

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
Б. Е. Патон

Ученые ИЭС им. Е. О. Патона

С. И. Кучук-Яценко (зам. гл. ред.),

В. Н. Липодаев (зам. гл. ред.),

Ю. С. Борисов, Г. М. Григоренко,

А. Т. Зельниченко, В. В. Кныш,

И. В. Кривцун, Ю. Н. Ланкин,

Л. М. Лобанов,

В. Д. Позняков, И. А. Рябцев,

В. Ф. Хорунов, К. А. Ющенко

Ученые университетов Украины

В. В. Дмитрик, НТУ «ХПИ», Харьков,

В. В. Квасницкий, НТУУ «КПИ», Киев,

В. Д. Кузнецов, НТУУ «КПИ», Киев,

М. М. Студент, ФМИ, Львов

Зарубежные ученые

Н. П. Алешин

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, РФ

Гуань Цяо

Ин-т авиационных технологий, Пекин, Китай

А. С. Зубченко

ОКБ «Гидропресс», Подольск, РФ

М. Зиниград

Ун-т Иудеи и Самарии, Ариэль, Израиль

В. И. Лысак

Волгоградский гос. техн. ун-т, РФ

У. Райсген

Ин-т сварки и соединений, Аахен, Германия

Я. Пилярчик

Ин-т сварки, Гливице, Польша

О. И. Стеклов

РНТСо, Москва, РФ

Г. А. Турчин

С.-Петербургский гос. политехн. ун-т, РФ

Редакторы

Т. В. Юштина (отв. секр.), Н. А. Притула

Электронная верстка

И. Р. Наумова, А. И. Сулима, Д. И. Середа

Адрес редакции

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ

03680, Украина, Киев-150,

ул. Казимира Малевича, 11

Тел.: (38044) 200 6302, 200 8277

Факс: (38044) 200 5484, 200 8277

E-mail: journal@paton.kiev.ua

www.patonpublishinghouse.com

Учредители

Национальная академия наук Украины,

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ,

МА «Сварка» (издатель)

Свидетельство о государственной

регистрации КВ 4788 от 09.01.2001

ISSN 0005-111X

Журнал входит в перечень утвержденных

Министерством образования и науки

Украины изданий для публикации трудов

соискателей ученых степеней

За содержание рекламных материалов
редакция журнала ответственности не несет

Цена договорная

Издается ежемесячно

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

- Игнатюв А.В., Кривцун И.В., Семенов И.Л.* Характеристики
неравновесной дуговой плазмы в канале сопла плазмотрона 3
- Головко В.В., Тараборкин Л.А.* Моделирование химического
состава металла ванны при дуговых способах сварки 14
- Марченко А.Е.* Реологические исследования неизотерми-
ческих напорных потоков обмазочных масс для сварочных
электродов 19
- Котельчук А.С.* Влияние теплофизических свойств сердечни-
ков самозащитных порошковых проволок на сварочно-техно-
логические свойства 33
- Пальцевич А.П.* Исследование условий обеспечения низких
содержаний диффузионного водорода при сварке электро-
дами основного типа 38

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

- Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Петриченко И.К., Селин Р.В.*
Влияние присадочного металла на структуру и свойства
сварных соединений высокопрочных двухфазных титановых
сплавов, выполненных аргонодуговой сваркой 42
- Юань Хун, Чжан Гуо-Дун, Ван Цзин-Сю, Йю Хуай, Чжу Чжи-Шоу.*
Свариваемость стойкого к повреждению титанового спла-
ва TC21 при электронно-лучевой сварке 47
- Губеня И.П., Явдошин И.Р.* Механизмы образования твердой
составляющей сварочного аэрозоля и пути ее попадания
в живой организм (Обзор) 53
- Корниенко А.Н.* Организация первого в мире специализиро-
ванного научно-исследовательского и проектно-конструктор-
ского института сварочного производства.
Инновационные работы первого десятилетия 56

ХРОНИКА

- Посещение ИЭС им. Е.О. Патона делегацией Института
сварки Польши 59
- Международный промышленный форум 60
- К 100-летию со дня рождения А.М. Макары 62
- В.И. Галиничу — 80 64

Информация

- Календарь выставок и конференций в 2016 г. 66
- Комплексное решение задачи восстановления элементов
силовой гидравлики механизированных крепей шахтного
оборудования (материал, технология) 71

