

7. Plasma–weld pool interaction in tungsten inert-gas configuration. / J. Mougnot, J.Gonzalez, P Freton and M Masquère // J. Phys. D: Appl. Phys. 46. 2013. 135-206.
8. Numerical study and comparisons of gas tungsten arc properties between argon and nitrogen/ Shanping Lu, Wenchao Dong, Dianzhong Li, Yiyi Li. // Computational Materials Science 45 (2009) 327–335
9. M. C. Tsai Heat Transfer and Fluid Flow in Welding Arcs Produced by Sharpened and Flat Electrodes./ M. C. Tsai and S. Kou. // Int. J. Heat and Mass Transfer, 1990. vol. 33. pp. 2089-2098.

УДК 621.791

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В МАГНИТНОЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКЕ

Жайнаков Аманбек, д.ф.-м.н., профессор, академик, КГТУ им.И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: jainakov-41@mail.ru

Рассмотрены основные этапы становления вычислительной школы Кыргызстана в области численного моделирования в физике низкотемпературной плазмы. Подчеркивается важная роль современных вычислительных средств и новых компьютерных технологий в решении ресурсоемких задач магнитной газовой динамики. Приведена математическая модель и метод численного решения трехмерных уравнений, описывающих процессы тепло - массообмена в электродуговой аргоновой плазме атмосферного давления.

Ключевые слова: низкотемпературная плазма, магнитная газовая динамика, неравновесная трехмерная математическая модель, аргоновая плазма, тепло-массообмен.

COMPUTATIONAL TECHNOLOGIES AND MATHEMATICAL MODELING IN MAGNETO HYDRODYNAMICS

Zhaynakov Amanbek, D.Sc., professor, academician, KSTU im.I.Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mira 66, e-mail: [Jainakov-41@mail.ru](mailto:jainakov-41@mail.ru)

The main stages of computer schools in Kyrgyzstan in the field of numerical simulation of low-temperature plasma physics. The important role of advanced computational tools and new computer technology in solving demanding tasks of magnetic gas dynamics. The mathematical model and numerical method for three-dimensional equations describing the processes of heat - mass transfer in an electric argon atmospheric pressure plasma.

Keywords: low-temperature plasma, magneto hydrodynamics, nonequilibrium three-dimensional mathematical model, argon plasma, heat and mass transfer.

Бурное развитие новых плазменных технологий настоятельно требует дальнейшего, более глубокого изучения теплофизических процессов и свойств электродуговой плазмы. Наряду с экспериментальными исследованиями, большое значение имеет теоретические методы.

В настоящее время теоретическое исследование электродуговой плазмы происходит в двух основных направлениях.

Первое из них – это развитие аналитических методов, которые позволяют в упрощенной форме исследовать зависимость между основными параметрами разряда.

Второе направление – это численное моделирование, или вычислительный эксперимент, потенциальные возможности которого неизмеримо больше аналитических

методов. Методика численного моделирования широко применяется в исследованиях теплофизических процессов электродуговой плазмы.

Надо отметить, что задачи вычислительной магнитной газовой динамики относятся к классу ресурсоемких задач. Чрезвычайно большие объемы вычислений требуют привлечение мощных вычислительных средств.

Только появление достаточно мощных вычислительных средств позволили приступить к широкомасштабному численному исследованию с помощью вычислительного эксперимента. Так были разработаны методы решения системы уравнений и приближении пограничного слоя и решен весьма широкий круг более сложных задач в физике низкотемпературной плазмы.

Наряду с учеными зарубежных стран, огромный вклад в деле исследования низкотемпературной плазмы внесли физики Кыргызстана - академик Жеенбаев Ж., профессор Энгельшт В.С., академик Жайнаков А., [5-8] и другие известные ученые.

В середине 70-х годов в Кыргызстане под руководством автора была создана научная школа в области численного моделирования низкотемпературной плазмы, создано новое научное направление- вычислительная магнитная газодинамика.

