия)	ТУ 14-4-509–74	–	4,5–6,0	–	0,1–0,2	180	–
ОК 96.10 (ESAB, Швеция)	DIN 1732	0,4	0,3	–	–	60–80	25–30
ОК 96.20 (ESAB, Швеция)	DIN 1732	0,4	0,3	1,3	–	100	30
ОК 96.40 (ESAB, Швеция)	DIN 1732	0,4	0,5	–	–	160	–
ОК 96.50 (ESAB, Швеция)	DIN 1732	0,5	12,0	–	–	160	–
УАНА-1 (ИЭС им. Е.О. Патона, Украина)	–	0,3	0,17	–	–	75	–
УАНА-2 (ИЭС им. Е.О. Патона, Украина)	–	–	5,2	–	0,15	200	–

Примечание. Температура прокали электродов 150–200 °С в течение 1–1,5 ч.

волока равномерно или короткими толчками подается в сварочную ванну, не касаясь вольфрамового электрода и не выходя из зоны газовой защиты.

Разнообразные технические приемы (применение выводных планок и формирующих подкладок, манипуляции вольфрамовым электродом и присадочной проволокой, подрубка кратера и дефектных мест, зачистка предыдущих валиков стальной щеткой, сварка "«в лодочку" и "на весу" и т.п.) в сочетании с правильно выбранными параметрами режима сварки обеспечивают высокое качество сварных конструкций, оптимальную производительность при надлежащей квалификации сварщика.

При механизированной сварке вольфрамовым электродом, в том числе и выполняемой роботизированными комплексами, дополнительно выдвигаются более жесткие требования к ка-

честву подготовки поверхностей деталей под сварку, точности сборки деталей; отдается предпочтение применению кондукторов, центраторов и других специализированных приспособлений и только в крайних случаях допускается постановка прихваток.

Повысить производительность можно путем применения сварки трехфазной дугой, когда дуги горят в одном факеле между двумя изолированными вольфрамовыми электродами, а также между каждым из них и изделием, вследствие чего увеличивается мощность дуги и улучшается стабильность ее горения. Таким способом можно сварить металл толщиной до 30 мм за один проход без разделки кромок на стальной подкладке.

Плазменнодуговая сварка выполняется сжатой дугой переменного и постоянного тока обратной полярности. Особенно перспективно



использование переменного асимметричного тока прямоугольной формы: вследствие сокращения длительности действия тока на обратной полярности уменьшается тепловыделение на вольфрамовом электроде, благодаря чему можно уменьшить габариты и массу плазматрона и повысить его работоспособность. В качестве плазмообразующего газа используется аргон, а защитными газами служат аргон, гелий и их смеси.

Вследствие более высокой концентрации энергии по сравнению с обычной аргонодуговой сваркой уменьшается необходимая погонная энергия, вдвое увеличивается глубина провара, что важно для интенсивного перемешивания расплава по всему объему сварочной ванны, ускоряется дегазация, сокращается на порядок количество и протяженность грубых включений оксидных пленок в швах. При этом производительность возрастает на 50–70 %, в 4–6 раз снижается расход аргона, а присадочной проволоки – до 40 %. Для сварки металла толщиной 0,2–1,5 мм эффективно применение микроплазменной сварки на переменном токе 10–100 А, когда скорость сварки может достигать 60 м/ч. Для этого требуется прецизионная сборочная оснастка, но тонкостенная конструкция, сваренная этим способом, будет иметь на 25–30 % деформации меньше по сравнению с обычной аргонодуговой сваркой.

Механизированная сварка плавящимся электродом применяется при изготовлении металлоконструкций толщиной более 4 мм. При этом металл сварочной ванны перемешивается гораздо лучше по сравнению с предыдущими способами, что приводит к уменьшению содержания оксидных плен, меньшей пористости, уменьшению сварочных деформаций и повышению производительности. Недостатком является некоторое снижение (до 15 % для сплава АМгб) механических свойств вследствие перегрева электродного металла.

Все способы и режимы сварки технического алюминия пригодны и для термически неупрочняемых сплавов АМц и АМг. При сварке высокопрочных алюминиевых сплавов и осо-

бенно термически упрочняемых необходимо применять меры по повышению стойкости шва и околошовной зоны против образования трещин путем введения модификаторов – титана, циркония, бора, использования проволок с пониженным содержанием кремния или отличающихся по составу от основного металла, а также термически обрабатывать изделия после сварки – подвергать закалке с последующим старением. Защита плавильного пространства осуществляется аргоном, гелием и их смесями, в которых доля гелия может достигать до 70 %. Такая смесь особенно эффективна при сварке металла толщиной более 15 мм, при этом увеличивается и плотность сварного шва.

Сейчас существует стойкая тенденция вести сварку в такой смеси, так как при этом снижается на 200–220 °С температура перегрева каплевого электродного металла и на 35–45 °С увеличивается температура сварочной ванны, а это позволяет повысить скорость сварки на 40–60 %, уменьшить ширину шва, сократить на 30–40 % расход электродной проволоки и снизить в 2–8 раз объем пустот в металле шва.

Сварку можно производить и в аргонокислородной смеси, что позволяет осуществить струйный перенос металла без его разбрызгивания и одновременно подавить пористость.

Более высокой производительности можно достичь, применяя импульсно-дуговую сварку за счет управляемого переноса электродного металла. При этом существенно уменьшается нижний предел сварочного тока и размер каплевого, стабилизируется тепловложение на малых токах до 70 А, что важно при сварке металла толщиной 1–2 мм, улучшается стабильность горения дуги и формирование сварного шва, что особенно важно при сварке во всех пространственных положениях, уменьшается пористость и снижается деформация тонкостенных конструкций. Импульсный подогрев околошовной зоны способствует измельчению ее структуры, а увеличение частоты модуляции и продолжительности пауз сварочного тока значительно улучшает структуру шва. Это особен-



но важно для сварки алюминия высокой чистоты и сплавов серии 1400, имеющих повышенную склонность к порообразованию.

Импульсно-дуговая сварка низкочастотным модулированным током способствует формированию пачки импульсов, в результате чего расплавленный металл вытесняется в хвостовую часть ванны, увеличивая провар. В период пауз происходит охлаждение сварочной ванны и ее кристаллизация, что исключает прожоги, подтекание металла под нижнюю часть свариваемых кромок.

Амплитуда и длительность импульсов тока в течение пауз и пачки импульсов обеспечивают управляемый перенос металла как во время пауз, так и во время импульсов, что является гарантией стабильности процесса.

Можно значительно повысить производительность этого процесса, подавая одновременно две электродные проволоки в зону сварки, в специальную сварочную горелку, конструкция которой позволяет изменять расстояние между проволоками, а также подавать для каждой дуги свой защитный газ и вести процесс импульсной или стационарной дугой на токах 20–250 А. При этом появляется возможность управлять составом сварного шва, подавая в сварочную ванну сварочные проволоки разных систем легирования.

В последнее время разработан способ СМТ – cold metal transfer (перенос холодного металла), заключающийся в импульсной подаче проволоки вперед-назад с высокой частотой. Проволока подается вперед и при возникновении короткого замыкания сразу же автоматически отводится назад. В период фазы зажигания дуги на короткий момент выделяется тепло, потом его введение сокращается, так что в сварочную ванну переносится холодный, мало перегретый металл. В результате капля электродного металла переходит в сварочную ванну в момент короткого замыкания без брызг, так как ток короткого замыкания мал. Это позволяет вести процесс сварки во всех пространственных положениях, а также сваривать сверхтонкий металл до 0,3 мм без подкладки.

Импульсно-дуговая сварка может быть использована как для точечной сварки тонколистовых конструкций, так и для наплавки точечных рельефов, для чего применяется специальная горелка, обеспечивающая постоянное расстояние между соплом и верхним листом соединяемых деталей, а также прижим верхнего листа к нижнему, так чтобы зазор между ними не превышал 0,8 мм.

В верхнем листе выполняются отверстия в виде усеченного конуса для гарантированного проплавления и уменьшения выпуклости верхней точки. По другой технологии сварка ведется путем кратковременных локальных нагревов и капельного дозирования присадочного металла и его температуры.

Следует иметь в виду, что при полуавтоматической сварке плавящимся электродом количество дефектов увеличивается, внешний вид шва хуже, чем при ручной сварке вольфрамовым электродом, а для ее выполнения сварщик должен иметь более высокую квалификацию.

Автоматическая сварка плавящимся электродом используется только в нижнем положении и в основном для стыковых соединений больших толщин и осуществляется на специальных плоских стендах и плитах с прижимными устройствами. Начало и окончание шва производится на специальных выводных планках, имеющих одинаковую толщину и разделку с основным металлом. Сварку плоских полотнищ ведут на подъем с углом 2–3°, а ось горелки автомата имеет наклон углом вперед (5–20° от вертикали). При выполнении кольцевых швов сварка ведется "на спуск".

Автоматическая сварка выполняется с двух сторон, подварка обратной стороны шва выполняется после кантовки изделия с обязательной вырубкой корня шва до чистого металла. Металл толщиной более 10 мм можно сваривать односторонней сваркой с использованием съемной подкладки из нержавеющей стали на специальном стенде с прижимом свариваемых элементов по всей длине. Для качественного формирования внутренних кольце-



вых швов используется специальная гибкая эластичная подкладка в виде бесконечной ленты, прижимаемой к изделию с помощью специального приспособления. Она перемещается синхронно с оборотом обечайки и выдерживает действие сварочного тока до 600 А. В процессе сварки лента постоянно меняет зону контакта, что улучшает теплоотвод.

Автоматическая сварка с использованием флюса применяется для сварки металла толщиной от 10 до 60 мм по двум схемам. Согласно первой сварка ведется по слою флюса полуоткрытой дугой, сварочная ванна защищена тонким слоем жидкого шлака для хорошего газоподудаления, но сварщик должен защищаться от излучения маской или щитком. При этом обеспечивается глубокое проплавление, вследствие чего возможна двухсторонняя сварка металла толщиной более 25 мм без разделки кромок и предварительного подогрева. Сварку можно вести и двумя проволоками расщепленной дугой; благодаря рассеянию тепловой мощности снижаются требования к точности сборки и прижима деталей к стальной формирующей подкладке.

Сварка под флюсом выполняется при большой плотности тока, вследствие чего достигается глубокое проплавление и не требуется разделка кромок. Разработанные для этой цели керамические флюсы имеют незначительную электропроводность, благодаря чему дуговой процесс не переходит в электрошлаковый. Этот способ повышает производительность и улучшает условия труда сварщиков.

Электрошлаковая сварка алюминиевых сплавов выполняется пластинчатыми электродами и плавящимся мундштуком. Шов формируется медными водоохлаждаемыми ползунами или графитовыми кристаллизаторами. Этот способ сварки обеспечивает наивысшую производительность по сравнению с аргоно-дуговой сваркой, иногда на два порядка больше.

