ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ
НАУЧНО ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКИ СЕКТОР

УТВЪРДИЛ:

Декан МТФ.....
(доц. д-р Георги Тодоров)

МЕЖДИНЕН ОТЧЕТ

на договор № 102 пд 136-5/2010

Тема: ***НАВАРЯВАНЕ НА ИЗНОСОУСТОЙЧИВИ СЛОЕВЕ ЧРЕЗ ИМПУЛСНО-ДЪГОВ ПЛАЗМЕН ПРОЦЕС***

Възложител: НИС при Технически университет - София

Изпълнител: МТФ

Ръководител на договора:

/доц. д-р Божана Табакова/

Работен колектив:

доц. д-р инж. Божана Михайлова Табакова – кат. МТМ, МТФ

ст. ас. инж. Райна Боянова Димитрова – задочен докторант – кат.МТМ, МТФ

Благодарности

Работният колектив изказва своята благодарност на Научно-изследователския сектор при Технически Университет - София за финансовата подкрепа по № 102 ПД 136-5/2010

Съдържание:

	План – програма……..	4
1.	Увод…….	5
2.	Особености и характеристики на плазменото заваряване и наваряване……...	5
2.1	Видове плазмени дъги и плазмотрони……	9
2.1.1	Плазмено – дъгов процес с открита дъга (директна, пренесена дъга)……...	9
2.1.2	Плазмено – струен процес с закрита дъга (косвена дъга)……..	12
2.1.3	Плазмено – струйно – дъгов процес с открита и закрита дъга – комбиниран процес……	16
2.2	Технически варианти на плазменото заваряване……	17
2.2.1	Микроплазмено заваряване……	17
2.2.2	Плазмено заваряване с топящ се електрод……	17
3.	Разновидности на методите за плазмено наваряване……	19
4.	Оборудване и план за провеждане на експериментите…….....	20
5.	Публикации……...	23
6.	План – програма за втория етап……	23
	Литература……	24

ПЛАН – ПРОГРАМА ЗА ПЪРВИЯ ЕТАП

№	Наименование на задачите	Продължителност в месеци
1.1	Литературно - патентно проучване.	2
1.2	Закупуване на необходимата апаратура за технологични експерименти.	1
1.3	Изработване на модул за импулсно управление на дъгата.	2
1.4	Провеждане на експерименти за установяване влиянието на параметрите на режима върху геометрията на слоя.	2
1.5	Анализ на получените резултати и подготовка на междинен отчет и публикуване на междинни резултати.	2

ПЛАН – ПРОГРАМА ЗА ВТОРИЯ ЕТАП

№	Наименование на задачите	Продължителност в месеци
2.1	Провеждане на експерименти за наваряване на износоустойчиви слоеве.	2
2.2	Изследване свойствата на слоевете.	2
2.3	Анализ на експерименталните резултати и многокритериална многофакторна оптимизация на процеса.	2
2.4	Експериментална проверка на решенията на оптимизационната задача.	1
2.5	Публикуване на резултатите и краен отчет.	2

1. Увод

Плазмените процеси използват енергията на термичната плазма за стопяване на материала. Опитите да се постигне по – висока плътност на енергията чрез свиване на електрическата дъга датират отдавна. Една от най–ранните дъгови системи е със газово вихрово стабилизиране въведено от Schonherr през 1909 г. В това устройство газта се подава тангенциално в тръба с дъгов разряд.

През 1922 Gerdien и Lotz създават устройство за стабилизиране на дъгата чрез тангенциално инжектиране на вода към центъра на тръбата. Водата се завърта около вътрешната повърхнина и се изхвърля в краищата. Когато дъгата гори между въглеродни електроди и преминава през тази тръба, водата концентрира дъгата по оста и предизвиква висока плътност.на тока. За първи път понятието термична плазма се дава в 1927 г. от американския физик Langmuir за четвъртото агрегатно състояние на материята – състояние на газ с висока степен на дисоциация и йонизация, който освен неутрални атоми и молекули съдържа положителни и отрицателни заряди – йони и електрони. През 1961 е представено първото оборудване за плазмено обрабортване на повърхността, а през 1963 е въведено първото плазмено заваряване.

2. Особености и характеристики на плазменото заваряване и наваряване.

Плазменото заваряване по същество е развитие на ВИГ заваръчния процес, но използва различен механизъм за пренасяне на топлинната еннергия към изделието. Както при ВИГ, така и при плазмата се използва нетопим (волфрамов) електрод, разположен в дюза, през която преминава плазмообразуващия газ. Дъгата загрява този газ (плазмообразуващ газ), който се йонизира, става електропроводим и се изтласква през дюзата. Този йонизиран газ се дефинира като плазма. Плазмената струя излиза от дюзата с температури от около 16700 ^{o}C (30000 ^{o}F), във вид на свита, концентрирана струя, с отлично контролирана посока и създаваща много благоприятен

коефициент на формата на шева (отношение дълбочина към широчина на ваната).

В сравнение с ВИГ-дъгата, плазмата се отличава с:

- изключително висока топлинна мощност, плътност на енергията и температура на плазмената дъга;
- цилиндрична форма на дъгата;
- висока кинетична енергия на изтичащата плазмена струя;

При ниска кинетична енергия на плазмата стопеният метал не се издухва от зоната на обработване и в този случай условията са благоприятни за извършване на технологичните процеси заваряване или наваряване.