В рамках канальных, интегральных и численных методов решения выявлен механизм нагрева газа электрической дугой. Определены зависимости характеристик плазмы от внешних регулируемых параметров.

Впервые выполнен численный анализ с учетом электромагнитных сил на начальном участке плазматрона с аксиальным потоком газа. Проведены расчеты протяженной электрической дуги. Эти исследования внесли существенный вклад в изучении потоков электродуговой плазмы [2,3,4,9].

Следующим шагом в области численного моделирования явилось решение двумерной системы уравнений дуговой плазмы. Использование двумерных математических моделей позволило заметно расширить круг исследуемых задач [2,10,11,18,21,23], были выполнены численные расчеты открытых электрических дуг и плазматронов при наличии сложных структур газодинамических потоков. Обнаружены качественно новые вихревые режимы течения плазмы в коротких электрических дугах и выявлены условия формирования “плазменных тарелок” как результат соударения катодных и анодных струй. Установлены причины образования колоколообразных и бочкообразных форм коротких электрических дуг.

Рассмотрено влияние закрутки на характеристики электродугового потока. Выполнены численные исследования неравновесных потоков дуговой плазмы. Исследованы параметры сжатых электрических дуг в области перехода ламинарного режима течения в турбулентный режим [23].

Впервые проведены расчеты, учитывающие взаимное влияние столба электрической дуги с расплавленным металлом обрабатываемого изделия [17]. Все это позволило глубже понять основные физические закономерности и протекающие процессы в потоках электродуговой плазмы с осевой симметрией.

Двумерные математические модели имели ограниченную область применения, они могли быть использованы только для исследования осесимметричных течений. Во многих электродуговых устройствах, применяемых на практике, имеют место не осесимметричные потоки плазмы.

Для численного исследования не осесимметричных электродуговых систем необходимо развитие трехмерной математической модели электрической дуги. Следует отметить, что необходимо учитывать не только сложную пространственную структуру, но и, как правило, изменение процессов по времени, наличие химических реакций и ряд других факторов.

Появление в последние годы нового поколения вычислительной техники компьютеров с большим быстродействием и объемом оперативной памяти стимулировало дальнейшее исследование электродуговой плазмы.

Разработка новых компьютерных технологий, наряду с развитием вычислительных средств, позволили поднять исследования на качественно новую ступень.

В последние годы для операционной системы Windows создана среда программирования Delphi алгоритмическим языком ObjectPascal [1,19].

Скорость счета в среде программирования Delphi превышает соответствующее значение для Pascal более чем в десять раз. Такое резкое увеличение производительности существенно облегчает проведение численных исследований, и позволило приступить к решению сложных задач физики низкотемпературной плазмы. Большое значение имеют также программные средства обработки информации полученных результатов.

Проблема достаточно эффективно решается благодаря появлению таких программных продуктов, как Mathcad, Matlab и другие.

Успешное овладение новыми компьютерными технологиями позволяет эффективно решать новые и сложные научно-практические задачи.

В данной работе рассматриваются математическая модель и метод численного решения трехмерных уравнений, описывающих процессы тепло -массообмена в электродуговой аргоновой плазме атмосферного давления.

Систему уравнений для расчета характеристик электродуговых потоков плазмы можно записать в следующем виде:

Уравнение неразрывности газа и электрического тока

$$\operatorname{div}(\rho\vartheta)=0; \quad (1)$$

$$\operatorname{div}\vec{j} = 0; \quad (2)$$

Уравнение энергии

$$\operatorname{div}(\rho C_p \vartheta T) = \operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} T) + \sigma E^2 - \psi; \quad (3)$$

Уравнения движения для трех компонентов скорости u, v, w;

$$\operatorname{div}(\rho\vartheta u) = \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} u) - \frac{\partial P}{\partial x} + [\vec{j} \times \vec{H}]_x + S_x \quad (4)$$

$$\operatorname{div}(\rho\vartheta v) = \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} v) - \frac{\partial P}{\partial y} + [\vec{j} \times \vec{H}]_y + S_y; \quad (5)$$

$$\operatorname{div}(\rho\vartheta w) = \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} w) - \frac{\partial P}{\partial z} + [\vec{j} \times \vec{H}]_z + S_z; \quad (6)$$

