

РАЗРАБОТВАНЕ НА МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ И ГАЗОДИНАМИЧНИТЕ ПРОЦЕСИ В ЗАВАРЪЧНАТА ДЪГА

Доц. д-р инж Н Ников

Анотация: Разработен е математически модел на процесите възникващи в заваръчната дъга под вода и са получени някои резултати за дадени условия на заваряване

Основен метод за съединяване и ремонта на металните конструкции използвани в подводни условия е несъмнено електродъговото заваряване, което непрекъснато се развива и усъвършенства. Разширяват се областите на използване на заваръчните конструкции и се усложняват условията на експлоатация. Все по-вече се ожесточават изискванията предявени към качеството на заваръчните съединения, икономичността и безопасността на подводните заваръчни технологии.

Процесите в заваръчната дъга - термоелектронната и термо-йонната емисия, термичната и повърхностна йонизация, контрагирането на стълба на дъгата и приелектронните области, газо-динамичните въздействия, температурните условия, химическите процеси и др. в значителна степен определят такива важни технологични характеристики, като устойчивост и стабилност на дъгата, топенето, пренасянето и разпръскване на електродния метал, диапазона на режимите на заваряване и другите характеристики, свързани с производителността на процеса.

Основните промишлени способности за подводно заваряване са свързани с нагряването на метала в широк интервал от температури с последващо охлаждане на нагретите зони с различни скорости. Такова топлинно въздействие на метала при заваряване се съпътства от влиянието на външната среда (вода), външни сили и заваръчни напрежения. Тези фактори създават в зоната на заваръчното съединение условия за протичане на сложни структурни и фазови изменения имащи определящо значение за различните свойства: здравина, пластичност, якост, термоустойчивост, корозионна устойчивост и др. Структурните и фазовите превръщания наред с дифузионните процеси при заваряване са по-сложни отколкото при термообработката.

Заваръчния шев има строежа на лят метал със съответните кристализационни зони. Кристалния строеж на метала на шева зависи от условията на нагриване и топене, от химичния състав и типа на диаграмата на състоянието на сплавта в метала на шева, от дифузионните процеси в течно и твърдо състояние, от структурните и фазовите превръщания при охлаждане в твърдо състояние, а така също и от деформациите и напреженията възникващи в процеса на нагриване и охлаждане.

Строежа и свойствата на зоната на топлинно влияние зависят от природата на заварявания метал, от наличието и характера на полиморфните, фазовите и структурните превръщания в процеса на нагриване и охлаждане, от термомодеформационния цикъл на заваряване. Качеството на заваръчното съединение се определя от състава и структурата на заваръчния шев, съдържанието на газове (водород, азот) и неметални включвания, от особеностите на дифузионните и ликвационни процеси в заваръчната вана, образуването на структурни и химични нееднородности.

В голяма степен указаните по-горе характеристики на заваръчното съединение зависят от електрическите и газо-динамични параметри на дъгата и най-вече от състава на газовата атмосфера в заваръчното пространство.

Анализа на литературните данни показва, че изследванията на заваръчните процеси под вода имат диференциран характер и в по-голямата си част са експериментални. Различните автори изследват отделни характеристики на процеса без да се съобразяват с взаимнообвързаността на голямото количество фактори определящи качеството на процеса на заваряване под вода.

Този подход е наложен от сложността на проблема, особено това се отнася за процеса на подводното заваряване на металите.

Общозвестни са трудностите свързани с експериментално изследване на процеса на заваряване и рязане под вода, поради което е наложително създаването на един цялостен теоретичен модел на процеса на заваряване, който да позволява анализа и прогнозирането на влиянието на отделните фактори и компоненти в системата върху поведението на заварявания метал.

Един от най-важните въпроси отнасящи се до процеса на заваряване е определянето на температурите в междуелектродното пространство и в метала на шева и ЗТВ. Определена част от изследователите се занимава с газодинамиката и топлинния баланс на дъгата без да се интересува от нейното въздействие върху метала. В същото време технолозите изчисляват разпределение на топлината в метала задавайки количеството топлина като съсредоточено и равномерно разпределено върху определен елемент. Този подход обикновено дава относително добри резултати извън областите намиращи се на съизмерими с размерите на източника разстояния от оста на движение на източника на топлина. Тогава когато се интересуваме от процесите развиващи се непосредствено в заваръчната вана и около нея този подход е неприемлив, тъй като изменението на температурата в този участък е най-силно и грешките при определянето на температурите са съществени.