Электронно-лучевая сварка создает благоприятные условия для разрушения и удаления оксидной пленки вследствие механического действия на пленку паров металла, а также

распада оксида алюминия в процессе контакта его с алюминием при остаточном давлении не более 0,13 Па и температуре 1450 °С. Глубокий вакуум в свою очередь способствует удалению с металла шва водорода и азота, а так как металл шва пребывает в жидкотвердом состоянии короткое время, временные внутренние напряжения не успевают вызвать образование кристаллизационных трещин.

Однако при переходе металла из жидкого в твердое состояние пары металла и растворенные газы способствуют возникновению дефектов в виде пор, раковин, корневых усадочных микротрещин. Поэтому необходимо стабилизировать условия гидродинамического перемещения жидкого металла сканированием луча, траектория которого может быть кругом, эллипсом, полуэллипсом и тому подобным с частотой 750–100 Гц и амплитудой развертки 1–3 мм. Дискретной разверткой с регулируемым временем задержки луча в точке его остановки в пределах выбранной траектории в виде кривых второго порядка или их комбинаций в пределах постоянных значений погонной энергии можно избежать структурной слоистой неоднородности, измельчать структуру шва и повышать его плотность. Избежать образования дефектов в корневых швах можно путем проплавления его с большим радиусом закругления в корневой части шва, что достигается круговой разверткой луча и его фокусированием на участке замыкания шва, выбором оптимальной частоты развертки пучка и увеличением угла отклонения развертки.

Такие особенности процесса, как сварка на весу без формирующих устройств и подкладок, а также пространственное положение шва (вертикальное, горизонтальное) обеспечивают двухсторонний выход паров и газов из канала проплавления.

Для уменьшения зоны термического влияния служат оплаваемые накладки, расположенные над стыком со стороны луча и прижатые к свариваемым пластинам. Такие накладки, являясь присадочным материалом, не только отводят тепло, но и служат экраном для пе-



риферийных электронов, благодаря чему уменьшается разогрев участков, прилегающих к зоне термического влияния. Металл шва, сваренный электронным лучом, менее склонен к хрупкости при низких температурах, чем основной в закаленном и искусственно состаренном состоянии. Термическая обработка соединений после сварки улучшает их качество. Этим способом сварки можно выполнять разнообразные швы: стыковые, внахлестку, угловые, прорезные и т.п.

Электрическая контактная сварка алюминия и его сплавов, как и электродуговая, требует механической и химической подготовки поверхностей перед сваркой.

Однако специфические электротеплофизические свойства свариваемых металлов создают дополнительные трудности. Вследствие высокой электропроводности в контакте между электродом и деталью имеет место перегрев металла и возможность их приваривания. Во избежание этого сварка ведется через специальные теплоизолирующие прокладки из стали 12Х18Н9 толщиной 0,2–0,5 мм, которые устанавливают между электродом и алюминиевыми деталями. Дополнительно можно использовать модулирование импульса сварочного тока с постепенным его нарастанием и спадом. Другой трудностью является высокая теплопроводность алюминия, благодаря чему тепло быстро отводится от места сварки и рассеивается в металле, а околоточечная зона разупрочняется. Поэтому сварка ведется на жестких режимах — при большом токе и малом времени его протекания, для чего используются мощные однофазные конденсаторные и низкочастотные машины, а также машины с выпрямленным током во вторичном контуре. Собранные под сварку детали должны плотно прилегать друг к другу: допустимая величина зазора — не более 0,3 мм на длине 100 мм. При сварке равноименных сплавов и разнотолщинных деталей в связи с разницей в электропроводности, температур плавления и механических свойств имеет место несимметричное расположение сварочного ядра относительно площади сечения соединя-

емых листов. В таких случаях целесообразно использовать электроды разных диаметров, с разными значениями тепло- и электропроводности, с разными радиусами заточки торцов, регулировать интенсивность тепловыделения в электроды путем размещения между электродом и деталью тепловых экранов — пластинок из материалов с высоким электрическим сопротивлением и температурой плавления. При сварке алюминиевых сплавов толщиной более 1 мм применяются циклограммы с повышенным "ковачным" усилием.

Сварные точки на алюминиевых сплавах имеют большую прочность на срез и низкую на отрыв. При сварке плакированных алюминиевых сплавов АМгб, Д16АТ и других возникает особый вид дефекта — частичное расплавление плакированного слоя, когда плакировка сохраняется на периферии ядра. Чтобы не удалять плакировку перед сваркой, применяют наложение ультразвуковых колебаний в ее процессе, и ядро начинает формироваться с периферии контакта, полностью расплавляя плакировку на границе литого ядра и основного металла, исключая появление дефекта — непровара. Для повышения статической и циклической прочности, а также коррозионной стойкости сварных точечных соединений используют различные клеи, грунты и пасты, наносимые на свариваемые кромки толщиной 0,1–0,3 мм.

Другой способ повышения качества сварных соединений предполагает размещение между свариваемыми листами ленты толщиной 0,05 мм из сплава-припоя системы Al–Ge–Si, Al–Y–Si, при расплавлении которого хорошо смачиваются края зазора, где формируется галтель на периферии ядра точки — пропаянный поясок контакта, которая надежно защищает точку, повышая ее коррозионную стойкость и прочность.

Улучшить качество точечного соединения можно путем нанесения на место образования сварной точки прослойки из самофлюсующегося хромоникелевого сплава ПГ-СР с большим удельным сопротивлением, которая мгновенно



венно расплавляется и вытесняется на периферию, интенсифицируя конвективный разогрев в зоне сварки. Поверхностные пленки, остатки плакировки, другие загрязнения полностью разрушаются и перераспределяются в жидком металле. Нейтрализацию остатков осуществляют легирующие компоненты прослойки Mn, Si, В, обеспечивая формирование качественного металла ядра. Компоненты сплава ПГ-СР перед сваркой смешиваются с токоведущими связующими (глицерин, вода) и в пастообразном состоянии наносятся на кромки толщиной до 0,3 мм шпателем.

Подготовка деталей под шовную сварку должна быть более тщательной по сравнению с точечной сваркой, так как при сварке недостаточно чистых деталей имеет место повышенное шунтирование тока и снижение качества сварного шва. Сварка осуществляется прерывистым или шаговым способами. При первом способе детали перемещаются относительно электродов непрерывно, а сварочный ток включается импульсами длительностью $t_{и}$, чередующимися с фазами $t_{п}$, при этом исключается перегрев свариваемой детали и уменьшается износ электродов. При втором способе включение сварочного тока и перемещение детали выполняется поочередно: сварка осуществляется при неподвижных деталях, а их перемещение — при выключенном токе и постоянном давлении. Деформации и внутренние напряжения после шовной сварки можно снизить обкаткой швов стальными роликами и термической обработкой.

Стыковая сварка алюминия и его сплавов выполняется как сопротивлением, так и оплавлением; торцы деталей очищаются от оксидной пленки и подготавливаются специальным образом.

Наиболее эффективным способом является сварка оплавлением, так как при этом исключается окисление металла в стыке. При сварке толстых и разнотолщинных деталей выполняется предварительный подогрев заготовок импульсным током или путем пропускания прерывного тока высокой плотности, что по-

зволяет также сваривать разные группы сплавов — термоупрочняемых и упрочняемых наклепом (Д16Т+АМг6, Д16Т+АК6 и т.п.).

Улучшить качество стыковых соединений сваркой сопротивлением можно, размещая между свариваемыми деталями наноструктурные Al—Ni и Al—Cu фольги толщиной 10—15 мкм. Это способствует высококонцентрированному выделению тепла в зоне соединения, вследствие чего время пропускания тока можно уменьшить на 0,3—0,5 с, а при использовании Al—Ni фольги за счет протекания экзотермической реакции выделяется дополнительное тепло. Сварку надо вести с высокой скоростью нагрева 500—750 °С/с для того, чтобы реакция протекала полностью.

Холодная сварка алюминия и его сплавов также предполагает предварительную механическую и химическую обработку поверхности. Эффективно прокаливание деталей при температуре 350—400 °С, когда на воздухе адсорбированные механические пленки выгорают и улетучиваются.

Свариваемость зависит от состава сплава, толщины деталей, формы и размеров пуансонов и т.п. Оптимальные показатели свариваемости и прочности достигаются, когда рабочие части пуансонов обеспечивают необходимую интенсивность течения металла и распределение удельных давлений на соединяемых поверхностях. По сравнению с чистым алюминием для его сплавов этот показатель должен быть увеличен в 1,5—2 раза. При точечной сварке можно получать точки различной конфигурации (прямоугольной, круглой, с развитым периметром, фигурной, с усилением и т.п.), что определяется соответствующей конструкцией и формой пуансонов. Прочность точки возрастает от центра к периферии, при этом высота центральной части пуансона должна составлять 75—85 %, а высота по периметру — 60—70 % толщины свариваемого алюминия. Для увеличения площади сечения точки последняя выполняется с усилением, благодаря чему создаются более жесткие условия



напряженного состояния путем ограничения течения металла между пуансонами. Такие точки обеспечивают равнопрочность с основным металлом, а разрушение происходит по нему.

Шовная сварка выполняется по механической схеме непрерывной точечной сварки прямоугольными пуансонами. Ролики имеют кольцевые выступы, которые играют роль пуансонов при точечной сварке, а также опорные поверхности, ограничивающие углубление рабочих выступов и создающие напряженные состояния в зоне сварки. Хотя прочность на разрыв сварных соединений, когда шов расположен перпендикулярно действию оси растяжения, составляет 65–85 % от этого показателя для основного металла, важно другое качество – герметичность, что для слабонагруженных изделий вполне достаточно.

Стыковая сварка выполняется с помощью прессов в специальных зажимных устройствах с гнездом, отвечающим форме и размерам свариваемых деталей путем сдавливания сразу же после обрезания их торцев. Для гарантированного глубокого и стабильного провара припуски на сварку алюминия устанавливаются с запасом при условии обеспечения деформации симметрично оси свариваемых деталей. Алюминиевые сплавы свариваются хуже: они часто требуют двукратной осадки, специальной подготовки деформируемых частей методом предварительной посадки, предварительного подогрева, специальных обжимных втулок и т.п.

Холодная сварка сдвигом осуществляется за счет интенсивной деформации в тонких поверхностных слоях с образованием отдельных зон схватывания, где действуют металлические связи между контактирующими металлами при одновременном их сжатии. При этом деформируются тонкие слои и небольшие объемы металла, что значительно уменьшает работу деформации по сравнению с другими способами холодной сварки.

Сварка трением, выполняемая традиционно на оптимальных параметрах режима, обеспе-

чивающих необходимую степень пластического деформирования нагретого металла при свободном формировании грата, позволяет получить 60–90 % прочности шва по сравнению с основным металлом.