-Уравнения Максвелла

$$\operatorname{rot}\vec{H} = \vec{j}; \operatorname{rot}\vec{E} = 0; \operatorname{div}\vec{H} = 0; \quad (7)$$

Закон Ома

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (8)$$

При записи уравнений использованы общепринятые для подобных задач обозначения. Коэффициенты переноса теплофизические свойства неравновесной аргоновой плазмы рассчитываются по известным формулам [18]. Предполагается, что процессы стационарны, течение ламинарное, плазма представляет собой сплошную деформируемую квазинейтральную среду и находится в состоянии локального термодинамического равновесия, излучение объемное, работа сил давления и вязкая диссипация не учитываются.

Для создания более эффективного алгоритма решения данной системы уравнений выполнены некоторые преобразования, а именно; вектор напряженности электрического поля \vec{E} имеет три компонента, что усложняет расчеты; в связи с этим вводится новая скалярная переменная потенциал электрического поля φ , связанный с \vec{E} соотношением $\vec{E} = -\operatorname{grad}\varphi$. Используя закон Ома [11] и условие сохранения электрического тока [6], а также уравнения Максвелла [10], запишем уравнения для нахождения φ :

$$\operatorname{div}(\sigma \operatorname{grad} \varphi) = \operatorname{div}[\sigma \cdot \mu_0 (\vec{\vartheta} \times \vec{H}) - \sigma (\mu_0 \vec{j} \times \vec{H} - \operatorname{grad} P_e)] \quad (9)$$

Кроме того, вместо напряженности магнитного поля \vec{H} удобное ввести векторный потенциал \vec{A} связанный с \vec{H} соотношением $\operatorname{rot}\vec{A} = \vec{H}$. Использование векторного потенциала позволяет, для довольно широкого круга задач, избежать большого объема вычислений \vec{H} на токопроводящих границах расчетной области. Используя уравнения Максвелла $\operatorname{rot}\vec{H} = \vec{j}$

определение $rot\vec{A} = \vec{H}$, запишем уравнения для расчета векторного потенциала \vec{A} , которое будет иметь следующий вид:

$$\Delta\vec{A} = -\vec{j} \quad (10)$$

Решением уравнения (10) является тройной интеграл вида

$$\vec{A} = \frac{1}{4\pi} \iiint \frac{\vec{j} dv}{R} \quad (11)$$

т.е. по известному распределению \vec{j} можно определить значение \vec{A} в каждой точке расчетной области. Однако прямое вычисление тройных интегралов требует очень много машинного времени вычисления, поэтому во внутренних узлах расчетной области значения \vec{A} вычисляются из уравнения (10), а по формуле (11) вычисляются значения компонент векторного потенциала только на границах расчетной области. Далее, по известному распределению компонент векторного потенциала A_x, A_y, A_z , вычисляются компоненты напряженности магнитного поля дуги из уравнения $\vec{H} = rot\vec{A}$.

Уравнения для рассчитываемых переменных температуры T (3), компоненты скорости u, v, w (4-6), потенциал электрического поля ϕ (9) и векторного потенциала \vec{A} (10) можно записать в обобщенной форме:

$$div(\alpha r \nabla \phi) = div(\beta grad \phi) + \gamma \quad (12)$$

где ϕ – одно из неизвестных – $T, u, v, w, \phi, A_x, A_y, A_z$; конкретный вид коэффициентов α, β, γ зависит от смысла переменной ϕ (таблица 1).

Единая форма записи уравнений для неизвестных переменных позволяет решать эти уравнения единым методом [13] и использовать единый алгоритм, что существенно облегчает проведение численных расчетов.

Таблица 1.