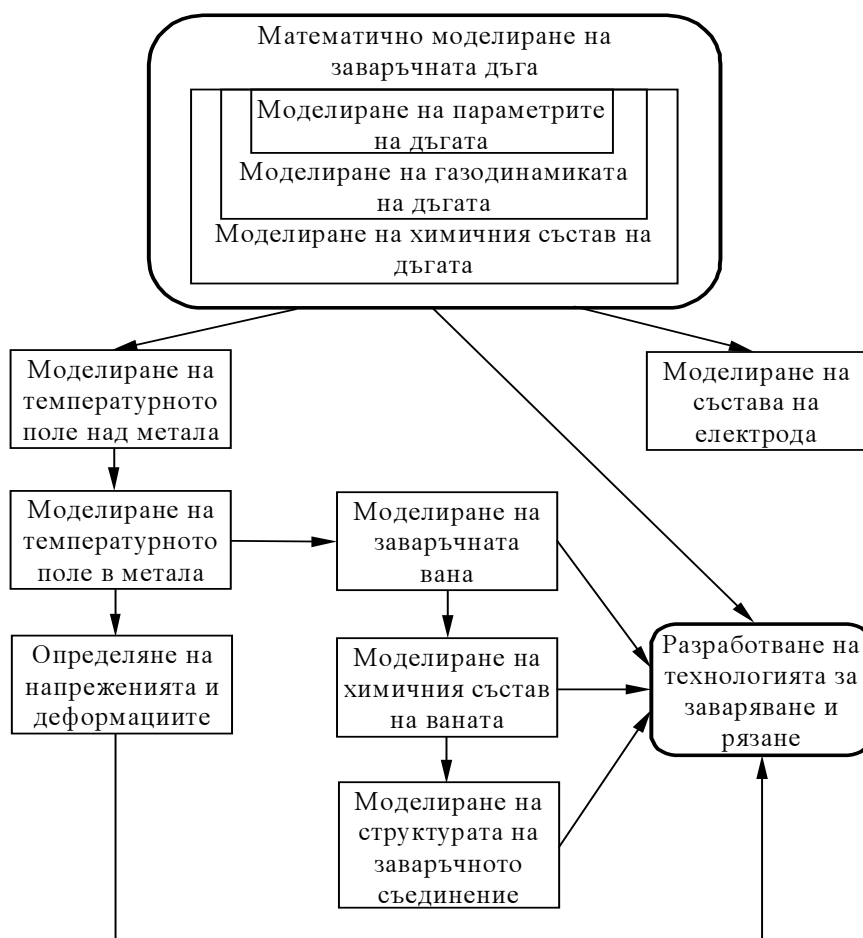
Известно е, че газовата атмосфера съществено влияе на качеството и химичния състав на разтопения електроден метал и защитата на нагретия и разтопен метал на заваръчното съединение. Ето защо определянето на химичния състав на газовата атмосфера има съществено значение за качеството на заваръчното съединение.

Химическия състав от своя страна зависи от температурата и газодинамиката на дъгата. Изследването на образуването на парогазовия мехур и неговото взаимодействие с изтичащите от горелката защитни среди е от съществено значение за подводното заваряване. Разработването на модел на газовата атмосфера на дъгата дава възможност да се изследва и прогнозира влиянието на различните среди, конструкциите на горелките и състава на средите и химическия състав на покритията и напълнителите върху свойствата и химичния състав на заваръчното съединение.

Определянето на разпределението на температурите и химическия състав на повърхността на заваръчното съединение ни дава възможност да създадем топлинен модел на заваръчната вана и да определим разпределението на температурите и напреженията и деформациите в заваръчното съединение. Получените данни за изменението на температурите и температурните градиенти в която и да е точка на заваръчното съединение ни дава възможност да прогнозираме

структурните съставляващи, свойствата на шева и ЗТВ и да прогнозираме вероятностните химични реакции в заваръчната вана.

В настоящата работа автора си е поставил за цел да разработи един цялостен модел на дъгата горяща в междуелектродното пространство с произтичащия химически състав и газова защита и въздействието им върху заваръчното съединение (фиг.1.). Да се изследват процесите на подводно рязане и заваряване и да се създадат необходимите материали и оборудвания за осъществяване на процесите.



фиг.1.Схема на взаимовръзката между заваръчната дъга, заварявания метал и технологията на заваряване.

