

Выводы

1. В твердых материалах вследствие их дискретно-связанной структуры распределение остаточных напряжений в разных масштабных уровнях неоднородные и имеет периодический характер.
2. Остаточные напряжения на разных структурных элементах: кристаллическая решетка, зерно, граница зерна могут иметь разные знаки и изменяются в соответствии с их знаками взаимосогласованно:
3. При увеличении сжимающих напряжений кристаллической решетки магнетита от СВЧ облучения (в течение 50с.), растягивающие напряжения на границе кристаллической отдельности и на границе зерна увеличивается, т.е. имеется соответствие фактических изменений с изменениями в модели.
4. Изменение сжимающего напряжения кристаллической решетки магнетита от СВЧ-облучения в течение 180с. и уменьшение при этом растягивающих напряжений на границах кристаллической отдельности и зерна также полностью соответствует согласованным изменениям напряжений в структурных элементах модели

Список литературы

- 1.Тажобаев К.Т. Структурно-механическая модель напряженно-деформированного состояния неоднородной твердой среды / Р.М.Султаналиева // Геомеханическое обоснование методов расчета устойчивости обнажений.Бишкек.: Илим, 1992. 99-107 с.
- 2.Заворыкина Т.К. Разработка метода управления селективным раскрытием минеральных сростков окисленной железной руды высокочастотным электромагнитным воздействием //Автореферат дисс. канд. техн. наук. –М.: МГИ, 1909. -17 с.
3. Зильбершmidt М.Т. Механизм изменения структурного состояния горных пород при внешнем воздействии. «Физические процессы в горных породах». Материалы всесоюзной конференции. М.: 1984.
4. Давиденков Н.Н. Об измерении остаточных напряжений. -Заводская лаборатория, 1950, №2, с.188-192.

References

1. Tajibaev K.T. structure-mechanics model of the tensely-deformed state of heterogeneous hard environment / of R.M.Sultanaliyeva // Geomechanical ground of methods of calculation of stability of baring.Bishkek. : Ilim, 1992. 99-107 p.
2. Zavorykina T.K. Development of management method selective opening of mineral growed of the oxidized iron-stone by high-frequency electromagnetic influence //Abstract of thesis of diss. cand. tech. sciences. -M.: MGI, 1909. - 17 p.
3. Zilbershmidt M.T. Mechanism of change of the structural state of mountain breeds at external influence. "Physical processes are in mountain breeds". Materials of all-union conference. M.: 1984.
4. Davidenkov N.N. About measuring remaining tensions.-Factories laboratory, 1950, №2, P.188-192.

УДК 621.791

О ВЛИЯНИИ ПАРОВ МЕТАЛЛА СВАРОЧНОЙ ВАННЫ НА ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАЗМЫ

Султангазиева Р.Т., Аманкулова Н. А.

Кыргызский государственный технический университет им. И.Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика. E-mail: renasultangazieva@mail.ru, a_nur4@mail.ru

В данной работе система МГД уравнений электродуговой плазмы дополнена уравнением конвективной диффузии для паров металла испаряющегося анода. Поставлены граничные условия для концентрации паров металла. Рассчитаны транспортные коэффициенты смеси плазмообразующего газа и паров металла. Приведена оценка весовой концентрации паров металла обрабатываемого изделия в столбе аргоновой дуги при электродуговой сварке при различных силах тока сварки. Установлена необходимость учета влияния паров при токах выше 150А.

Ключевые слова: электродуговая плазма, пары металла, МГД уравнения, плазма образующий газ, аргоновая дуга, электродуговая сварка.

THE INFLUENCE OF THE WELD POOL METAL VAPOR ON THE ARC PLASMA PARAMETERS

Sultangazieva R.T., Amankulova N.A.

*Kyrgyz State Technical University named after I.Razzakov, Bishkek, Kyrgyz Republic
E-mail: renasultangazieva@mail.ru, a_nur4@mail.ru*

In this paper, the system of MHD equations arc plasma supplemented by the equation of convective diffusion for metal vapor evaporating anode. We set the boundary conditions for the concentration of the metal vapor. Calculated transport coefficients mixture plasma gas and metal vapor. The estimation of the mass concentration of metal vapor workpiece in the column the argon arc welding electric power for various welding current are presented. Account the effect of vapor at currents above 150A is necessary.