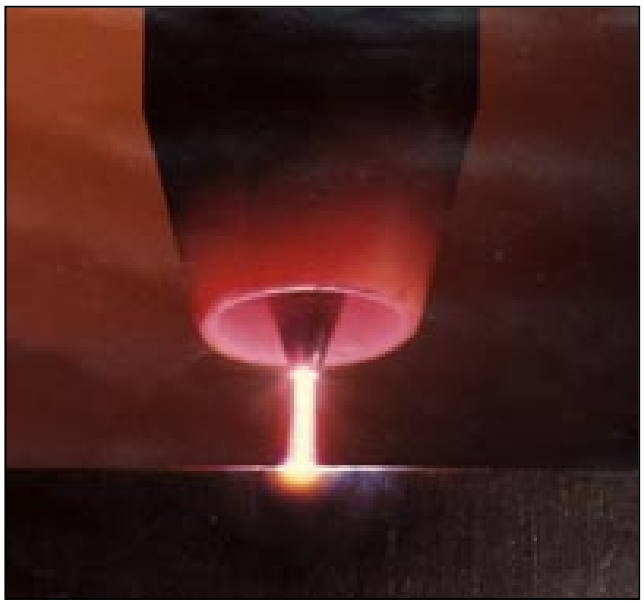
Плазменото заваряване може да се използва при почти всички метали и метални сплави във всички позиции. Въпреки, че е много подобно на ВИГ заваряването, има допълнителни особености, които го правят предпочитано в много индустрии. Автомобилната индустрия го използва за заваряване на елементи от защитните възгллавници, изпускателната система и части от механичната система. В космическата индустрия се използва за заваряване на рамки, за горивни резервоари, насочващи системи и възстановяване газотурбинни компоненти. В медицинската индустрия – за хирургически инструменти. В електрическата индустрия се използват предимствата на метода за заваряване на тънки труднотопими нишки към основата на електрически крушки, за ламиниране и оцветяване на намотки за електрогенератори, при релета и електрически контактори.

Плазменото наваряване се използва за нанасянето на различни метали и сплави върху повърхнините на детайлите с оглед повишаването на експлоатационните им качества. Нанасят се метали и сплави, притежаващи висока твърдост, износоустойчивост, корозионна и топлоустойчивост. Дебелината на наварения слой в един проход може да достигне 4 — 5 mm. Възможно е наваряването на няколко слоя. Процесът позволява да се получат детайли с високи качества при незначителен разход на скъпи легиращи материали.

Плазменото наваряване се прилага за наслояването на мед, бронз и други специални сплави върху работните повърхнини на стоманените елементи от паропроводна арматура, на хром-никелови сплави върху клапаните на

двигателите с вътрешно горене и др. Процесът успешно се използва при ремонта на щампи, пресформи, прокатни валци и други елементи на металообработващите съоръжения.

Плазменото заваряване е дъгов процес, при който общата метална вана се получава от принудително свита дъга между нетопящ се електрод и изделието (директна дъга) или между нетопящ се електрод и концентрираща дюза (косвена дъга). Върху заваръчната вана не се прилага налягане. Процесът може да бъде реализиран с или без допълнителен метал. Дъгата е концентрирана в стълб от йонизирана плазма, излизаща от края на дюзата (Фиг 1).

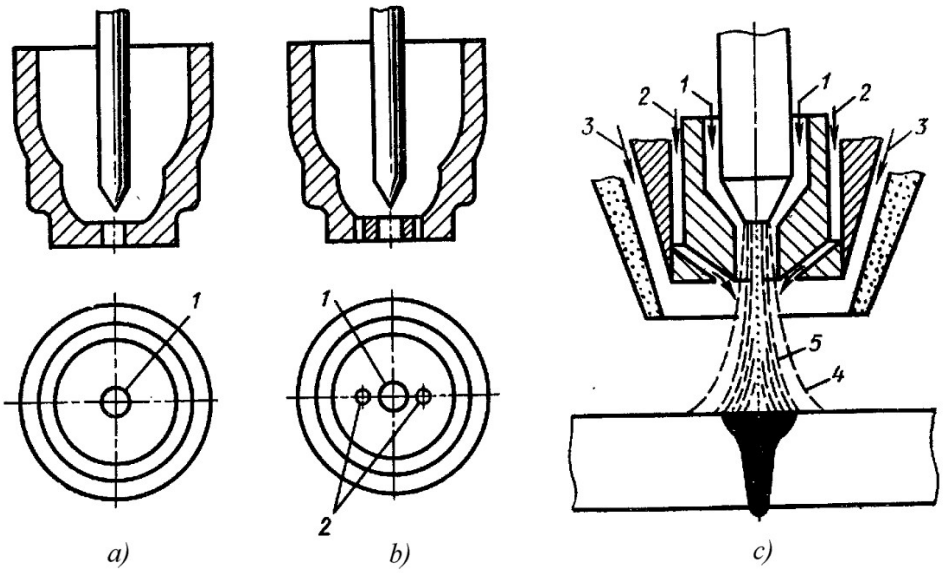


Фиг. 1

Плазмообразуващият газ осигурява и защита на стопения метал и обикновено е част от основния защитен газ, който може да бъде инертен газ или смес от инертни газове. Като плазмообразуващ газ се използва главно аргон. Аргонът лесно се йонизира и затова осигурява лесно запалване на дъгата. Чрез добавяне на молекулни газове (H_2 и N_2) може да се повиши значително топлосъдържанието на плазмообразуващия газ в сравнение с чистия аргон (при същата температура). При сблъсъка на горещия газ със сравнително по – студената повърхност на изделието, в резултат на рекомбинация на атомите и на йоните, се отдава топлината съответно на

дисоциацията и йонизацията. По този начин се подобрява стабилността на дъгата, повишава се вложеното количество топлина и дълбочината на проникване на дъгата в обработваното изделие.