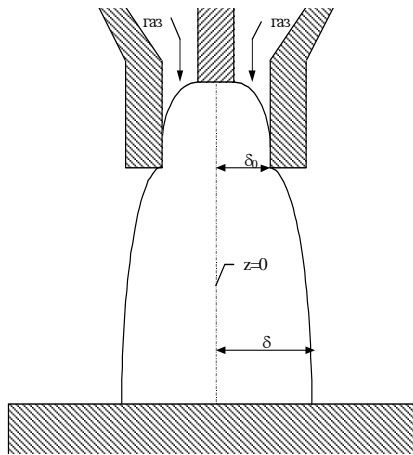
Направеният обзор на досегашните изследвания показва, че е необходимо да се направи комплексен числен анализ на електрическите, термо- и газодинамични процеси в дъгата, тяхното взаимодействие и влияние един върху друг.

За целта се определя изчислителен участък от стълба на дъгата (фиг.2). Приемаме дължината на дюзата такава, че изтичането на плазмата

на изхода от нея може да се счита напълно развито, а дъгата да е оси симетрична. Това позволява достатъчно обосновано да се зададат входните условия.

Задачата представлява теоретично изучаване на разпределения на електрическите и магнитните величини в дъгата, разпределението на температурата и скоростта на газа, разпределението на наляганията, вложена и излъчена мощност, потоците на енергия и импулс.

Изходни параметри при така поставената задача са: големината на електрическия ток, налягането и вида на плазмо-образуващия газ, материала, формата и условията на охлаждане на електродите. Зависимостите на коефициентите на пренасяне и термодинамичните свойства на газа от неговото състояние се приемат за известни.



фиг.2. Схема на откритата дъга

Изтичането на плазмата се счита за ламинарно и осесиметрично, като отсъства външно магнитно поле и излъчването се приема за обемно.

Разглеждаме квазистационарна свободно горяща електрическа дъга. Математичния модел на тази дъга може да бъде построен въз основа на уравненията

на магнитно-газовата динамика, записани в приближение към пограничния слой

Тези уравнения не могат да бъдат използвани по този начин, тъй като са в безразмерен вид. След прилагане на описаните по-горе допускания и прилагане на редица опростявания системата може да бъде записана в следния окончателен вид:

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

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial z} + \rho v \frac{\partial u}{\partial r} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \mu \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (2)$$

$$\rho u \frac{\partial h}{\partial z} + \rho v \frac{\partial h}{\partial r} = \sigma E^2 - \psi + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \mu \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (3)$$

$$E = \frac{I}{2\pi \int_0^{\delta} \sigma r dr} \quad (4)$$

При решаване на задачата трябва да се вземе предвид и влиянието което налягането на водата оказва при заваряване под вода, на различни дълбочини. Радиалното разпределение на налягането в дъгата достатъчно добре се описва от следния израз [1]:

$$p = p_{\infty} + \mu_0 E^2 \left\{ \int_r^{\delta} \frac{\sigma(s)}{s} \int_0^s \sigma(t) t dt ds + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r} \int_0^r \sigma(t) t dt \right)^2 \right\} \quad (5)$$

Различните задачи се отличават само по поставените гранични условия. Тези различия се обуславят от спецификата на процесите протичащи в заваръчната дъга.

При решаване на системата уравнения 1÷5 се поставят следните гранични условия:

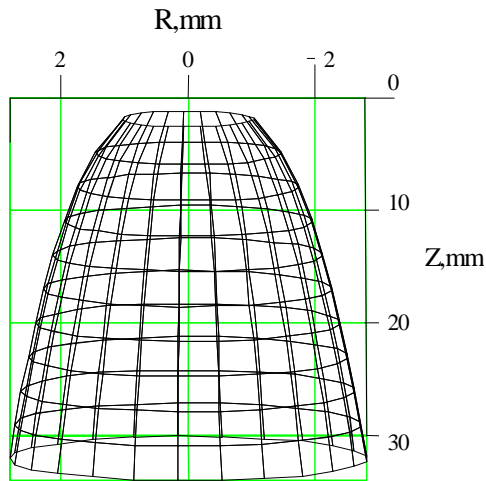
$$\text{при } r = 0: \quad \frac{\partial h}{\partial r} = 0; \quad \frac{\partial u}{\partial r} = 0; \quad v = 0 \quad (6)$$