Keywords: electrical arc plasma, metal vapor, the MHD equations, plasma forming gas, argon arc, arc welding.

Свойства электродуговой плазмы критически зависят от теплофизических коэффициентов плазмообразующего газа. Наличие паров металла действует как на теплофизические характеристики, так и на коэффициенты переноса и оптические свойства дуги. Это изменение свойств дуги влияет на температурное распределение в столбе электрической дуги, плотность тока и тепловой поток в сторону обрабатываемого изделия и непосредственным образом влияет на качество сварного шва. В свою очередь, испарение примесей изменяет состав расплавленного металла, вызывает изменения в микроструктуре металла и механических свойствах сплавов.

Область электрической дуги обрабатываемого изделия описывается системой МГД уравнений, включающей в себя уравнение неразрывности, уравнение движения, закон сохранения энергии, закон Ома и уравнения Максвелла [1-2]. Для учета наличия паров в столбе электрической дуги система МГД уравнений дополняется уравнением конвективной диффузии паров металла:

$$\nabla \rho V C_1 = \nabla (\rho D_{Ar-Fe} \nabla C_1) \quad (1)$$

где V - вектор скорости потока плазмы, C_1 - весовая концентрация паров металла, D_{Ar-Fe} - коэффициент диффузии паров железа в аргоновой плазме, ρ – плотность. Взаимодействие между плазмой и парами металла, их взаимное влияние друг на друга определяется через теплофизические свойства среды как функции температуры и концентрации паров металла в плазме.

Решение уравнения конвективной диффузии требует определения зависимости коэффициента диффузии от температуры, давления и состава плазмы, совместно с конвективными потоками они определяют распределение паров металла в дуге. В общем случае, уравнение конвективной диффузии решается для каждого сорта частиц, и расчет коэффициента диффузии для всех частиц является сложной задачей. Поэтому обычно используется ряд приближений. В простейшем приближении используется аппроксимация бинарного коэффициента диффузии, описывающая диффузию между атомами паров металла и плазмообразующего газа [3]:

$$D_{Ar-Fe} = \frac{2\sqrt{2}\left(\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2}\right)^{0.5}}{\left(\left(\frac{\rho_1^2}{\beta_1^2 \eta_1^2 M_1}\right)^{0.25} + \left(\frac{\rho_2^2}{\beta_2^2 \eta_2^2 M_2}\right)^{0.25}\right)^2} \quad (2)$$

где M_1, M_2 – молярный вес металла (Fe) и плазмообразующего газа (Ar),

ρ_1, ρ_2, η_1 и η_2 - плотность и вязкость металла и газа соответственно,

β_1, β_2 - безразмерные постоянные, теоретически лежат в пределах от 1,2 – 1,543 для различных типов газов, таких как Ar, He, N_2, O_2, CO_2 . По экспериментальным данным $\beta_1 = \beta_2 = 1.385$.

Система МГД уравнений решается в переменных «вихрь-функция тока» относительно пяти искомым переменных: ω - напряженность вихря, ψ - функция тока, χ - функция электрического тока, C_1 -концентрация паров металла.

Граничные условия для C_1 ставятся следующим образом:

На границе «дуга – расплавленный металл», то есть на поверхности анода, где температура выше температуры плавления определяется выражением [4]:

$$C_1 = \frac{P_{vap} M_1}{P_{vap} M_1 + (P_{atm} - P_{vap}) M_2} \quad (3)$$

где P_{atm} -атмосферное давление, P_{vap} - парциальное давление паров металла, которое является функцией температуры расплавленного металла сварочной ванны. На всех остальных границах $C_1 = 0$. На оси

выполняется условие симметрии: $\frac{\partial C_1}{\partial r} = 0$

Высокая температура дуги вызывает интенсивный процесс испарения металла, переносимого через дугу, в связи с чем, в газовой фазе, окружающий металл, в условиях сварки появляется значительное количество паров, снижающих парциальное давление других газов, присутствующих в дуговом промежутке. Для определения возможного давления паров металла при различных температурах можно использовать упрощенное уравнение Клапейрона – Клаузиуса, которое для удобства расчетов приводится к виду [5]:

$$P_{vap} = P_{atm} \exp\left(\frac{-H_{vap}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{кин}}\right)\right) \quad (4)$$

Где H_{vap} - молярная теплота испарения, R - универсальная газовая постоянная.