В случае принудительного формирования с использованием формирующих устройств с рабочим углом кромок 60–90°, подрезающих грат у его основания и полностью исключающих периферийные дефекты и непровары, можно получить равноценное по прочности сварное соединение.

Разновидностью сварки трением является использование вращающегося с большой скоростью (1 000–3 000 мин⁻¹) пальцевого инструмента, проникающего в глубь свариваемых деталей и двигающегося вдоль свариваемых кромок с углом наклона вперед 2–3° и разогревающего металл до температуры сварки.

Этот способ называют фрикционной сваркой или сваркой трением с перемешиванием. Рабочий инструмент изготовлен из стали Р6М5 с нанесенным слоем нитрида циркония или термически обработанной по особому режиму; диаметр основы наконечника 3,2–3,6 мм, вершины – 2,4–2,6 мм; его длина составляет 0,9–0,95 толщины свариваемого металла; диаметр буртика – 10–12 мм, на его поверхности выполнены полусферическая и коническая канавки (углубления) для плавного и непрерывного перемешивания пластифицированного металла и формирования качественной лицевой поверхности шва. Сварка жестко зафиксированных и прецизионно собранных деталей выполняется на опорной подкладке из нержавеющей стали типа 18–8 с продольной формирующей подкладкой. Введение рабочего инструмента встык осуществляется на технологических припусках, впереди него полезно установить прижимной ролик, снижающий коробление деталей. Способ позволяет выполнять не только прямолинейные, но и кольцевые швы и обладает большими перспективами: не нужно разделять кромки и очищать их от пленки Al₂O₃, применять присадочный металл и за-



щитный газ, возможно выполнять сварку во всех пространственных положениях, отсутствует дым, шум и ультрафиолетовые излучения. Данный способ характеризуется низким уровнем деформаций и не требует высокой квалификации сварщика и т.п.

Ультразвуковая сварка применяется для соединения деталей малых толщин и в отличие от контактной сварки осуществляется в твердой фазе, а сварные швы отличаются более высокой степенью статической и динамической прочности.

Ремонтные работы, которые выполняются на изделиях из алюминиевых сплавов (заварка дефектов в сварных швах и отливках, восстановление резьб, наплавка износостойких сплавов на поверхности поршней двигателей внутреннего сгорания и т.п.) предполагают как использование рассмотренных ранее способов сварки, так и применение специальных технологических приемов и техники выполнения сварных швов.

Ремонт изделий из литых алюминиевых сплавов по сравнению с деформированными связан с дополнительными трудностями, обусловленными повышенной жидкотекучестью сварочной ванны, более грубой макро- и микроструктурой, содержащей неравномерно распределенные интерметаллидные включения, большее содержание газов в металле. При ремонте изделий из сплава 1420 допускается не более двух подварок, в случае сложных жестких конструкций следует использовать сварочные проволоки марок СвАМг8, СвАМг63.

Дефекты в сварных швах и отливках, изношенные участки деталей машин удаляют механическим инструментом.

Для наплавки вольфрамовым электродом вручную изношенных участков поршней двигателей внутреннего сгорания, изготовленных из сплавов АК12М2МгН (АЛ25), АЛ10В, АК12ММгН (АЛ30) применяются как стандартные электродные материалы, так и специально разработанные, например, марки Св01397, Св01349.

Двухкомпонентная система этих композитных проволок состоит из алюминия с распределенными в нем никелевыми волокнами. Наплавка ведется за один оборот поршня, после

чего проводится термическая обработка – закалка и искусственное старение.

Импульсно-дуговая наплавка поршней выполняется с применением порошковой проволоки-плющенко ПП-МА-5, в состав которой входят компоненты, улучшающие стабильность горения дуги и дегазацию сварочной ванны, а также модификаторы – титан и цирконий, способствующие образованию мелкозернистой структуры и равномерному распределению упрочняющих фаз, в результате чего износостойкость поршней повышается в 1,4–1,6 раза.

Разработанный специальный способ двухдуговой наплавки поршней с использованием неплавящегося и плавящегося электрода предлагает поочередное и отдельное формирование дуг на каждом электроде с образованием общей сварочной ванны. Дуга неплавящегося электрода проплавляет тело изделия на необходимую глубину и ширину, а плавящийся электрод марки Св06Х18Н9Т осуществляет комплексное легирование сварочной ванны элементами, упрочняющими наплавленный металл. Неплавящийся электрод питается разнополярными импульсами тока прямой полярности, а в перерывах между ними на плавящийся электрод подаются импульсы тока обратной полярности с амплитудой в 1,5–2 раза большей амплитуды критического тока перехода до струйного переноса металла. Последний переходит в сварочную ванну в виде перегретой парометаллической струи, что способствует интенсивному перемещению металла и его дегазации, получению мелкозернистой структуры высоколегированного металла с равномерным распределением интерметаллидных фаз.

Технология наплавки состоит из трех этапов. На первом этапе возбуждается дуга между вольфрамовым электродом и неподвижным поршнем при малых значениях тока.

После выхода на режим и создания ванны необходимой глубины включается вращение поршня. На втором этапе включается подача тока и сварочной проволоки на период полного оборота поршня. На третьем этапе останавливается подача проволоки и заваривается кратер плавным снижением тока на неплавящемся электроде до полной остановки вращения поршня.



Во время наплавки поршней полезно охладить бобышку для уменьшения величины зоны термического влияния.

Библиографический список

1. **Абрамович В.Р., Тимофеев В.Н.** Справочник по сварке и пайке судовых трубопроводов. Л.: Судостроение, 1982. 112 с.
2. **Алюминий** и его сплавы в современных сварных конструкциях / А.Я. Ищенко, Лабур. Киев: Экотехнология, 2006. 112 с.
3. **Амигуд Д.З.** Справочник молодого газосварщика и газорезчика. Изд. 2-е исправл. и доп. М.: Высшая школа, 1977. 188 с.
4. **Гуревич С.М.** Справочник по сварке цветных металлов. Киев: Наукова думка, 1981. 608 с.
5. **Лопатин Н.И.** Технология изготовления сварных конструкций из алюминиевых сплавов. Л.: Судостроение, 1984. 136 с.
6. **Монтаж** и сварка конструкций из нержавеющей стали и алюминия / Н.Т. Мельниченко. Л.: Машиностроение, 1968. 208 с.

7. **Николаев Г.А., Фридландер И.Н., Арбузов Ю.П.** Свариваемые алюминиевые сплавы. М.: Металлургия, 1990. 296 с.
8. **Овчинников В.В.** Технология сварки алюминиевых сплавов: учебн. пособие. М.: МГИУ. 2004. 68 с.
9. **Псарас Г.Г., Ежель А.И.** Сварщику цветных металлов: справ. пособие. Донецк: Донбасс, 1982. 151 с.
10. **Рабкин Д.М.** Металлургия сварки плавлением алюминия и его сплавов. Киев: Наукова думка, 1986. 256 с.
11. **Смирягин А.П., Смирягина Н.А., Белова А.В.** Промышленные цветные металлы и сплавы. Изд. 3-е. М.: Металлургия, 1974. 488 с.
12. **Сахацкий Г.П.** Технология сварки металлов в холодном состоянии. Киев: Наукова думка, 1979. 296 с.
13. **Сварка** алюминиевых сплавов криогенного и общего назначения / отв. ред. Д.М. Рабкин. Киев: Наукова думка, 1984. 152 с.
14. **Сварка** цветных металлов: сб. науч. тр. / АН УССР, ин-т электросварки им. Е.О. Патона; редкол.: Ищенко А.Я., Замков В.Н., Нероденко М.М. (отв. ред.) и др. Киев: Наукова думка, 1989. 212 с.
15. **Технологія** та обладнання електричного контактного зварювання.: навч. посіб. / О.Г. Биковський, Д.М. Лутов, І.В. Пінківський. К.: Техніка, 2001. 240 с.

Продолжение следует.

УДК 621.791.048

В.В. Карabanов, канд. техн. наук, **И.О. Бохоров**, инженер
Тел. 8-498-520-3472

Припой для пайки металлов*

Рассмотрены методы создания и совершенствования припоев путем легирования основы, приведены свойства легирующих элементов, состав высокотемпературных припоев и условия их применения.

The methods of creating and improving solders by alloying basis, lists the properties of the alloying elements, the composition of hightemperature solders and conditions of their application.

Ключевые слова: припой, пайка, легирующие элементы.

Key words: solder, soldering, alloying elements.

Значительное достижение в области пайки — создание отечественных высокотемпературных и высокопрочных припоев на железной

и железомарганцевой основе (таблица), предназначенных для пайки крупных стальных изделий с широкими сборочными зазорами (до 1 мм). В составе этих комплексно-легированных припоев содержатся депрессанты (марганец, медь), элементы, увеличивающие прочность (никель, хром), самофлюсующие элементы (кремний, бор). Наиболее широкое применение нашел припой П-87 (ОСТ 34-115-74), при монтаже трубопроводных систем в полевых условиях [2]. При зажатии припоя между соединяемыми пайкой разделками кромок труб с использованием надежной внешней защиты припой обеспечивает высокопрочные (до 450 МПа) качественные соединения без применения флюса. При пайке стальных изделий латунью в аналогичных условиях, но без флюса, паяное соединение не образуется.

* Начало в № 6, 2011.



Припой П-87 имеет широкий температурный интервал кристаллизации, что обеспечивает благоприятные условия формирования кольцевого паяного шва большого диаметра (100–150 мм) без вытекания припоя при индукционном нагреве труб и возникновении перепада температуры по окружности их стыка.

Припой П-87 термически стабилен, благодаря чему диффузионные процессы при пайке протекают в пределах твердых растворов паяемой стали и припоя. Интерметаллидных соединений и карбидов не образуется.

Исследования показали, что при высоких температурах прочность припоя превышает прочность низкоуглеродистой стали (рисунок), что обеспечивает высокую сопротивляемость температурным деформациям при пайке крупных соединений.

При пайке алюминия и его сплавов широко применяют припои на основе алюминия, легированные кремнием (4–13 %). Обычно в качестве припоя используют эвтектический сплав с содержанием 12 % кремния и температурой плавления 577 °С. Для снижения температуры плавления в сплав добавляют медь и цинк. Наиболее низкая температура плавления (525 °С) достигается при содержании меди 28 % (припой 34А), а при содержании меди до 22 % она достигает 540 °С (припой 35А). Введение в алюминий только цинка приводит к расширению темпера-

турного интервала плавления, который у припоя П575А, содержащего 20 % цинка, составляет 550–575 °С. При содержании в припое В65 6 % Si, 20 % Cu, 25 % Zn достигается минимальная температура плавления – 490–500 °С. При введении в припой цинка улучшаются также его технологические свойства.

Алюминиевые припои, легированные кремнием, обладают наилучшей коррозионной стойкостью.