Коэффициенты уравнения (12)

ϕ	α	β	γ
T	$\rho C_p \vartheta$	λ	$\sigma E^2 - \psi$
u	1	μ	$-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu_0 * [j * \vec{H}]_x + S_x,$ $\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial x}$
v	1	μ	$-\frac{\partial p}{\partial y} + \mu_0 * [j * \vec{H}]_y + S_y$
w	1	μ	$-\frac{\partial p}{\partial z} + \mu_0 * [j * \vec{H}]_z + S_z$
A_x	0	1	j_x
A_y	0	1	j_y
A_z	0	1	j_z
ϕ	0	σ	$div[\sigma \cdot \mu_0 (\vec{U} * \vec{H}) - \sigma (\mu_0 \cdot \vec{j} * \vec{H} - grad P_e)]$

Для численного решения обобщенного дифференциального уравнения (12) для каждой из неизвестных $T, u, v, w, \phi, A_x, A_y, A_z$; и P необходимо задать граничные условия. Так как данное уравнения (12) является уравнением эллиптического типа, граничные условия должны быть заданы по всему контуру расчетной области. Постановка граничных условий для рассчитываемых переменных приводится на примере открытой осесимметричной дуги (рис.1.). Расчетная область включает в себя столб дуги, катод и анод. Постановка граничных условий подробно изложено в работах [4,18].

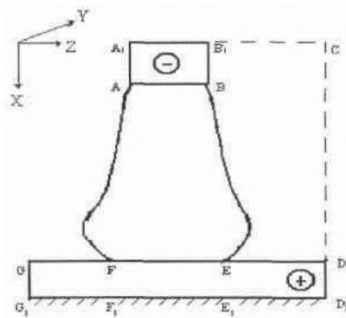


Рис. 1. Схема открытой электрической дуги.

Обобщенное уравнение (12) решается методом дискретизации [13], сущность которого состоит в следующем. Расчетная область заменяется прямолинейной ортогональной сеткой и разбивается на конечное число непересекающихся контрольных объемов таким образом, что каждая узловая точка содержится в одном контрольном объеме. Интегрируя дифференциального уравнения (12) по каждому контрольному объему находим дискретный аналог данного, уравнения. Первые производные аппроксимируются конечными разностями, ориентированными “против потока”, вторые производные – центральными разностями. Расчет поля скоростей и давления по алгоритму SIMPLER [13,20]. Дискретный аналог представляет собой алгебраическое уравнение, связывающее значение переменной Φ в узловой точке с ее значениями в соседних точках. Таким образом, система дифференциальных уравнений, сводится к системе алгебраических уравнений, которые затем решаются итерационным полинейным методом.

Таким образом, рассмотрены математическая модель, граничные условия и методика численного решения трехмерной системы уравнений неравновесной электродуговой плазмы.

Прежде чем использовать математическую модель для исследований, необходимо выполнять тестирование, чтобы убедиться в ее корректности.

Тестирование трехмерной равновесной модели проведено ранее мною в [4], а в [18] выполнено тестирование двумерной неравновесной модели электрической дуги. В обоих случаях результаты тестирования показали правильность математической модели и алгоритм расчета.

С целью проверки модели и алгоритма расчета проведено сравнение расчетных данных с результатами экспериментальных измерений температурного поля дуги, горящей между цилиндрическим катодным насадком и плоским анодом [22].

Рассчитывалась аргоновая дуга атмосферного давления при следующих параметрах: ток дуги 200А, радиус катодного насадка $R_c=5\text{мм}$, расход газа через насадок $G=8,3 \cdot 10^{-3}\text{г/с}$, радиус дуги на аноде $R_a=4,25\text{мм}$, расстояние между насадком и анодом $L=10\text{мм}$.

Как следует из результатов численного расчета, вблизи поверхности анода вследствие контрагированной привязки дуги под действием собственных электромагнитных сил формируется анодная струя, направленная навстречу потоку газа из катодного насадка (рис. 2.).