$$\text{при } r = \delta: \quad u = 0; \quad h = h_{\infty} \quad (7)$$

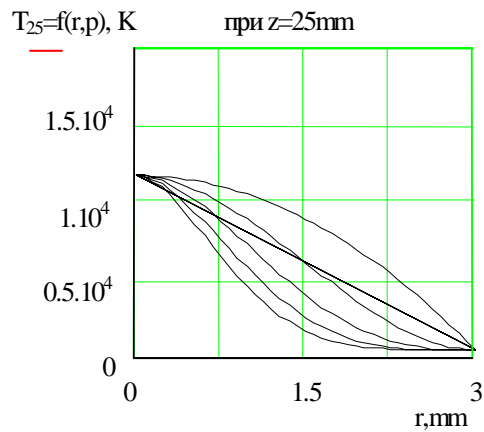
$$\text{при } z = 0: \quad h = h^0(r); \quad u = u^0(r) \quad (8)$$

Изследването на нагряването и ускорението на дъговите потоци в плазмата е от особен интерес при представянето на физическите процеси в откритата дъга. Това се оказва полезно също и при построяването на затворен математичен модел на открития разряд, който да разглежда едновременно приелектродните области и стълба на дъгата

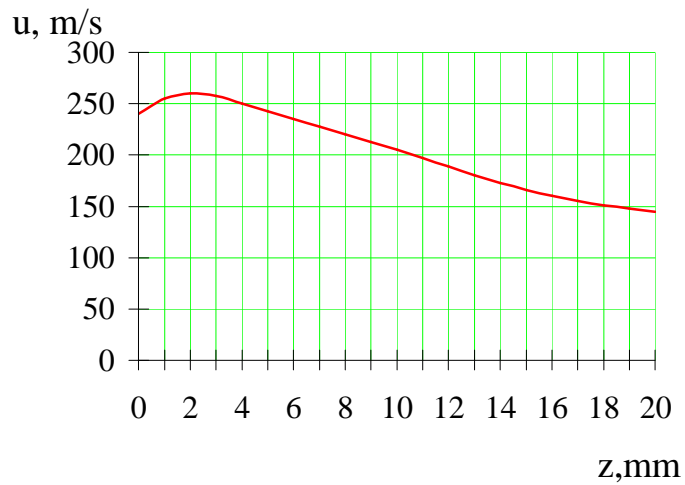
За решаване на получената система се използва програмния продукт Matcad версия 6.0, като се разглежда типичен случай на електрическа дъга горяща под вода ($p=1\div 10 \text{At}$) в Ar със сила на тока $I=100\div 300 \text{A}$ (200A) и разход на газ $18\div 20 \text{ l/min}$ [1]. Скоростта на газовите частици по оста на входното сечение u_0 се приема равна на 150 m/s, а началното сечение $\delta_0=2.10^{-3} \text{m}$.



Фиг.3. Разпределение на радиуса на дъгата в зависимост от дължината на дъгата (z)



Фиг.4.Разпределение на температурата по радиуса на дъгата в различни сечения



Фиг.5 Аксиална скорост на частиците от плазмата по оста на дъгата

Получените характеристики на дъгата след пресмятането са показани на фиг.3, фиг.4 и фиг.5.

При наличие в струята на студен електрод са възможни два случая: когато границите на граничния слой на електрода не се пресичат с границите на зоната със 100% концентрация на защитния газ и когато такова пресичане съществува. В първия случай електрода не влияе на положението на границата на зоната със 100% концентрация; второ-влиянието на електрода се наблюдава, защото темпа на смесване на потоците под точката на пресичане на границата се определя вече от коефициента на структурата на потока в граничния слой. Следователно, при изчисление на параметрите на струята и ефективността на защитата преди всичко трябва да се изясни, пресичат ли се граничният слой на електрода с границата на 100% защита или не.

За решение на такава задача трябва да се намери коефициента на структура на потока в граничния слой на електрода. Определя се дебелината на граничния слой на електрода в две сечения (x_1 и x_2) при отсъствие на преграда по уравненията:

$$\delta_{x_1} = 4,64x_1\sqrt{\text{Re}_{x_1}}; \quad (9)$$

$$\delta_{x_2} = 4,64x_2\sqrt{\text{Re}_{x_2}}. \quad (10)$$

В този случай, естествено, трябва да бъде известна скоростта на изтичане на защитния флуид от дюзата на заваръчната горелка.