При пайке титана и его сплавов, а также тугоплавких металлов применяют титановые припои, обладающие повышенной активностью и способностью смачивать поверхности тугоплавких металлов. Припои на основе титана представляют эвтектики титана с медью, никелем, кобальтом и другими металлами. Титан имеет высокую температуру плавления – 1 668 °С. Припой, содержащий 40 % титана и 40 % меди, имеет температуру плавления 986 °С, 72 % титана, 28 % никеля – 955 °С. Для повышения технологических свойств в титановые припои вводят цирконий.

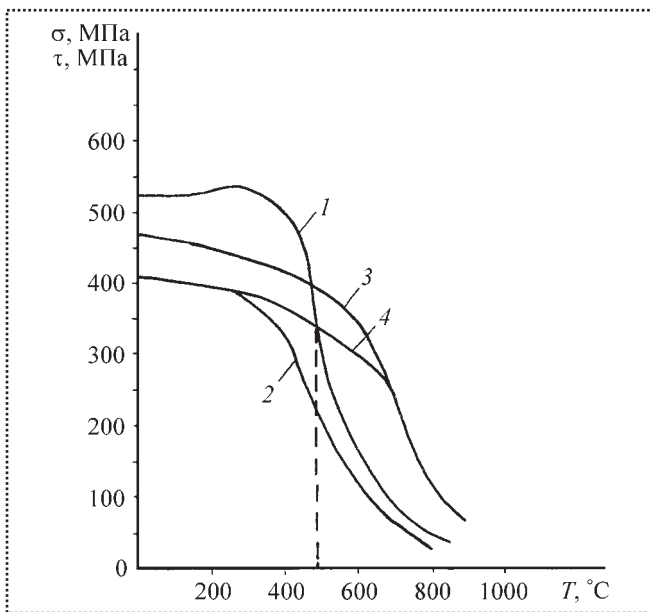
При пайке тугоплавких металлов – ниобия, вольфрама, молибдена и их сплавов – используют высокотемпературные (свыше 1 100 °С) титановые припои, легированные ванадием, ниобием, хромом, танталом.

Высокопрочные соединения титановых сплавов с нержавеющей сталью обеспечи-

Химический состав и физические свойства железомарганцевых припоев [2]

Марка припоя	Содержание основных компонентов*, % мас.								Плотность, кг/м ³	Температура, °С	
	Mn	Ni	Cu	Si	C	B	Cr	S и P, не более		начала плавления	полного расплавления
П-49	14,5–16,0	4,2–4,7	4,5–5,0	0,1–0,4	0,8–1,0	0,1–0,4	0,1–0,4	0,08	–	1070	1100
П-80	30,0–31,5	13,0–13,5	9,0–10,5	0,05–0,2	≤ 0,1	0,05–0,1	–	0,04	7450	–	1180
П-87	31,0–32,5	12,0–12,5	11,5–13,0	2,4–3,0	0,3–0,4	0,05–0,1	–	0,08	7450	1030	1060
П-100	63,5–65,0	4,0–4,5	4,5–5,0	–	≤ 0,1	–	6,0–6,5	0,04	7400	1120	1140

*Остальное – Fe.



Зависимость пределов прочности σ и текучести τ от температуры для стали 45 (1, 2) и припоя П-87 (3, 4)

вают припои системы титан–железо–медь (45–73 % Ti; 5–55 % Fe; 9–55 % Cu) с температурой плавления 970...1 000 °С.

Большинство металлов, содержащихся в высокотемпературных припоях, образуют с титаном ограниченные твердые растворы, хрупкие химические соединения и эвтектики. Химические соединения в швах значительно повышают их хрупкость и снижают прочность. Никель и кремний при пайке титана не образуют прослойки химических соединений, а медь приводит к торможению их роста при взаимодействии титана с другими металлами.

Во избежание роста зерна температура пайки титана не должна превышать 900 °С, поэтому ее можно проводить с алюминиевыми припоями, обладающими более низкими температурами плавления. Алюминий образует с титаном ограниченную область твердых растворов, что обеспечивает менее хрупкие паяные соединения. Скорость роста химических соединений алюминия на границе с паяемым металлом невелика, что при высоких скоростях нагрева позволяет получать соединения с довольно хорошими пластическими свойствами.

Наиболее универсален эвтектический шестикомпонентный припой на медной основе ГФК (72–73 % Cu, 3–4 % Si, 4–5 % Ni,

5–7 % Fe, 5–6 % Mn, 6–8 % Zn) с температурой плавления 935 °С (а.с. № 91179, СССР). Эвтектический припой позволяет соединять самые различные по физико-химическим свойствам стали (нержавеющие, жаропрочные) и легированные чугуны как между собой, так и в сочетании со сталью, тугоплавкие металлы, титановые сплавы, медь с вольфрамом, медь с коваром и другие сочетания металлов.

Выбор температуры пайки определяется интервалом 935–1 300 °С. Эвтектический припой имеет высокую смачиваемость. Под действием капиллярных сил он проникает в самые узкие зазоры, образуемые при плотных и прессовых посадках. Припой перед пайкой, как правило, помещают над зазором, который не должен превышать 0,04 мм. Припой ГФК – самофлюсующий и во многих случаях способен растворять и удалять оксидную пленку, даже наиболее устойчивую – оксид хрома. Однако при пайке на воздухе лучше применять обезвоженную буру, которая не только улучшает смачивание припоем металла, но и является связующей при использовании порошкового припоя.

Припой обладает высокой диффузионной способностью. При незначительной величине зазора он быстро изменяет свой состав и становится более тугоплавким, а следовательно, при отверждении более прочным. С повышением температуры пайки диффузионный процесс в шве усиливается. Таким образом, изменяя температуру пайки, можно регулировать механические свойства соединений.

Паяный шов обладает высокими тепло- и электропроводностью.

Эвтектический припой ГФК может применяться в машиностроении при пайке мелких и крупногабаритных изделий, в инструментальной промышленности [7].

Введение в припой на основе меди, железа никеля и других металлов в качестве депрессантов кремния, бора, фосфора и других элементов охрупчивает их, поэтому получить твердую ленту, технологичную в применении, из таких припоев традиционными методами, невозможно. Способ аморфизации, разрабо-



таннный в МАТИ им. К.Э. Циолковского, позволяет получать из таких припоев гибкую пластичную ленту, чистую и однородную по составу, с неокисленной поверхностью.

Высокие прочностные и пластические характеристики припоев обусловлены их аморфной структурой, формирование которой происходит в процессе быстрого затвердевания расплава припоя (скорость охлаждения 10^4 – 10^6 °C/с). Быстрое охлаждение расплава позволяет измельчить получаемую структуру и полностью подавить процессы кристаллизации. Охлаждение расплава ниже температуры солидуса за это время позволяет зафиксировать в твердом металле структуру переохлажденной жидкости (аморфную, стеклообразную), минуя кристаллическое состояние.

Разработанная в "МИФИ-АМЕТО" технология позволяет изготавливать припои для высокотемпературной пайки как быстрозакаленных силуминов (температура плавления 575 °C), так и никель-ниобий-ванадиевого припоя (1200 °C). Аморфные припои можно использовать для пайки широкого круга материалов в любой комбинации: меди и медных сплавов, коррозионно-стойких сталей, титана и его сплавов, циркония, бериллия, тугоплавких металлов, твердых сплавов. Аморфные припои под маркой "СТЕМЕТ" разрабатываются и выпускаются предприятием МИФИ-АМЕТО (Москва) [8].

Припой СТЕМЕТ 1101 для пайки меди и ее сплавов обладает чрезвычайно высокой диффузионной активностью в условиях приложения давления, в результате чего происходит практически полное растворение припоя с исчезновением границ паяного шва. Это обеспечивает прочностные и электротехнические характеристики паяного соединения, близкие к характеристикам паяемого металла. В паяном шве компоненты припоя распределены предельно однородно. Этот припой целесообразно применять взамен серебряного при пайке медных изделий в электротехнике. Благодаря высоким показателям текучести и активности припой СТЕМЕТ 1101 способен заполнять уз-

кие зазоры (0,1 мм), что важно при капиллярной пайке.

Заменить серебряный припой при пайке меди со сталями может припой СТЕМЕТ 1108 на медной основе, обеспечивающий высокий предел прочности.

СТЕМЕТ 1301 позволяет получать высокопрочные соединения тонкостенных труб (0,5 мм) из хромистых сталей с последующей закалкой и отпуском. При высоком содержании в припое бора и кремния (до 10 %) малая толщина аморфной ленты обеспечивает пониженную эрозию паяемых металлов при малом времени пайки. В результате обеспечивается высокое качество соединений тонкостенных изделий из коррозионно-стойких сталей и никелевых сплавов.

Аморфные припои СТЕМЕТ 1201, СТЕМЕТ 1403, СТЕМЕТ 1406, СТЕМЕТ 1206 предназначены для пайки титана и его сплавов, тугоплавких металлов. Низкая температура плавления припоев (840 °C) позволяет сократить до минимума нежелательное воздействие термического цикла пайки на структурные превращения в титане и его сплавах.

Для бесфлюсовой вакуумной пайки бериллия, алюминия и его сплавов создан припой СТЕМЕТ 1501.

При пайке аморфными припоями особые требования предъявляются к величине сборочного зазора, который не должен превышать 0,075 мм (оптимально 0,025–0,05 мм). Расплавы некоторых припоев имеют повышенную вязкость, что позволяет удерживать их в более широких зазорах.

Технология изготовления аморфных припоев активно развивается и совершенствуется. Способ аморфизации позволяет оперативно реагировать на возрастающие требования паяльного производства.

В настоящее время в промышленности возрастает потребность применения пайки крупных объектов, при сборке которых неизбежно возникают широкие некапиллярные зазоры. В таких случаях применяются композиционные припои, представляющие собой механические



порошковые смеси припоя и тугоплавкого металла, или композиции, состоящие из припоя и более тугоплавкого металла или неметаллического наполнителя (флюса).

Композиционные припои могут применяться как при низко-, так и при высокотемпературной пайке. Флюсы и другие неметаллические наполнители улучшают их технологические свойства, металлические – как технологические, так и механические свойства. Металлический наполнитель снижает жидкотекучесть припоя и повышает его вязкость, создает в широком паяльном зазоре сеть капиллярных каналов, в которых припой удерживается капиллярными силами. При растворении частиц наполнителя в припое изменяется его состав и механические свойства. Наполнитель, близкий по составу к паяемому металлу, снижает его растворимость в расплаве припоя, а его частицы служат центрами кристаллизации. Благодаря наполнителю уменьшается количество усадочных дефектов в паяном шве.