Плазмената дъга се използва за заваряване на неръждясващи стомани, никелови сплави, титанови сплави, молибден, волфрам и др. В сравнение с ВИГ – заваряването процесът се отличава с по-устойчива дъга и по-равномерна дълбочина на провара. По проваряваща способност методът заема място между електродъговото и електроннолъчево заваряване. Стълбът на дъгата има цилиндрична форма и затова ширината на нагряваната повърхнина слабо зависи от дължината на дъгата. Плазмената дъга дава възможност за получаване на постоянен диаметър на петното на нагряване, което води до стабилизиране на дълбочината на провара. Това е особено важно при заваряването на тънки ламарини. Промяната на формата на петното на нагряване се реализира чрез използването на дюзи с различна конструкция (Фиг. 2).



Фиг. 2

Например, когато е необходимо да се получи удължено петно на нагряване в дюзата (Фиг. 2 b) се изпълняват два допълнителни отвора. През тях изтича студен плазмообразуващ газ, което намалява напречния размер на петното. При използване на такава дюза широчината на ЗТВ намалява, а скоростта на

заваряване се повишава до 50÷100%. Друга разновидност в дюзите с допълнителни отвори е създаването на фокусиращ газов поток (Фиг. 2 с). Той представлява газова смес от Ar и He или Ar и H_2, йонизира се по – трудно и по този начин свива плазмата.

Плазмообразуващият газ се подава тангенциално, което позволява с малък дебит да се получи добра стабилизация на дъгата. Фокусиращият газ се подава през концентричен пръстеновиден канал, разположен между каналите за плазмообразуващия и за защитния газ. Фокусиращият поток се подава под ъгъл по отношение на надлъжната ос на дъгата, което води до допълнителното свиване на дъгата в резултат на охлаждането й. Друга възможност за деформиране на петното на нагряване е използването на нееднородно магнитно поле.

2.1 Видове плазмени дъги и плазмотрони

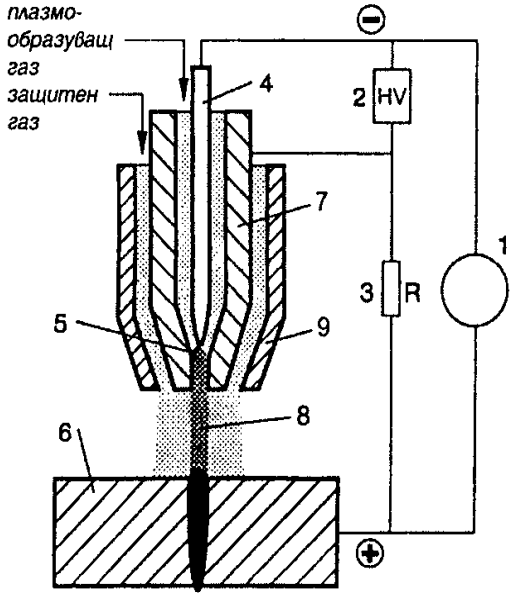
В зависимост от начина на получаване се различават три основни вида плазмени дъги, респ. плазмени процеса, които се реализират със съответните устройства за генериране на плазмата – плазмотрони:

- плазмено – дъгов процес с открита дъга (директна, пренесена дъга);
- плазмено – струен процес с заккрита дъга (косвена дъга);
- плазмено – струйно – дъгов процес с открита и закрита дъга – комбиниран процес;

2.1.1 Плазмено – дъгов процес с открита дъга (директна, пренесена дъга)

При заваряване с открита дъга 8 (Фиг.3.) волфрамовият електрод представлява катод 4, а изделието анод 6. Дъгата минава през водноохлаждаема медна дюза 7, при което се свива. Като плазмообразуващ газ се използва аргон, който в зависимост от обработвания метал може да съдържа и водород (5÷10% за високолегирани Cr-Ni стомани) или хелий (за Ti и Zr). Плазмообразуващият газ се подава концентрично около волфрамовия електрод, като същевременно го предпазва от окисляване. За

да е възможно запалването на дъгата към вътрешната дюза също се подава напрежение. Чрез високоволтови импулси HV от устройство 2 се запалва помощната (пилотната) дъга 5 между волфрамовия електрод 4 и медната дюза 7. За да се предотврати евентуалното стопяване на медната дюза, в токовия кръг на пилотната дъга е включено съпротивлението R (3). Пилотната дъга йонизира плазмообразуващия газ, след което главната дъга 8 прескача върху изделието След прехвърлянето на дъгата към основния метал помощната дъга се изключва. Защитният газ служи както за защита на зоната заваряване, така и за охлаждане на стълба на дъгата. В някои случаи се пуска допълнителна концентрична струя охлаждащ газ. Охлаждането на стълба на дъгата води до неговото свиване и повишаване на концентрацията на топлинния източник. В резултат на това се повишава плътността на тока около надлъжната ос на дъгата и температурите по оста на стълба на дъгата достигат до 3000К. Това създава възможност за заваряване без скосяване на дебелини, значително по-големи отколкото по метода ВИГ. Същевременно линейната енергия е значително по-малка, а скоростта на заваряване до няколко пъти по-голяма. Всичко това рефлектира изключително благоприятно върху деформациите по време на заваряване и те обикновено са пренебрежимо малки. Скоростите на охлаждане в ЗТВ са по-големи и това следва да се отчита при заваряване на материали склонни към образуване на закалъчни структури.



Фиг. 3

За защита на зоната на претопяване от околната атмосфера се използва и допълнителен защитен газ – Ar с чистота 99,95%. Той се подава концентрично между медната и газовата дюза. За да се предотврати разширяване на плазмената струя след излизането и от дюзата, може да се използва и допълнителен фокусиращ газ.



Фиг. 4

При заваряване на нисковъглеродни и нисколегирани стомани в качеството на защитен газ може да се използва въглероден диоксид. Поради сравнително тясната зона на нагряване отклоняването на горелката (плазматрона) (Фиг. 4) от линията на шева не трябва да надхвърля 10% от заваряваната дебелина.