От фиг.6 следва, че тангенса на ъгъла на разширяване на граничния слой е:

$$\text{tg}\alpha_1^n = \frac{\delta_{x_2} - \delta_{x_1}}{x_2 - x_1} \quad (11)$$

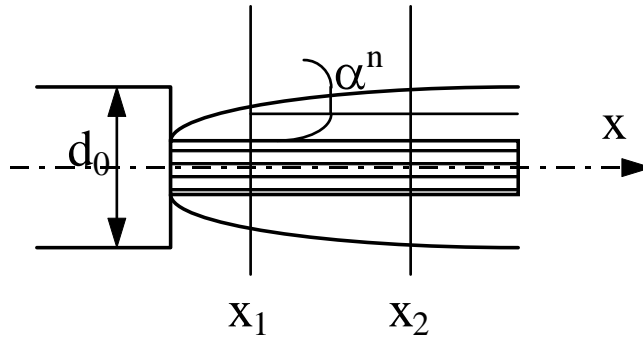
коефициента на структурата в граничния слой е:

$$a^n = \frac{\text{tg}\alpha_1^n}{1,5} \quad \text{и} \quad (12)$$

$$\text{tg}\alpha^n = 3,4a^n \quad (13)$$

Използвайки тази първична информация, на размерите на струята и ефективността на газовата защита се определят в следната последователност:

1. Определят се коефициентите на структурата на потока a^n в граничния слой и по него $\text{tg}\alpha^n$.



Фиг.6 Определяне на коефициента на структура на струята a^n в граничния слой.

2. При дадена скорост на изтичане от дюзата на горелката се сравняват значенията $\text{tg}\alpha_1'$ и $\text{tg}\alpha_1^n$. Ако $\text{tg}\alpha_1^n > \text{tg}\alpha_1'$, то границата на граничния слой на електрода не се пресича с границата на зоната със 100% концентрация на защитата се определя без отчитане влиянието на граничния слой на електрода.
3. Радиуса на външната граница на струята се определя по

$$\text{уравнение} \quad r = [r_0 + (h+z)\text{tg}\alpha] \sqrt{-\frac{h}{z}} \quad (14)$$

4. Радиуса на зоната със 100% концентрация на защитата се определя по формулата:

$$r_1' = [0,442r = 0,558r_0 - 2(h+z)\text{tg}\alpha_1'] \cdot [r_0 - (h+z)\text{tg}\alpha_1'] / r_0 \quad (15)$$

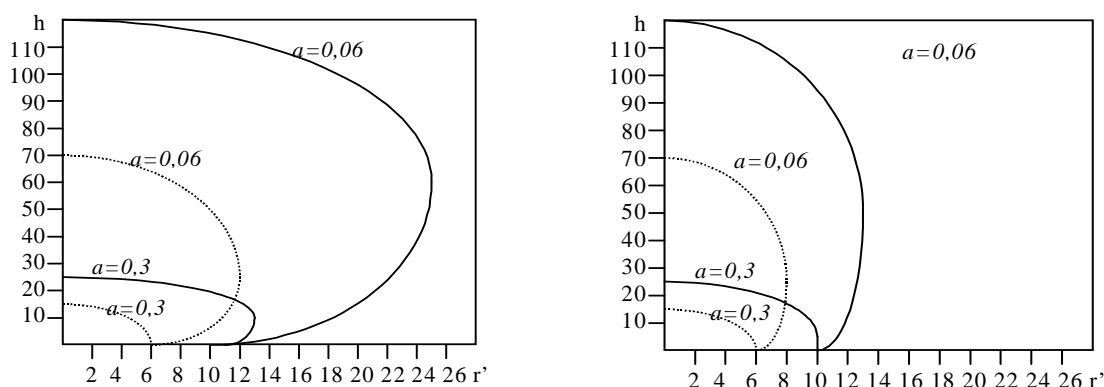
С помощта на горното уравнение при различни значения на h и z и коефициента на структура на струята a се построява схемата на структурата на струята.

Експерименталните изследвания за ефективността на защитата показват, че за осигуряване на сигурна защита на заварявания метал сечението на струята трябва да бъде не по-малко от определената величина $z=2\div 2,5\text{mm}$. Поради това за изчисляване ефективността на защитата е необходимо да се продължат изследванията.