Известны высокая хрупкость медно-фосфорных припоев ПМФОЦр6-4-0,03 и ПМФС6-0,5 и низкая прочность оловянно-свинцовистых припоев типа ПОС. Созданный на их основе композитный припой, представляющий собой равномерную смесь порошков легко- и тугоплавкого припоев с размером частиц до 140 мкм, лишен указанных недостатков. Легкоплавкая матрица хорошо смачивает паяемый металл и обеспечивает монолитность паяного шва, а тугоплавкий наполнитель определяет его физико-химические свойства. Паяный шов образуется в результате кристаллизации металла матрицы и спекания частиц наполнителя между собой и с паяемыми поверхностями деталей [9].

Введение в порошковые оловянно-свинцовистые припои тугоплавких порошков систем Cu–P, Cu–P–Si приводит к повышению механических свойств паяных соединений из меди и ее сплавов в широком температурном интервале (200–800) °С. При введении в припой типа ПОС 10–20 % порошков медно-фосфор-

ных припоев в случае низкотемпературной пайки (250–300 °С) прочность паяных соединений составляет 130–140 МПа, при высокотемпературной пайке – до 240 МПа.

Повышение механических свойств паяных соединений, выполненных композитными припоями, вызвано тем, что в процессе низкотемпературной пайки за счет диффузии меди в расплав матрицы при кристаллизации образуются твердые растворы меди в олове, а нерастворившиеся частицы наполнителя способствуют появлению множества дефектов в структуре, повышающих напряжение срезу. При высокотемпературной пайке идет формирование мелкозернистой структуры на основе меди и олова.

В отличие от оловянно-свинцовых и медно-фосфорных припоев, предназначенных для определенных температур пайки, с использованием композитного припоя на их основе можно осуществлять как низко-, так и высокотемпературную пайку изделий с зазорами от 0,05 до 1 мм.

По своим свойствам композитный припой может сильно отличаться от сплава подобного состава. Нестабильность механических свойств швов, паяных припоями ПМФОЦр6-4-0,03 и ПМФ7 в виде сплава, связана с их пористостью. Кроме того, существенна зависимость температуры плавления припоя от незначительного колебания содержания фосфора по сравнению с его содержанием в эвтектике медь–фосфор. При использовании композитного припоя подобного состава этих недостатков можно избежать. При колебании содержания фосфора в припое до 1 % температура плавления последнего изменяется лишь на 10 °С.

Порошок припоя ПМФС6-0,15 может служить наполнителем медной матрицы совместно с флюсом ПВ209. Пайку осуществляют при сборке соединения встык с давлением 3 МПа. При содержании в припое 12–20 % наполнителя ударная вязкость повышается на 20–30 %, прочность – на 10–12 % [10].



Для пайки крупного высоконагруженного режущего инструмента разработаны композиционные припои марок П-100 и ТП-1. Они позволяют паять соединения (пластины с корпусом инструмента) с некапиллярными зазорами (0,3–1,0 мм), в которых хорошо удерживается расплав припоя.

Припой П-100 состоит из компонентов с резко отличающимися друг от друга свойствами: неплавящихся в процессе пайки гранул наполнителя, представляющих собой порошок стали Х18Н15 (15–20 %) с размером частиц 0,25–0,80 мм и температурой плавления выше температуры пайки, и смеси порошков, плавящихся при пайке. Первые создают в паяльном зазоре объемную сеть капилляров, которые заполняются плавящейся составляющей припоя. При использовании металлокерамического припоя П-100 появляется возможность получения паяных соединений без натеков припоя, при снятии которых происходит засаливание абразивных кругов. Паяный этим припоем шов большой толщины в значительной степени компенсирует разность температурного сокращения размеров стальной части и твердосплавной пластины при охлаждении паяного инструмента, что приводит к уменьшению остаточных напряжений в твердосплавной пластине после пайки. Припой может применяться в виде порошка, прессованных пластин или пасты.

В еще большей степени обладает указанными компенсирующими свойствами трехслойный припой ТП-1, представляющий собой триметаллическую полосу толщиной 0,8 мм, полученную прокатом. Плавящиеся в процессе пайки наружные слои толщиной 0,2 мм состоят из латуни ЛНМц 50-2-2 с температурой плавления 872 °С. Внутренний слой (бронза БрНБ7-0,5 толщиной 0,4 мм и с температурой плавления 1 126 °С) не плавится и служит прокладкой.

Главное преимущество трехслойного припоя – получение паяного шва достаточной прочности, способного компенсировать разность сокращения размеров деталей из стали и

твердого сплава при охлаждении паяного соединения в большей степени, чем все остальные припои, включая П-100. Припой ТП-1 меньше, чем другие, деформируется во всем температурном интервале (от температуры солидуса наружных слоев до 20 °С), что объясняется низким пределом текучести металла паяного шва, не превышающим 132 МПа. Снижению остаточных напряжений в твердосплавной пластине и шве способствует его большая толщина (0,7–0,8 мм), что в 5–10 раз выше толщины швов, паяных однослойным припоем.

Рассмотренные припои включены в отраслевой стандарт ОСТ 48-184–81 "Припои для пайки твердосплавного металлорежущего инструмента".

Процесс плавления композитного припоя протекает в два этапа. На первом этапе плавятся наиболее легкоплавкие порошки. В них контактно растворяются более тугоплавкие с образованием легкоплавкой композиции, в которой также контактно могут растворяться порошки другого состава. Таким образом, рабочая температура не находится в полной зависимости от конечного состава паяных швов, а определяется в большей степени процессами контактного растворения и образования легкоплавкой фазы.

Основное назначение композитных припоев при высокотемпературной пайке – удержание расплава припоя в широких открытых зазорах и формирование качественных галтелей шва. Простейший способ их применения – в виде равномерных порошковых смесей.

В ИЭС им. Е.О. Патона разработан и применен оригинальный способ "магнитной" пайки с применением порошковой смеси из припоя ПАН-3 и сплава, содержащего 50 % меди и 50 % кобальта (а.с. № 479331, СССР). Кобальт имеет наивысшую температуру магнитных превращений (1 100 °С) – точку Кюри. Создаваемое на стыке деталей, имеющих различное пространственное положение, магнитное поле удерживает в широком зазоре (2 мм) наполнитель, который, образуя разветвленную сеть капиллярных каналов, надежно удерживает об-



разующийся в зазоре расплав припоя. Наполнитель (грануляция 50–200 мкм) составляет 30 % массы паяльной смеси, в которую добавлено 30 % флюса.

Для высокотемпературной пайки технологических трубопроводов из коррозионно-стойких сталей используют композитные припои марки 5АН, содержащие 10 % наполнителя из сплава Х18Н15, и 6МА с 15 % наполнителя из молибденового порошка. Порошки смешивают в шаровой мельнице в течение 6–10 ч до получения однородной смеси и затем прессуют в форме кольца или шайбы [11].

При использовании композитного припоя 5АН обеспечивается надежное затекание и удержание его расплава в широком зазоре, повышается стойкость паяных соединений в агрессивных средах. При пайке припоем 6МА повышается температура распая. В обоих случаях отсутствовало растворение паяемого металла. Промышленность выпускает несколько марок порошков композитного припоя [2]. Прочность стыковых соединений составляет 80–90 % прочности паяемого металла при зазорах 0,5–1,5 мм. Способ нашел применение при монтаже сантехнических трубопроводов.

При автовакуумной пайке крупных соединений с широкими зазорами (2 мм) композиционный припой образуется непосредственно в соединяемом зазоре при температуре пайки. Перед пайкой в зазор засыпают порошок наполнителя, который образует сеть капиллярных каналов, заполняющихся при пайке, образующимся вне зазора расплавом припоя. Область пайки герметизируют сваркой и создают вакуум. Затем создают давление инертных газов и припой заполняет зазор на большую глубину, образуя плотный высокопрочный паяный шов. Расплав припоя растворяет наполнитель и обогащается его компонентами, изменяя свой состав и улучшая механические свойства шва. Путем подбора припоя и наполнителя можно активно управлять структурообразованием металла шва, достигая его равнопрочности с паяемым металлом.

Таким образом, исходный припой может быть базовым элементом для дальнейшего совершенствования паяльного материала и способов его применения. В отдельных случаях взамен порошкового наполнителя рекомендуется применять цельнометаллические материалы – сетки, пластины, слоистый припой.

Возможно проведение процесса пайки без применения готового припоя. Прослойка припоя самопроизвольно образовывается между двумя контактирующими нагретыми разнородными металлами, образующими эвтектики или имеющими минимум на диаграмме состояния. Процесс перехода в жидкое состояние разнородных контактирующих металлов при температуре ниже точки их плавления называется контактно-реактивным.

В основе контактного плавления лежат диффузионные процессы, которые приводят к изменению состава поверхностного слоя контактирующих металлов. Если температура нагрева металлов соответствует эвтектической или минимуму на линии солидуса в системах, образующих непрерывные твердые растворы с минимумом, начнется образование жидкой прослойки по линии контакта металлов.

Процесс контактно-реактивного плавления происходит скачкообразно и протекает довольно быстро, что позволяет проводить пайку некоторых металлов при достаточно быстром нагреве без флюса и на воздухе. В этих условиях готовые припои аналогичного эвтектического сплава обычно плохо смачивают паяемый металл. При контактно-реактивном плавлении в процессе пайки однородных металлов между ними помещают прокладку или на паяемые поверхности наносят покрытия, образующие с паяемым металлом или между собой эвтектику или минимум на диаграмме состояния.

Пайку разнородных металлов, образующих эвтектику, осуществляют под постоянным давлением на стык с целью удаления избыточной массы расплава из зоны контакта и поддержания необходимой толщины жидкой прослойки.



При пайке стальных узлов основными компонентами припоя служат никель и марганец, которые послойно наносят на одну из соединяемых деталей. При нагреве происходит контактно-реактивное плавление марганца и никеля с образованием жидкой фазы. Дальнейший нагрев и выдержка при температуре пайки способствует интенсивному протеканию растворно-диффузионных процессов на границе припой–сталь.

Механические свойства паяного шва зависят не только от состава припоя и величины паяльного зазора, но и от структуры шва, получаемой в процессе нагрева. Формирование мелкозернистой композиционной структуры возможно при использовании процесса диспергирования паяемого металла расплавом припоя в паяльном зазоре. Интенсивность диспергирования определяется напряженным состоянием поверхностного слоя паяемого металла, температурой нагрева, величиной зазора, временем процесса и возрастает при динамическом состоянии расплава припоя в зазоре (при электромагнитном воздействии). Диспергирование поверхностного слоя металла и формирование композитной структуры шва является эффективным методом повышения жаропрочности соединения [12].

При внесении в припой (медь, латунь) углеродсодержащего наполнителя (железо, чугун) происходит срастание частиц наполнителя между собой и паяемым металлом вследствие образования между ними дендритов, направленных поперек шва и возникающих вследствие активного потока углерода от элементов с меньшим его содержанием к элементам с большим содержанием [13].

Возможность создания припоев на основе паяемых металлов, широкое разнообразие

структуры припоев и способов их применения обеспечивают высокую оперативность в области освоения новейших металлов и сплавов и внедрения их в производство современной техники.