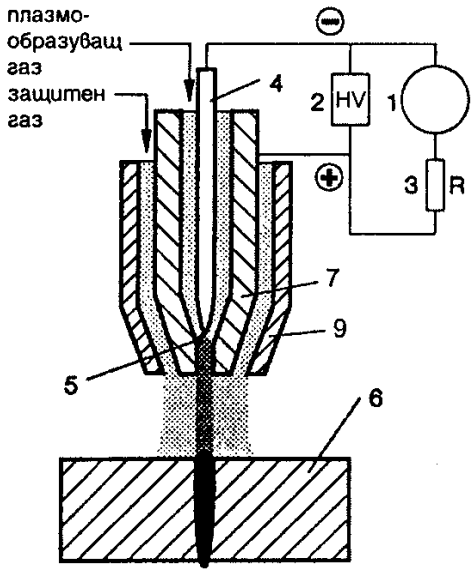
Съставът на защитния газ влияе върху проваряващата способност на дъгата. Добавянето на водород в аргона увеличава дълбочината на провара. Оптималната концентрация е 7%. При използването на хелий дълбочината на провара е по-малка в сравнение с аргоно – водородната смес. За разлика от ВИГ – процеса при заваряването на неръждясващи стомани добавянето на 7.5% водород в защитния газ не предизвиква образуването на пори.



Фиг. 5

При плазмено заваряване челни шевове при дебелина на листовия материал до 9.5[mm] могат да се изпълняват без скосяване на краищата и без допълнителен метал. При дебелини до 25[mm] е необходимо V или U – образно скосяване, като ъгълът на скосяване е по-малък в сравнение с ВИГ процеса. Количеството добавъчен метал намалява до три пъти. Процесът има най-големи предимства при заваряване без скосяване. Добавъчният метал при плазмено заваряване се подава в задната част на заваръчната вана. Процесът може да се използва във всички пространствени положения и различни степени на механизация (Фиг.5). По отношение на различните му приложения едно от най-големите му предимства е при заваряването на тръби.

2.1.2 Плазмено – струен процес с закрита дъга (косвена дъга)

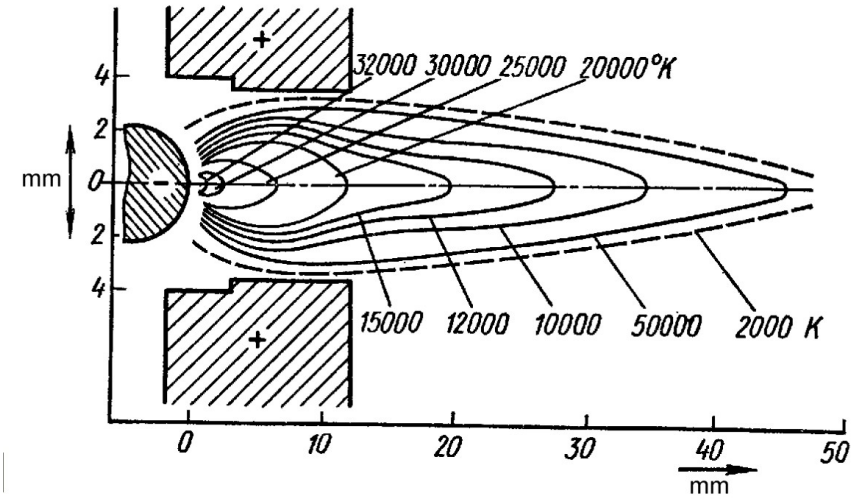


Фиг. 6

Закритата дъга 5 (Фиг. 6) гори вътре в плазмотрона между волфрамов електрод 4 и водноохлаждаема медна дюза 7. Следователно от плазмотрона излиза само плазмена струя. Плазмената струя се характеризира с ярко светещо ядро с основа малко по-малка от размера на отвора на дюзата. Ядрото е заобиколено от факел с по-слабо светлинно излъчване. Дължината на струята се определя от мощността на дъгата, диаметъра на дюзата и дебита на газа. При ламеларно изтичане на газа струята е дълга и практически не се смесва с обкръжаващата среда. Къса плазмена струя се наблюдава при турбулентно изтичане на газа. Чрез формата на дюзата може да се задава очертанието на плазмената струя и по такъв начин да се въздейства върху разпределението на топлинното и силово въздействие на струята върху обработвания материал. Температурното поле в струята се характеризира с

големи градиенти в радиална и аксиална посока като близо до катода се достигат температури от 32000^{0}C (Фиг. 7).

В инженерната практика плазмената струя се характеризира със средномасовата температура в сечението, съвпадащо с челната равнина на дюзата.