На практике при электродуговой сварке стали, частицы паров металла содержат Fe, Mn, Cr, Ni. В целях упрощения модели рассматриваются только пары основного металла - Fe. Формула Клайперона-Клаузиуса для определения парциального давления паров получены для равновесного состояния, что практически трудно

достижимо для процессов испарения, протекающих во время сварки. Однако зависимость сохраняется и поэтому в первом приближении данная формула может быть применима.

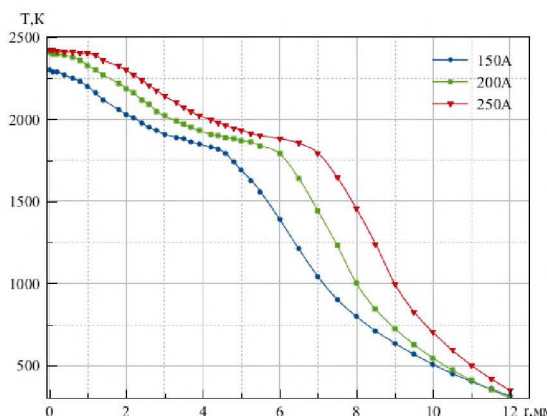


Рис.1 Температура поверхности анода без учета испарения

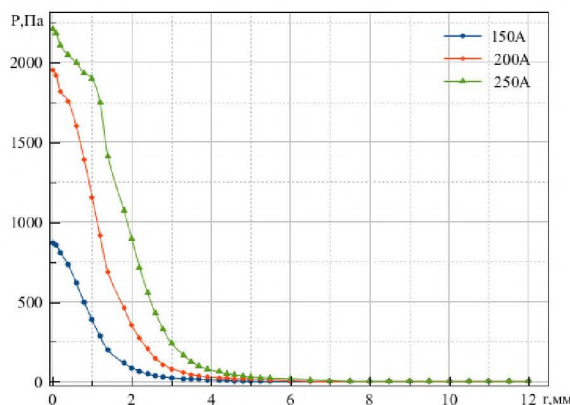


Рис. 2 Ожидаемое распределение давления паров металла на поверхности анода

На рис. 1 представлены значения температур на поверхности сварочной ванны без учета процесса испарения атомов металла с поверхности анода при силах тока $I=150\text{A}$, 200A и $I=250\text{A}$.

Для расчета транспортных коэффициентов аргона с парами металла, необходимо оценить возможную весовую концентрацию паров металла для наших условий.

На рис.2 представлено ожидаемое распределение давления паров металла над поверхностью анода для данных температур, рассчитанные по формуле (4).

Рассчитанное ожидаемое распределение концентрации паров металла на поверхности сварочной ванны, удовлетворяющее граничному условию (3) представлено на рис.3.