Библиографический список

1. Гуляев Б.Б. Синтез металлических сплавов. М.: Металлургия, 1991.
2. Справочник по пайке / под ред. И.Е. Петрунина. М.: Машиностроение, 2003.
3. Рыльников В.С. Припои на никелевой основе для пайки никелевых жаропрочных сплавов. В сб. "Актуальные вопросы авиационного материаловедения". М.: ВИАМ, 2007.
4. Бондарчук О.П. Припой ПМФСб-0,15 заменитель серебряных при пайке меди и ее сплавов // Сварочное производство. 1982. № 12.
5. Ильина И.А. Свойства соединений из меди и ее сплавов, паяных припоем ПМФОЦрб-4-0,03 // Сварочное производство. 1983. № 1.
6. Грижимальский Л.Л. Пайка сталей чугуном // Сварочное производство. 1986. № 3.
7. Головачев В.А., Елизаров Г.А. Диффузионная сварка-пайка. Л.: Машиностроение, 1988.
8. Быстрозакаленные жаропрочные припои на основе титана и никеля / А.Н. Лукин и др. // Актуальные вопросы авиационного материаловедения. М.: ВИАМ, 2007.
9. Радзиевский В.Н., Баранов А.В. Латунный припой с наполнителем для автовакуумной пайки // Автоматическая сварка. 1983, № 4.
10. Чармонов А.В. Бессеребряный композиционный припой для пайки меди // Автоматическая сварка. 1989. № 10.
11. Чекунов И.П. Пайка трубопроводов из коррозионно-стойких сталей. М.: Машиностроение, 1991.
12. Новосадов В.С., Калинин М.М. Формирование композитной структуры в шве в процессе диспергирования при пайке металлов // Физика и химия обработки металлов. 1987. № 5.
13. Уполовников Б.Н. Пайка стальных деталей с большими зазорами. Качество и надежность паяных изделий. М.: МДНТП, 1988.

Высокие технологии XXI века – ВТ XXI–2011

С 18 по 21 апреля на территории ЦВК "Экспоцентр" проходила выставка, организованная Департаментом науки и промышленной политики г. Москвы, Институтом экономики и комплексных проблем связи, ООО "Экспо-Экос", Российским фондом развития высоких технологий, Московской торгово-промышленной палатой и ЗАО "Экспоцентр".

Цель проведения выставки – продвижение на международный рынок конкурентоспособных отечественных технологий и оборудования, сокращение разрыва между идеей создания, разработкой и производством инновационной продукции. Продукция и разработки 420 компаний располагались на площади 2000 м².

Лаборатории АМФОРА (г. Москва) демонстрировали оригинальные разработки.

Координатно-измерительная машина мод. КИМ-300 Нано для измерения геометрических параметров и исследования поверхностей относительно крупных деталей с нанометровой результирующей точностью. Горизонтальный ход 300×300 мм, вертикальный – в пределах 100 мм. Машина предназначена для исследования методом зондовой и коротковолновой оптической микроскопии заготовок диаметром 300 мм и технологического мониторинга процесса сборки интегральных микросхем. Результирующая точность при работе машины 5 нм. Максимальная скорость перемещения 20 мм/с. Жесткость: по осям 150, по оси Z – 400 Н/мкм. Машина устойчива к вибрациям и другим воздействиям внешней среды.

Лазерный микроскоп мод. МИМ-320, представляющий собой лазерный интерферометр с фазовой модуляцией и оригинальным алгоритмом обработки сигнала. Микроскоп позволяет получать фазовые изображения микрообъектов – распределение оптической разности хода лучей в интерферометре соответствует геометрическому рельефу исследуемого микрообъекта. Из фазовых изображений программно-математической обработкой реконструируются и отображаются на дисплее 3D-изображения объекта с разрешением при реконструкции фазовых изображений 0,1 нм по вертикали и 10–100 нм в плоскости образца и визуализацией его геометрического рельефа.

К преимуществам технологии МИМ относятся оптимальное сочетание сверхвысокого пространственного разрешения и быстродействия от 3 до 200 кадров/с, возможность записи "нанокино", изучения нанодинамики и измерения структур образца, бесконтактность и минимизация воздействия лазерного излучения на измеряемый объект, высокая стабильность и воспроизводимость измерений. Применяется микроскоп при определении наноструктур матери-

лов (дисперсного состава) и характеристик включений в металлах и сплавах.

ГНЦ Теплоприбор (г. Москва) представил лазерные измерители, в том числе лазерный измеритель мод. ЛИС-5 для точного бесконтактного измерения скорости и длины движущихся материалов и изделий (листового материала, труб, проводов, кабельной продукции и т.п.). Диапазон измеряемых скоростей 0,01–20 м/с, погрешность измерения не более ± 0,2 %. Минимальный измеряемый диаметр 0,05 мм. Максимально допустимое ускорение объекта 5 м/с². Питающее напряжение измерителя 220 В, потребляемая мощность 7 Вт. Температура окружающей среды от 5 до 40 °С. Степень защиты IP65. Габаритные размеры лазерного датчика 200×80×40 мм, счетчика-индикатора 200×120×75 мм, масса соответственно 1,2 и 1,1 кг.

ОАО Уральский научно-исследовательский технологический институт (г. Екатеринбург) показал специалистам новые разработки.

Технология создания оборудования для механизированной и ручной воздушно-плазменной резки листового и профильного проката из коррозионно-стойких и конструкционных сталей, а также цветных металлов, для мерной вырезки деталей из объемно-штампованных заготовок из стали высокой твердости, вырезки отверстий различной конфигурации в крупногабаритных изделиях коробчатой формы.

Технология и оборудование обеспечивают высокое качество и точность вырезаемых деталей и заготовок (+0,5...1 мм), сокращение трудоемкости изготовления изделия за счет частичного или полного отказа от малопроизводительных операций разметки, ручной газокислородной резки и последующей механической обработки, а также снижение уровня шума до 80 дБ и вредных дымообразований. Исключаются применение энергоемкой системы местной вытяжки вентиляции и выброс дымов в атмосферу.

Толщина разрезаемого металла для конструкционных и коррозионно-стойких сталей до 100 мм, при резке под слоем воды – до 50 мм, для алюминиевых сплавов при резке под слоем воды – до 60 мм. Максимальные габаритные размеры обрабатываемых листов 10 000×3500 мм. Потребляемая мощность до 120 кВт.

Технологии лазерной поверхностной обработки для газопорошковой лазерной наплавки и термоупрочнения в различных собранных узлах.

Газопорошковую лазерную наплавку применяют для восстановления исходных размеров изношенных поверхностей деталей и нанесения покрытий с заданными свойствами, например, износостойкостью при абразивном изнашивании, коррозионной или жаро-



стойкостью. Газопорошковая лазерная наплавка не вызывает деформации и обеспечивает минимальный припуск под последующую механическую обработку направляемой поверхности и требуемую твердость без последующей термообработки деталей.

Лазерное термоупрочнение используют для повышения износостойкости поверхностей деталей в целом и отдельных участков, подвергающихся наибольшему изнашиванию. По словам разработчиков, лазерное термоупрочнение позволяет увеличить ресурс работы деталей и узлов в 2–3 раза.

Комплекс технологического оборудования для сборки, пайки и испытания радиаторов, состоящий из технологической линии сборки секций радиатора, переналаживаемой установки для сборки секций, агрегатов для пайки секций и сердцевины, стенда для испытания сердцевины радиатора на герметичность, вибростенда для испытания радиаторов, установки для гофрирования и резки в размер охлаждающихся пластин.

Переналаживаемая линия сборки секций радиаторов работает в полуавтоматическом режиме и предназначена для сборки секций радиаторов нескольких типоразмеров. Расчетное время сборки секции 12 мин. Мощность, потребляемая технологической линией, 15 кВт, тип привода – электрогидравлический.

Агрегат для пайки секций, работающий в автоматическом режиме, предназначен для пайки секций радиаторов погружением в расплавленный припой. Процесс пайки осуществляется в закрытой камере, снабженной вытяжной вентиляцией. Агрегат состоит из манипулятора со съёмными кассетами, ванн для пайки и флюсования, загрузочного и разгрузочного устройств, пресса для правки, гидростанции и системы электроавтоматики. Производительность агрегата 4 секции/ч, тип привода – электрогидравлический, установленная мощность агрегата 45 кВт, его габаритные размеры 7700×4000×3000 мм.

Группа компаний ЭСТО (г. Москва), специализирующаяся на разработках, производстве, модернизации, продаже и сервисном обслуживании электронного специального технологического оборудования, предложила потребителям свою продукцию, в том числе *волоконный лазер мод. МЛП35-007-ЛД* с линейным двигателем для сложноконтурной резки тонких листов металлов без образования заусенцев и дефектов, прошивки отверстий, фрезерования различных материалов, в том числе композитных, черных и цветных металлов, обработки многослойных тонкопленочных структур.

Применение волоконных лазеров позволяет получить среднюю мощность излучения 700 Вт в одномодовом режиме, реализовать технологические режимы обработки с минимальными дефектами и повысить производительность. Использование линейных двигателей способствует достижению максимально вы-

соких показателей точности и повторяемости, значительных ускорения и скорости.

Лазер установлен на гранитном основании. Оптическая система оснащена телевизионным каналом наведения и наблюдения, пневмосистемой и системами вытяжной вентиляции, питания, управления и охлаждения, а также ПК. Точность обработки различных материалов 5 мкм, повторяемость 2 мкм. Скорость обработки материалов при линейных перемещениях с разгоном 1000 мм/с, при постоянной контурной скорости 200 мм/с.

Широкофункциональная машина мод. МЛ34-2 для резки и сварки, сверления, гравировки изделий широкой номенклатуры из различных металлов с размерами до 500 мм. Машина снабжена импульсным лазером с ламповой накачкой и широким диапазоном настройки энергетических параметров, а также XУ-координатным столом Z-приводом для перемещения соответственно обрабатываемого изделия (линейные перемещения и вращение) и оптической режущей головки.

Машина мод. МЛ35-010 для раскроя листового металла толщиной до 15 мм и размерами до 3000×1500 мм. Наличие волоконного лазера мощностью 2 кВт и портального координатного стола, оснащенного линейным двигателем, обеспечивает высокую производительность и качество при минимальных эксплуатационных затратах.

Машина мод. МЛ5-2, работающая в автоматическом режиме и управляемая от компьютера, обеспечивает позиционирование и установку зондов на контактные площадки или подложки с помощью кинематической системы и подгонку по заданным траекториям реза. Позиционирование пятна и выполнение подгоночного реза обеспечивается прецизионным двухосевым гальваносканером, а каждый из двух зондов устанавливается на управляемом от компьютера XУ-координатном столе с Z-микролифтом. В машине применены новейшие лазеры с диодной накачкой (волоконные и твердотельные) с длиной волны 1,06 или 0,53 мкм.