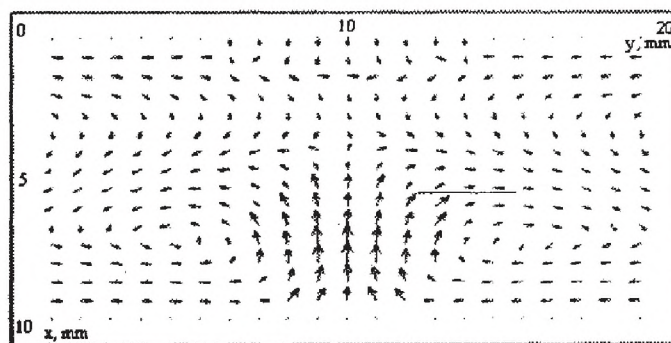


Рис.2. Характер течения газа в плоскости Y-X при $z=Z/2$

На (рис. 3- 4) приведены распределения температуры тяжелых частиц T , электронов T_e определенные в результате численного решения и экспериментальные данные [22] по температурному полю дуги.

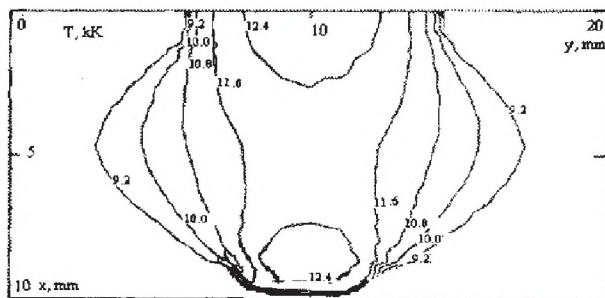


Рис.3. Распределение температуры тяжелых частиц T в плоскости Y - X при $z=Z/2$.

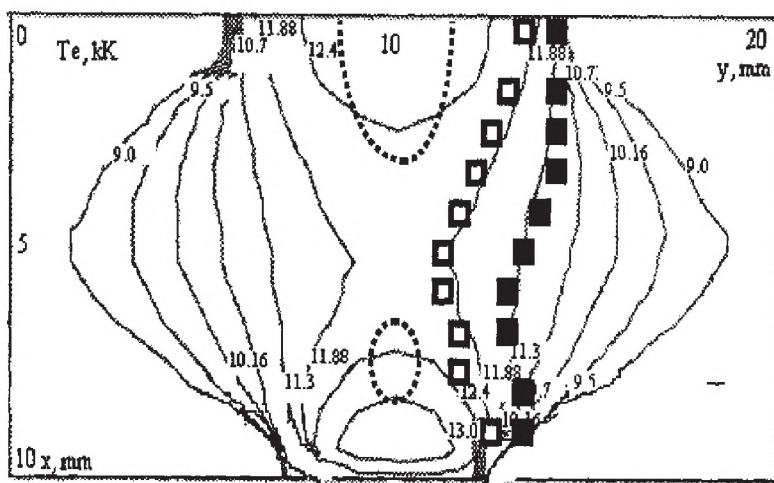


Рис.4. Распределение температуры электронов T_e в плоскости y - x $z=Z/2$

(----- 12,4кК □ - 12,2кК; ■ - 11кК- эксперимент [23]).

Из рисунков видно, что рассчитанные значения температуры электронов и тяжелых частиц достаточно хорошо согласуются с экспериментом: отличие не превышает 5%. Погрешность расчета по модели ЛТР [4] была более высокая и составляла 10% этого и следовало ожидать, так как неравновесная модель физически более реальна и корректна, чем модель ЛТР.

Таким образом, развита трехмерная математическая модель численного расчета электродуговых потоков с учетом отклонения плазмы от термического и ионизационного равновесия. Проведено тестирование модели путем сравнения расчетных данных температуры плазмы с результатами экспериментальных измерений.

Анализ результатов тестирования показал, что предложенная модель позволяет более точно, по сравнению с равновесной моделью, рассчитывать теплофизические характеристики электродуговых потоков плазмы.