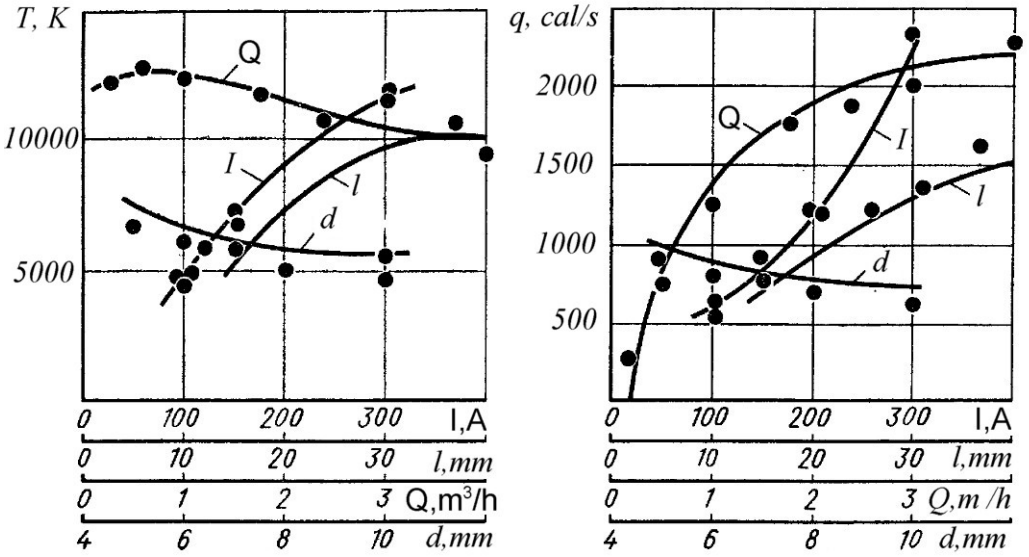
Фиг. 7

Тя може да бъде определена чрез относителната енталпия на плазмообразуващия газ $H = q / G$ (q е ефективната мощност на дъгата в тази равнина, J/s; G – масовият дебит на плазмообразуващия газ, [g/s]. В Таблица 1 са дадени основните параметри на плазмената струя при практически използвани газове.

Таблица 1

Плазмообразуващ газ	Мощност на дъгата, KW	Дебит на газа, g/s	Вътрешен к.п.д. на плазматрона	Относителна енталпия на газа, kcal/m^3	Средномасова температура на плазмата, K
Азот	25	0.5	60	9000	7350
Водород		0.1	80	4350	4075
Въздух		0.5	50	7760	6925
Аргон			40	8450	14100

Основните параметри за регулиране на топлинните характеристики на плазмената струя са: големината на тока, дебита на плазмообразуващия газ и дължината на дъгата. Тяхното влияние върху средномасовата температура и мощността на струята е илюстрирано на Фиг. 8

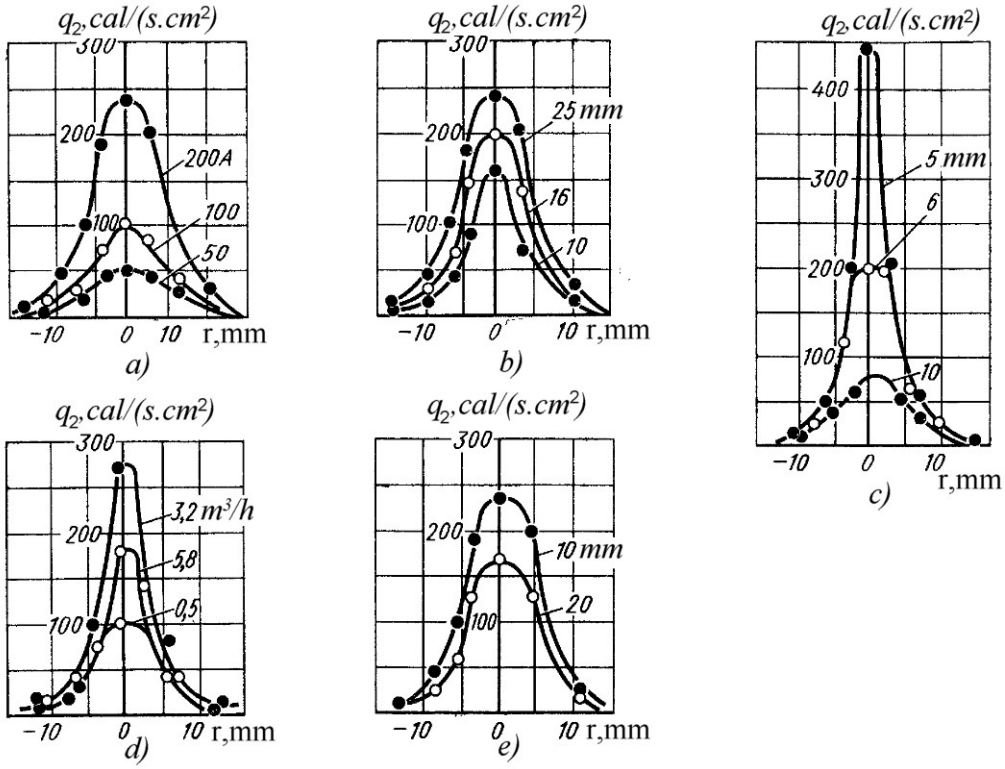


Фиг. 8

Влияние на основните параметри на режима: сила на тока I (l=30mm, Q=2.35m^3/h, d=8mm), дължина на дъгата 1 (I=200A, Q=2.35m^3/h, d=8mm), дебит на аргона Q (I=200A, l=30mm, d=8mm) и диаметър на дюзата d (I=200A, Q=2.35m^3/h, l=30mm) върху средномасовата температура T и топлинната мощност q.

В резултат на конвективното и радиационно топлоотвеждане ефективната топлинна мощност на плазмената струя q_e е по-малка q. Увеличаването на силата на тока и намаляването на диаметъра на дюзата водят до нейното увеличаване. Когато дебита на плазмообразуващия газ е малък неговото увеличаване на води до рязко нарастване на мощността докато при високи стойности на дебита увеличаването му практически не влияе върху мощността. Увеличаването на разстоянието между дюзата и нагряваната повърхнина намалява ефективната мощност в резултат на увеличените загуби. Конвективното топлоотвеждане нараства при турбулентни струи. Това обяснява по-рязкото намаляване на ефективната мощност при