Также потребителям были предложены фокусирующие оптические системы, следящие системы, модули оптического контроля (рис. 1, см. 3-ю с. обл.) на основе микроскопов и телевизионных систем, системы подготовки и подачи воздуха и технологических газов, защитные камеры и экраны.

Компания "Изовак" (Беларусь) – ведущий производитель установок вакуумного напыления и средств контроля предложила потребителям свои разработки.

Система мод. Invisio-S (рис. 2, см. 3-ю с. обл.) спектрального оптического контроля процесса напыления четвертьволновых и неравнотолщинных покрытий, мониторинга и управления в автоматическом режиме процессом нанесения покрытия в вакуумных напылительных установках. Система адаптивна к любым вакуумным установкам. Луч и свет, проходящий через образец или отраженный от напыляемого покрытия, вы-



водится из вакуумной камеры и направляется на регистрирующее устройство (спектрометр на ПЗС-линейках) посредством оптического волокна.

Это дает возможность получать всю спектральную характеристику в процессе напыления покрытия. Устройство может работать в составе общей системы управления технологическим процессом напыления. Точность измерения системы $0,005R_{\max}$, воспроизводимость $0,002R_{\max}$. Время измерения полного диапазона составляет около 40 мс. Все компоненты системы отличаются малыми габаритными размерами и массой, что позволяет монтировать их на камерах малых размеров в труднодоступных местах.

Технология ионно-лучевой финишной очистки поверхности подложки от молекулярных частиц, адсорбированных газов, полимерных фрагментов и паров воды пучком ускоренных ионов с энергией до 1500 эВ, а также *атомарной активации* поверхностных связей подложки непосредственно перед нанесением тонкопленочного покрытия.

Технология гарантирует более высокую степень адгезии по сравнению с традиционными методами (например, тлеющим разрядом или плазменной очисткой), что в итоге обеспечивает более длительную и надежную эксплуатацию деталей с покрытиями. Для этого разработаны источники серии IBCS с различными конфигурациями ионного пучка, позволяющие проводить ионно-лучевую очистку практически любых, в том числе и крупнопрофильных изделий.

К достоинствам такой технологии относятся высокая равномерность обработки и скорость очистки изделий, а также возможность обработки под различным углом любых подложек (металлов, полупроводников, диэлектриков, полимеров).

Вакуумная установка мод. Atis 500 для нанесения металлических покрытий методом магнетронного распыления с предварительной ионно-лучевой очисткой. Установка циклического действия с цилиндрической камерой диаметром 500, высотой 330 мм. Доступ в камеру осуществляется через откидывающуюся верхнюю крышку. Камера оснащена криогенным насосом, обеспечивающим максимально быстрое вакуумирование и откачку паров воды. В камере расположен держатель, размеры которого позволяют загружать для обработки до восьми подложек размером 60×48 мм для двухстороннего напыления.

Для очистки подложек перед покрытием в целях улучшения адгезии установлены два ионных источника линейного типа. Для нанесения подслоя и основного металлического слоя в камере размещены четыре магнетрона постоянного тока с диаметром мишени 150 мм. Подложки обрабатываются пошагово, последовательность задает оператор. Установка оснащена замкнутой системой водяного охлаждения. Технологический процесс можно вести вручную, по командам оператора или в автоматическом

режиме по заданной программе. Тип подложки: кварц, стекло, кремний и т.п.; распыляемые мишени — металлы. Мощность установки 10 кВт. Ее расчетная площадь 2900×1700 мм.

Вакуумная напылительная установка мод. Aspira 150 (рис. 3, см. 3-ю с. обл.) для получения высокостабильных оптических покрытий. Установка работает по технологиям ионно-лучевого и магнетронного распыления, комбинация которых позволяет удовлетворять повышенные требования к точности напыления, дефектности, повторяемости и долговременной стабильности покрытий. Установка позволяет напылять лазерные и токопроводящие покрытия. Максимальная зона напыления 150 мм при равномерности покрытия $\pm 4\%$. Очистка подложек осуществляется ионным источником с компенсатором ионного разряда. Блоки питания оснащены встроенными высокоэффективными системами дугогашения, защиты от короткого замыкания, регулировки по силе тока, напряжению и мощности. Мощность установки 20 кВт, ее габаритные размеры 2000×2000×1600 мм.

Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений (г. Москва) предложил электронно-оптические средства измерений параметров быстропротекающих технологических процессов.

Многокадровая камера мод. КО17 с управлением от компьютера для регистрации в режиме многократной (до 20 и более циклов) девятикадровой развертки изображений быстропротекающих технологических процессов в ближнем инфракрасном и видимом спектральном диапазоне и измерения их пространственно-временных параметров. Запись изображения с экрана электронно-оптического преобразователя проводится высокоскоростным (до 1 кГц) считывающим устройством на основе телевизионной матрицы со встроенной памятью. Камера позволяет получать не менее 180 кадров с максимальной частотой их следования 9 кГц. Программное обеспечение предоставляет широкие возможности обработки введенного в компьютер зарегистрированного изображения.

Диапазон спектральной чувствительности камеры 370–850 нм, чувствительность фотокатода при максимуме спектральной характеристики не менее 20 мА/Вт. Программируемая длительность любого кадра 0,1–100 мкс. Шаг измерения длительности кадра и межкадровой паузы 0,1 мкс. Максимальное число кадров от 30 000. Питательное напряжение камеры: переменного тока 85–242 В, постоянного тока 18–36 В, потребляемая мощность не более 40 Вт. Ее габаритные размеры 620×100×225 мм, масса 7 кг.

Девятикадровая камера мод. КО11 (рис. 4, см. 3-ю с. обл.) для регистрации изображений и измерения пространственно-временных параметров быстропротекающих технологических процессов в видимой и ближней инфракрасной областях спектра в режиме девятикадровой развертки регистрируемого изображе-



ния. Запись изображения с экрана проводится считывающим устройством с вводом изображения в ПК. Программируемая длительность любого кадра 0,1–100 мкс. Шаг изменения длительности кадра и межкадровой паузы 0,1 мкс. Размеры кадра на фотокатоде 7,5×7,5 мм. Питающее напряжение камеры: переменного тока 110–220 В ± 20 %, постоянного тока 18–36 В, потребляемая мощность не более 20 Вт. Ее габаритные размеры 400×120×220 мм, масса 4 кг.

Российско-Германский центр лазерных технологий (г. С.-Петербург) предложил на международный рынок свои новые разработки.

Трехмерная лазерная обработка объемных деталей перед сборкой. В технологической установке используется порталная система с однокоординатным рабочим столом и трехосевой технологической головкой. Наличие вращателя позволяет расширить технологические возможности пространственной лазерной обработки. Быстрая смена технологических головок обеспечивает оперативный переход с лазерной резки на лазерную сварку и наоборот.

Лазерная установка оснащена волноводным CO₂-лазером мод. Rofin DC050 мощностью до 5 кВт, четырехосевым манипулятором и технологическими головками, однокоординатным столом и вращателем. Зона лазерной обработки 1 500×1 000×1 000 мм, точность 0,05 мм. Технологические возможности установки: резка коррозионно-стойкой стали толщиной до 15 мм, низкоуглеродистой — до 25 мм, цветных металлов и сплавов — до 30 мм, неметаллов — до 40 мм, сварка стали — до 5 мм. Такая технология рекомендована к применению в автомобиле-, авиа- и судостроении, транспортном и энергетическом машиностроении, нефтегазовой промышленности для обработки труб различных профилей и горячеформованных деталей.

Комплекс дистанционной лазерной сварки для изделий сложной пространственной конфигурации с большим числом коротких сварных швов или швов сложной формы. Данная технология эффективнее традиционной лазерной сварки за счет более быстрого и точного перемещения лазерного луча между соседними швами, осуществляемого трехмерным сканером (быстрое) и промышленным роботом (медленное).

Технологическая установка оснащена дисковым лазером мод. Rofin DS 030 HQ мощностью 3 кВт, сканером мод. intelli WELD 30FC с рабочим полем 185×185×240 мм, промышленным роботом мод. KuKa 60HA, CAD/CAM системой для off-line программирования и оптимизации технологического процесса. Скорость сварки до 10 м/мин. Точная временная и пространственная синхронизация движений сканера и промышленного робота гарантирует высокую точность обработки различных изделий. Комплекс рекомендован при сварке легких конструкций, гидроформованных деталей, конструкций с маленькими радиу-

сами и корпусных. Он может заменить контактную сварку.

Лазерное термоупрочнение и порошковая наплавка, применяемые для поверхностной модификации сталей и сплавов на основе железа. Наличие CAM/CAD системы off-line программирования, встроенные базы данных технологических параметров обработки для различных материалов, контроль температуры поверхности в режиме реального времени делают удобным управление данной системой. Сменная оптика и дополнительная насадка для порошковой наплавки значительно расширяют технологические возможности установки.

В состав комплекса входят дисковый лазер мод. Rofin DS 030 HQ мощностью до 3 кВт, коаксиальный двухцветный пирометр со шкалой от 600 до 1300 °С, сменная оптика для термоупрочнения 15×15 и 10×25 мм², для наплавки 3×3 мм², манипулятор мод. KuKa 150 с рабочим объемом 145 м³; система off-line программирования мод. Toplas-3D и технологическая база данных ERHARD.

Глубина термоупрочнения 0,2–1,5 мм при скорости 0,3 м/мин. Ширина наплавленной дорожки 1–3 мм при скорости наплавки 0,5–2,5 м/мин. Наплавка рекомендована для упрочнения рабочих поверхностей вырубного инструмента, восстановления арматуры в нефтегазовой отрасли, ремонта и восстановления рабочих поверхностей.

Система пространственной лазерной резки мод. JENOPTIK-VOTAHTM представляет собой автономную производственную ячейку формата "plug-and-play". Интеграция зеркального лучепровода в антропоморфный пятиосевой промышленный робот обеспечивает высокую точность и скорость обработки. Зона обработки 1 700×1 000×650 мм, точность 0,3 мм. Система может выполнять резку неметаллических материалов толщиной до 20 мм при скорости резки до 4 м/с. Она рекомендована к применению в автомобильной промышленности, транспортном машиностроении, при обработке пластмассы и производстве тары.