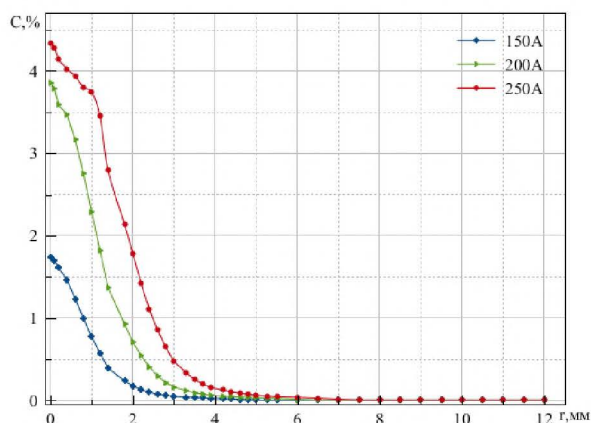


Рис.3 Ожидаемое распределение концентрации паров металла на поверхности анода

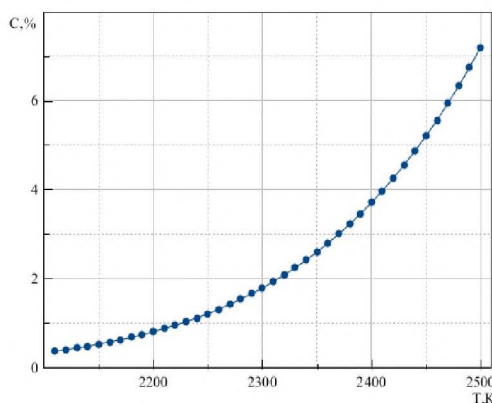
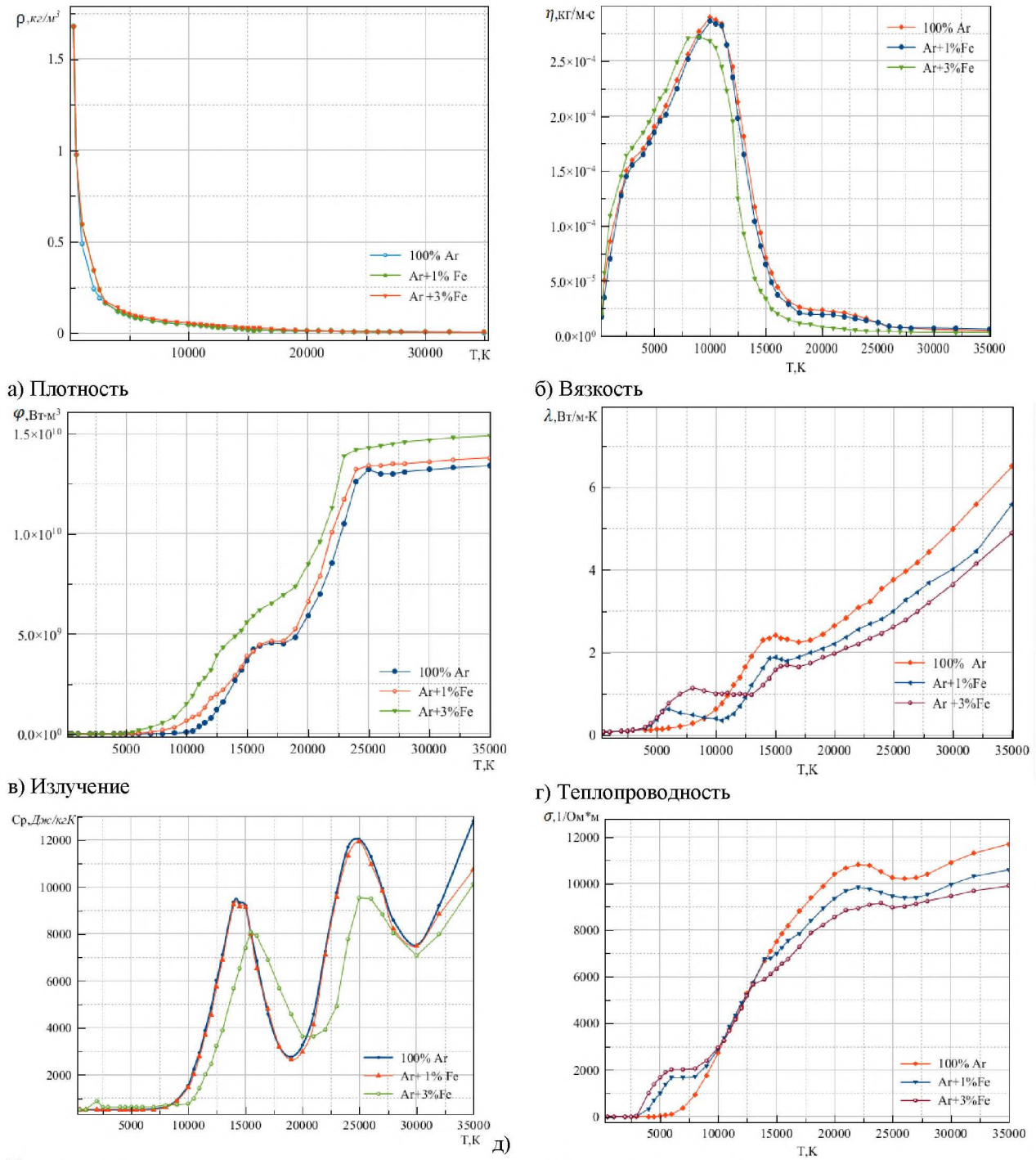