Ако се положи в уравнения 1 $z=z_0=const$ и се изчисли r_1' като функция от разстоянието на изходното сечение на дюзата до заварявания метал $[r=f(h)]$ за избрания радиус на дюзата и различни значения на коефициента на структура на струята a , резултатите позволяват за различни дюзи и различни коефициенти на структура на струята да се определи оптималното разстояние от изходното сечение на дюзата до заварявания метал от условието за максимален радиус на защитното петно. Анализът на резултатите от фиг.7 показва, че за дюза с малко значение на

коэффициента на структура на струята оптималното разстояние е равно на 2-3 диаметра на дюзата.

За дюзи с големи значения на коэффициента на структура на струята, това разстояние е около 0,5-1,5 диаметра на дюзата. Необходимо е да се отбележи, че методиката не предвижда нарушаване на защитата вследствие на възможното действие върху струята на странични срязващи течения на водата.



Фиг.7 Изменение на защитното петно в зависимост от налягането, коэффициента на структура на струята и разстоянието от соплото до заварявания материал (плътна линия-d=20mm,пунктирана-d=12mm)

За определяне на коэффициента на структурата на струята “а” като най-подходящ се оказа разработения в Кишиневския институт “С.Лазо” ефективен метод за изследване режима на оптически активни течности с използване на импулсна и скоростна фотография-поляризационно-оптичния метод. Този метод е лишен от един от основните недостатъци на останалите оптични методи, тъй като позволява визуализация на течението без нарушаването на неговата структура.

Методът е основан на различията в мигновеното състояние на течението при ламинарен преходен и турбулентен режим.

По своето същество този метод може да бъде отнесен към дифузионните методи, тъй като при него имаме дифузия на светлината, която протича през оптически активна течност.

Поляризационно-оптичния метод позволява да се визуализира потока изцяло, да се изучат бързо протичащи в него процеси при висока степен на турбулентност, едновременно да се определят скоростта и нейната ориентация, да се получат както интегрални, така и локални значения на измервания параметър, а така също да го регистрират по фотографически, фотоелектрически или друг способ, при висока точност на измерването.

Поляризационно-оптическият метод е основан на използването на някои оптически активни прозрачни течности, които са оптически

изотропни в състояние на покой и проявяващи при движение свойството двойно пречупване на светлината, визуализируемо с помощта на поляризирана светлина.

Беше разработен специален стенд за провеждане на експериментите на които бяха изследвани дюзи с различна конфигурация.

Разработен е модел на химическия състав на газовата атмосфера на дъгата при заваряване с ТФТ и електроди.

Обикновено в състава на обмазката и ТФТ има определени количества феро-сплави Fe-Mn, Fe-Si, Fe-Ti, рутил (TiO_2), SiO_2 , CaF_2 , CaCO_3 и др.

При разработката на модела на газовата атмосфера на дъгата се отчита не само наличието на водни пари и CO_2 , но и влиянието на металните пари и възможността за протичане и на други важни за заваръчния процес химични реакции. Основните компоненти на разглежданата система са: H_2O , OH , CO_2 , CO , H_2 , O_2 , HF , SiF , SiF_2 , SiF_3 , SiF_4 , SiO , SiO_2 , TiO_2 , SiH , SiH_2 , SiH_4 , CaF_2 , F_2 , Si , H , O , F , Mn , Fe , Ti , C .

Модела на химическия състав на дъгата е описан в работи [2,3,4].

В заключение може да се каже, че е разработен модел на електрическите, газодинамичните и химичните процеси в дъгата, който може да послужи за определянето на топлинното поле в метала, химичните процеси на повърхността газ-течен метал и в крайна сметка определянето на структурата, механичните свойства и възникващите напрежения и деформации в заваръчното съединение при заваряване под вода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ников Н. Василев А. Изследване на физическите процеси протичащи в дъгата при заваряване в различни условия. Варна 2001г. Годишник ВМЕИ-Варна
2. Ников Н. Генчева В. Моделиране на химическия състав на газовата атмосфера около дъгата при полуавтоматично заваряване. Машиностроение, №11,1988г.
3. Ников Н., Генчева В. Моделиране на химическия състав на газовата атмосфера при заваряване с тръбен тел под вода, НТК на ВНВМУ-Варна ,1989г.
4. Nikov N., Gencheva V. An anylytie model for gas atmosphere composition round the arc in underwater welding, INTER OCEANTECHNOLOGY'90, Szczecin, Poland,1990g.