Использование неравновесной трехмерной математической модели, развитой в данной работе, позволяет существенно расширить круг исследуемых задач. Развитая в данной работе трехмерная неравновесная модель и алгоритм численного решения является корректным.

В рамках представленной трехмерной математической модели впервые рассмотрена такая важная научно-практическая задача, как численные исследования электрической дуги, горячей во внешних газодинамических и магнитных полях. Исследовано влияние внешних регулируемых параметров на характеристики дугового разряда. Результаты исследований позволили выявить ряд важных закономерностей и свойств что приведено в моей работе [14-

16]. В качестве примера приводятся некоторые результаты численного расчета двух электрических дуг во внешнем поперечном магнитном поле, схема которых изображена на (рис.5.).

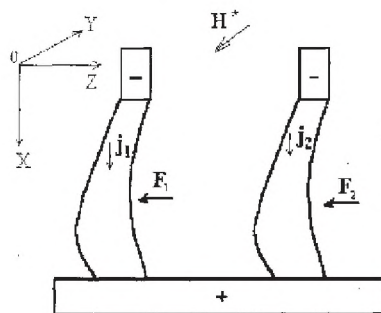


Рис.5. Условная схема двух дуг во внешнем магнитном поле H .

Как следует из результатов численного расчета (рис.6.), в дуговом разряде в направлении действия электромагнитных сил формируется интенсивный газодинамический поток со скоростью $50 \div 120 \text{ м/с}$. Наблюдается значительный до 15 мм , вынос высокотемпературной зоны в окружающее пространство. Установлено, что увеличением величины внешнего магнитного поля столб дуги значительно деформируется и смещается. Дальнейшей деформацией и смещению препятствует скольжение дуги.

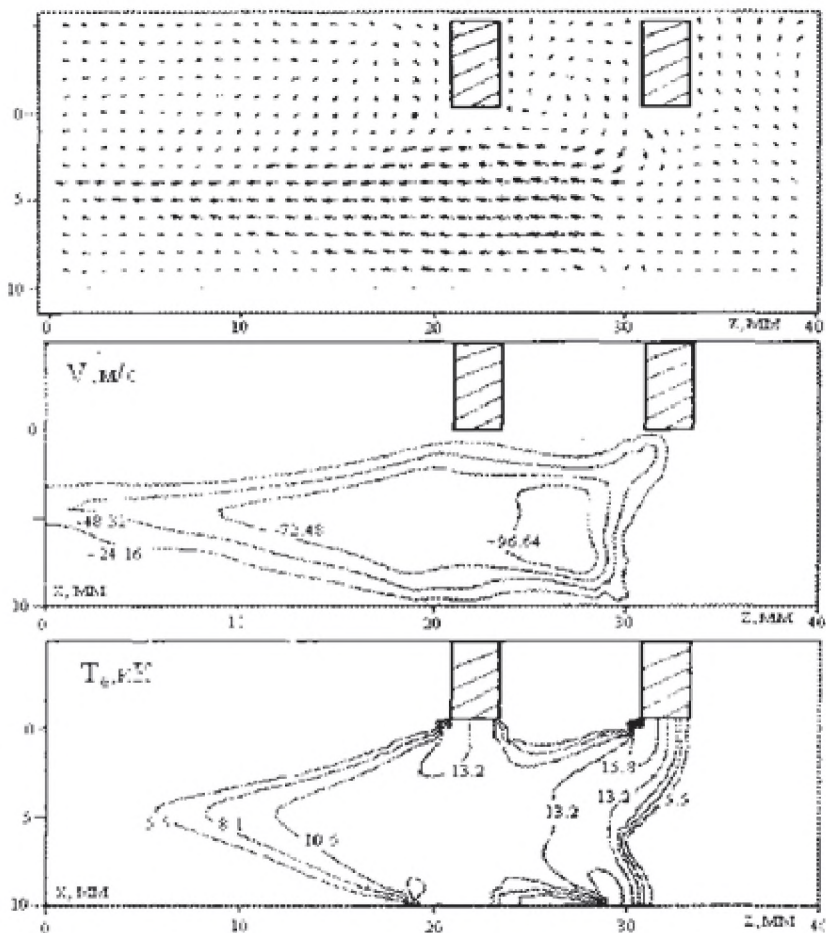


Рис.6. Характер течения газа, поля скорости V и температуры электронов T_e .