Рис.4 Зависимость концентрации паров металла от температуры поверхности

При решении задачи с учетом паров металла расчетная температура на поверхности анода будет ниже из-за потерь на испарения и увеличения излучения газовой смеси, и очевидно, концентрация паров металла для всех случаев будет ниже. На рис.4 представлена концентрация паров металла как функция температуры. Из графика видно, что уменьшение температура на 10К дает уменьшение концентрации на 0,3-0,4 процента. Если учет испарения паров понизит температуру на поверхности анода хотя бы на 100К, концентрация паров металла уменьшится в 2 раза. Таким образом из анализа графика 4, можно предположить, что для силы тока в 150А, концентрация паров металла составит около 1%, для $I=200\text{A}$ концентрация Fe будет около 2%, и для $I=250\text{A}$ концентрация паров металла –около 2,5%.



Теплоемкость
 Рис.2 Транспортные коэффициенты аргона с различной концентрацией паров железа

Исходя из вышеуказанного, на основании свойств чистых компонентов, с помощью программных пакетов АСТРА и ТЕРРА рассчитаны коэффициенты переноса для смесей Ar+1Fe%, Ar+3Fe%. Полученные данные согласуются с данными, приведенными в работе [5].

С полученными коэффициентами переноса для электрической дуги и сварочной ванны была решена система МГД уравнений при силе тока в 150, 200, 250 и 300А.

Расчетные данные:

$$\begin{aligned}
 T_{\text{кип}} &= 3133\text{К} & T_{\text{плав}} &= 2783\text{К} & \Delta H_f &= 2,47 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \\
 M_1 &= 55 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}} & M_2 &= 27 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}} & h_{fg} &= 6259,5 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \\
 \log(P_{\text{atm}}) &= 6,1210 - \frac{18836}{T} & A_v &= 2,52 & H_{\text{вар}} &= 340 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}
 \end{aligned}$$

На рис. 3 представлены температурные распределения в столбе электрической дуги и концентрации паров металла при соответствующих силах тока. В приосевой части конвекция является доминирующей, поэтому пары металла вовлекаются в радиальное направление с потоками газа и растекаются над поверхностью анода. Максимальная концентрация паров железа при силе тока в 150А составляет 0,6%, для тока в 200А – 1,2 %, при токе в 300А концентрация паров металла с поверхности анода превышает 2%.

Как видно из графиков на рисунке 3, при содержании паров железа уже с 1% в аргоне электропроводность и излучение имеют заметное отличие в интервале температур от 5000 до 10000К. В этой области лежит изотерма в 8000К, которую обычно принимают за видимую границу дуги. Изменение данных коэффициентов дуги должно оказать охлаждающее влияние на электрическую дугу, что должно наблюдаться даже визуально.

Из приведенного выше анализа можно сделать вывод, что при электродуговой сварке в замкнутом объеме при токах выше 150А для более полного описания физических процессов взаимодействия электрической дуги с обрабатываемым изделием необходимо учитывать наличие паров металла в над поверхностью анода.