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief
B. E. Paton

Scientists of PWI, Kyiv

S. I. Kuchuk-Yatsenko (vice-chief ed.),
V. N. Lipodaev (vice-chief ed.),
Yu. S. Borisov, G. M. Grigorenko,
A. T. Zelnichenko, V. V. Knysh,
I. V. Krivtsun, Yu. N. Lankin,
L. M. Lobanov,
V. D. Poznyakov, I. A. Ryabtsev,
V. F. Khorunov, K. A. Yushchenko

Scientists of Ukrainian Universities

V. V. Dmitrik, NTU «KhPI», Kharkov,
V. V. Kvasnitskii, NTUU «KPI», Kyiv,
V. D. Kuznetsov, NTUU «KPI», Kyiv,
M. M. Student, Karpenko PhMI, Lviv

Foreign Scientists

N. P. Alyoshin

N.E. Bauman MSTU, Moscow, Russia

Guan Qiao

Beijing Aeronautical Institute, China

A. S. Zubchenko

OKB«Gidropress», Podolsk, Russia

M. Zinigrad

College of Judea & Samaria, Ariel, Israel

V. I. Lysak

Volgograd State Technical University, Russia

Ya. Pilarczyk

Welding Institute, Gliwice, Poland

U. Reisgen

Welding and Joining Institute, Aachen, Germany

O. I. Steklov

Welding Society, Moscow, Russia

G. A. Turichin

St. Petersburg State Polytechn. Univ., Russia

Editors

T. V. Yushtina (exec. secr.), N. A. Pritula

Electron galley

I. R. Naumova, A. I. Sulima, D. I. Sereda

Address of Editorial Board:

11, Kazimira Malevicha str., 03680, Kyiv,
Ukraine

Tel.: (38044) 200 63 02, 200 82 77

Fax: (38044) 200 54 84, 200 82 77

E-mail: journal@paton.kiev.ua

www.patonpublishinghouse.com

Founders

National Academy of Sciences of Ukraine,
Paton Welding Institute of the NAS of Ukraine,
IA «Welding» (Publisher)

State Registration Certificate

KV 4788 of 09.01.2001

ISSN 0005-111X

All rights reserved. This publication and
each of the articles contained here in are
protected by copyright.

Permission to reproduce material
contained in this journal must be obtained
in writing from the Publisher

Published monthly

Journal «Automaticheskaya Svarka»

is published in English under the title

«The Paton Welding Journal»

Concerning publication of articles,
subscription and advertising, please,
contact the editorial board.

CONTENTS

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

- Ignatov A.V., Krivtsun I.V., Semenov I.L.** Characteristics of non-equilibrium arc plasma in plasmatron nozzle channel 3
- Golovko V.V., Taraborkin L.A.** Modeling of chemical composition of pool metal in arc methods of welding 14
- Marchenko A.E.** Reological investigations of non-isothermal pressure flows of coating masses for welding electrodes 19
- Kotelnichuk A.S.** Effect of thermophysical properties of cores of self-shielding flux-cored wires on welding-technological properties 33
- Paltsevich A.P.** Investigation of conditions of providing low contents of diffusive hydrogen in welding with basic-type electrodes 38

INDUSTRIAL

- Akhonin S.V., Belous V.Yu., Petrichenko I.K., Selin R.V.** Effect of filler metal on structure and properties of high-strength two-phase titanium alloy welded joints made by argon-arc welding 42
- YUAN Hong, ZHANG Guo-dong, WANG Jin-xue, YU Huai, ZHU Zhi-shou.** Electron beam weldability of TC21 damage-tolerant titanium alloy 47
- Gubanya I.P., Yavdoshchin I.R.** Mechanisms of formation of solid component of welding aerosol and ways of its entrance to the living organism (Review) 53
- Kornienko A.N.** Organizing of the first in the world specialized research and designing institute of welding production. Innovation works of the first decade 56

NEWS

- Visit of delegation from the Welding Institute of Poland to the E.O.Paton Electric Welding Institute** 59
- International Industrial Forum** 60
- Towards the 100th birthday anniversary of A.M.Makara** 62
- V.I. Galinich is 80** 64

Information

- Calendar of conferences and exhibitions in 2016** 66
- Integrated solution of the problem of restoration of power hydraulics elements of mechanized fasteners of mining equipment (material, technology)** 71

ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕРАВНОВЕСНОЙ ДУГОВОЙ ПЛАЗМЫ В КАНАЛЕ СОПЛА ПЛАЗМОТРОНА

А.В. ИГНАТОВ^{1,2}, И.В. КРИВЦУН^{1,2}, И.Л. СЕМЕНОВ³

¹Китайско-украинский институт сварки им. Е.О. Патона,

Гуандунский Генеральный научно-исследовательский институт промышленных технологий
(Гуанчжоуский научно-исследовательский институт цветных металлов), г. Гуанчжоу, КНР

²ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ, 03680, г. Киев, ул. Казимира Малевича (Боженко), 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

³Немецкий аэрокосмический центр (DLR), г. Мюнхен, Германия. E-mail: igor_semenov@list.ru

Разработана математическая модель процессов переноса энергии, импульса, массы и заряда в неравновесной плазме электрической дуги, горящей в цилиндрическом канале с водоохлаждаемыми стенками, продуваемом ламинарным потоком плазмообразующего инертного газа. В основу модели положены многожидкостные уравнения для неизотермической, ионизационно-неравновесной дуговой плазмы, в т.ч. с учетом второй ионизации атомов плазмообразующего газа, записанные в дрейфово-диффузионном приближении. Такой подход позволяет с единых позиций описывать процессы, протекающие как в центральной области канала (в плазме столба дуги), так и в пристеночной области (в ионизационном слое плазмы) вплоть до границы слоя пространственного заряда, непосредственно примыкающего к стенке канала. Учет процессов, протекающих в бесстолкновительном слое пространственного заряда и определение характеристик теплового и электрического взаимодействия дуговой плазмы со стенкой канала осуществляется путем использования соответствующих граничных условий на границе указанного слоя. Кроме того, учет наличия в дуговой плазме двухзарядных ионов дает возможность проводить расчет ее характеристик в широком диапазоне значений тока дуги и радиуса канала. Численное решение уравнений предложенной модели проводится методом конечных объемов, для компьютерной реализации которого создано соответствующее программное обеспечение. Проведен детальный численный анализ радиальных распределений характеристик плазмы аргоновой дуги в цилиндрическом канале сопла плазмоторна прямого действия, а также напряженности продольного электрического поля в дуговой плазме и теплового потока из плазмы на стенку канала при различных значениях тока дуги, радиуса канала и расхода плазмообразующего газа. Показано, что в отличие от центральных областей канала, где дуговая плазма является практически равновесной, в пристеночной области реализуется существенная термическая и ионизационная неравновесность плазмы. Показано также, что при увеличении тока дуги и уменьшении радиуса канала необходим учет наличия в дуговой плазме двукратно заряженных ионов. Проведено сравнение результатов моделирования характеристик неравновесной плазмы аргоновой дуги в канале сопла плазмоторна с имеющимися экспериментальными данными. Библиогр. 11, табл. 1, рис. 9.

Ключевые слова: дуговой плазмоторн, плазмформирующий канал, электрическая дуга в канале, неравновесная плазма, математическое моделирование

Разработка новых и совершенствование существующих плазменных технологий, таких, например, как плазменная сварка, резка, порошковая наплавка и напыление покрытий требуют достоверной информации об интегральных и распределенных характеристиках плазмы, генерируемой дуговыми плазмоторнами прямого и косвенного действия, в зависимости от типа и конструктивных особенностей плазмоторна, режима его работы и состава плазмообразующего газа. Тепловые, газодинамические и электромагнитные характеристики потока дуговой плазмы, генерируемой такими устройствами, во многом определяются ее взаимодействием со стенкой плазмформирующего канала плазмоторна. Кроме того, указанное взаимодействие определяет характеристики теплового и электрического воздействия дуговой плазмы на стенку канала, знание которых дает возможность оптимизировать конструкцию плазмоторна и повысить ресурс его работы. Экспериментальное

определение характеристик дуговой плазмы в канале сопла плазмоторна, а также характеристик ее взаимодействия со стенкой канала затруднено в связи с малыми геометрическими размерами канала, высокими значениями температуры плазмы и температуры стенки. Поэтому целью данной работы является разработка математической модели и детальное численное исследование процессов переноса энергии, импульса, массы и заряда в неравновесной плазме электрической дуги, горящей в цилиндрическом канале сопла плазмоторна, а также определение тепловых и электрических характеристик ее взаимодействия со стенкой канала.

Для теоретического описания процессов энерго-, массо- и электропереноса в объеме дуговой плазмы, содержащей электроны, ионы и нейтральные атомы, можно использовать модель, базирующуюся на основе многожидкостных уравнений для термически и ионизационно неравновесной плазмы [1]. При рассмотрении процессов взаимодействия такой плазмы со стенкой канала можно