Таким образом, результаты тестирования позволяют сделать вывод о корректности используемой трехмерной математической модели, численного метода, алгоритм расчета и тем самым использовать их для расчета различных конструкций электродуговых устройств.

Список литературы

1. Баас Р. Delphi 5 BHV / Р. Баас, М. Фервай, Х. Гюнтер– Киев: 2000, 494с.
2. Электрическая дуга в закрученном потоке газа в канале плазматрона / Г.Бийбосунова, А. Жайнаков, В. М Лелевкин, Д. В. Невелев– Фрунзе: Илим, (препринт).- 1989.- 36 с.
3. Методы расчета и численный анализ течений проводящего газа в сильноточных электрических дугах / Г.А.Десятков, А. Жайнаков, П.В. Козлов и др. - Известия АН СССР,МЖГ,1978.-№5-С.103-110с.
4. Жайнаков А. Физика техника и применение низкотемпературной плазмы / А. Жайнаков, Ж.Жеенбаев, В.С. Энгельшт -Алма-Ата:1970, 355с.
5. Жайнаков А. К расчету плазматрона. В. кн.:Применение плазматрона в спектроскопии /Жайнаков А.,Энгельшт В.С. Фрунзе: Илим,1970, 194с.
6. Жеенбаев Ж. Ламинарный плазматрон / Ж. Жеенбаев, В.С. Энгельшт– Фрунзе: Илим,1975.-85с.
7. Жеенбаев Ж. Двух струйный плазматрон / Ж Жеенбаев, В.С. Энгельшт– Фрунзе: Ин-т физики и математики АН Кирг. ССР,1983.-199с.
8. Жайнаков А. Нагрев и течение проводящего газа / А. Жайнаков, В.М Лелевкин, В.С. Энгельшт.- Изв. АН СССР,МЖГ.-1975.- №5 С.-190-193
9. Расчет характеристик сильноточной электрической дуги малой длины.-кн.: Динамика жидкости, газа и плазмы / А. Жайнаков, Д.В Невелев, В.С Слободянюк, В.С Энгельшт. -Фрунзе:1982.-37с.
10. Магнитодинамические потоки в сильноточных электрических дугах / А Жайнаков, Д.В Невелев, В.С. Слободянюк, В.С. Энгельшт - Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа.-1983.-№5.-138с.
11. А. Жайнаков, Т.Э. Трехмерная модель расчета электродуговых потоков / А. Жайнаков, Т.Э. Урусова, Р.М. Урусов – Бишкек: Наука и новые технологии.-1999.- №2.- С.- 3 -7
12. А.Жайнаков, Т.Э. Влияние межэлектродного расстояния и силы тока на устойчивость электрической дуги в поперечном магнитном поле / А.Жайнаков, Т.Э. Урусова, Р. М. Урусов – Бишкек:Международная научно-практическая конференция “Технология и перспективы современного инженерного образования, науки и производства”, 1999.-С.42-45
13. Численные исследования гашения электрической дуги во внешнем поперечном магнитном поле / А. Жайнаков, В. Энгельшт, Т.Э Урусова, Р. М. Урусов// Известия НАН КР, 2000.-№ 1.-С.30-33
14. Жайнаков А. Численный расчет динамически равновесной дуги во внешнем поперечном магнитном поле / А Жайнаков, Р. М Усуров, В. С Энгельшт.// Известия НАН КР.-2001- №1
15. Жайнаков А. Численное исследование двух параллельных электрических дуг во внешнем поперечном магнитном поле / А.Жайнаков, Р. М. Урусов// Известия НАН КР.- 2001.- №1.-С.17-21
16. Жайнаков А. К постановке граничных условий для функции «вихрь скорости» на границе «плазма –жидкий металл / А Жайнаков, Дж.О., Усенканов, Р.Т. Султангазиева// Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы вычислительной математики и информационных технологий», Алматы, 1999
17. Электрическая дуга–генератор низкотемпературной плазмы / А.Жайнаков, В. М. Лелевкин, В. С. Мечев и др. - Бишкек: Илим, 1991.- 373 с.
18. Зуев. Е.А. Система программирования TurboPascal / Е.А. Зуев.– Москва: Радио и связь, 1992. -288 с.
19. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена динамики жидкости / С.Патанкар – Москва: Энергоавтомиздат, 1984.-146с.
20. Энгельшт В.С. Низкотемпературная плазма т.1/ Под ред. Энгельшт В.С., Б.А. Урюкова. - Новосибирск: Наука,. 1990. -374с.