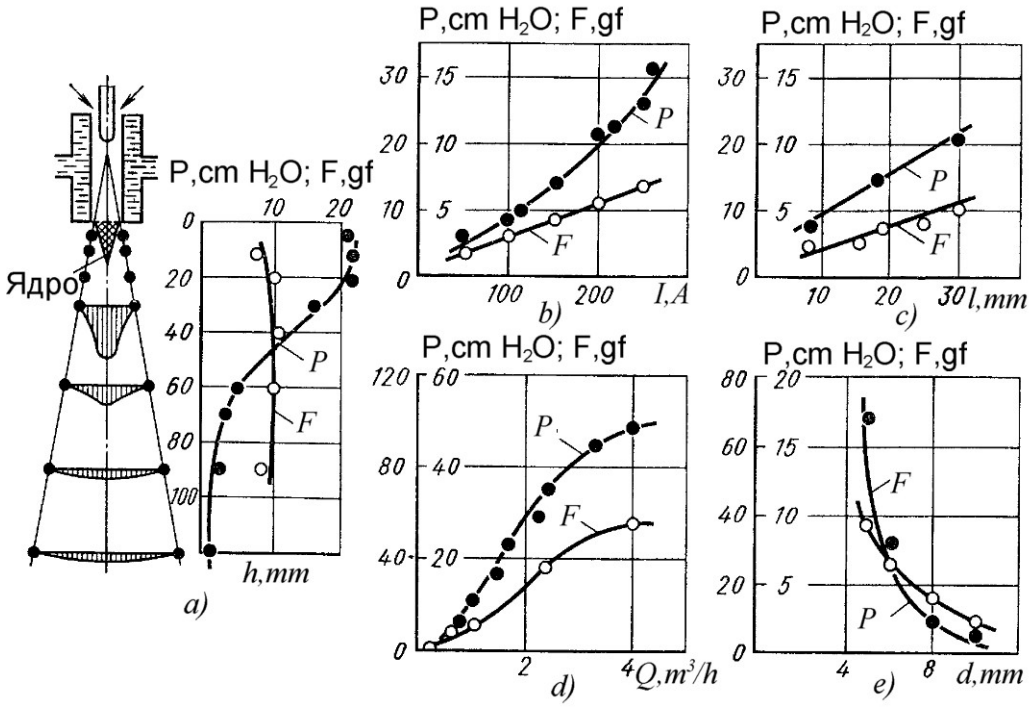
увеличен дебит. При взаимодействие на плазмената струя с повърхност, перпендикулярна на аксиалната й ос разпределението на топлинния поток е близко до нормалното (Фиг. 9).



Фиг. 9

Влияние на силата на тока (a), проникване на дъгата в дюзата (b), диаметъра на дюзата (c), дебита на аргона (d) и разстоянието между дюзата и детайла (e) върху разпределението на топлинния поток.

Максималната плътност на топлинния поток (q_2) може да се променя от стойности еквивалентни на газов пламък до такива, отговарящи на заваръчна дъга. Тя нараства с увеличаването на тока и дължината на дъгата, и намаляването на диаметъра на дюзата. Освен топлинното, плазмената струя оказва и забележимо силово въздействие върху обработвания материал (Фиг. 10).

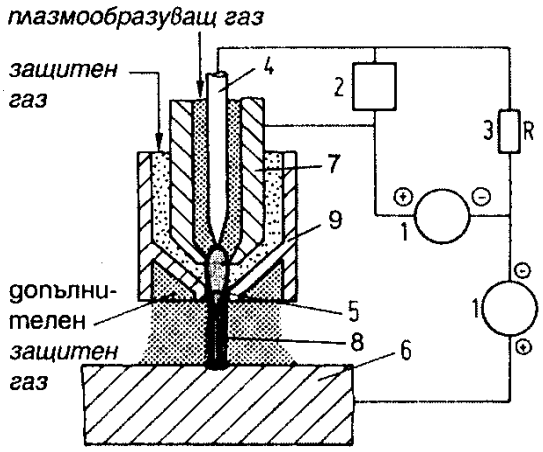


Фиг. 10

Влияние на параметрите върху налягането по оста на струята и общото силово въздействие (a – разстояние до дюзата, b – сила на тока, c – проникване на дъгата, d – дебит на аргона, e – диаметър на дюзата).

2.1.3 Плазмено – струйно – дъгов процес с открита и закрита дъга – комбиниран процес

Комбинирането на откритата и закритата дъга в един плазмотрон осъществява плазмено – струйно – дъговия процес тук се използват два отделно регулируеми източници на постоянен ток (Фиг. 11). Единият захранва закритата дъга 5 между волфрамовия електрод 4 и медната дюза 7, а другият – откритата дъга 8 между електрода и изделието. За



Фиг. 11

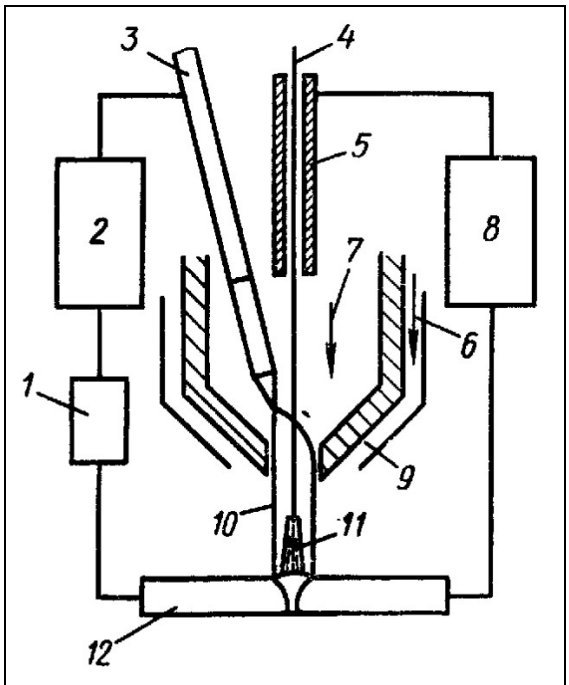
разлика от плазмотрона за открита дъга, в този случай и двете дъги горят едновременно и непрекъснато по време на целия заваръчен процес. По този начин закритата дъга допълнително стабилизира процеса и заедно със силно компресиращато действие на анодната дюза 7 подпомага стабилното горене на откритата дъга даже при много ниски стойности на тока. Комбинираните плазмотрони са подходящи както за заваряване, така и за наваряване.

2.2 Технически варианти на плазменото заваряване

2.2.1 Микроплазмено заваряване

Микроплазменото заваряване използва комбинирания плазмено – струйно – дъгов процес, при който могат да се използват много ниски стойности на тока (от 0,01 А до 25 А) и същевременно да се осигури стабилен процес на стопяване на метала. Намира приложение за заваряване на тънки дебелини – от 0,01 до 1 mm, например фолии, ламарини, телове, мембрани, тънки мрежи и др. Процесът може да се изпълни само механизирано и изисква много точна подготовка на заваряваните краища.

2.2.2 Плазмено заваряване с топящ се електрод



Фиг.11

Плазменото заваряване с топящ се електрод се реализира по схемата, показана на Фиг. 12.

Плазмената дъга 10 гори между волфрамовия електрод 3 и изделието 12 като плазмообразуващият газ 7 се подава във вътрешната дюза. Тя се захранва от токоизточника 1, а първоначалното възбуждане се реализира с осцилатора 2. Заваръчният тел 4 се подава през контактната дюза 5. Към контактната дюза се подава напрежение от

токоизточника 8, в резултат на което гори заваръчната дъга 11. Зоната на заваряване се защитава чрез защитният газ 6. Едно от най-големите предимства на метода е високата производителност на стопяване (до 30[kg/h]). Наред с това се запазват характерните за плазменото заваряване предимства. Този хибриден метод на заваряване позволява получаването на различни форми на провара, както и заваряването на широка гама дебелини. На Фиг. 12 е показана горелка, (**Plasma-Laser Technologies, Ltd)** реализираща метода, а на Фиг.13 – роботизирано работно място. Тази горелка дава възможност за реализиране на 250[A] ток на плазмената дъга и 350[A] ток на МИГ процеса.



Фиг. 12



Фиг. 13

На Фиг.14 са дадени изделия, заварени по тази технология.



Фиг. 14

3. Разновидности на методите за плазмено наваряване

Плазменото заваряване и плазменото наваряване са сходни процеси. Съществената разлика е, че при плазменото заваряване се реализира съединяването на два детайла, а при плазменото наваряване се нанася слой върху един детайл, което не се отразява на физиката на процесите в дъгата и пренасянето на допълнителния метал. Целта е да се управлява дълбочината на провара, като по възможност се реализира по – малък провар.

При анализ на публикациите в тази област става очевидна многовариантността на технологичния процес на плазменото наваряване:

- с използване на допълнителен материал прах или тел; при това теловете могат да бъдат един или два, с плътно сечение или тръбни;
- еднодъгово или двудъгово, като дъгата може да гори върху изделието или върху заваръчния тел, а при двудъговия процес едната дъга гори върху изделието, а втората върху тела или на канала на плазмообразуващата дюза;
- полярността на прякодействащата дъга може да се променя – може да бъде права или обратна при използването на различни видове електроди;
- като плазмообразуващ и защитен газ обикновено се използва аргон или смес от аргон с водород, но може да се използват и комбинации, например: като плазмообразуващ газ аргон, като защитен – $CO_{2;}$
- в зависимост от сложността и габаритите на детайла наваряването може да се извършва ръчно или с използване на механизиран процес;
- механизираното наваряване може да се извършва без напречни колебания или с колебания с различна траектория;
- скоростно плазмено наваряване;

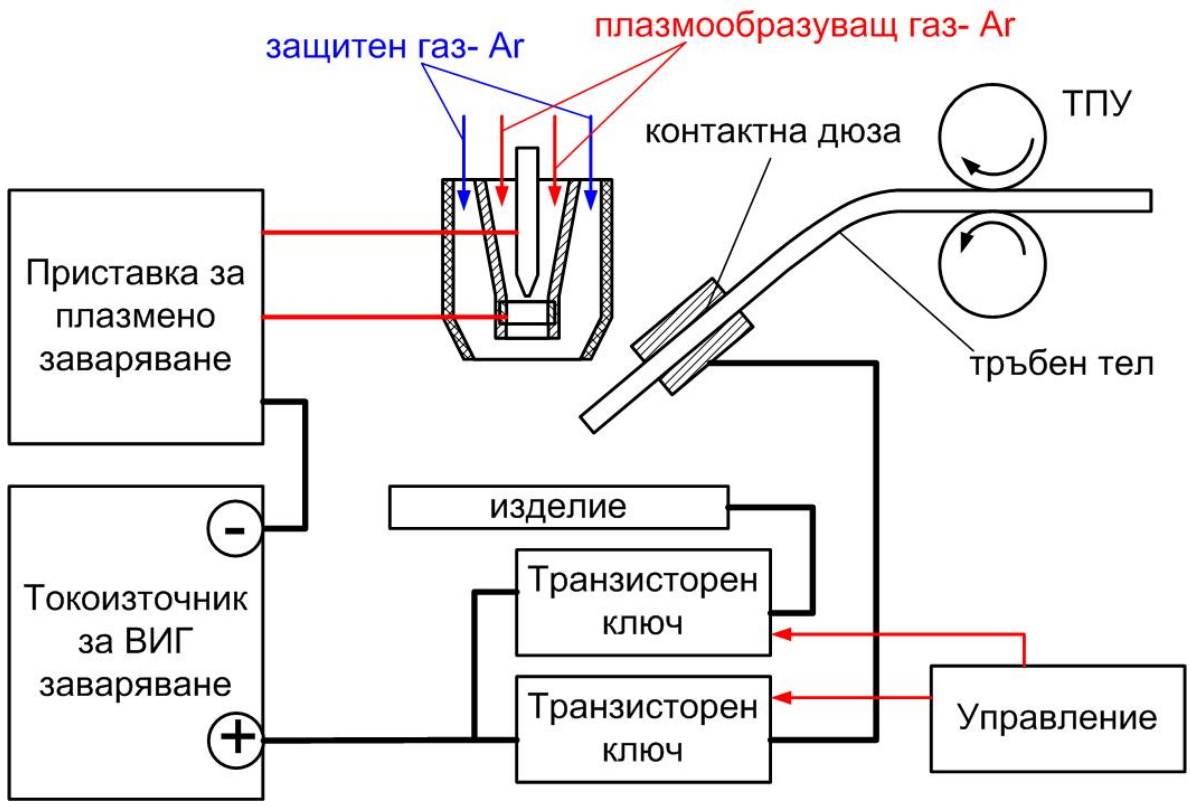
4. Оборудване и план за провеждане на експериментите

Целите на проекта са да се разработи и усвои импулсно – дъгов плазмен процес за наваряване и да се приложи за получаване на износоустойчиви слоеве. За реализирането на тези цели се използва известен процес за плазмено заваряване, като той се модифицира за условията на наваряване. Задачата е да се получи значително намаляване на дълбочината на провара и смесването на наварения и основен метал, което може се постига чрез специфично импулсно реализиране на процеса.



Фиг. 15

Според план – програмата за първия етап е направено литературно – патентно проучване на проблема, закупена е необходимата апаратура за технологични експерименти – Plasmamodul PLASMABOX EN60974-1/VDE0544 и е организирано работно място (Фиг. 15). Изработен е модул за импулсно управление на дъгата (Фиг.16); създадена е концепция за провеждане на експериментите.



Фиг. 16

Предвижда се следният метод за нанасяне на слоеве с използването на импулсно-дъгов плазмен процес и тръбен тел (Фиг.3):

След възбуждането на основната дъга, горяща между волфрамовият електрод и изделието, процесът се управлява импулсно посредством двата транзисторни ключа. Те позволяват прехвърляне на дъгата от изделието към тръбният тел и обратно. Управлението работи по метода на ШИМ регулирането, което осигурява възможност за независимо регулиране големината на тока в двете фази на процеса:

- горене на дъгата между волфламовия електрод и изделието
- горене на дъгата между волфрамовия електрод и тръбния тел.

Регулирането на честотата и продължителността на двете фази на процеса води до фино регулиране на енергията, влагана в изделието и енергията, използвана за топене на допълнителния метал. Това от своя страна

позволява регулиране дълбочината на провара и смесването на основния и добавъчен метал. Използването на тръбен тел с високо съдържание на въглерод, хром и ниобий създава предпоставки за олразуването на голямо количество карбиди и постигането на високи параметри по отношение на износоустойчивостта на слоя.

Поради късното закупуване на необходимата апаратура и материали, експериментите за установяване влиянието на параметрите на режима върху геометрията на наварения слой ще бъдат проведени във втория етап.

Наваряването ще се извършва върху основен метал от нисковъглеродна стомана S235JR с допълнителен материал – Corodur 60 – тръбен тел, с високо съдържание на легиращите елементи C, Cr и Nb (Таблица 2). Подходящ е за наваряване на детайли, подложени на силно абразивно износване при температури до 450 ºC. В състава на наварения слой участват хромови и ниобиеви карбиди с висока твърдост. Типични приложения на този тръбен тел са наваряване на лопатки и перки на бъркалки, циментови и бетонови помпи, ролкови преси и мелещи валци.

Таблица 2

Тръбен тел	C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	Co %	Nb %	V %	W %	Fe %	Други	Твърдост
Corodur 60	5,2	1,1	0,4	22				7					61–63 HRC

Предстоящата работа включва: провеждане на експериментални изследвания; изработване на образци за механични изпитвания и металографски шлифове.за анализиране на структурата на слоя, структурните промени в основния метал, геометричните размери на слоя и смесването на основния и допълнителен материал; провеждане на трибологични изпитвания в условията на различни по вид и големина натоварвания; обработване на експерименталните резултати посредством методите на многокритериалната многофакторна оптимизация.

5. Публикации

Р. Димитрова, Б. Табакова ”Импулсно – дъгови плазмени процеси за заваряване и наваряване**”** Научна конференция с международно участие SES 2010, София, 02 - 04 ноември, 2010

6. План – програма за втория етап

6.1. Провеждане на експерименти за установяване влиянието на параметрите на режима върху геометрията на слоя.

6.2. Провеждане на експерименти за наваряване на износоустойчиви слоеве

6.3 Изследване свойствата на слоевете

6.4 Анализ на експерименталните резултати и многокритериална многофакторна оптимизация на процеса.

6.5 Експериментална проверка на решенията на оптимизационната задача.

6.6 Публикуване на резултатите

Литература:

[1] Hou, R., D. M. Evans, J. McCure, A. C. Nunes, G. Garcia. 1996. Shielding gas and heat transfer efficiency in plasma arc welding. Welding Journal.

[2] Jia Chuan-bao, Wu Chuan-song, Zhang Yu-ming Sensing controlled pulse key-holing condition in plasma arc welding. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Volume 19, Issue 2, April 2009

[3] Liu Liming, Hao Xinfeng Improvement of laser keyhole formation with the assistance of arc plasma in the hybrid welding process of magnesium alloy. Optics and Lasers in Engineering, Volume 47, Issue 11, November 2009

[4] Palani P.K., Murugan N. Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding. Journal of Materials Processing Technology, Volume 172, Issue 1, 20 February 2006

[5] Weldind Handbook Ninth Edition, vol. 2, Welding Processes, Part 1, 2004

[6] Желев А. Материалознание Техника и Технология Том II Технологични Процеси и Обработваемост, София, 2003

[7] Тонгов М. Заваряване Част Първа Процеси, София, 2009