Компания Лазертехинвест ООД (г. Москва) продемонстрировала на выставке *лазерную технологическую систему мод. LTS-800* (рис. 5, см. 3-ю с. обл.), разработанную в Болгарии. Система предназначена для обработки листового материала: низко- и высокоуглеродистой стали толщиной до 8 мм, коррозионно-стойкой — до 5, пластмассы — до 25, дерева — до 20, кожи и резины — до 10, картона — до 25 мм. Комплекс оснащен быстропроточным лазерным источником с длиной волны лазерного излучения 10,6 мкм и мощностью 0,85 кВт (диапазон регулирования 0,1–0,85 кВт), время его подготовки к работе 15 мин. Имеется координатный стол с максимальным перемещением по осям X до 1250 мм, Y — до 2500 мм при точности позиционирования 0,05 мм по обеим осям. Рабочая скорость стола до 4 м/мин. Максимальная масса обрабатываемой заго-



товки 150 кг. Максимальная мощность машины 14 кВт. Расход сжатого воздуха до 1 м³/ч. Площадь, необходимая для монтажа системы, 6×6 м.

Компания Great Vcomputing Corporation предложила потребителям лазерные гравировальные и маркировочные машины, разработанные на Тайване.

Устройство мод. Laser ProME на базе твердотельного кристалла с диодной DPSS накачкой для гравировки по металлу. Возможна гравировка на цилиндрических поверхностях. Размер гравировки 800×570 мм. Гравировку можно осуществлять в помещении или на открытом воздухе по заданной программе. Мощность излучателя установки 20 Вт, питающее напряжение 220 В, охлаждение – воздушное. Тип привода – серводвигатель. Система фокусировки работает в автоматическом режиме. Четырехстрочный дисплей устройства показывает имя текущего файла, общее время работы, мощность, скорость, загруженные в буфер памяти файлы, меню настройки и диагностики. Габаритные размеры устройства 1120×720×100 мм, масса 154 кг.

Лазерно-гравировочный комплекс мод. DRAGON для маркировки, гравировки и лазерной резки различных материалов относится к первому классу безопасности лазеров, поскольку оптический тракт закрыт, но благодаря открывающимся передней и задней створкам сохраняется возможность обработки длинномерных

материалов. Управление комплексом осуществляется с внешнего ПК по программе ICARO, работающей с операционными системами Win 98, 200 и XP и распознающей файлы с расширением plt, dxf и т.п. Программа ICARO позволяет работать с готовыми текстами и графическими заданиями, созданными в других редакторах, а также редактировать и создавать задания в самой софт-программе. Максимальный размер обрабатываемого материала 740×540×30 мм, точность обработки ± 0,05 мм. Питающее напряжение комплекса 380 В, мощность 100 Вт. Его габаритные размеры 1520×100×1200 мм, масса 170 кг.

Выставка прошла с большим успехом, ее посетили специалисты многих отраслей промышленности, в том числе машиностроители. Было организовано пленарное заседание, на котором обсуждены вопросы мобилизации и консолидации интеллектуальных, технологических и инвестиционных ресурсов на ключевых направлениях инновационного развития, даны оценки современного состояния наукоемкого производства. Прошла международная конференция "Высокие технологии – стратегия XXI века".

Чл.-кор. Академии
проблем качества **А.Н. Иванов**

Читайте в следующем номере

Вартанов М.В., Безручкин В.В., Дмитриева О.Г. Автоматизация процедур обеспечения и оценки эксплуатационной технологичности крупногабаритных изделий;

Крылатков П.П. Управление целостностью технологического процесса;

Кристалль М.Г., Харькин О.С. Струйное устройство контроля и сортировки деталей для сборки;

Быковский О.Г. Современное состояние и тенденции развития сварки цветных металлов и сплавов;

Карabanов В.В., Бохоров И.О. Процессы взаимодействия металлов при пайке



М.Г. Кристаль, *д-р техн. наук (Волгоградский государственный технический университет)*,
Е. Лунарски, *д-р техн. наук (Польша)*
E-mail: crysmar@mail.ru

7-я Международная научно-техническая конференция "Техника и технология сборки машин" – ТТСМ-2011 (Жешув – Цисна)

С 24 по 27 мая 2011 г. в живописном местечке Цисна в польских Карпатах с успехом прошла 7-я Международная научно-техническая конференция "Техника и технология сборки машин" ТТСМ-2011. В работе конференции, кроме организаторов с польской стороны, приняли участие представители России, Украины, Словакии.

На конференции были представлены доклады, связанные с технологией сборки машин, автоматическими установками контроля и измерения при сборке, а также рассмотрены некоторые вопросы организации и управления механосборочным производством.

В группе сообщений по технологии сборки стоит отметить обзорное выступление проф. Б. Рейфура и др. (Вроцлавский политехнический институт), представивших различные программные системы, обеспечивающие балансировку собираемых узлов на рабочих местах, и доклад О. Цишака (Политехнический ин-т, г. Познань) о возможности компьютерного моделирования и анализа моделей сборочных стандов с использованием промышленных роботов.

Аналогичным вопросам посвящена работа об оптимизации параметров модульного сборочного робота с помощью предложенных алгоритмов проектирования (Р. Ключ, Жешувская политехника). Представлены также анализ влияния точности обработки крупногабаритных деталей на сборку крупногабаритных изделий (Ф. Бромберек, Ун-т

технологии и естественных наук, г. Быдгощ) и способ анализа технологичности собираемого изделия, дающий возможность введения изменений в конструкцию, снижающих себестоимость сборочных работ (Е. Гавлик и др., Краковская политехника).

Кроме того, предложены технологии, улучшающие прочность клеевых соединений специальной подготовкой поверхности алюминиевых сплавов (А. Рудавска и др., Люблинская политехника), а также технология исправления поверхностных повреждений композиционных материалов (А. Коморек и др., Высшая школа офицеров военно-воздушных сил, Варшава).

Пример использования возможностей программного пакета SolidWorks для моделирования перемещения деталей по спиральной дорожке вибрационного питателя и определения конструктивных параметров транспортного лотка и ориентирующих элементов показан в докладе Г. Ороня (Ин-т строительства и горной промышленности, Варшава). В работе В. Пасинчука, В. Коренкова и Б. Авдолреза (Киевский политехнический ин-т) рассмотрены вопросы автоматического формирования математической модели бинарных отношений ограничений подвижности элементов сборочных изделий.

В докладе, посвященном автоматическим установкам для различных сборочных операций, представлен автомат для сборки пластмассовых планок с деревянными полками раз-



личных размеров, значительно облегчающий последующую сборку мебели (Е. Лунарски и др., Ин-т строительства и горной промышленности, Варшава). В трех докладах Радомского государственного НИИ предложены автоматические установки для приготовления и производства большой номенклатуры пластмассовых карт с встроенным чипом RFID различного применения. Линия для типовой подготовки таких карт представлена А. Збровским и др., установка для введения блокировок отказов – С. Козелом и др.).

Выступление Т. Самборского и др. касалось устройства для мехатронной подачи тонких листов бумаги или пластмасс. Е. Стус (Ин-т передовых промышленных технологий, г. Краков) представил автоматическую установку для запрессовки клапанов в труднодоступных местах собираемого изделия. Студентка М. Полякова (ВолгГТУ) доложила об оригинальном подходе в минимизации незавершенного производства при сборке прецизионных изделий. И. Оборский представил результаты исследований сборки соединений с натягом при комплексном воздействии нагрева деталей с охватываемой поверхностью и охлаждения деталей с охватываемой поверхностью (Киевский ун-т технологии и дизайна).

З. Бондыра (Варшавский ин-т строительства и горной промышленности) доложил об автоматической установке для пакетирования и упаковки комплектов (30 шт.) цилиндрической тары для клеев и подобных веществ, выдавливаемых при употреблении. Вопросы упаковки сыпучих материалов рассмотрены в работе А. Макарова (ВолгГТУ).

Часть докладов была посвящена контролю качества сборки и исключению непоправимых погрешностей в механосборочных процессах. А. Шепке и др. (Исследовательский Центр машиностроения, г. Прушков) рассмотрены технологические методы, приемы и результаты

исследований процессов, обеспечивающих повышение точности прецизионных высокоскоростных шпинделей. К. Ключек и др. (Варшавский ин-т строительства и горной промышленности) представил универсальный стенд для исследования долговечности и работоспособности элементов дверей (клямки, петли и др.).

Несколько докладов было посвящено исследованиям прочностных параметров клеевых и клеезаклепочных соединений, полученных различными путями. Так, А. Рудауска и др. (Политехнический ин-т, г. Люблин) рассмотрели влияние подготовки поверхности на прочность клеевых соединений из титанового сплава, М. Клоница и др. из того же института – вопросы прочности клеевых соединений при обработке поверхности кислородом, В. Зелецки (Жешувская политехника) – влияние процесса длительного старения (16 лет) на прочность клеевых соединений. М. Киевски и др. (Войсковая техническая академия, Варшава) предложили способы диагностирования прочности поврежденных и исправленных ремонтom композитных материалов.

Еще одна группа докладов освещала вопросы организации и управления процессами механосборочного производства. Интерес научной общественности вызвал доклад проф. М. Кристаля (ВолгГТУ) по проектированию вспомогательных средств сортировки и комплектования массивных деталей при их селективной сборке. А. Стреубель и др. (Политехнический ин-т, г. Вроцлав) предложили решение вопросов логистического обеспечения массового производства современных легковых автомобилей. М. Магера (политехнический ин-т, г. Краков) представил способы подбора и селекции поставщиков компонентов для гибких производственных систем. М. Сонсядек (Зеленогорский ун-т) показал эффективность проведения полного анализа FMEA процессов сборки мотор-редуктора.



З. Боровски и др. (Ун-т технологии и естественных наук, г. Быдгощ) осветил организационные и экономические вопросы, связанные с изготовлением и ограничениями крупногабаритных элементов для их подготовки к сборке без затруднений. Е. Лунарски и др. представили количественный метод определения конкурентоспособности отдельных технологических установок, их группировок и всех технологических машин предприятия. В конце конференции Д. Стадницкой (Жешувская политехника) показан один из результатов международного проекта по разработке дидактических приемов обучения Learn Produktion на примере моделирующей игры сборки авторучек на автоматической линии. Данная работа пред-

ставляет интерес для обучения студентов методам разработки вариативных технологических приемов сборки изделий.

Организаторы конференции пригласили участников на 6-ю Международную конференцию "Модульные технологии и конструкции в машиностроении" МТК-2012, которая состоится в Бещадах 22–25 мая 2012 г. Заинтересованные в получении более подробной информации о конференции могут сделать запрос по электронной почте у секретаря Дороты Стадницкой: dsktmiop@prz.edu.pl или в редакции научно-технического журнала "Технология и автоматизация сборки" email: tiam@imbigs.org.pl (Польша).

УВАЖАЕМЫЕ ПОДПИСЧИКИ!



Научно-техническое издательство "МАШИНОСТРОЕНИЕ"

выпустило в свет полную подписку на журналы за 2007–2010 годы в электронном виде.

Стоимость одного номера составляет 100 рублей.

Полная подписка за 2007 г. выложена в открытом доступе

на нашем сайте www.mashin.ru бесплатно.

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, <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 26.07.11 г. Подписано в печать 22.08.11 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 5,88. Уч.-изд. л. 5,48. Заказ 630. 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.