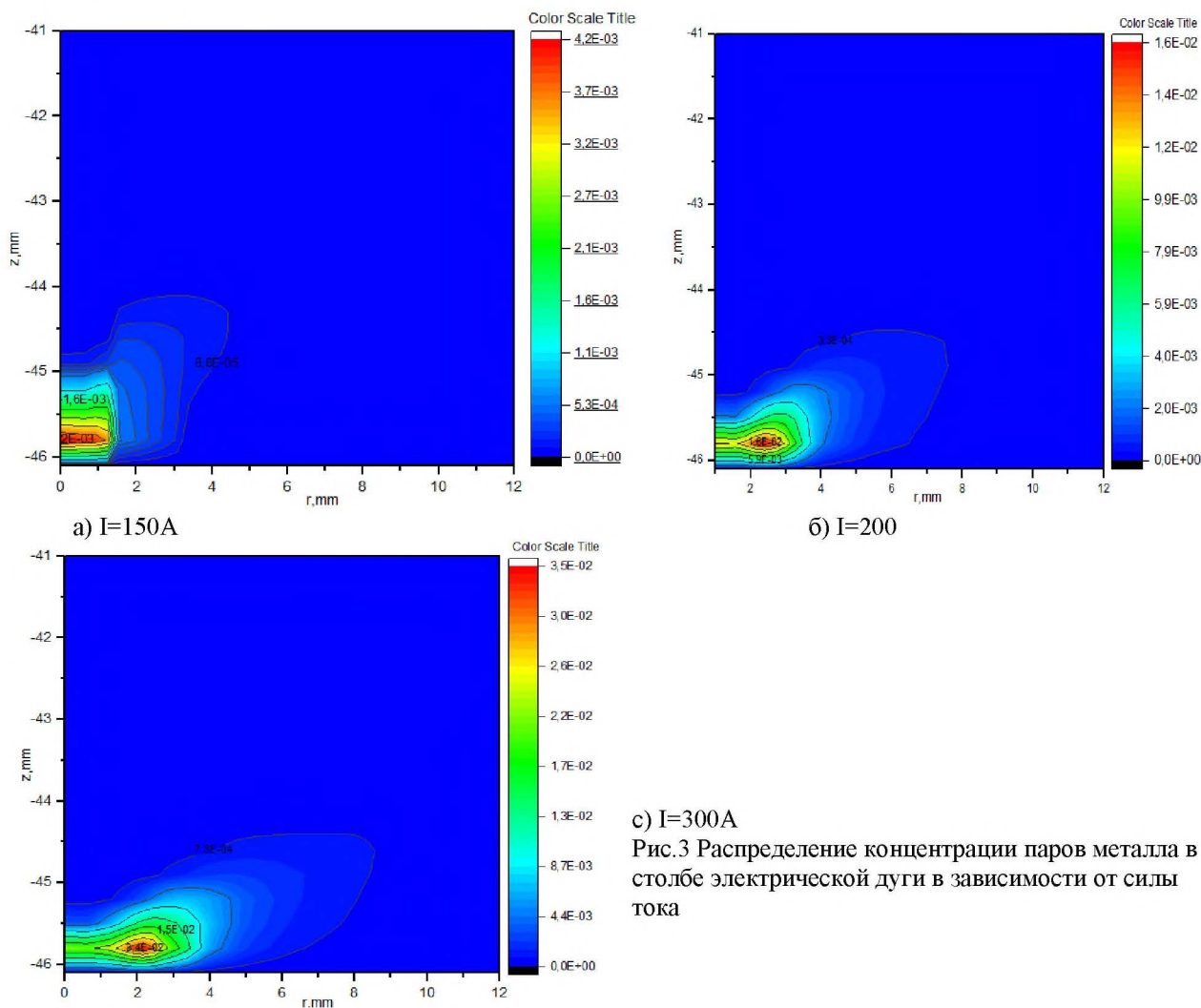


Рис.3 Распределение концентрации паров металла в столбе электрической дуги в зависимости от силы тока

Список литературы

1. Математическое моделирование электрической дуги. /Под ред. В.С.Энгельшта, Фрунзе, 1983
2. Jainakov A., Usenkanov J., Sultangazieva R. On joint modeling of processes in electrica arc plasma and melted metal. 6 general assembly of federation of engineering institutions of Islamic countries, 27-30 June-1999, Almaty
3. M.Sschnick, U.Ffuessel, M.Hhertel, M. Haessler, A. Spille-Kohoff, A.B.Murphy Modelling of gas–metal arc welding taking into account metal vapour. Journal of Physics D: Applied Physics 43, 43 (2010) 434008
4. (Menart J, Lin L. Numerical study of a free-burning argon arc with copper contamination from the anode. Plasma Chem. & Plasma Process. 1999; 19(2):153–170.
5. Давление пара химических элементов /Несмеянов А.Н. , М.: Издательство АН СССР, 1961, 396 с.