21. Sanders N. Studies of the anode region of a high – intensity argon arc / Sanders N., Etemadi K, Hsuk Satal. - J.Appl.Phys, v.53, N6, 1982.- 4136-4141p.

22. Jainakov A. Study of electric arc plasma flow in transition region from laminar to turbulent current. Plasma jets in the development of new materials technology / Jainakov A., Usenkanov J.O., Jumaliev T. P.- Frunze: 1990.

УДК 537.527

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧ ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ СВАРКИ

Жайнаков Аманбек Жайнакович, д.ф.-м.наук, академик, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: jainakov47@mail.ru

Султангазиева Рена Турдубековна, к.ф.-м.н., доцент, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: renasultangazieva@mail.ru

Медралиева Бюбюсара Ниясбековна, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: medralieva@mail.ru

В работе оценены возможности применения программного комплекса OpenFoam для решения задач электродуговой и плазменной сварки. Обоснована необходимость сквозного процесса моделирования, включающей задачи моделирования дуги, сварочной ванны, сварочного шва, металлургических процессов и вытекающие из них термомеханические задач. Представлены особенности решения полной системы МГД уравнений, описывающий процесс электродуговой сварки в программном пакете OpenFoam.

Ключевые слова: МГД уравнения, электродуговая сварка, сварочная ванна, компьютерное моделирование, программный пакет OpenFoam

THE MODERN TOOLS FOR COMPUTER MODELING OF PLASMA ARC WELDING

Jainakov Amanbek Jainakovich, Academician, d.p.m.s., professor, KSTU named after I.Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, c. Bishkek, pros. Mira-66, e-mail: jainakov-41@mail.ru

Sultangazieva Rena, phd, docent, Kyrgyz State Technical University named after I.Razzakov, Bishkek, Kyrgyz Republic, Kyrgyzstan, 720044, c. Bishkek, pros. Mira-66, e-mail: renasultangazieva@mail.ru

Medralieva Bubusara, Kyrgyz State Technical University named after I.Razzakov, Bishkek, Kyrgyz Republic, Kyrgyzstan, 720044, c. Bishkek, pros. Mira-66, e-mail: medralieva@mail.ru

In this paper the possibility of application of OpenFoam software package for solving electric and plasma arc welding tasks are evaluated. It is shown that the arc modeling tasks, the weld pool, weld, metallurgical processes and the resulting thermo-mechanical problems must be solved together. Features of the MHD equations solution for arc welding complex system by the OpenFoam software package are described.

Keywords: MHD equations, arc welding, weld pool, computer modeling software package OpenFoam.

Электродуговая и плазменная сварка являются одними из самых часто применяемых видов соединений для металлических деталей, изделий и конструкций. Широкое применение автоматическая аргонодуговая сварка неплавящимся электродом получила в авиационном двигателестроении для сварки узлов и агрегатов турбореактивных двигателей из