References

1. Mathematical modeling of electrical arc. Engelsht. Frunze, 1983
2. Jainakov A., Usenkanov J., Sultangazieva R. On joint modeling of processes in electric arc plasma and melted metal. 6 general assembly of federation of engineering institutions of Islamic countries, 27-30 June-1999, Almaty
3. M.Sschnick, U.Ffuessel, M.Hhertel, M. Haessler, A. Spille-Kohoff, A.B.Murphy Modelling of gas-metal arc welding taking into account metal vapour. Journal of Physics D: Applied Physics 43, 43 (2010) 434008
4. (Menart J, Lin L. Numerical study of a free-burning argon arc with copper contamination from the anode. Plasma Chem. & Plasma Process. 1999; 19(2):153–170.
5. Pressure of chemical elements vapor/ Nesmejanov A.N., M.: Publish AN SSSR, 1961, s.396.

УДК 621.791

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА МАРАНГОНИ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СВАРОЧНОЙ ВАННЕ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКЕ

Султангазиева Р.Т., Медралиева Б. Н. к.ф.-м.н., доцент, и.о. доц. КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан. 720044 г.Бишкек пр.Мира 66, e-mail: renasultangazieva@mail.ru, medralieva@mail.ru

В работе представлены результаты численного моделирования влияние эффекта Марангони на параметры различных металлов при электродуговой сварке. Рассчитан коэффициент поверхностного натяжения стали. В качестве обрабатываемого изделия использованы стальная и алюминиевая пластины. Изучено влияние силы тока на гидродинамические процессы сварочной ванны. Дан сравнительный анализ воздействия силы Марангони на потоки расплавленного металла стали и алюминия.

Ключевые слова: электродуговая плазма, МГД уравнения, сварочная ванна, термокапиллярная конвекция, эффект Марангони, вихрь-функция тока

INFLUENCE OF MARANGONI EFFECT TO THE HYDRODYNAMIC PROCESSES IN THE WELD POOL DURING ARC WELDING

Sultangazieva R.T., Medralieva B.N. . PhD, Associate Professor, docent, K S T U named after I.Razzakov, Kyrgyzstan. 720044 c. Bishkek, p.Mira 66, e-mail: renasultangazieva@mail.ru, medralieva@mail.ru

In work results of numerical modeling influence of effect of Marangoni on parameters of various metals at arc welding are presented. The coefficient of a superficial tension of steel is calculated. As the processed product steel and aluminum plates are used. Influence of current on hydrodynamic processes of a welding bathtub is studied. The comparative analysis of impact of strength of Marangoni on streams of the melted metal of steel and aluminum is given.

Keywords: electric arc plasma, MHD equations, weld pool, thermocapillary convection, Marangoni effect, the vortex-flow function

Электродуговая сварка является весьма сложным физико-химическим и металлургическим процессом, в ходе которого металл шва и околошовная зона претерпевают фазовые превращения и структурные изменения, что, в свою очередь, влияет на физико-механические характеристики материала. Моделирование процессов в электрической дуге, обрабатываемом изделии, а также процессы их взаимного влияния, целесообразно для оптимизации параметров режима сварки и получения сварных соединений с улучшенными качественными характеристиками.

В работе [1-2] предлагается модель совместного рассмотрения области электродуговой плазмы и обрабатываемого изделия. Физические процессы в столбе электродугового разряда и взаимодействующего с этим разрядом жидкого металла описываются одной и той же системой уравнений магнитной гидродинамики. При записи МГД уравнений в наиболее простом виде предполагается, что в электродуговом разряде выполняются следующие условия: среда является сплошной, между скоростью деформации и напряжением существует линейная связь, течение газа ламинарное, выполняется условие локального термодинамического равновесия, излучение ионизированного газа объемное, течения ламинарные. Система МГД уравнений в цилиндрических координатах имеет вид:

Уравнение неразрывности:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r u)}{\partial r} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial z} = 0$$

Уравнения движения для радиальной составляющей: