



جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة القادسية

كلية التربية

قسم الفيزياء

# دراسة تأثير مادة القطب على خصائص قوس الأشتعال الحر

رسالة قَدَمها

**جعفر لطيف حجي**

الى مجلس كلية التربية / جامعة القادسية

وهي جزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير علوم في الفيزياء

بكالوريوس علوم فيزياء ( ٢٠٠٥ )

كلية التربية / جامعة القادسية

**باشراف**

**أ.م.د. عبد الحسين عباس خضير**

٢٠١٧ ميلادية

١٤٣٨ هجرية

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

وَيَسْأَلُونَكَ عَنِ الرُّوحِ قُلِ الرُّوحُ مِنْ أَمْرِ

رَبِّي وَمَا أُوتِيتُمْ مِنَ الْعِلْمِ إِلَّا قَلِيلًا

صدق الله العلي العظيم

سورة الاسراء (الاية ٨٥)

## الأهداء

الى روح والدي العزيز  
الى نبع الحنان ورمز التضحية.. أُمِّي

الى من بذل جهده ليسانعدي .. أخي  
الى من عَمَرَنني بمحبتهن .. أخواتي  
الى من أعانني في مشواري هذا .. زوجتي  
الى كلِّ أحبتي وأصدقائي  
الى كل هؤلاء اهديهم ثمرة  
جهدي هذا حبا" واحتراما"

## شكر وتقدير

الحمد لله على ما أفاض من نعمه التي لا تحصى والصلاة والسلام على أشرف الخلق نبي الرحمة محمد (صلى الله عليه وعلى آله الطيبين الطاهرين).

وأنا أشارف على نهاية الرسالة لايسعني إلا ان اقدم بجزيل الشكر والتقدير الى أستاذي ومشرفي الفاضل الدكتور عبد الحسين عباس خضير لأقتراحه موضوع الرسالة وتوجيهاته القيمة ومتابعته المستمرة.

وأنتقدم بوافر الامتنان الى كل من مد يد العون لي لأكمال هذا البحث وأخص بالذكر الدكتور أحمد حميد وناس الذي قدم الكثير من الامكانيات المطلوبة لإنجاز هذا البحث. والشكر موصولاً الى أساتذتي الأعزاء ولا أنسى فضل الدكتور سليم عزارة لما قدمه من نصائح وتوجيهات قيمة. وأخيراً" لا بد أن أشكر أخوتي وأخواتي الأعزاء طلبة الدراسات العليا من قسم الفيزياء من دورتي وأتمنى لهم كل التوفيق.

الباحث جعفر

## توصية المشرف على الرسالة

أشيد أن اعداد الرسالة الموسومة ب: ( دراسة تأثير مادة القطب على خصائص قوس الأشتعال الحر) المقدمة من الطالب ( جعفر لطيف حجي ) قد أجريت تحت إشرافنا في قسم الفيزياء بكلية التربية جامعة القادسية ، وهي جزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير في الفيزياء .

التوقيع :

أسم المشرف : د. عبد الحسين عباس خضير

المرتبة العلمية : أستاذ مساعد

العنوان : جامعة القادسية كلية التربية

التاريخ 20 \ 10 \ 2016

## توصية السيد رئيس قسم الفيزياء

أشارة الى التوصية المقدمة من الأستاذ المشرف أحيل هذه الرسالة الى لجنة المناقشة لدراستها وبيان الرأي فيها.

التوقيع:

رئيس القسم : د. عبد الحسين عباس خضير

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: كلية التربية جامعة القادسية

التاريخ: 2016 / 10 / 20



## إقرار المقوم العلمي

أشهد أني راجعت هذه الرسالة المسومة بـ ( دراسة تأثير مادة القطب على خصائص قوس الأشتعال الحر) من الناحية العلمية ، وصححت ما ورد فيها من أخطاء علمية وبذلك أصبحت مؤهلة للمناقشة .

 التوقيع

الاسم: د. قصي عدنان عباس

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

التاريخ: 2017 \ 1 \ 15

## إقرار المقوم اللغوي

أشهد أنني راجعت هذه الرسالة المسمومة بـ ( دراسة تأثير مادة القطب على خصائص قوس الأشتعال الحر ) من الناحية اللغوية و التعبيرية ، وقد قومتها لغويا " ، قدر تعلق الأمر بسلامة لغتها وأسلوبها، وأصبحت بذلك مؤهلة للمناقشة.

 التوقيع:

الاسم: د. نهى حسين كندوح

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

التاريخ: 1 \ 12 \ 2016

## قرار لجنة المناقشة

نشيد نحن أعضاء لجنة المناقشة بأننا قد أطلعنا على الرسالة الموسومة ب: (دراسة تأثير مادة القطب على خصائص قوس الاشتعال الحر) ، المقدمة من قبل الطالب (جعفر لطيف حجي) وقد ناقشنا الطالب في محتوياتها وفيما له علاقة بها وذلك بتاريخ ٣٠ / ٣ / ٢٠١٧ وهو جدير بالقبول لنيل شهادة الماجستير في علوم الفيزياء وبدرجة (امتياز) .

### رئيس اللجنة

التوقيع: 

الاسم : د. رعد شاكّر عبيس

المرتبة العلمية : أستاذ

العنوان : جامعة القادسية / كلية التربية

التاريخ : ١٧ / ٤ / ٢٠١٧

### عضو اللجنة

التوقيع: 

الاسم : د.محمد خماس خلف

المرتبة العلمية : رئيس باحثين

العنوان: وزارة العلوم والتكنولوجيا

التاريخ : ١٧ / ٤ / ٢٠١٧

### عضو اللجنة

التوقيع: 

الاسم : د.كاظم عبد الواحد عامر

المرتبة العلمية : استاذ مساعد

العنوان : جامعة بغداد / كلية العلوم

التاريخ : ١٧ / ٤ / ٢٠١٧

### عضو اللجنة (مشرفاً)

التوقيع: 

الاسم : د.عبد الحسين عباس خضير

المرتبة العلمية : استاذ مساعد

العنوان : جامعة القادسية / كلية التربية

التاريخ : ١٧ / ٤ / ٢٠١٧

### مصادقة عمادة كلية التربية

أصادق على ما جاء بقرار اللجنة أعلاه

التوقيع: 

السيد العميد : الاستاذ الدكتور خالد جواد العادلي

التاريخ : ١٧ / ١٥ / ٢٠١٧



## الخلاصة

تم دراسة خواص قوس الاشتعال الحر (التيار الكهربائي، فرق الجهد ، كثافة التيار الكهربائي، شدة الضوء المنبعث من القوس، درجات الحرارة على مسافة 1.5 cm من سطح الكاثود، ، المجال الكهربائي، التوصيلية الكهربائية) لاربعة انواع من المواد الداخلة في صناعة الكاثود ، حيث استعملنا في بحثنا هذا الحديد (Iron) ،و الحديد المقاوم للصدأ (Stainless steel)،و البراص (Brass) ،و النحاس (Copper) ،ومدى تأثر تلك الخواص لتغير ضغوط الغاز حيث تم تغير الضغط ما بين (2 , 4 , 6 , 8 , 10 , 12) torr وكذلك مدى تأثر تلك الخواص بتغير المسافة بين الاقطاب لمسافات (2,4,6,8,10)mm ، واستعملنا غازين هما الاركون Argon و ثنائي اوكسيد كاربون CO<sub>2</sub> في هذا البحث.

وتبين من خلال النتائج: بان مقدار التيار يزداد مع زيادة ضغط الغاز وكذلك بالنسبة للفولطية، وكثافة التيار، والمجال الكهربائي ،كما أن درجة الحرارة الغاز قرب سطح الكاثود تزداد ثم تنخفض مع زيادة ضغط الغاز ، وان التوصيلية الكهربائية تنخفض مع زيادة ضغط الغاز ، وقد وجد من خلال النتائج أن للمسافة الفاصله بين الاقطاب تأثير على خواص القوس فلوحظ انه عند زيادة المسافة يزداد تيار التفريغ القوسي، وكذلك الفولطية، اما المجال الكهربائي فوجد انه يتناقص بازياد المسافة الفاصله. وقد أستكملنا الدراسة بدراسة تأثير التآكل لمادة قطب الكاثود لكل نوع من المواد المستعملة وقد تبين لنا بان لنوع الغاز وضغطه والمسافة الفاصله بين الاقطاب تأثير على التآكل قطب الكاثود حيث لاحظنا في غاز الاركون يكون التآكل قليل جدا" بينما يكون التآكل واضح بالنسبة لغاز ثنائي اوكسيد الكاربون.

| رقم الصفحة | العنوان                                    | الفقرة       |
|------------|--|--------------|
| I          | الخلاصة                                    |              |
| II         | قائمة المحتويات                            |              |
| v          | قائمة الاشكال                              |              |
| X          | قائمة الجداول                              |              |
| XI         | قائمة الرموز                               |              |
|            | المقدمة                                    | الفصل الاول  |
| 1          | المقدمة                                    | 1-1          |
| 1          | التفريغ الكهربائي القوسي                   | 2-1          |
| 3          | الطرق المستخدمة لتوليد الاقواس الكهربائية  | 3-1          |
| 3          | انواع الاقواس الكهربائية                   | 4-1          |
| 5          | توصيف الاقواس الكهربائية                   | 5-1          |
| 6          | مناطق القوس                                | 6-1          |
| 7          | عمليات الكاثود                             | 7-1          |
| 7          | الانبعاث الكهروضوئي                        | 1-7-1        |
| 7          | انبعاث الكترون بتصادم ايون موجب وذرة مثارة | 2-7-1        |
| 7          | انبعاث حراري                               | 3-7-1        |
| 8          | انبعاث المجال                              | 4-7-1        |
| 9          | اشكال الاقواس الكهربائية                   | 8-1          |
| 9          | الاقواس الخطية                             | 1-8-1        |
| 14         | الاقواس المتوسعة                           | 2-8-1        |
| 16         | الاقواس الدوارة                            | 3-8-1        |
| 18         | الدراسات السابقة                           | 9-1          |
| 20         | الهدف من البحث                             | 10-1         |
|            | الجزء النظري                               | الفصل الثاني |
| 21         | المقدمة                                    | 1-2          |
| 21         | القياسات في اقواس الضغوط المنخفضة          | 2-2          |
| 21         | انحدار الجهد الطولي                        | 3-2          |
| 23         | معادلات ماكسويل                            | 4-2          |
| 25         | الانود                                     | 5-2          |
| 26         | الكاثود                                    | 6-2          |
| 27         | طبقة الكاثود                               | 7-2          |
| 28         | تركيب طبقة الكاثود                         | 8-2          |
| 31         | بقع الكاثود                                | 9-2          |
| 33         | العمود الموجب لاقواس الضغط العالي          | 10-2         |

|    |   |                 |
|----|---|-----------------|
| 36 | نموذج رايزر (القناة) للعمود الموجب  | 1-10-2          |
| 39 | نموذج القناة لستنيك- رايزر لدرجة حرارة البلازما والقدرة<br>والمجال الكهربائي في العمود الموجب | 2-10-2          |
| 41 | التوصيل الكهربائي في الغاز  | 11-2            |
|    | الجزء العملي  | الفصل<br>الثالث |
| 43 | المقدمة   | 1-3             |
| 43 | مكونات المنظومة   | 2-3             |
| 44 | حجرة التفريغ القوسي   | 1-2-3           |
| 47 | مجهز القدرة   | 2-2-3           |
| 48 | مضخة التفريغ  | 3-2-3           |
| 48 | اسطوانة الغاز   | 4-2-3           |
| 48 | مضخة ماء  | 5-2-3           |
| 48 | الرافعة   | 6-2-3           |
| 48 | اجهزة القياس  | 7-2-3           |
| 48 | مقياس الضغط   | a-7-2-3         |
| 49 | المزدوج الحراري   | b-7-2-3         |
| 49 | افوميتر رقمي  | c-7-2-3         |
| 49 | أميتر رقمي  | d-7-2-3         |
| 49 | مقياس شدة الضوء   | e-7-2-3         |
| 50 | الظروف التجريبية  | 3-3             |
| 50 | الآلية لتنظيف الكاثود   | 1-3-3           |
| 51 | غاز العمل   | 2-3-3           |
| 51 | المزدوج الحراري   | 3-3-3           |
| 52 | تصوير التفريغ القوسي  | 4-3-3           |
| 52 | الآلية ازالة الرواسب الناتجة عن التفريغ القوسي  | 5-3-3           |
| 53 | عملية تبريد شفة الربط العليا  | 6-3-3           |
| 53 | خطوات العمل   | 4-3             |
|    | النتائج والمناقشة   | الفصل<br>الرابع |
| 54 | المقدمة   | 1-4             |
| 54 | تأثير الضغط   | 2-4             |
| 54 | تأثير الضغط على التيار القوسي   | 1-2-4           |
| 54 | تأثير الضغط على التيار القوسي لغاز الاركون  | a-1-2-4         |
| 54 | تأثير الضغط على التيار القوسي لغاز CO <sub>2</sub>  | b-1-2-4         |
| 56 | تأثير الضغط على الفولطية التفريغ  | 2-2-4           |
| 56 | تأثير الضغط على الفولطية التفريغ لغاز الاركون   | a-2-2-4         |
| 56 | تأثير الضغط على الفولطية التفريغ لغاز CO <sub>2</sub>   | b-2-2-4         |

|    |  |       |
|----|--|-------|
| 57 | تأثير ضغط الغاز على درجة حرارة الغاز قرب سطح الكاثود | 3-2-4 |
| 59 | تأثير الضغط على شدة الضوء المنبعث من التفريغ القوسي  | 4-2-4 |
| 61 | تأثير الضغط على المجال الكهربائي                     | 5-2-4 |
| 63 | تأثير الضغط على كثافة التيار الكهربائي               | 6-2-4 |
| 64 | تأثير الضغط على التوصيلية الكهربائيه                 | 7-2-4 |
| 65 | تأثير المسافة على خواص التفريغ القوسي                | 3-4   |
| 65 | تأثير المسافة على التيار الكهربائي                   | 1-3-4 |
| 66 | تأثير المسافة على الفولطية التفريغ القوسي            | 2-3-4 |
| 68 | تأثير المسافة على المجال الكهربائي                   | 3-3-4 |
| 69 | تأثير مادة القطب على الطيف المنبعث من التفريغ القوسي | 4-4   |
| 69 | استقرارية القوس                                      | 5-4   |
| 74 | التآكل في قطب الكاثود                                | 6-4   |
| 78 | الاستنتاجات  | 7-4   |
| 79 | مقترحات المشاريع المستقبلية                          | 8-4   |
| 80 | المصادر  |       |

| رقم الصفحة | عنوان الشكل  | البند       |
|------------|--|-------------|
| المقدمة    |  | الفصل الاول |
| 2          | المخطط النموذجي لخواص فولطية تيار للتفريغ بين الاقطاب لمدى واسع من التيارات  | 1-1         |
| 6          | توزيع الجهد عبر اقطاب القوس  | 2-1         |
| 10         | قوس الاشتعال الحر مع اقطاب مرتبة افقيا" و اقطاب مرتبة عموديا"  | 3-1         |
| 11         | شكل القوس المستقر جداريا"  | 4-1         |
| 12         | شكل القوس المنتقل مع اقواس تنشأ في الجدار الداخلي لكاثود مجوف مبرد بالماء و التيار ينتقل الى الانود الخارجي          | 5-1         |
| 12         | شكل القوس المستقر بالنضح   | 6-1         |
| 3          | شكل القوس المستقر بالتدفق المحوري  | 7-1         |
| 14         | شكل القوس المستقر الدوامي الذي يستقر في المحور   | 8-1         |
| 14         | القوس المستقر الدوامي مع الغاز المحقون مماسيا" في محيط الكاثود   | 9-1         |
| 15         | شكل القوس المنزلق  | 10-1        |
| 16         | المخطط النموذجي للمفاتيح الكهربائية يبين القوس المسحوب   | 11-1        |
| 16         | شكل يبين القوس الغير المنتقل الذي يضرب بين الكاثود والانود ويصل الى المواد في الخارج لتسخن بواسطة تدفق الغاز المحوري | 12-1        |
| 17         | شكل يبين شعلة البلازما الغير مغطاة المتماثل محوريا" والغير منتقل   | 13-1        |
| 17         | شكلان مختلفان للاقواس المستقرة مغناطيسيا"  | 14-1        |

| رقم الصفحة | افكار ومفاهيم   | الفصل الثاني |
|------------|---|--------------|
| 22         | شكل يمثل تغير الفولطيه مع المسافة بين الاقطاب   | 1-2          |
| 22         | شكل يبين التغيرات في الضغط في قوس الزئبق للمجال الكهربائي الطولي في العمود لقوسين في انبوبتين مختلفتين في القطر حاملة تيارات مختلفه | 2-2          |
| 23         | شكل يوضح تغير الضغط مع المجال الكهربائي لغازات خاملة متنوعة   | 3-2          |
| 23         | مخطط توضيحي يبين تغير تيار القوس مع المجال الكهربائي الطولي الطولي في العمود في الاقواس لغازات مختلفة في ضغط 1atm                   | 4-2          |
| 30         | شكل يمثل مخطط توضيحي لتوزيع درجات الحرارة والجهد الكهربائي و المجال الكهربائي من الكاثود الى الانود للتفريغ القوسي                  | 5-2          |
| 31         | شكل يمثل مخطط توضيحي لكيفية توزيع كثافة الشحنة والتيار الكهربائي و المجال الكهربائي في طبقة الكاثود في التفريغ القوسي               | 6-2          |
| 35         | خصائص فولطية - تيار للعمود الموجب لقوس التفريغ في الهواء في ضغوط غازات مختلفة   | 7-2          |
| 38         | شكل يبين مخطط لتوزيع درجة حرارة الغاز والتوصيلية الحرارية للبلازما في التفريغ القوسي المقترح من قبل نموذج القناة لاستينبيك          | 8-2          |
| 40         | مخطط يوضح القدرة المتبددة لكل وحدة طول لتفريغات مختلفة كدالة لدرجة حرارة العظمى على محور التفريغ                                    | 9-2          |
| رقم الصفحة | الجزء العملي  | الفصل الثالث |
| 43         | مخطط يوضح اجزاء حجرة التفريغ القوسي   | 1-3          |
| 44         | صورة فوتوغرافية تمثل المظهر الخارجي منظومة التفريغ القوسي   | 2-3          |
| 44         | صورة فوتوغرافية لحجرة التفريغ   | 3-3          |
| 45         | صورة جانبية وعمودية لشفة الربط العليا المصنعة   | 4-3          |

|            |  |                     |
|------------|--|---------------------|
| 47         | صورة للاقطاب المستخدمة لدراسة خواص القوس   | 5-3                 |
| 47         | صورة فوتوغرافية توضح الانود المستخدم في منظومة التفريغ القوسي  | 6-3                 |
| 49         | صورة المزدوج الحراري والقاريء الرقمي المستخدم  | 7-3                 |
| 50         | صورة تمثل الجهاز المستعمل لقياس شدة الضوء المنبعث من القوس   | 8-3                 |
| 51         | صورة فوتوغرافية توضح شكل الكاثود وشفة الربط بعد عملية التفريغ القوسي بين الاقطاب   | 9-3                 |
| 51         | صورة تمثل المزدوج الحراري المستعمل داخل حجرة التفريغ القوسي  | -31                 |
| 52         | صورة تبين ترسب مادة الكاثود المنصهر على سطح الانود بسبب التفريغ القوسي   | 11-3                |
| رقم الصفحة | <b>النتائج والمناقشة</b>   | <b>الفصل الرابع</b> |
| 55         | مخطط يبين العلاقة بين تيار التفريغ القوسي كدالة لضغط غاز Ar لكافة انواع الاقطاب عند مسافة فاصلة بين الاقطاب 2mm                | 1-4                 |
| 55         | مخطط يبين العلاقة بين تيار التفريغ القوسي كدالة لضغط غاز CO <sub>2</sub> لكافة انواع الاقطاب عند مسافة فاصلة بين الاقطاب 2mm   | 2-4                 |
| 56         | مخطط يبين تأثير نوع مادة القطب على العلاقة بين فولطية التفريغ وضغط غاز الاركون عند مسافة فاصلة بين الاقطاب 2mm                 | 3-4                 |
| 57         | مخطط يبين تأثير نوع مادة القطب على العلاقة بين فولطية التفريغ وضغط غاز CO <sub>2</sub> عند مسافة فاصلة بين الاقطاب 2mm         | 4-4                 |
| 58         | شكل يبين تأثير كل من نوع مادة القطب وتيار المسلط على العلاقة بين درجة حرارة الغاز وضغط غاز الاركون عند مسافة فاصلة 1mm         | 5-4                 |
| 59         | شكل يبين تأثير كل من نوع مادة القطب وتيار المسلط على العلاقة بين درجة حرارة الغاز وضغط غاز CO <sub>2</sub> عند مسافة فاصلة 1mm | 6-4                 |
| 60         | مخطط يبين ضغط غاز الاركون على شدة الضوء المنبعث من التفريغ القوسي لمواد مختلفة لمادة القطب وعند مسافة فاصلة 1mm                | 7-4                 |

|    |   |       |
|----|---|-------|
| 61 | مخطط يبين ضغط غاز CO <sub>2</sub> على شدة الضوء المنبعث من التفريغ القوسي لمواد مختلفة لمادة القطب وعند مسافة فاصلة 1mm   | 8-4   |
| 62 | مخطط يوضح تأثير مادة القطب على العلاقة بين تغير المجال الكهربائي المتولد من التفريغ القوسي كدالة لضغط الغاز وللغازين Ar ، CO <sub>2</sub> عند مسافة فاصلة بين الاقطاب 2mm | 9-4   |
| 63 | يبين تأثير نوع مادة القطب على العلاقة بين كثافة التيار الكهربائي وضغط الغاز لكافة انواع الاقطاب لغاز Ar ، CO <sub>2</sub> عند مسافة فاصلة 2mm                             | 10-4  |
| 64 | يبين تأثير نوع مادة القطب على العلاقة بين التوصيلية الكهربائي وضغط الغاز لكافة انواع الاقطاب لغاز Ar ، CO <sub>2</sub> عند مسافة فاصلة 2mm                                | 11-4  |
| 65 | يمثل تأثير نوع مادة القطب على العلاقة بين المسافة الفاصلة وتيار التفريغ لكافة انواع الاقطاب المستعملة لغاز Ar   | 12-4  |
| 66 | يمثل تأثير نوع مادة القطب على العلاقة بين المسافة الفاصلة وتيار التفريغ لكافة انواع الاقطاب المستعملة لغاز CO <sub>2</sub>  | 13-4  |
| 67 | يبين تأثير ضغط غاز الاركون على العلاقة بين فولتية التفريغ كدالة للمسافة الفاصلة بين الاقطاب لمختلف انواع مواد الاقطاب   | 14-4  |
| 67 | يبين تأثير ضغط غاز CO <sub>2</sub> على العلاقة بين فولتية التفريغ كدالة للمسافة الفاصلة بين الاقطاب لمختلف انواع مواد الاقطاب   | 15-4  |
| 68 | يمثل العلاقة بين المجال الكهربائي و المسافة الفاصلة لكافة انواع الاقطاب ولكلا الغازين Ar, CO <sub>2</sub>   | 16-4  |
| 70 | يمثل صور للتفريغ القوسي لغاز CO <sub>2</sub> عند ضغط 2torr للكاثود مصنوع من الحديد  | a17-4 |
| 70 | يمثل صور للتفريغ القوسي لغاز CO <sub>2</sub> عند ضغط 2torr للكاثود مصنوع من الحديد المقاوم للصدأ  | b17-4 |
| 71 | يمثل صور للتفريغ القوسي لغاز CO <sub>2</sub> عند ضغط 2torr للكاثود مصنوع من البراص  | c17-4 |
| 71 | يمثل صور للتفريغ القوسي لغاز CO <sub>2</sub> عند ضغط 2torr للكاثود مصنوع من النحاس  | d27-4 |
| 72 | صور للتفريغ القوسي لغاز الاركون عند ضغط 2torr للكاثود مصنوع من الحديد   | a18-4 |
| 72 | صور للتفريغ القوسي لغاز الاركون عند ضغط 2torr للكاثود مصنوع من الحديد المقاوم للصدأ   | b18-4 |



|    |  |        |
|----|--|--------|
| 73 | صور للتفريغ القوسي لغاز الاركون عند ضغط 2torr للكاثود مصنوع من البراص                                      | c18-4  |
| 73 | صور للتفريغ القوسي لغاز الاركون عند ضغط 2torr للكاثود مصنوع من النحاس                                      | d18-4  |
| 74 | صور للاقطاب المستعملة قبل وبعد التفريغ القوسي لغاز CO <sub>2</sub> للكاثود المصنوع من الحديد المقاوم للصدأ | A 19-4 |
| 75 | صور للاقطاب المستعملة قبل وبعد التفريغ القوسي لغاز CO <sub>2</sub> للكاثود المصنوع من البراص               | B19-4  |
| 75 | صور للاقطاب المستعملة قبل وبعد التفريغ القوسي لغاز CO <sub>2</sub> للكاثود المصنوع من الحديد               | C19-4  |
| 76 | صور للاقطاب المستعملة قبل وبعد التفريغ القوسي لغاز CO <sub>2</sub> للكاثود المصنوع من النحاس               | D19-4  |
| 77 | صور للاقطاب المستعملة قبل وبعد التفريغ القوسي لغاز Ar  | 20-4   |



| الرمز      | المعنى                                 |
|------------|--|
| A          | متجه الجهد المغناطيسي                  |
| B          | المجال المغناطيسي                      |
| E          | المجال الكهربائي                       |
| $E_c$      | المجال الكهربائي عند الكاثود           |
| $E_i$      | طاقة التأين للأيون                     |
| e          | شحنة الالكترون                         |
| h          | ثابت بلانك                             |
| $h_e$      | انتالية الالكترون                      |
| I          | التيار الكهربائي                       |
| $I_{min}$  | القيمة الحرجة للتيار عند بقعة الكاثود  |
| J          | كثافة التيار الكهربائي                 |
| $J_0$      | فيض التوصيل الحراري                    |
| $j_{cath}$ | كثافة التيار على سطح الكاثود           |
| $j_e$      | كثافة التيار الالكتروني                |
| $J_+$      | كثافة التيار الايوني                   |
| $K_B$      | ثابت بولتزمان                          |
| LTE        | التوازن الحراري الموقعي                |
| $l$        | معدل المسار الحر للالكترون             |
| M          | كتلة الجسيمات الثقيلة                  |
| m          | كتلة الالكترون                         |
| NLTE       | عدم حصول التوازن الحراري الموقعي       |
| $n_e$      | الكثافة العددية للالكترونات            |
| $n_+$      | الكثافة العددية للايونات               |
| $n.j$      | صافي كثافة التيار المتجه الى الانود    |
| P          | الضغط                                  |
| P          | القدرة                                 |
| $q_a$      | فيض الحرارة المنقلة الى سطح الانود     |
| $q_e$      | الطاقة المنقلة بواسطة الفيض الالكتروني |
| $q_r$      | فيض الاشعاع الحراري الى الايون         |

| الرمز        | المعنى                        |
|--------------|-------------------------------|
| R            | نصف قطر انبوبة التفريغ        |
| $R_e$        | معامل الانعكاس للالكترونات    |
| $r_o$        | نصف قطر قناة القوس            |
| S            | كسر التيار الالكتروني         |
| T            | درجة الحرارة المطلقة          |
| $T_{boil}$   | درجة غليان المعدن             |
| $T_e$        | درجة حرارة الالكترون          |
| $T_h$        | درجة حرارة الجسيمات الثقيلة   |
| $T_i$        | درجة حرارة الايون             |
| $T_m$        | درجة الحرارة العظمى           |
| $T_w$        | درجة حرارة الجدار             |
| $T_o$        | درجة الحرارة عند محور القوس   |
| $U_a$        | هبوط الفولطية عبر الانود      |
| $U_{eff}$    | جهد التاين المؤثر             |
| $U_i$        | طاقة التاين للغاز             |
| V            | الجهد الكهربائي               |
| $V_A$        | الجهد عند الانود              |
| $V_C$        | الجهد عند الكاثود             |
| $w$          | قدرة التفريغ لكل وحدة طول     |
| $\nabla p_e$ | انحدار ضغط الالكترون          |
| $\nu$        | تردد الفوتون                  |
| $\nu_o$      | تردد العتبة                   |
| $\Theta(T)$  | جهد الفيض الحراري             |
| $\sigma$     | التوصيلية الكهربائية          |
| $\sigma_m$   | التوصيلية الكهربائية العظمى   |
| $v_e$        | سرعة الالكترون                |
| $v_+$        | سرعة الايون                   |
| $\epsilon_o$ | السماحية الكهربائية في الفراغ |

| الرمز          | المعنى                                      |
|----------------|---|
| $\phi$         | دالة الشغل للمعدن                           |
| $\phi_a$       | دالة الشغل لمعدن الانود                     |
| $\Delta l$     | طول منطقة التصادمات القليلة في طبقة الكاثود |
| $\gamma$       | عدد الالكترونات الثانوية المنبعثة لكل ايون  |
| $\gamma_{eff}$ | عدد الالكترونات المنبعثة بالتأثير الحراري   |
| $\alpha$       | معامل التآين لتاونسند                       |
| $\lambda_h$    | معامل التوصيل الحراري                       |
| $\mu_o$        | نفاذية الفراغ                               |

الفصل الاول

المقدمة

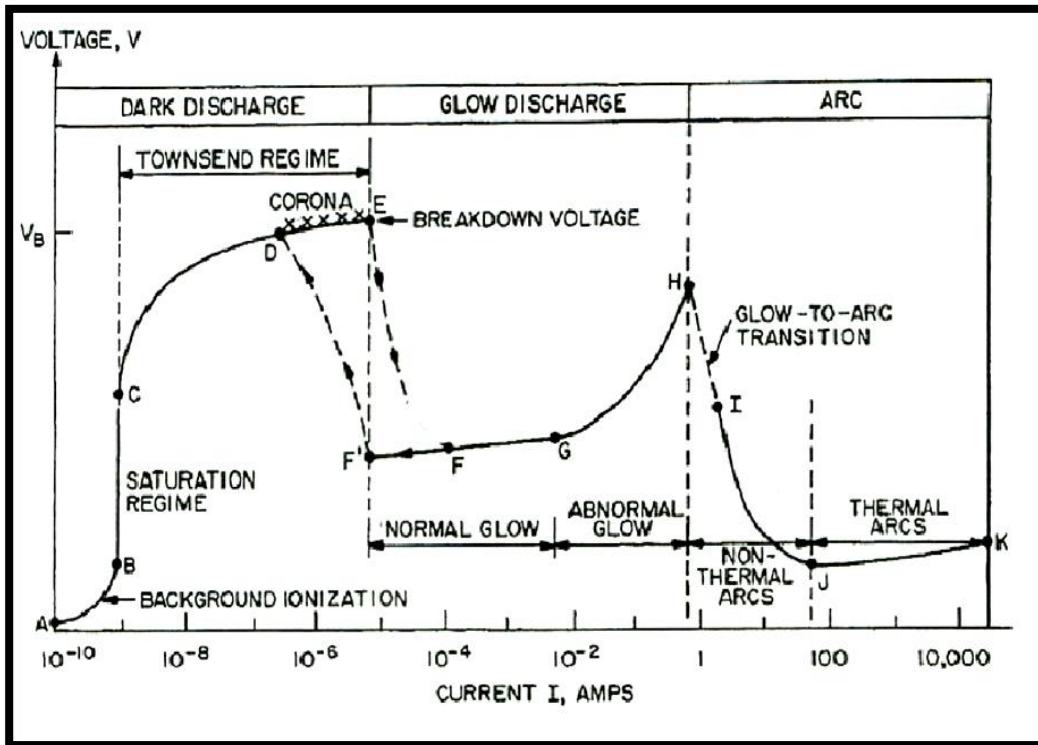
تُعَدُّ البلازما حالة متأينة للمادة تحتوي على جسيمات موجبة الشحنة واخرى سالبة الشحنة و جسيمات متعادله كهربائيا", وان قابلية الشحنات الموجبة والسالبة للحركة بصوره مستقله عن بعضها البعض تجعل البلازما ناقله للكهرباء ومن ثم تتأثر بشدة بالمجالات المغناطيسية [1], بالرغم من ان كل الغازات هي عوازل جيدة كما هو معروف ولكن عند تسليط مجال كهربائي عالٍ بما فيه الكفايه فان ذلك يؤدي الى حدوث انهيار للعزل الكهربائي وتصبح الغازات موصلة, ولا بد من الإشارة ان ليس كل غاز مؤين يمكن ان نعتبره بلازما فهناك درجة التأين في الغاز [2]. يحدث الانهيار ويتشكل سيل من الايونات والالكترونات في فجوة التفريغ وسبب ذلك هو اصطدام سيل من الالكترونات المثارة التي تتسارع في المجال الكهربائي مع الذرات او جزيئات الغاز كاسبة اياها قدر من الطاقه قد يكفي لتكوين الكترونات جديده , وغيرها من عمليات التأين تحدث بعد الانهيار وانبعثت الكترونات ثانويه من الاقطاب او التاين الكهروضوئي وغيرها [3]. ويمر تيار كهربائي قد يكون مستمر او على شكل نبضات. ان تسليط مثل هذا التيار سوف يؤدي الى تحويل ذرات او جزيئات الى ايونات والكترونات وهذا يؤدي بدور الى ان تتحول الى حالة البلازما. وحيث ان خصائص التفريغ تعتمد على عدة عوامل منها نوع الغاز, ضغطه , الشكل الهندسي للاقطاب , مادة القطب والمسافه الفاصله بين الاقطاب وهذا ما يطلق عليه التفريغ الكهربائي [4]. يمكن تقسيم التفريغ الكهربائي الى ثلاث مناطق رئيسيه تفريغ المظلم (Townsend discharge), التفريغ التوهجي الاعتيادي (glow discharge), التفريغ القوسي (Arc discharge) حيث تصبح البلازما ذات توصيلية عالية [5]. ويمكن التمييز بين هذه الاقسام من خلال مقدار التيار المار . ففي تفريغ المظلم (Townsend discharge) يمكن ان يصل مقدار التيار المار الى  $10^{-6}$  A , وفي التفريغ المتوهج يكون التيار المار من  $10^{-6}$  A الى  $10^{-1}$  A , وفي التفريغ القوسي يكون مقدار التيار المار من 1A واكثر [6]. الاقواس الكهربائيه (Arc discharge) الوسيله الاكثر اهميه التي تستخدم في تطبيقات مختلفه , تم توليد هذا النوع من التفريغ صناعيا منذوا اوائل القرن الماضي ومن تلك الفتره بدأت الابحاث تطور لتحسين تطبيقاته. [7].

## ARC DISCHARGE

## 2-1 التفريغ القوسي

الشكل (1-1) يمثل مراحل التفريغ الكهربائي والذي يتكون من ثلاث مناطق رئيسية [9] حيث يبين

الجزء H-K يمثل التفريغ القوسي (Arc discharge) يكون التيار المار خلال الغاز من مرتبة امبير فاكثر, وايضاً يبين الشكل ثلاث انظمة للقوس [8], الاول يمثل مرحلة الانتقال من التفريغ التوهجي (glow discharge) الى التفريغ القوسي (Arc discharge) ويمثلها المنحني المحصور بين النقطتين H-I والتي يكون سببها الالكترونات المنبعثة من القطب السالب , حيث يحدث انبعاث الالكترونات نتيجة للأحمال الحرارية العالية على قطب الكاثود , والقسم الذي يليه يمتد من النقطة I الى النقطة J حيث يتميز هذا القسم بان تيار التفريغ يتراوح مقداره من 1A الى 50 A تقريباً حيث يطلق على هذا القسم من الاقواس بالاقواس غير الحرارية non-thermal arc او الاقواس قليلة الشدة low intensity arc او قليلة الضغط low pressure arc وبعض الاحيان يطلق عليها اقواس التاين الحراري Thermionic arc. اما القسم الاخر يبدأ من النقطة J الى النقطة K من المخطط حيث يكون مقدار تيار التفريغ اكبر من 50A يطلق على هذا القسم من الاقواس بالاقواس الحرارية thermal arc او اقواس عالية الشدة high intensity او اقواس الضغط العالي high pressure arc كما يطلق عليها في بعض الاحيان باقواس انبعاث المجال field emission arc [10,9].



الشكل (1-1) المخطط العام لخواص فولطيه - تيار لانبوب التفريغ الكهربائي DC [9]



## 3-1 الطرق المستخدمة لتوليد الأقواس الكهربائية

هناك مجموعة من الطرق المستخدمة لتوليد الأقواس الكهربائية منها ما يلي :

(a) الانتقال من التفريغ التوهجي الى التفريغ القوسي (transition glow discharge to arc discharge) كما موضحة في الشكل في الشكل (1-1) , ان هذا الانتقال سببه الزيادة التدريجية في مقدار

تيار التفريغ حيث ان القطب السالب يسخن في التفريغ التوهجي غير الطبيعي والانتقال يكون بشكل

أساسي من قيمة هبوط الجهد للكاثود عالية وكثافة التيار واطئة للتفريغ المتوهج , حيث ان عمليات الكاثود الرئيسي هنالك تكون عادة نتيجة توليد الالكترونات بواسطة التأثير المباشر للايونات الموجبة و بواسطة الفوتونات الى القيمة الواطئة لهبوط جهد الكاثود وكثافة التيار العالية للقوس [4] .

(b) تفريغ شرارة بين القطبين وتم ذلك عن طريق تسليط فرق جهد عالٍ بين القطبين قادر على حصول انهيار كهربائي بين القطبين ولفترة زمنية صغيرة فاذا كان المصدر يوفر تيار كافي فان القوس الكهربائي يستمر لفته زمنية طويلة اما اذا كان المصدر غير قادر على توفير تيار عالٍ لفته طويلة فان القوس ينطفئ بعد لحظات أو قد يكون متقطعاً [4] .

(c) سحب الاقطاب المتلامسة حيث تكون الاقطاب في بادىء الامر متصلة ثم تبعد عن طريق السحب وهذه الطريقة تكون ذات فائده عمليه بحيث لاتحتاج الى مصدر عالٍ للفولتية لحدوث الانهيار المطلوب [4,11] .

(d) عن طريق وضع سلك رقيق موصل بين القطبين الرئيسيين وان هذا القطب سوف ينصهر فيما لو مر فيه تيار مما يسبب في اشعال القوس الكهربائي [12]

(e) تسخين الاقطاب بواسطة الأشعة فوق البنفسجية , أشعة X , أشعة كاما او أشعة الليزر عالي القدرة مثل ليزر CO<sub>2</sub> [9] .

(f) قد يشتعل القوس باستعمال عمود بلازما صغير [9] .

### Arcs Type

### 4-1 أنواع الأقواس

يمكن تصنيف الأقواس الكهربائية بالاعتماد على عمليات الكاثود او حالة البلازما في العمود الموجب

(positive column) او على الوسط (غاز او بخار لمعدن الكاثود) , وعلى هذا الاساس يمكن تصنيف الأقواس الكهربية الى ما يلي [11] :

#### 1-4-1 اقواس الكاثود الساخن بالتأين الحراري Cathode Arcs with Hot Thermionic

الكاثود ككل في مثل هذه الحالة يمكن ان تصل درجة حرارته الى 3000 k او اكثر والتي توفر تيار عالي سببه الانبعاث الحراري للالكترونات من سطح قطب الكاثود, الاقواس تكون مستقره وثابته ومتصلة بنفس البقعة من الكاثود و التي تكون ثابتة . التيار موزع على مساحه كبيره من سطح القطب ولذلك تكون كثافة التيار ليست عالية حوالي  $(10^2 - 10^4) A/cm^2$  فقط المواد المقاومه للانصهار يمكن ان تتحمل درجات الحراره هذه مثل الكربون والتنكستن والموليبيديوم والزركونيوم والتيتانيوم [8] .

#### 2-4-1 اقواس الكاثود المسخنه خارجيا Cathode Arcs with External Heating

وهي حاله خاصه من اقواس الكاثود الساخن ,حيث يتم تسخين قطب الكاثود باستعمال مصدر خارجي. لذلك فان هذا النوع من التفريغ يكون غير ذاتي [11], ان مثل هذه الاقواس تطبق في اقواس الضغط المنخفض [8].

#### 3-4-1 اقواس بقع الكاثود البارد Cathode Spots Arcs with Cold Cathode

اذا كان القطب السالب مصنوع من معدن درجة انصهاره منخفضة مثل النحاس والحديد وغيرها , فان التيار الكهربائي في مثل هذه الحالة يتدفق من خلال بقع ساخنة من سطح الكاثود [13]. والتي قد تظهر و تتحرك بسرعة عالية ثم تختفي من سطح الكاثود وتكون كثافة التيار في البقعة مرتفعه للغاية بحدود  $(10^4 - 10^7) A/cm^2$  والتي تؤدي الى تركيز الحراره موقعا". حيث يحدث تبخر للماده في ذلك الموقع بينما يبقى سطح الكاثود بارد نسبياً . أن بقع الكاثود لا تظهر فقط على المعادن منخفضة درجة الانصهار وانما تظهر ايضاً على المعادن المقاومه للانصهار في التيارات الواطئه و الضغوط المنخفضة [9].

#### 4-4-1 اقواس الفراغ Vacuum Arcs

تحدث هذه الاقواس في الفراغ او عند ضغط منخفض جدا" بغياب الهواء او الغاز [14]. هذه الاقواس تعمل مع بقع الكاثود , وتعرف على انها تفريغ كهربائي يحدث بين قطبين في الفراغ , لكن يشتعل القوس في بخار المعدن الناتج من التآكل والبخار المكثف لمادة الاقطاب والذي يملأ الفجوه فوراً [11,15].

## High –Pressure Arcs

## 5-4-1 اقواس الضغط العالي

تشتعل هذه الاقواس عند ضغوط تزيد على 7600 torr. ففي هذه الحالة تكون البلازما الحرارية ذات كثافة عالية و تحول جميع قدرة التفريغ تقريباً الى اشعاع . ان من الامثلة الشائعة لهذه الاقواس هي مصابيح زينون وبخار الزئبق [13].

## Low-Pressure Arcs

## 6-4-1 اقواس الضغط المنخفض

تتولد هذه الاقواس عند ضغوط تتراوح 1 torr -  $10^{-3}$  لذلك تكون البلازما في العمود الموجب (positive column) تكون غير متزنه [8].

## Characteristics of the Arcs

## 5-1 توصيف الاقواس الكهربائية

تتميز الاقواس الكهربائية بالخصائص الاتية والتي من خلالها يمكن ان نميز بينها وبين التفريغ

التوهجي (glow discharge) وتتلخص تلك الخصائص بالنقاط الاتية [8] :

1- يكون هبوط الفولطيه قليلاً" عند الكاثود حوالي عشرات من الفولطيات مقارنة" مع التفريغ التوهجي الذي تكون قيمته حوالي المئات من الفولطيات [12] .

2- يكون تيار التفريغ عالي والذي يكون بحدود  $i \approx 1-10^5 A$  وهو اكثر بكثير من قيم التيار في التفريغ التوهجي والذي قيم التيار فيه بحدود  $i \approx 10^{-4}-10^{-1} A$  وكذلك كثافة التيار تكون كبيرة في الاقواس الكهربائية والتي تكون حوالي  $J \approx 10^2-10^4 A/cm^2$  وفي بعض نماذج التفريغ القوسي بحدود  $-10^4 \approx j$   $10^7 A/cm^2$  [11].

3-درجة حرارة العمود الموجب (positive column) مرتفعه وان حراره التي تتسلمها الكاثودات تكون عالية جداً" ممايسبب تآكل وتبخر قسم من سطح مادة القطب [12].

4- اللمعان الحاد للطيف المنبعث من الاقواس الكهربائية لذلك هي تستخدم كثيراً" للاضاءه [11]

5-حالة جسيمات البلازما في العمود الموجب تكون تقريباً في حالة توازن حراري وهي تعتمد على ضغط الغاز [11].

## Regions of Arcs

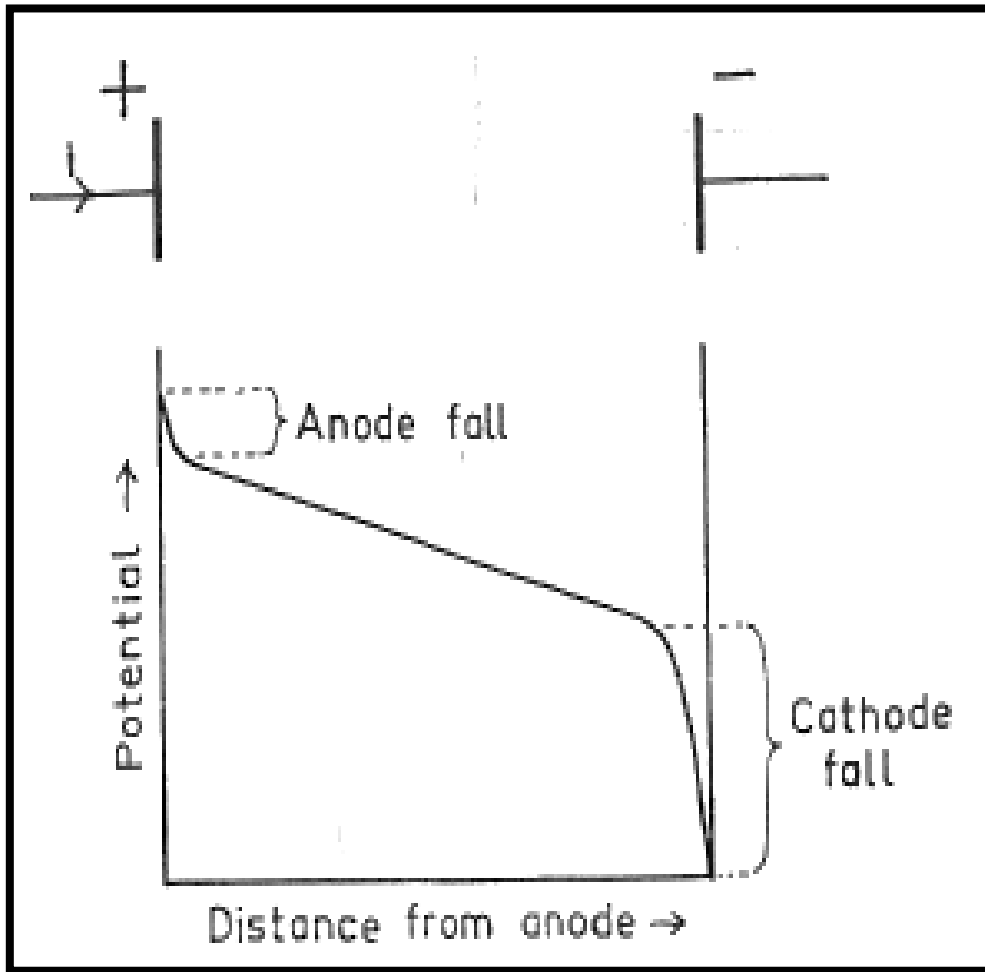
## 6-1 مناطق القوس

يتكون القوس من ثلاث أجزاء رئيسية:

1- المنطقة القريبه من الكاثود وتتميز بهبوط نسبي للفولتية وهي منطقه اكثر نشاطاً في القوس, وهي محكومها بكلا خواص القوس العمود الموجب والمادة المصنوع منها قطب الكاثود [12]

2- العمود الموجب (positive column) حيث يشغل معظم مسار القوس ويتميز بثبوت انحدار الجهد والمجال الواطيء وثبوت درجات الحرارةه مع المسافه, حيث تمتاز بانها مرتفعه في هذا الجزء [16]

3- المنطقة القريبه من الانود والتي لها نفس مميزات منطقه الكاثود [17] والشكل (2-1) يبين توزيع الجهد في مناطق القوس [4]



الشكل (2-1) توزيع الجهد عبر اقطاب القوس [4]

## Cathode processes

## 7-1 عمليات الكاثود

تلعب الاقطاب دورا " أساسيا" في التفريغ الغازي بتجهيزها للالكترونات . تحت الظروف لا يمكن للالكترونات ان تغادر القطب المعدني بقوة كهروستاتيكية ؛ وذلك لغرض التغلب على هذه القوى يتطلب مقدار محدد من الطاقه كحد أدنى وتكون مساوية الى دالة الشغل work function ويمكن تعريفها بانها صفة من صفات المادة ). وهناك عدة طرق لأعطاء او تجهيز الطاقه المطلوبه لتحرير الالكترونات منها مايلي [18]:-

## Photoelectric Emission

## 1-7-1 الانبعاث الكهروضوئي

عند سقوط فوتونات طاقتها (  $h\nu$  ) على سطح قطب الكاثود بطاقة اكبر من دالة الشغل لقطب الكاثود وهذا يعني ( $h\nu \geq e\phi$ ) فان ذلك سوف يؤدي الى تحرير الالكترونات من سطح الكاثود . أن الطاقة الحركية للالكترونات المحررة يمكن حسابها باستخدام علاقة اينشتاين [18] :

$$1/2 m_e v_e^2 = h\nu - h\nu_0 \quad \text{--(1-1)}$$

حيث  $h\nu_0$  تمثل الطاقه الحرجه اللازمه لتحرير الالكترون من سطح الكاثود .

## 2-7-1 انبعاث الكترون بتصادم ايون موجب وذره مثاره

## Electron Emission by Positive Ion and Excited Atom Impact

من الممكن ان تبعث الكترونات من سطوح المعادن بقذفها بأيونات موجبة (positive ions) او ذرات شبه مستقرّة (metastable atoms), لاحداث انبعاث ثانوي يجب على الايون المصطدم ان يبعث الكترونين إحداهما لمعادلة شحنة الايون . وان ادنى طاقة مطلوبة للايون موجب هي ضعف دالة الشغل  $U_K + U_p \geq 2\phi$  لان الايون يعادل أحد الالكترونات ويبعث الآخر وأن  $U_K$  و  $U_p$  تمثل الطاقة الحركيه والكامنه للايون على التوالي .وان للذرات المثاره ( شبه المستقره) الساقطه على سطح الكاثود القطب القدرة على تحرير الكترونات من سطحه [18].

## Thermionic Emission

## 3-7-1 الانبعاث الحراري

عند تسخين المعدن الى درجة حراره كافيه فإن الالكترونات القريبه من سطح المعدن تزداد حركيتها وبالتالي يمكن ان تتحرر من المعدن . و بزيادة درجة الحراره يزداد التيار المتدفق وهذا مايدعى بالانبعاث

الحراري [19]. في المعادن وفي الدرجات الحراره العاليه يمكن لبعض الالكترونات الموجوده في حزمة التوصيل ( conduction bands ) القريبه من السطح ان تحصل على طاقه كافيه للتغلب على الحاجز الطبيعي لطاقة الجهد عند السطح و تنبعث. يسمى جهد الحاجز بدالة الشغل للسطح. تكتسب الالكترونات طاقتها من اهتزازات الشبيكه الحراريه ( thermal lattice vibrations ) في المادة و عند درجات حراره عاليه . يرتبط تيار الانبعاث مع درجة حراره الباعث بعلاقة Richardson- Dushman لكثافة التيار الايوني المنبعث [20] :

$$J = \frac{4\pi m e k_B^2}{h^3} T^2 \exp\left(\frac{-e\phi}{k_B T}\right) \text{ A/m}^2 \quad (2-1)$$

وبجعل  $A = \frac{4\pi m e k^2}{h^3}$  تصبح العلاقه السابقه :

$$J = AT^2 \exp\left(\frac{-e\phi}{kT}\right) \quad (3-1)$$

والتي تبين بان كثافة التيار تزداد بتقليل دالة الشغل وزيادة درجة الحراره , وبالتعويض عن قيم الثوابت  $m_e$  و  $k_B$  و  $h$  تكون  $A = 120 \times 10^4 \text{ A/(m}^2 \cdot \text{K}^2)$  [11]. وهناك تفاوت بين النتائج العمليه و النتائج النظرية . إنّ هذا التفاوت يعزى الى طبيعه الموجية للالكترونات . بالرغم من ان الالكترونات يمكن ان تكتسب الطاقه الكافيه للتحرير . فان بعضها يمكن ان يعود الى ثانيه الى ذرات سطح المعدن و الذرات الملوثة للسطح مثل الغازات الممتصه (absorbed gases). ويمكن ان يأخذ هذا التفاوت بنظر الاعتبار بادخال القيمه الفعاله  $A_{\text{eff}} = A(1 - R_e)$  في تعبير كثافة التيار في المعادله (3-1) حيث  $R_e$  يمثل معامل الانعكاس . فعند درجات الحراره الاعتياديه مقدار التيار في المعادله (3-1) يكون قليل جداً [20].

## Field Emission

## 4-7-1 انبعاث المجال

من الممكن ان تتحرر الالكترونات من سطح المعدن بواسطه تسليط مجال كهروستاتيكي عالٍ . و أن المجالات الكهربائيه اللازمه لتوليد تيارات انبعاث من عدة  $\mu\text{A}$  هي بحدود  $10^7 - 10^8 \text{ V/cm}$  لكل سم لمعادن ذات دالة شغل  $4.5 \text{ eV}$  . فلقد لوحظ بان هذه المجالات عند اسلاك رقيقه جداً و الرؤوس المدببه والاشكال المايكروسكوبيه غير المنتظمه عند معدل فولتيات قليله جداً بحدود (2-5) كيلو فولت . ان هذه المجالات اعلى من مجالات الانهيار حتى في الغازات المضغوطه . ان انبعاث المجال يمكن ان يحصل عند

مجالات واطئه بحدود  $10^4 \text{V/cm}$  ويعزى هذا التأثير الى الزيادة المحليه للمجال الكهربائي بسبب عيوب السطح وكذلك من الممكن ان تستقر الايونات الموجبة على طبقة الاوكسيد العازله على سطح الكاثود وتخلق زيادة محليه للمجال الكهربائي المسلط . ولقد لوحظ ان للجسيمات الغريبه تأثيرا " كبيرا" بجعل البقع المحليه ذات انبعاث كثيف [21]. لقد طور Fowler و Nordheim تعبير لكثافة التيار المنبعث من السطح الى الفراغ كدالة للمجال المطبق وهي بالشكل الاتي [22,18]:

$$J = \frac{e}{2\pi h} \cdot \frac{\mu^{\frac{1}{2}}}{(\mu + \phi)\phi^{\frac{1}{2}}} E^2 \exp\left(-\frac{4k_B\phi^{\frac{3}{2}}}{3E}\right) \quad \text{-- (4-1)}$$

$$\text{حيث } k = \frac{8\pi^2 m}{h^2} \text{ و } \mu = \left(\frac{3n_e}{\pi}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{h^2}{8m}$$

المعادلة (4-1) يمكن اعادتها صياغتها بالشكل التالي:

$$J = A E^2 \exp\left(-\frac{D}{E}\right) \quad \text{--(5-1)}$$

هذه المعادلة تنتبأ بان التيار يجب ان يزداد بصورة اسيه تقريبا" مع اشتراك سلمي للمجال الكهربائي . و بالتعويض عن القيم في المعادله (4-1) يتبين ان تيارات انبعاث المجال تصبح قابله للقياس لمجالات بحدود  $10^7 \text{V/cm}$  وقد وجد ذلك تجريبيا" لسطوح تمت تنقيتها بصوره محكمه في الفراغ [18] .

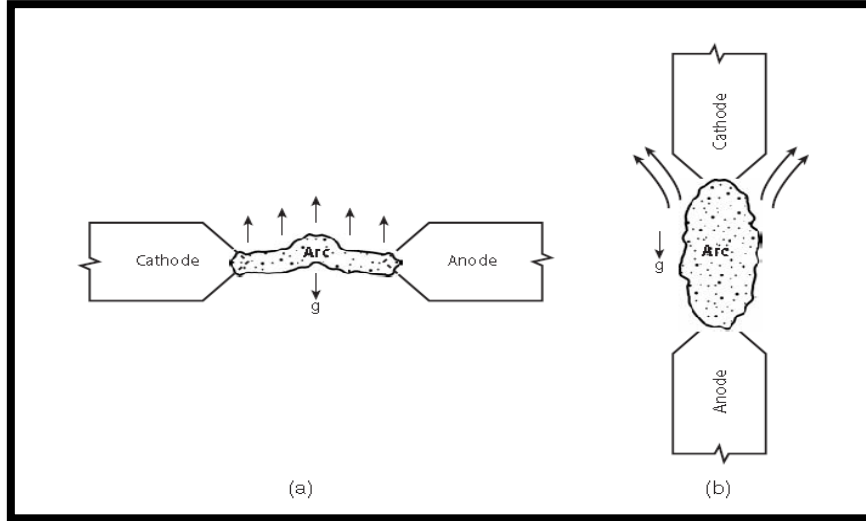
## ARCS CONFIGURATIONS

## 8-1 اشكال الاقواس

### linear Arcs

### 1-8-1 الاقواس الخطيه

حيث ان هذه القواس تملك تماثل محوري وتشتعل بشكل أساسي بترتيب خطي بين قطبين , اما ان تكون هذه الاقواس وضعها افقيا" او عموديا" كما مبين في الشكل (3-1) وعند وضعها عموديا" فيفضل ان يوضع الكاثود في الاعلى بينما الانود اسفل لان هذا يعمل على توزيع الحراره بشكل متساوٍ بين القطبين [9].



الشكل (3-1) قوس الاشتعال الحر مع اقطاب مرتبه افقيا" (على جهة اليسار) واقطاب مرتبه (عموديا" على جهة اليمين) [9]

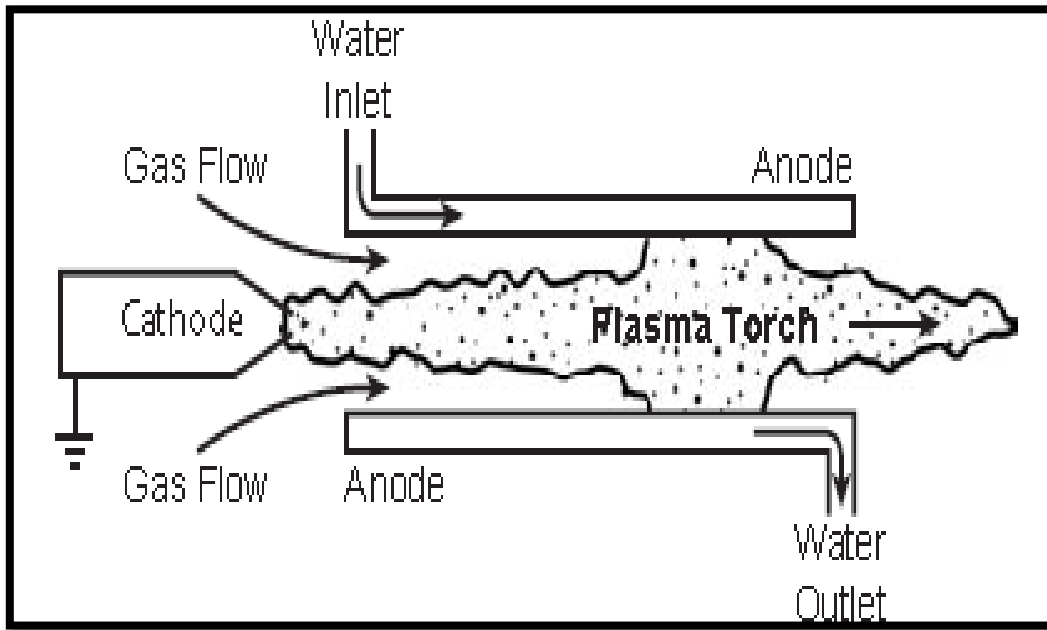
ان الاستخدام الواسع للقوس هو لتسخين الغاز بالاعتماد على القوس المستقر بواسطة الجدار , وهناك نموذج مبين في الشكل (4-1) حيث يبين الشكل التركيب الهندسي للقوس المستقر بواسطة الجدار والمتضمن كاثود محوري و انود اسطواني مجوف متحد المركز معه [9] . الالية الفيزيائية للاستقرار هنا

تعتمد على معادلة [11] Elenbaas-Heller equation  $(-\frac{1}{r} \frac{d}{dr} rJ + \sigma(T)E^2 = 0, J = \lambda \frac{dT}{dr})$

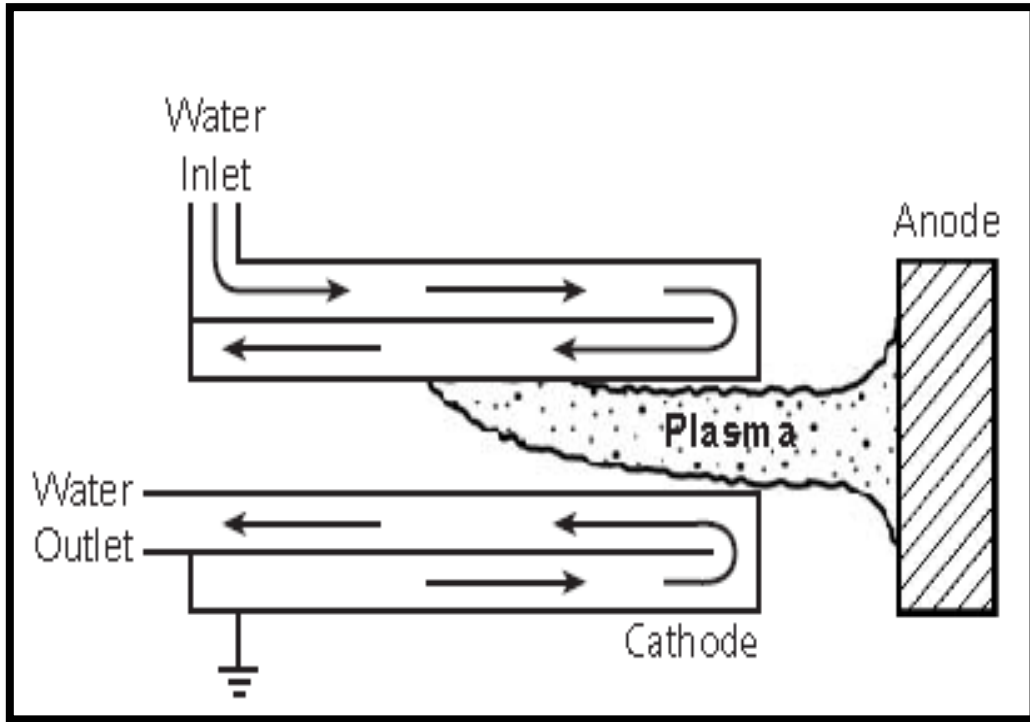
حيث يكون مبرد عند الحواف بينما درجة حرارة المحور مرتفعه , في البدايه يكون التماثل المحوري لعمود القوس مضطرب ومتحد المحور مع الجدار ثم الغاز الواقع في المحور ترتفع درجة حرارته وان تسخين الغاز على المحور سوف يزيد من التوصيلية الكهربائية للقوس على المحور وبالتالي فان القوس يندفع على المحور , يمكن ان يكون جزء من الجدار مصنوع من ماده عازله مثل الكوارتز في حالة ان القوس استخدم للاضاءة , في تطبيقات تسخين الغاز بالقدرة العاليه الانود الاسطواني يكون مبرد بواسطة الماء , ويمكن ان يقطع الانود في الترتيب السابق الى مجموعة قطع صغيره ومعزوله كهربائيا" وعندئذ يطلق على هذا الترتيب القوس المستقر بواسطة الجدار المقطع وان فائدة هذا الترتيب هو لتسخين اكبر كميته من الغاز الواقعه على المحور مما يوفر استقرارية موضعية في القوس حيث ان القوس ينجذب الى القطعة الاخيرة التي تكون واسعة نسبيا". هذه الاقواس المستقرة جداريا" لها تطبيق واسع لتسخين الغاز وللضاءة وتطبيقات اخرى . الاقواس المنقلبه مع كاثود غير مستهلك مبين في الشكل (5-1) وهذا تطور حديث نسبيا" في تقنية الاقواس , والمراد منها اقواس القدرة العاليه التي تعمل مع التبريد , وكاثودات انبعاث المجال . في مثل هذه الاقواس التيار الكهربائي يكتمل فقط بواسطة انتقال القوس الى الانود الخارجي ويكون تعلق القوس بالانود اضيق بالنسبة للتيارات الضعيفة [23] والذي يكون ربما موزع على الحجرة المعدنيه او بعض الاحيان في



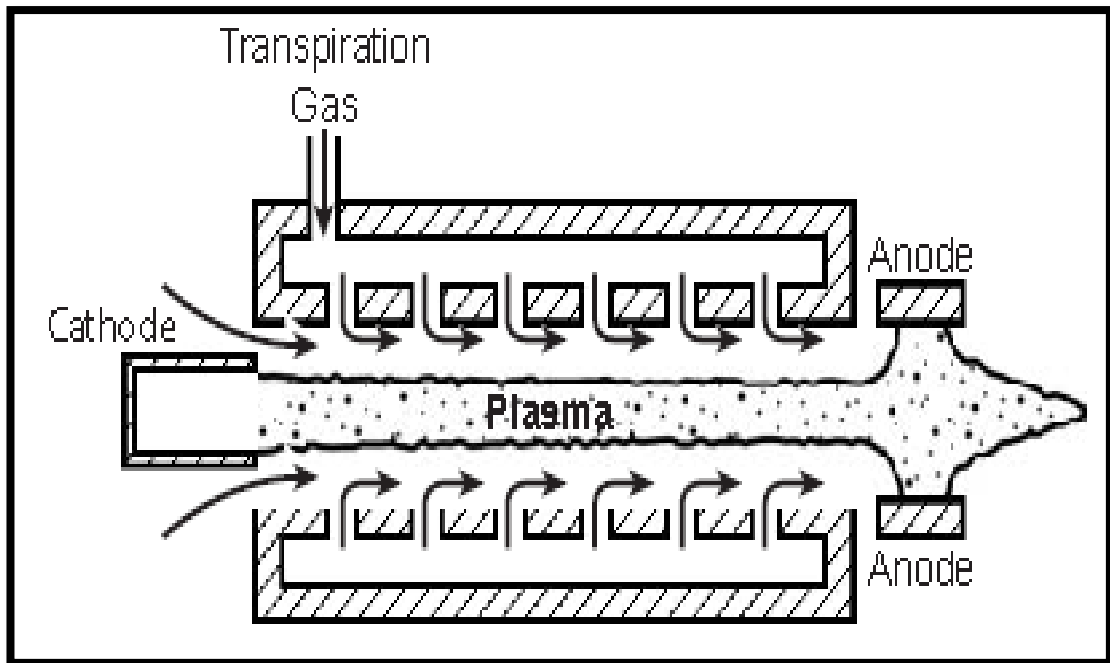
موضوع التوصيلية الكهربائية إذا رغب في نقل أكبر قدر من الطاقة , هذا الترتيب من الأقطاب قادر على العمل في مستويات مضاعفات الميكرواط لمدة تصل ربما إلى مئات أو آلاف الساعات [9]. هذه الأقطاب تستخدم بشكل واسع لصهر المعادن والتنعيم الصناعي (**refining industry**) , في هذه الأقطاب جذر القوس يتحرك على سطح الكاثود لتقليل وبشكل كبير الحمل الحراري على الكاثود وزيادة عمر الأجهزه , الموضوع يكون لتسخين الأقطاب , حيث ان الأقطاب يستلم الحرارة من نفث الكاثود] . كما يلاحظ أحيانا أن من الصعوبة التبريد بواسطة الماء للأقطاب المستقره جداريا" , وما إلى ذلك هناك محاولات للتقليل من مشاكل انتقال الحرارة للأقطاب المستقره جداريا" وذلك بالاعتماد على استقرار القوس بالنضح أو بالترشيح (transpiraing –sabilized arc) هذا الترتيب مبين في الشكل (6-1) يعتبر هذا النموذج مشابه تقريبا" للقوس المستقر بواسطة الجدار المقطع ولكن بدلا" من الغاز الذي يبرد من النهاية المحورية, هنا التبريد يقدم أيضا" عبر حقن إضافي للمائع ( وربما يكون المائع غاز أو سائل ) خلال فتحات جانبية صغيرة موجودة بين القطع بوصفة محاولة لتبريد داخلي للأقطاب و بالتالي الحصول على أقطاب طويلة الأمد , المائع الذي يضخ يصبح جزء من الغاز العامل ودمج ويسخن بواسطة القوس [24] . وعند تجاوز قيمة معينة من تدفق الغاز فإن القوس ينطفئ [25] .



الشكل (4-1) شكل القوس المستقر جداريا" [24]

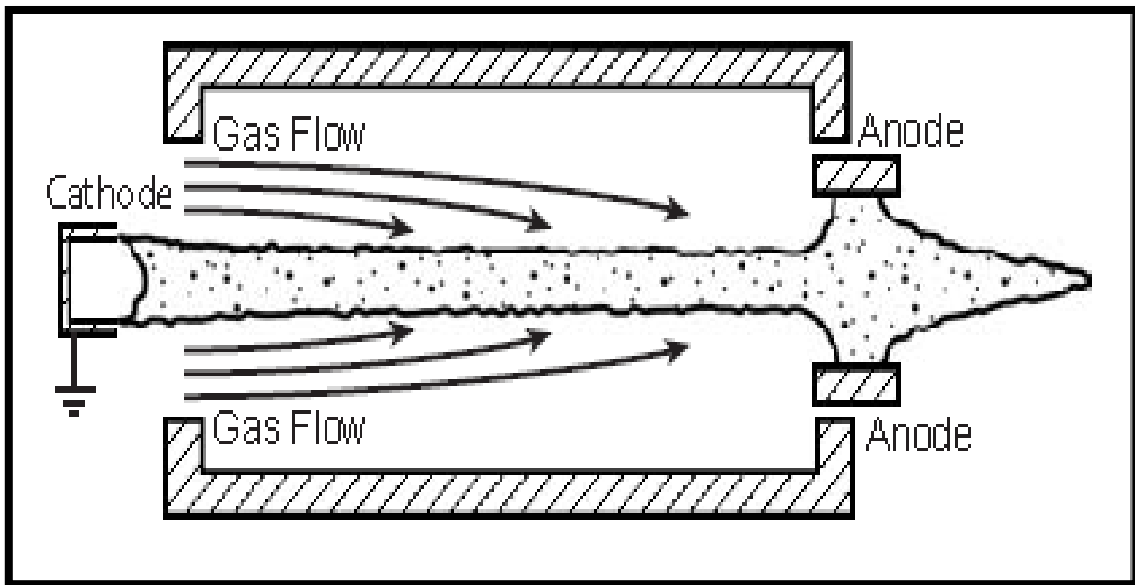


الشكل (5-1) شكل القوس المنتقل مع اقواس تنشأ في الجدار الداخلي لكاثود مجوف مبرد بالماء والتيار يتدفق الى الانود الخارجي [24]

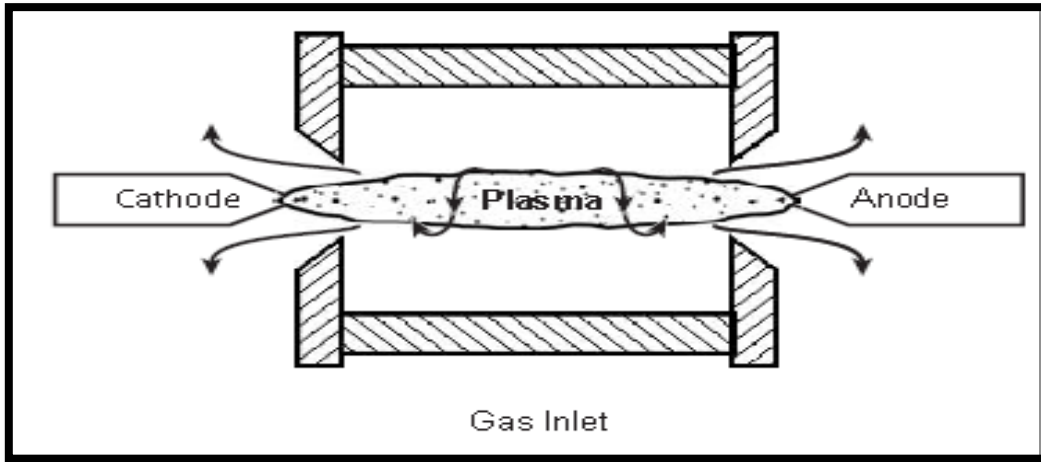


الشكل (6-1) القوس المستقر بالنضح مع عمود القوس المحافظ في موقع المركزي بواسطة الحقن القطري لتبريد بالماء او بالغاز [24]

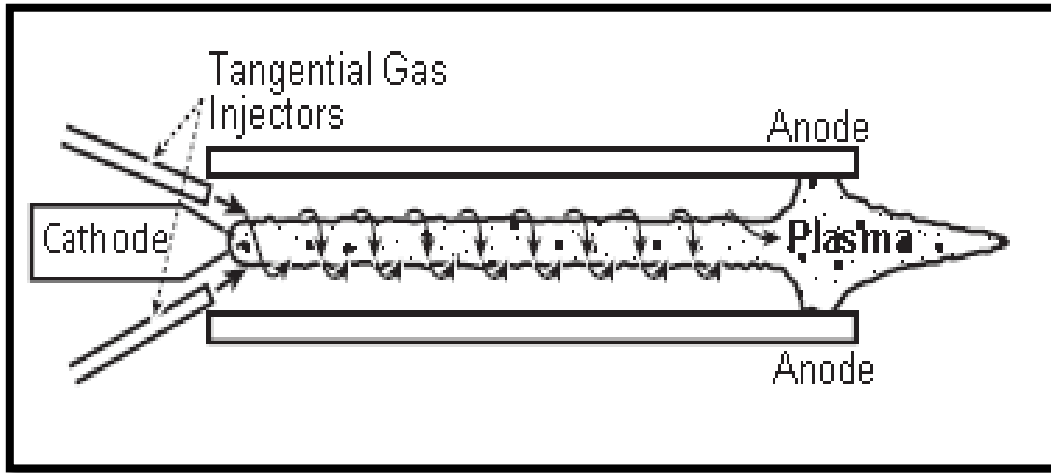
وهناك ترتيب آخر للاقواس الخطية ذات القدرة العالية وهو القوس المسقر بالتدفق المحوري (coaxial flow stabilized arc) المبين في الشكل (7-1) ففي هذه الحالة سطح الانود يحرك قطريا "بعيد جدا" عن القوس . الجدار الصلب الذي يحافظ على استقرارية القوس يستبدل بواسطة تدفق المحوري للغاز حول السطح الخارجي للقوس , مادام هنالك استمرار في تدفق الغاز محوريا" فان القوس سوف ينحصر في المحور ويصبح مستقرا" وكذلك التقليل من انتقال الحرارة الى الجدار المحيط [26]. ترتيب آخر للاقواس الخطية هو القوس المستقر بواسطة التدفق الدوامي (vortex-stabilized arc) المبين في الشكل (8-1) , انه الأسلوب الاكثر تنوعا" لتحقيق الاستقرار في القوس , وهو ببساطة تشكيل حركة دوامية للغاز الداخل , نظرا" لبساطته في التشكيل والتصميم يستخدم في نطاق واسع من التطبيقات , حيث يدخل الهواء داخل الغرفة مشكلا" اعصار حيث يجعل القوس مستقرا" عند المحور وهذا يجعل الاحمال الحرارية بعيدة عن الجدران [28,27] . وهنالك شكل آخر مشابه للقوس المستقر بواسطة التدفق الدوامي كما مبين في الشكل (9-1) ويطلق على هذا الترتيب بالقوس المستقر بواسطة الديناميكيه الهوائية (aerodynamically stabilized arc), حيث ان القوس يستقر بواسطة الحقن المماسي بالقرب من الكاثود هذا التدفق يبرد القوس من حوافه واستقرار موقعه على المحور [9] .



الشكل (7-1) القوس المستقر بالتدفق المحوري مع تدفق جانبي محوري للغاز [9]



الشكل (8-1) القوس المستقر الدوامي الذي يبقى في المحور بواسطة الحقن الدوامي [9]



الشكل (9-1) القوس المستقر الدوامي المحوري مع الغاز المحقون مماسيا" في محيط الكاثود [9]

## Expanding Arcs

## 2-8-1 الاقواس المتوسعه

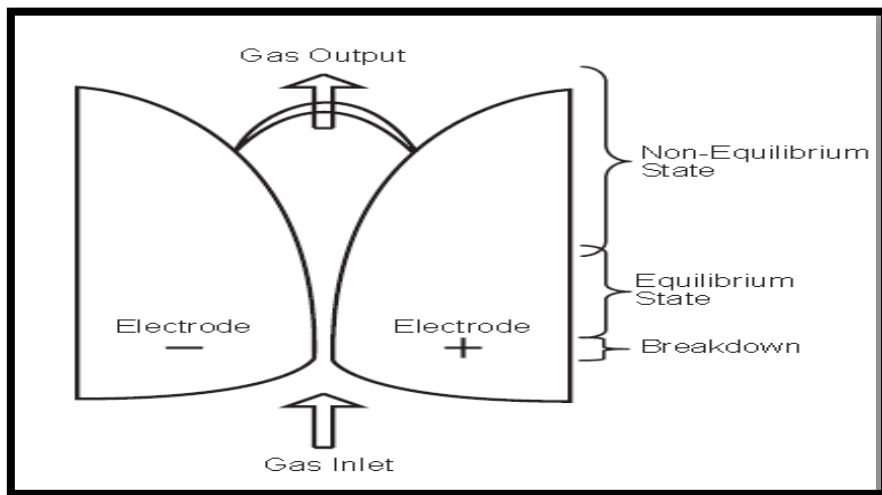
هنالك ثلاث ترتيبات اساسيه لهذه الاقواس منها:-

1- الاقواس المنزلقه (the gliding arc), حيث تكون هذه الاقواس ذات حركة سريعة [28] والتي تستخدم لمعالجة النفايات السامه وكيمياء البلازما **المحطمة destructive plasma chemistry**. الشكل (10-1) يبين هذه الاقواس وتتكون من زوج من الاقطاب هذه الاقطاب تكون مقتربه في مناطق ومبتعده في مناطق اخرى وهذه الاقطاب تنشط بواسطة مجهز قدرة [9]. ويمكن ان تتكون من اكثر من زوج من الاقطاب وتعمل بفولطيه مستمرة او متناوبه [14]. عند العمل الفولطيه العاليه المحفوظة عبر الفجوه بين القطبين تكون كافية لحدوث انهيار كهربائي في أضيق منطقه للفجوة؛ بين القطبين والانهيار هذا الذي

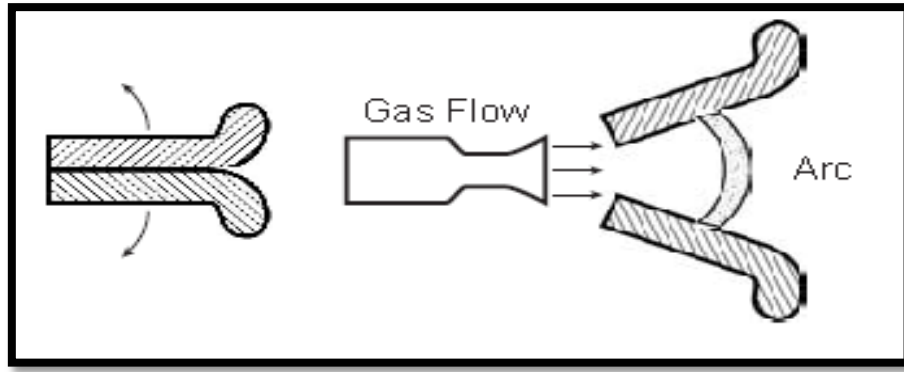
يحدث يوفر تيار عالٍ عند فولطيه معتدلة وهذا يولد قوس كهربائي قوي يتوسع باتجاه السطح البيضي للاقطاب حيث ان طول القوس يزداد الى الحد الذي يسبب انطفاءه [8].

2- الاقواس المتولده في المفاتيح الكهربائية هي الاخرى اقواس متوسعه والشكل (11-1) يبين المفاتيح الكهربائية النموذجيه , حيث يكون في الشكل (a11-1)الاتصال مغلق بين السطحين المتباينين حيث ينفث الغاز من احدى الجهات بينما يبين الشكل (b11-1) بان الاتصال يبدأ الابتعاد ويبدأ تشكيل القوس المنزلق الذي يمتد على طول الفتحة ويزداد طوله حتى ينطفئ في الغاز المحيط . في احدى تطبيقات المفاتيح الكهربائية الثقيله يستخدم غاز للمساعدة في اطفاء القوس المتشكل مثل غاز سادس فلوريد الكبريت ( $SF_6$ ) الذي يزيل الالكترونات من البلازما و ايضا" يبرد القوس من خلال النفث بين فتحة الاتصال [9] .

3- الاقواس الغير منتقله المبينه في الشكل (12-1) نظرا" لزيادة الاهتمام في تسخين المعادن وتطبيقات التنعيم حيث يتكون هذا الترتيب من القوس المستقر بواسطة الجدار مع كاثود اسطواني متحد المحور مع الانود المبردين بالماء , الاقطاب الاسطوانيه والمتحدة المركز تفصلها ماده عازله والقوس يتشكل داخل السطح الاسطواني للكاثود والانود . ومن اجل تسخين المعادن التي توضع امام فتحة الانود القوس يدفع بواسطة الغاز المتدفق باتجاه المحور الى تلك المعادن . هذه الاقواس الغير منتقله بفضل القوى  $J \times B$  التي تعمل على دوران جذور القوس حول سطوح الكاثود والانود المبردين بالماء فانها تعمل بشكل كامل على انبعاث المجال وينتج تقليل درجة حرارة الكاثود والانود وتكون الدقه اكبر وزياده في عمر الجهاز اكبر من تلك الاقطاب المتوجهه للكربون المستخدمه في اقواس القدره العاليه للافران القوسيه على سبيل المثال [9].



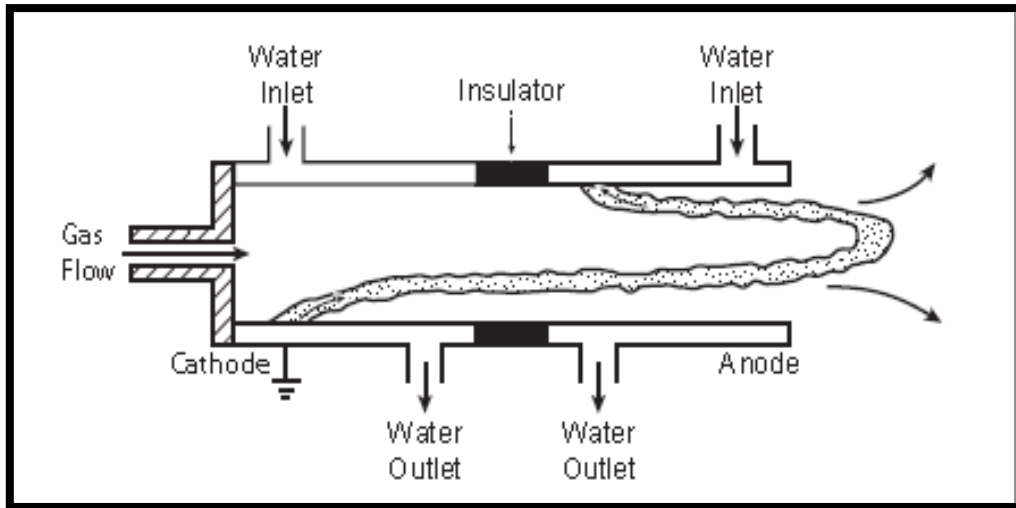
الشكل (10-1) التفريغ القوسي المنزلق [9]



( a )

( b )

الشكل (11-1) المخطط النموذجي للمفاتيح الكهربائية يبين القوس المسحوب ينتج من فتح الاتصال بين الأقطاب المتماصة بينما التيار الكهربائي يتدفق بينهم [9]



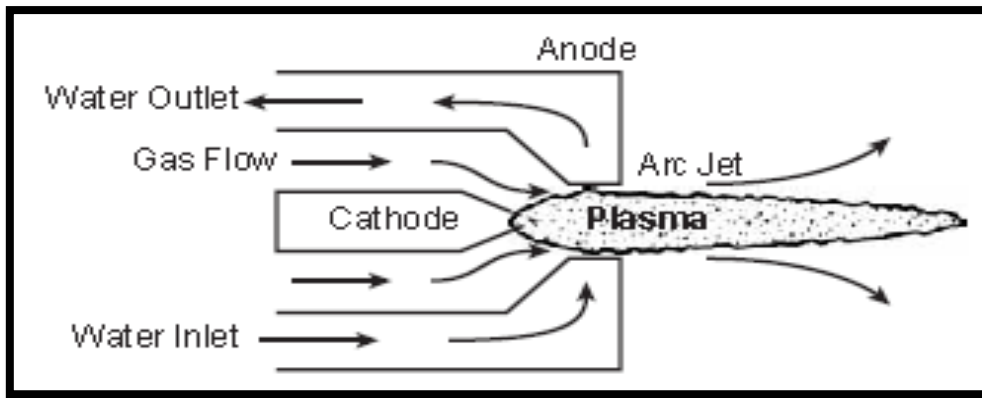
الشكل (12-1) القوس الغير منتقل والذي يضرب بين الكاثود والانود ويصل الى المواد في الخارج لتسخن بواسطة تدفق الغاز المحوري [9]

### Rotating Arcs

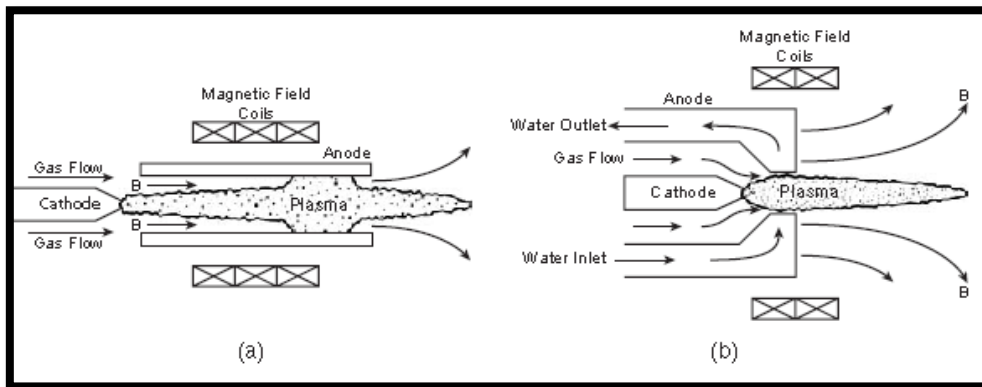
### 3-8-1 الاقواس الدواره

يبين الشكل (13-1) القوس الدوار المستخدم صناعيا , ويتميز بانه متمائل محوريا" وغير منتقل والذي يطلق عليه ايضا" بنفث القوس او شعلة البلازما [29] ويتكون هذا الترتيب من كاثود محوري وانود متمائل محوريا" ومبرد بالماء مع فجوه مخروطيه المقطع والتي تشكل القوس في شكل عجلة العربيه الدواره a ( rotating spoke ) الغاز العامل يغذى محوريا" ويكون ساخن بواسطة القوس وتتشكل درجات حراره عالية عند نفث القوس , في اغلب الاحيان عند سرعات فوق الصوتيه عند بداية الفتحة [9,30]. الاقواس

الدواره المستقره مغناطيسيا" المبينه في الشكل (a14-1) المجال المغناطيسي المحوري يوفر القوى  $J \times B$  التي تدور مكبح القوس لتجنب الحمل الحراري الموقعي على الانود, وبذلك يكون اتصال القوس بالانود لفترة قصيره جدا" بحيث تسمح له بان يبرد واطالة عمره [31,9]. ان المجال المغناطيسي يستخدم كملحق لزيادة الاستقراريه المضافه الى الاستقراريه الهوائيه التي تتوفر باستعمال الغاز [33,32]. وهناك تشكيله جدا" مهمه للاقواس المستقره مغناطيسيا" وهي شعلة البلازما المستقره مغناطيسيا" المبينه في الشكل (b14-1) هذه شعلة البلازما هي مشابهه لساق القوس المبين في الشكل (13-1) ولكن هنالك مرآة مغناطيسية متحدة المركز مع الانود ولذلك المجال المغناطيسي كبير بالقرب من مستوى دوران القوس غاز العمل يغذى محوريا" , ينفذ خلال القوس وتتشكل ساق بلازما شديده عند بداية الفتحة [9].



الشكل (13-1) يبين ساق القوس الغير ممغنط المتماثل محوريا" والغير منتقل او شعلة البلازما . القوس يضرب بين القطبين الكاثود والانود لمتحد المحور ويتم تسخين غاز العمل عن طريق المرور من خلال منطقة القوس [9]



الشكل (14-1) شكلان مختلفان للاقواس المستقره مغناطيسيا" a و b [9]

## 9-1 الدراسات السابقة

### literature survey

-في عام 1980 قام الباحثان Dinulescu و Pfender بتوضيح بانه لضمان استمرارية التيار يتطلب فيض الكتروني عالي من العمود الموجب وهذا يؤدي الى حصول خلل في التوازن الحراري الموقعي في منطقة الانود وتصبح درجات الحرارة للجسيمات الثقيلة مساوية تقريباً لدرجة حرارة سطح الانود بينما تبقى درجة حرارة الالكترونات عالية [34].

-في عام 1982 بين الباحث Sanders ,et al من خلال دراسته بان الحرارة المنتقلة الى الانود تزداد بأزدياد التيار [35].

-في عام 1983 بين الباحثان Hsu و pfender من خلال دراسته بان التدفق العمودي للغاز على الانود سوف يحمل كثافة الالكترونات وانحدار درجات الحرارة على مساحة اوسع وبالتالي تركيز الطاقة المنتقلة الى الانود [36].

-في عام 1985 قام الباحثان Etemadi و pfender من خلال بحثهما حيث استخدموا كاثود مصنوع من النحاس وانود منصهر و التيار 150A والغاز المستخدم غاز الاركون بمقارنة بين درجات الحرارة لقوس الاشتعال الحر لغاز الاركون لبعدين بين الاقطاب النحاس 1mm و 10mm وقد تم تسجيل انخفاض في درجة الحرارة عند وجود بخار النحاس [37].

-في عام 1990 بين الباحث Leveroni من خلال دراسته بأن أزدیاد تيار التفريغ القوسي وانخفاض الفجوة تؤدي الى تعزيز سرعة نفث الكاثود الى الانود وان درجة حرارة الالكترونات في جميع سطح الانود تبقى فوق  $10^4k$  [38].

-في عام 1991 وضع الباحثان Pfender و Leveroni عند استخدامهم لمجس لانكمور بأنه عند زيادة الفجوة يزداد مقدار التيار بينما تنخفض درجة الحرارة في منطقة الانود حيث قاموا بتغيير المسافة من 7mm الى 15mm [39].

-في عام 1997 بين الباحث Jenista ,et al من خلال دراسته بان التدفق الجانبي للغاز يؤدي الى تقلص القوس [40].

-في عام 1997 قام الباحث Dyuzher , et al من خلال دراسة الطيفية لقوس الاشتعال الحر , اختلاف التيار على مدى واسع وتناقص التيار اقل من مقدار معين يقود الى تغيير في تعليق القوس بالانود حيث استخدم انود اسطواني مبرد بالماء ومصنوع من النحاس [41].



-في عام 2000 بين الباحث Tanaka,et al بأن زيادة الفولطية تعتمد بشكل اساسي على انحراف لنقطة تعلق القوس القوس عند دراسة تأثير تدفق الغاز على الفولطية عند تيارات اكثر من 250A [42] .

-في عام 2001 وضح الباحثان Heberlein و Hartmann بان تعلق القوس بالانود يعتمد على مقدار التدفق الغاز للبلازما حيث كان تدفق المائع عمودي والمسافة الفاصلة بين الاقطاب 10mm [43] .

-في عام 2001 وضح الباحثان Heberlein و Hartmann بأن تعلق القوس يتغير من تعلق منتشر اولي الى تعلق ضيق مع العديد من البقع عند زيادة تدفق المائع [44].

-في عام 2003 قام الباحث Hemmi ,et al من خلال دراسته بأن قيم هبوط جهد الاقطاب يمكن الحصول عليها من اتزانات طاقة الاقطاب اي من معدل تبخير المعدني من الاقطاب الغير مبردة [45].

-في عام 2004 قام الباحث Cronin من خلال دراسته عند استخدامه غاز النتروجين و غاز الاركون بتوضيح أن غاز النتروجين يعطي قوة حصر اكبر للقوس [46].

-في عام 2005 قام الباحث M.Tanaka , et al , بقياسات موقعية لدالة شغل القطب في اقواس الاشتعال الحر خلال العمل في الضغط الجوي بالاستناد على التأثير الكهروضوئي المؤثر على سطح التنكستن مع استخدام ليزر نبضي يتكون من ليزر Nd-YAG وليزر الصبغة مع ثلاثة انواع من التنكستن المستخدمه في عمله , وقد لاحظ بان دالة الشغل تنخفض بزيادة المجال الكهربائي [47].

-في عام 2005 وضح الباحث Iwao ,et al من خلال بحثه ان حوالي 50% من اجمالي الطاقة الحرارية المنتقلة الى الانود كان بواسطة الفيض الالكتروني في حالة التعليق المنتشر للقوس في منطقة الانود وهذا الجزء يكون اقل في حالة التعليق الضيق للقوس [48].

-في عام 2006 بين الباحث Yang ,et al من خلال الدراسة التي اجراها , مستخدما" الأنود المقطع وكاميرا عالية السرعة , ان انتقال التيار والحرارة كلاهما يتبع البقع المضيئة [49].

-في عام 2007 قام الباحث Yang ,et al من خلال دراسته بتوضيح درجة حرارة الالكترتون تقل مع زيادة تيار القوس [50].

-في عام 2010 وضح الباحث Mentel,et al من خلال دراسته بان البقع في التيارات العالية تنتشر وفي التيارات الواطئه تتجمع [51].

في عام 2012 قام الباحث Xiu بدراسة خلل القوس الكهربائي للتيار المستمر دراسة تجريبية وتوضيح الخلل حيث قام باختبارات مختلفة لتحديد تأثير العوامل المختلفة على القوس مثل طول الفجوه والتيار وغيرها , وقد لاحظ بان فولطية القوس تزداد مع زيادة الفجوة [52] .

-في عام 2013 قام الباحث Zhao Peng,et al بدراسة خصائص قوس بلازما النتروجين مع الانود المنصهر حيث استخدم في دراسته كاثود مصنوع من الكرافيت والانود المنصهر في فرن البلازما على نطاق تجريبي ثم فحص الجهد باعتباره دالة للتيار و طول البلازما الظاهري ولاحظ بان الفولطيه تزداد لاختيا" مع زيادة طول البلازما الظاهري مع بقاء التيار ثابت[53] .

-في عام 2016 أكد الباحثين Jong ,Won-H من خلال بحثهما بان درجات الحرارة قرب سطح الكاثود تكون اكبر من درجات الحرارة قرب سطح الانود حيث استخدموا محاكاة حاسوبية في بحثهم ثلاثي الابعاد وقارنوا نتائجهم مع نظام محاكاة ثنائي الابعاد وهو يحاكي تدفق الغاز الى داخل حجرة التفريغ القوسي [54].

## The Aim of Work

## 10-1 الهدف من البحث

الحصول على افضل خواص لقوس الاشتعال الحر من خلال استخدام اربع مواد مختلفة لقطب الكاثود( الحديد (Iron) والحديد المقاوم للصدأ (Stainless steel) والبراص (Brass) و النحاس (Copper) ) واستخدام غازين الاركون Ar وثنائي اوكسيد الكربون CO<sub>2</sub>

## الفصل الثاني

### الاساس النظري

---

الاقواس الكهربائية هي البلازما الحرارية التي يشيع استخدامها في التطبيقات الصناعية، معالجة النفايات، التعدين، قواطع الدوائر الكهربائية، الرش، الطلاء، لحام، القطع والخ [55]. وفي أبسط أشكالها الشائعة تسمى اقواس الاشتعال الحر (Free-Burning Arc) كتعريف مبسط له هو تفريغ كهربائي الذي يشكل قوس كهربائي من قبل تيار مستمر بين الكاثود الموضوع اعلى الانود الافقي بحيث لا توجد قوة خارجيه جبرية تسلط عليه [56]. وان للبلازما الحرارية كثير من الخصائص المفيدة مثل التيار العالي ودرجات حراره المرتفعه و الاشعاع الكثيف [53]. يتكون القوس في التفريغ الكهربائي من بضع أمبيرات الى مئات الامبيرات تحدث بين الاقطاب الكهربائية وتتكون البلازما التي تم توليدها من مكونات هي الكترونات، والايونات، وجسيمات محايدة في درجات حراره عالية وتتميز الاقواس بالاشعاع الحراري العالي [55].

## 2-2 القياسات في اقواس الضغوط المنخفضة

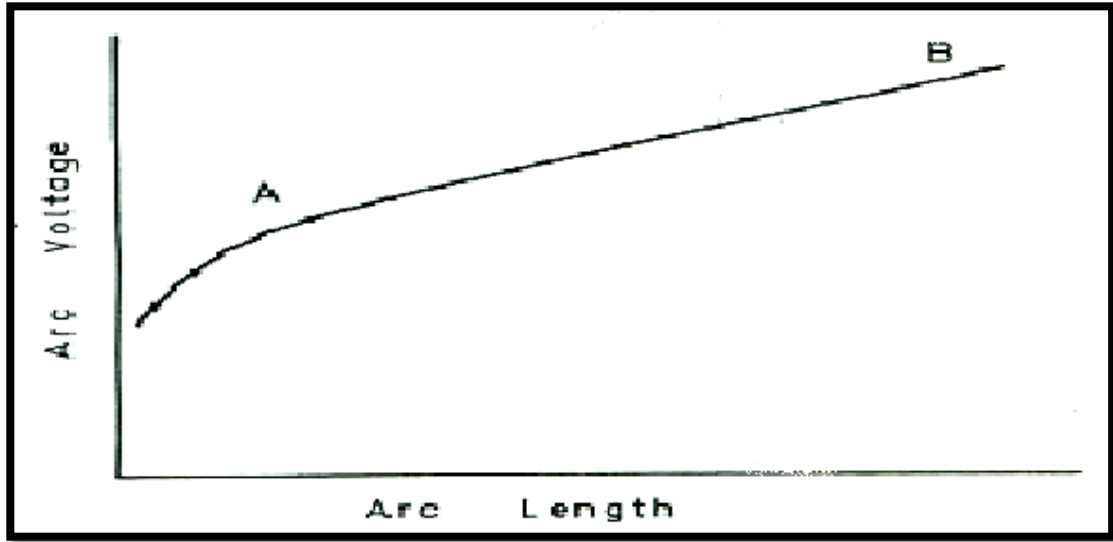
### Measurements in Low Pressure Arcs

ان قياس الخصائص لعمود قوس عند ضغط المنخفض لا يواجه صعوبة كبيرة، حيث ان درجة حرارة الغاز تكون منخفضة وتقنية المجس لانكمور (Langmuir probe) قد تستخدم لتحديد كثافة الالكترونات والايونات ودرجات الحراره وانحدار الجهد الطولي، بينما درجة حرارة الغاز قد تقاس باستخدام مزدوج حراري رقيق (thermocouples) او باستخدام بولوميتر (bolometer). [4]. لقد تم استخدام المجس لأول مره من قبل لانكمور في عشرينات القرن الماضي، وهذه التقنية تحدد خصائص البلازما محلياً، وتنحصر طريقة المجس في غمس مسرى معدني صغير الابعاد يدعى المجس داخل البلازما، يتم قياس التيار المار في المسرى عند قيم مختلفه لفرق الجهد المسلط بين طرفيه نحصل في النتيجة على منحنى بياني بين الفولطية والتيار فمن هذا المنحنى يتم تحديد خصائص للبلازما المتولدة [11].

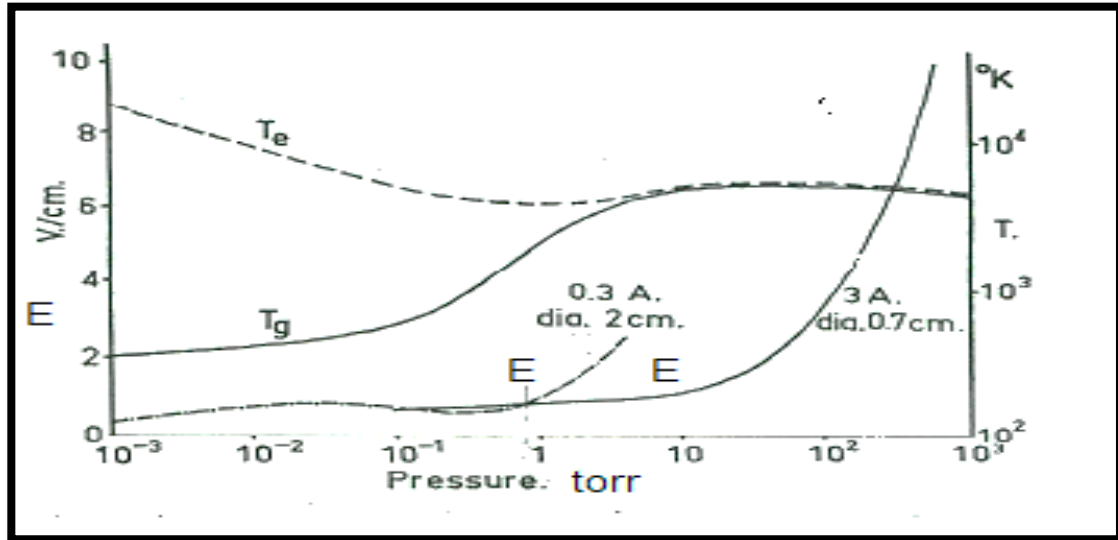
## 3-2 انحدار الجهد الطولي E the longitudinal potential gradient

يوضح الشكل (1-2) تغير هبوط الجهد بين الاقطاب كدالة لطول القوس عند تيار ثابت، في هذا المخطط تبين المنطقة A بأن فولطية القوس تزداد لخطياً" مع زيادة طول القوس بسبب عدم وجود

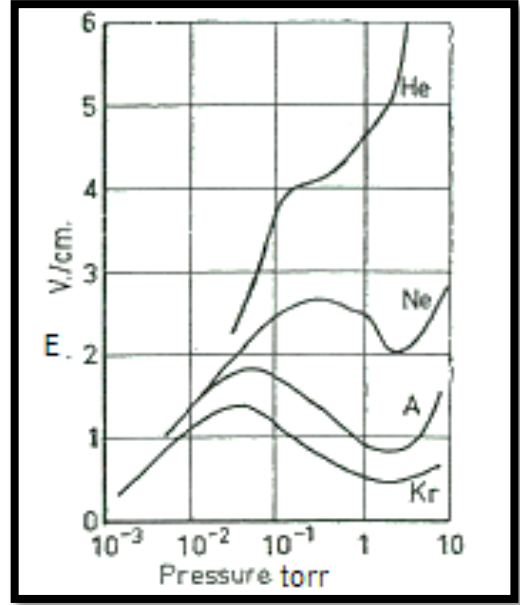
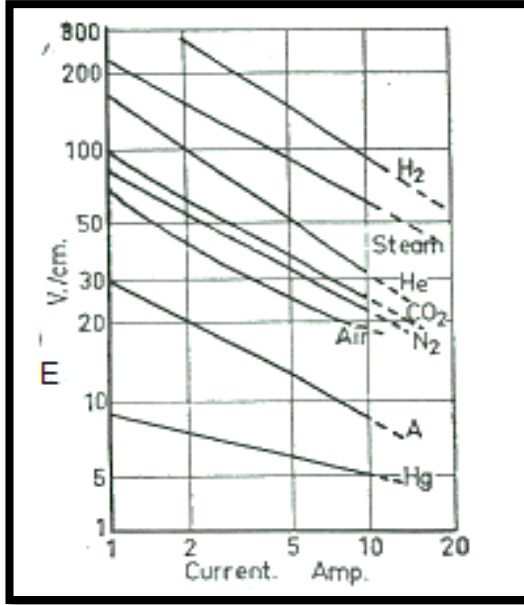
جزء من قناة القوس يكون متحرر من تأثير الملتقى بين القناة و القطب. كما يتضح من خلال الشكل بأن طول القوس يزداد بشكل خطي بزيادة الفولطية كما يتضح في منطقة [4] B، كلما زاد طول القوس زادت الفولطية [9]، ان الزيادات المتساوية في طول القوس بزيادة فولطية القوس تؤدي الى تكوين عمود منتظم حيث يبين ميل الخط AB يعطي انحدار الجهد للمقطع المنتظم من العمود بعيداً عن الاقطاب بدلاً من تحريك الاقطاب. اعتماد المجال الكهربائي على متغيرات التفريغ المتنوعه موضحة بالاشكال (2-2) و(3-2) و(4-2) [4].



الشكل (1-2) تغير فولطية الاحتراق القوس مع المسافه بين الاقطاب [4]



الشكل (2-2) يوضح تغييرات في الضغط في قوس الزئبق للمجال الكهربائي الطولي E في العمود لقوسين في انبوبتين مختلفتين في القطر حامله تيارات مختلفه ويخطط التغييرات لدرجات الغاز والالكترونون [4]



الشكل (2-4) تغير تيار القوس مع المجال الطولي E في العمود في الاقواس لغازات مختلفة في

في الضغط الجوي 1atm [4]

الشكل (2-3) تغير الضغط مع المجال الكهربائي الطولي E لغازات خاملة متنوعة [4]

## Maxwellian Equations

## 4-2 معادلات ماكسويل

ان المعادلات التي تصف تطور المجالات الكهرومغناطيسية ، هي معادلات ماكسويل والتي هي لاجل البلازما الساخن التقليدية وتكون مبسطة بواسطة اهمال التأثيرات المغنطة اضافة الى ذلك تراكم الشحنة وهذه المعادلات يتم سردها في الجدول (2-1) ادناه [16] .

جدول (2-1) معادلات ماكسويل للبلازما الحرارية [16]

| Name                             | Equation   |
|----------------------------------|--|
| Amperes law.                     | $\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J}$                        |
| Faradays law                     | $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$ |
| Gauss law (charge conservation): | $\nabla \cdot \mathbf{J} = 0$  |
| Solenoidal Constraint :          | $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$  |

حيث ان  $\mu_0$  تمثل سماحية الفراغ ،  $\sigma$  تمثل التوصليه الكهربائيه ،  $E_p$  يمثل المجال الكهربائي المؤثر والافضل استبدال المجال الكهربائي الحقيقي  $E$  في الجدول وذلك لتمثل ما يسمى بقوانين اوم المعممه هذه القوانين تأخذ بالاعتبار التعديل الديناميكي للمجالات الكهرومغناطيسيه بسبب الشحنة المنتقله (اي الشحنة المنتقله تكون مقدره بواسطة انتشار فيض الكتله  $J_S$  لجسيمات المشحونه) وبالتالي تحتاج الى ان تكون متناسقه مع موديل الكتله المنتشره المستخدمه في صيغه المائع، في موديلات التوازن الحراري الموضوعي LTE يتم فرض  $E=E_p$ ، وفي عدم التوازن الحراري الموضوعي NLTE التعديل الرئيسي للمجال الكهربائي بسبب انحدار ضغط الالكترتون كما مبين في التعبير الاتي :

$$\mathbf{E}_p \approx \mathbf{E} + \frac{\nabla p_e}{en_e} \quad \text{---(1-2)}$$

في قانون أوم العام الاكثر تماما" تأثير المجال الكهربائي يكون معطى بواسطة تعبير غير خطية ( على سبيل المثال  $E_p$  تكون داله ل  $\mathbf{J} \times \mathbf{B}$  ) .معادلات ماكسويل المدرجه في جدول (1-2) يمكن التعبير عنها بصيغ مختلفه ؛ الشيء المفيد بالنسبه لتدفق البلازما الحرارية يحل بشكل تعابير على اساس طاقات كهرومغناطيسيه .

$$\mathbf{E}_p = -\nabla \phi_p - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \quad \text{--(2-2)}$$

$$\nabla \times \mathbf{A} = \mathbf{B} \quad \text{--(3-2)}$$

حيث  $\nabla \phi_p$  الجهد الكهربائي المؤثر (عادة" يساوي الجهد الكهربائي في نموذج LTE). استخدام الجهد المغناطيسي له فائده اضافيه بان التقييد اللولبي يكون مقنع بديهيا" . استخدام هذا الجهود لمعادلات ماكسويل يمكن التعبير عنه [16] :

$$\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \nabla \phi_p - \mathbf{u} \times (\nabla \times \mathbf{A}) - \frac{1}{\mu_0 \sigma} \nabla^2 \mathbf{A} = 0 \quad \text{--(4-2)}$$

و

$$\nabla \cdot \sigma (\nabla \phi_p + \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} - \mathbf{u} \times \nabla \times \mathbf{A}) = 0 \quad \text{--(5-2)}$$

أما المعادله (4-2) الشائع عنها أنها شكل من أشكال الحث المغناطيسي ، بينما المعادله (5-2) بانها مجرد تعبير عن حفظ الشحنة، فيمكن التعبير عن المعادله (4-2) بالشكل الآتي :-

$$\nabla^2 \mathbf{A} = -\mu_0 \mathbf{J} \quad \text{--(6-2)}$$

المعادله (6-2) هي المعادله الأكثر استخداماً في الدراسات النظرية للبلازما الحرارية ، كما إنها تعبير بسيط نسبياً عن معادله الانتشار وبالتالي يمكن حلها في حلول تدفق المائع [16] .

## Anode

## 5-2- الانود

عند تدفق البلازما تتكون اغلفة البلازما حول الاقطاب ويلاحظ أن هنالك اختلافات كبيرة في خاصية هذه المناطق قرب الاقطاب التي غالباً ما تهمل ضمن البلازما كونها صغيرة. حيث تتميز هذه المناطق بتراكم الشحنة وعدم حصول إتران حراري . إن سمك غلاف الانود يساوي عدد قليل من اطوال ديبياي . فلبلازما الحرارية غالباً ما يكون طول ديبياي صغيراً "جداً" مقارنةً مع أبعاد البلازما ( على سبيل المثال قطر الشعلة ) هذا السبب يجعل تأثير الانود على خصائص البلازما المتولدة بالقرب من سطح الانود [57]. الشروط الحدودية على سطح الانود للمجالات الكهرومغناطيسية غالباً ما تتضمن فرض قيمه مرجعيه للجهد الكهربائي (على سبيل المثال  $\phi_p=0$  على سطح الانود) بينما كمية التيار المنتقل يكون تحديده بواسطة الشروط الحدودية للكاثود . الطريقة الجيدة تتضمن ادراج جزء من الاقطاب في المجال الحسابي و بالتالي حل معادله حفظ الطاقه والمعادلات الكهرومغناطيسية خلال مجال متوافق للاقطاب [57] . . النمذجه الدقيقه في الحراره المنتقله للانود في اقواس الشعلة الغير منتقله تكون جداً مهمه لان التآكل بسبب الفيض الحراري العالي غالباً ما يقصر من عمر الانود . ففي شعلة الاقواس المنتقله يكون الانتقال الحراري الى الانود يكون للكفاءه في عمليات البلازما (على سبيل المثال القطع البلازمي و اللحام ) كما ان وصف الانتقال الحراري الى الانود في انظمة البلازما الحرارية يكون متشابهك جداً بسبب العدد الكبير من العمليات المزدوجه التي تتخللها. فلغاز احادي الذرات (نوع منفرد من الايونات ) يكون فيض الطاقة الحرارية الكليه المنتقله الى الانود معبر عنها بالآتي :

$$q_a = -k_h \frac{\partial T_h}{\partial n} - k_e \frac{\partial T_e}{\partial n} + q_e + J_e \phi_a + J_i (U_i - \phi_a) + q_r \quad \text{--(7-2)}$$



التيار المتجه الى الانود ( $n \cdot J = J_q = J_{qe} - J_{qi}$ )، اول حدين من الجانب الايمن من المعادله (7-2) يمثلان انتقال الطاقة الحرارية بواسطة التوصيلية للجسيمات الثقيلة والالكترونات على التوالي . ان الحد الرابع يمثل طاقة تركيز الالكترونون ويمكن تعريفها بانها الطاقة المحمولة الى الانود عندما الالكترونات تدمج في البناء الشبكي لمادة الانود. الحد الخامس يمثل الحرارة بسبب اعادة تركيب الايون الى السطح ، هذا الحد عموماً صغير لان التيار الايوني يكون غالباً صغير بالنسبة الى التيار الكلي بشكل عام الحد الثالث والرابع وحد توصيل الجسيمات الثقيلة هي الاكثر اهمية، لذلك الحرارة الكليه المنتقلة الى الانود معتمدة بشكل اساسي على كثافة التيار (لاسيماً  $J_e$ ) الى الانود . حد انتقال طاقة الالكترونون كثيراً ما يوصف بالاتي :

$$q_e = J_e \left( \frac{h_e}{e} + U_a \right) \quad \text{--(8-2)}$$

حيث ان  $h_e = 2.5 k_B T_e$  هي تمثل انثالبية الالكترونون و  $U_a$  تمثل هبوط الفولطيه عبر غلاف الانود (anode fall) الذي يكون مفروض موجب. الحد الاول يمثل انتقال لطاقة الالكترونون بواسطة انتشار الكتله، بينما الحد الثاني يوصف طاقة الالكترونون الذي يربحها على افتراض منقطة السقوط الحر امام السطح ، المعادله (7-2) و (8-2) تعتبر مكونات اساسيه لموديل انتقال الحرارة الى الانود . في موديلات NLTE الشروط الحدوديه ل  $T_e$  و  $T_h$  يمكن الحصول عليها بواسطة تقسيم المعادله (7-2) ، الحدود التي تشمل الالكترونات تتحدد الشروط الحدوديه ل  $T_e$ ، وبالمثل ل  $T_h$  الوصف اعلاه يمكن ان يمتد ليتضمن عمليات تغير الطور لمادة الانود (اي التبخر) وردود افعال السطح. ان هذه التأثيرات يمكن ان تكون نتيجة كبيره على انتقال الحرارة ككل [58].

## Cathode

## 6-2-الكاثود

يعتبر الكاثود المصدر الرئيسي للالكترونات في شعلة البلازما الحرارية . يمكن ان تصنف الكاثودات الى فئتين thermionic و non-thermionic (المتأين حرارياً و غير المتأين حرارياً) ، المتأينه حرارياً التي تصنع من مواد مقاومه للحراره ، درجة حرارة الكاثود فيها كثيراً ما تتجاوز  $3000k$  وكثافة التيار فيها بحدود  $10^8 - 10^7 A/cm^2$  بينما الكاثودات الغير متأينه حرارياً تصنع من مواد غير مقاومه للحراره العاليه حيث ان هذه الكاثودات تتحمل درجات حراره اقل بكثير من  $3000k$  وكثافة التيار حوالي  $10^{12} - 10^{10} A/cm^2$  [59]. ان الكاثود المستخدم في بلازما الرش يكون متأين حرارياً حيث الالكترونات تنبعث من سطح الكاثود نتيجة التسخين العالي للكاثود .

تقسم المنطقة المواجهه للكاثود الى جزئين مميزين وهما المنطقة المؤينه و غلاف شحنة الفراغ مشابه لما عليه في الانود ان هذه المناطق هي صغيره جدا" بالمقارنة مع طول البلازما .وعادة" ما يكون انخفاض كبير في الجهد بهذه الطبقة الرقيقه وقدره عالية تكون مترسبه فيها هذه القدرة تكون نتيجة للتوازن بين فيض الطاقة للالكترونات والايونات من البلازما الى سطح الكاثود وازالة الحرارةه بسبب الالكترونات المغادره للكاثود.النمذجه الدقيقه لمنطقة الكاثود تكون متشابهه جدا" بسبب تنوع الظواهر الكيميائيه والكهربائيه التي تحدث فيها ،وعلاوة على ذلك فقد تبين ان التبخر لمواد الكاثود يمكن ان يكون تأثير كبير لديناميكية التدفق للبلازما .وبالحقيقه ماده البخار المعدينه تسبب زياده كبيره في التوصيلية الكهربائيه للبلازما مقابل الكاثود التي تسبب تقلص القوس ، هذه التأثيرات يمكن ان تضاف الى استقرارية بقع الكاثود (المنطقه التي تكون فيها كثافة عالية للتيار ) التي غالبا" ما تكون ذات اهميه اساسيه للكاثود الذي هندسته لاتعطي بقع جيده. ولتحديد كثافة التيار في منطقة الكاثود في ادبيات نموذج قوس البلازما المتولد بالتيار المستمر الاكثر شيوعاً تستخدم الصيغة الاتية[57] :

$$J_{cath} = J_{cath0} \exp\left(-\left(\frac{r}{R_{cath}}\right)^{n_{cath}}\right) \quad \text{-- (9-2)}$$

حيث  $J_{cath}$  يمثل كثافة التيار على سطح الكاثود،  $r$  يمثل نصف قطر الاحداثيات المستعمله من محور شعلة البلازما ، و  $J_{cath0}$  ،  $R_{cath}$  و  $n_{cath}$  تمثل برامترات التي تحكم شكل المظهر الجانبي ، وفي القياسات التجريبية لمشاعل الرش البلازمي الشائع الذي يعمل بين 100 A و 800 A ،  $J_{cath0}$  يكون من مرتبة  $10^8 \text{ A/m}^2$  ، الاس  $n_{cath}$  متغير بين 1 للكاثود المخروطي الحاد الى 4 ، والمسافه المميزه  $R_{cath}$  تكون اقل من 1mm [57].

## Cathode layer

## 7-2-طبقة الكاثود:

وظيفة طبقة الكاثود هي توفير التيار العالي الضروري لعمل القوس بواسطة انبعاث الالكترونات من سطح الكاثود وهذه الاقواس تعمل بالية الانبعاث الثرموايوني وانبعاث المجال والتي تكون اكثر كثافة بكثير من انبعاث الالكترونات ثانويه الناجم عن الايونات السائد في طبقة الكاثود في التفريغ المتوهج [11]. ان الايون القاصف يوفر للكاثود الحرارةه التي تؤدي الى تحرير الالكترون من سطح الكاثود ، حيث تكون الالكترونات الثانويه المنبعثه تعطي حوالي  $\gamma = 0.01$  electrons لكل ايون ،بينما الانبعاث الثرموايوني يمكن ان يولد اكثر بكثير  $\gamma_{eff} = 2-9$  electrons لكل ايون . كسر التيار

الالكتروني S بالقرب من الكاثود في التفريغ المتوهج يكون جدا" قليل  $\frac{\gamma}{\gamma+1}=0.01$  ، ولكن في طبقة الكاثود للقوس يكون كالآتي [11]:

$$S = \frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{eff}+1} \approx 0.7 - 0.9 \quad (10 - 2)$$

حيث  $\gamma$  يمثل الالكترونات الثانوية المنبعثة بسبب الايونات و  $\gamma_{eff}$  يمثل الالكترونات المنبعثة بسبب التأثير الحراري لسطح الكاثود ( انبعاث حراري)، هذا يبين بان الانبعاث الترمويوني من الكاثود يوفر اغلب التيار الالكتروني في القوس، يسري التيار في العمود الموجب في كلا من التفريغ التوهجي والقوسي بواسطة الحركية العالية للالكترونات . وعلى النقيض من التفريغ التوهجي يحدث التاين بالتأثير المباشر في طبقة الكاثود في القوس يوفر جزء صغير من التيار الكلي (  $1-S=10-30\%$  ) ولذلك فولتية الكاثود في القوس تكون منخفضة نسبيا" ، حوالي بقدر جهد التاين او اقل [11]. توفر كثافة الايونات المتولده في طبقة الكاثود للكاثود الحرارة الكافية في حالة الانبعاث الترمويوني حيث تكون درجة حرارة الغاز بالقرب من الكاثود مساويه لدرجة حرارة سطح الكاثود وتزداد درجة حراره لعدة اضعاف في العمود الموجب كما موضح في الشكل (2-5) [11]. ولذلك فان التاين بالحراره غير قادر على توفير درجة التاين المطلوبه واطافة تاين غير حراري تكون مطلوبه هذا يقود الى مجال كهربائي مرتفع بالقرب من الكاثود والذي يحفز الى انبعاث الالكترونات بواسطة تقيل دالة الشغل ( تأثير شوتكي) ومساهمة انبعاث المجال . التاين الكثيف في محيط الكاثود يقود الى تركيز عالي للايونات في الطبقة و تشكيل شحنة الفراغ الموجبة، والتي فعليا" توفر المجال الكهربائي المرتفع. ان توزيع متغيرات القوس الكهربائي ، درجة الحرارة ، الفولتية ، المجال الكهربائي على طول المسافة التفريغ من القطب السالب الى القطب الموجب كما موضح بالشكل (2-5) [11]

## 8-2 تركيب طبقة الكاثود Structure of the cathode layer

الشكل (2-6) يبين منطقتين من طبقة الكاثود الاولى فيها شحنة الفراغ الموجبة المتشكلة التي تقل مع المجال الكهربائي المرتفع، وتكون هذه الطبقة ضيقه اقصر من معدل المسار الحر؛ ويطلق على هذه المنطقه بمنطقة التصادمات القليله، وان المنطقه الاخرى تكون شبه متعادلّة تقع بين منطقة التصادمات القليله والعمود الموجب ويمكن ان تدعى بمنطقة التصادمات وفيها المجال غير عالٍ ولكن التاين يكون كثيف لان الالكترونات تحتفظ بالطاقة العالية التي تتسلمها من منطقة التصادمات القليله . معظم الايونات الحامله للتيار والطاقة الى الكاثود تتولد هنا . التيار الالكتروني والايوني يكون ثابت في

منطقة التصادمات القليلة حيث لا يوجد مصادر للجسيمات المشحونه ، كسر التيار الالكتروني يزداد من  $S=0.7-0.9$  في طبقة الكاثود الى حوالي 1 في العمود الموجب (أي ان التيار الكهربائي ينتقل بسكل اساسي عن طريق الالكترونات). كثافة البلازما في طبقة الكاثود تنمو باتجاه العمود الموجب . كنتيجة للانتاج الكثيف للشحنات . الالكترونات هنا تعاني تصادمات الاستطاره وبعضها يعود الى الكاثود مسبب تيار ضعيف يسمى **التيار العكسي** . بالرغم من التباطيء الذي تعانيه هذه الالكترونات في منطقة التصادمات القليلة الا ان هذه الالكترونات تصل جزئيا الى الكاثود ، هذا التأثير يشابه فيض الالكترونات من البلازما الى **المجس المشحون بشحنة سالبة** [11] :

$$j_e = S \cdot j = n_e e v_e , \quad j_+ = (1-S)j = n_+ e v_+ \quad \text{-- (11-2)}$$

$J_e$  تمثل كثافة التيار الالكتروني و  $J_+$  تمثل كثافة التيار الايوني و  $J$  تمثل كثافة التيار الكلي في منطقة التصادمات القليلة ، وان  $v_+$  ,  $v_e$  تمثل سرعة الالكترون والايون على التوالي ويمكن ان نضعها كداله للفولطية  $V$  ، نفترض بان  $V=0$  عند الكاثود و  $V=V_c$  عند منطقة التصادمات القليلة وان  $M$  ,  $m$  تمثل كتلة الالكترون وكتله الايون على التوالي ، ويمكن حساب قيمة  $v_+$  ,  $v_e$  بالشكل التالي [11]:

$$v_e = \sqrt{\frac{2eV}{m}} \quad \text{--- (12-2)}$$

$$v_+ = \sqrt{2e(V_c - V)/M} \quad \text{--(13-2)}$$

بالاستناد على المعادله (11-2) , (12-2) و (13-2) معادله poisson للفولتية  $V$  في منطقة التصادمات القليلة تكون [11]

$$-\frac{d^2V}{dx^2} = \frac{e}{\epsilon_0} (n_+ - n_e) = \frac{j}{\epsilon_0 \sqrt{2e}} \left[ \frac{(1-S)\sqrt{M}}{\sqrt{V_c - V}} - \frac{S\sqrt{m}}{\sqrt{V}} \right] \quad \text{--(14-2)}$$

مع مراعاة بان  $\frac{d^2V}{dx^2} = \frac{1}{2} \frac{dE^2}{dV}$  معادله بوازن في (14-2) يمكن ان تكامل بافتراض الشرط الحدودي  $E \approx 0$  عند  $V=V_c$  هذا ينتج بعلاقه بين المجال الكهربائي بالقرب من الكاثود و كثافة التيار وهبوط فولطية الكاثود (التي يمكن تمثيلها بالرمز  $V_c$ ) [8]:

$$E_c^2 = \frac{4j}{\epsilon_0 \sqrt{2e}} [(1-S)\sqrt{M} - S\sqrt{m}] \sqrt{V_c} \quad \text{--(15-2)}$$

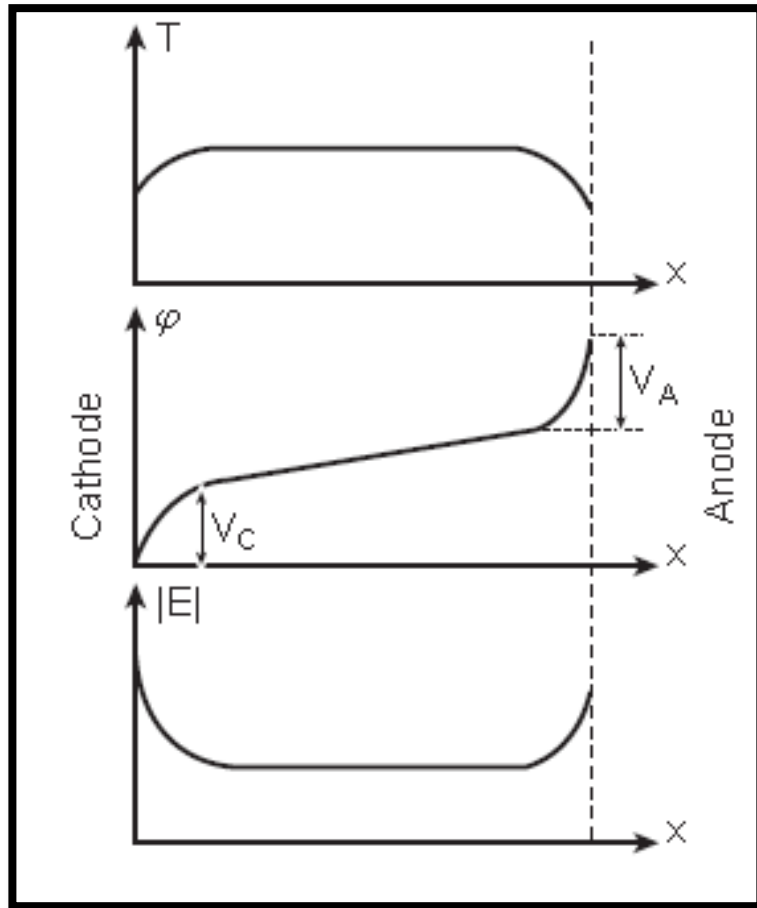
هذه العلاقة يمكن اعادة كتابتها باخذ  $S=0.7-0.9$

$$E_c, \frac{V}{cm} = 5.10^3 \cdot A^{\frac{1}{4}} (1-S)^{\frac{1}{2}} (v_c, v)^{\frac{1}{4}} (j, A/cm^2)^{\frac{1}{2}} \quad -- (16-2)$$

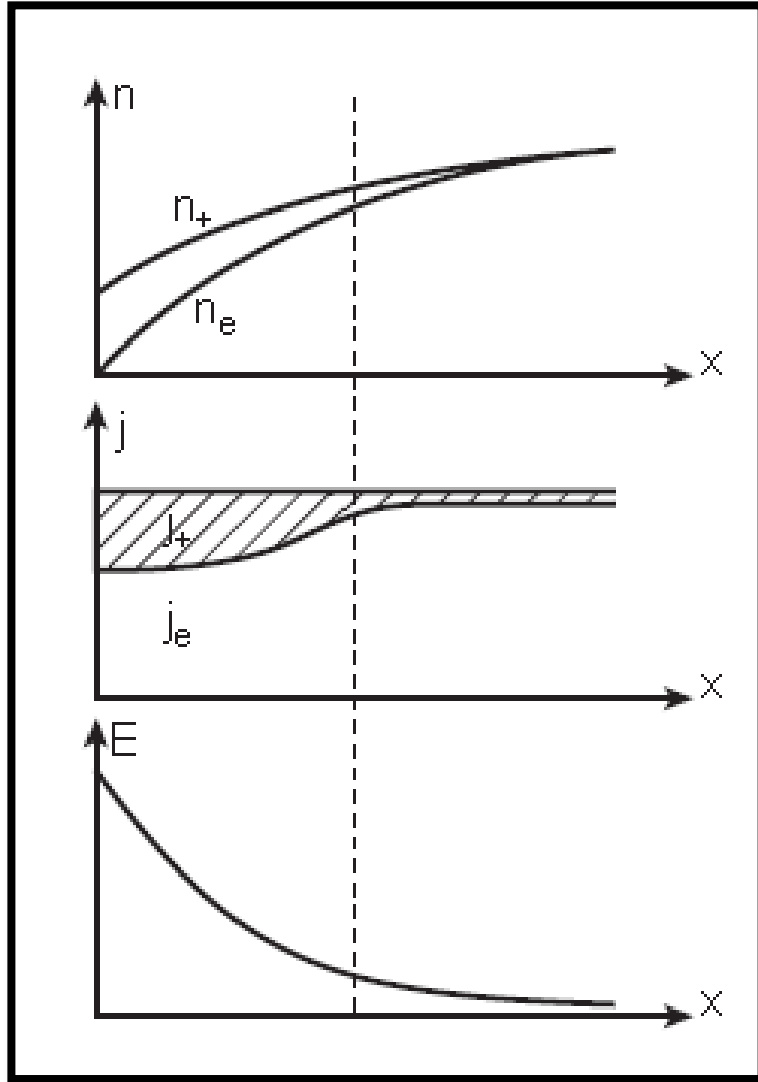
حيث ان  $A$  يمثل الكتل الذرية للايونات في وحدة الكتل الذرية ، على سبيل المثال التفريغ القوسي في النتروجين ( $A=28$ ) القيم النموذجيه لكثافة التيار للكاثود الساخن ( $j=3 \cdot 10^3 A/cm^2$ ) وهبوط فولتية الكاثود ( $V_c=10V$ ) و  $S=0.8$  وفق معادله (16-2) المجال الكهربائي بالقرب من الكاثود يكون  $E_c=5.7 \cdot 10^5 v/cm$  طول طبقة التصادمات القليلة لطبقة الكاثود يمكن التعبير عنها كالاتي:

$$\Delta l = 4V_c/3E_c \quad --(17-2)$$

بشكل عددي طول منطقة التصادمات القليلة حوالي  $\Delta l \approx 2 \cdot 10^{-5} cm$  [8].



الشكل(2-5)توزيع درجة الحرارة والجهد الكهربائي والمجال الكهربائي من الكاثود الى الانود للتفريغ القوسي[11]



الشكل (6-2) توزيع كثافة الشحنة والتيار الكهربائي و المجال الكهربائي في طبقة الكاثود في التفريغ القوسي [9]

## Cathode spots

## 9-2- بقع الكاثود

تعرف بقع الكاثود بأنها المراكز الموقعية التي تظهر على سطح الكاثود لانطلاق التيار ، و السبب الاكثر شيوعا" لبقع الكاثود هو استعمال معادن ذات نقطة انصهار واطنه نسبيا" ويمكن ان يكون سببها ايضا" تيار القوس المنخفض حيث انها قادرة على توفير الالكترونات الضرورية عندما تتمركز على مساحات صغيرة [11] . وايضا" تظهر بقع الكاثود عند ضغوط الغازات الواطئة ( $p < 1 \text{Torr}$ ) حيث يوفر بخار المعدن الذرات لتوليد الايونات الموجبة حاملة طاقتها الى الكاثود للمحافظة على انبعاث الالكترونات. و لتوفير التبخر المطلوب فان التيار سوف يتركز على البقع عند الضغوط  $p < 1 \text{Torr}$

والتيارات 1A-10A. ان مثل هذه البقع تظهر حتى في المعادن المقاومه للحرارة [8]. ففي اقواس الفراغ تتركز الانبعاثات من مناطق صغيره جدا" (حجمها بحدود  $\mu\text{m}$ ) وكثافة التيار عالية جدا" وبالتالي توليد حرارة جول عالية جدا" تعمل على ذوبان وتبخر لمادة الكاثود وتعتبر بقع الكاثود السمة البارزة لاقواس الفراغ [60]. حيث تكون صغيرة المساحة ومضيئة ، وتتحرك على السطح وهي المسؤولة على انبعاث الالكترونات وانتاج بخار المعادن للبلازما ( الايونات و بخار المعدن و قطرات سائل )، وان عدد البقع يتناسب مع تيار القوس [61]. وفيها تحدث انتقال من الحاله الصلبه ثم السائله واخيرا" الى البخار [62]. بقع الكاثود في بداية تكونها ذات ابعاد صغيره جدا" ( $10^{-2}$ - $10^{-4}$ cm) وتتحرك بسرعه عاليه جدا" ( $10^3$ - $10^4$ cm/sec) وهذه البقع الاساسيه تكون غير حرارية ومرتبطه على نتوءات صغيره سطح الكاثود لتسبب تيار موقعي ، بعد حوالي  $10^{-4}$ sec البقع الاساسيه الصغيره تتحول الى بقع كبيرة  $10^{-2}$ - $10^{-3}$ cm بدرجه حرارة 3000k و اكبر هذه البقع توفر تآكل حراري كثيف وتتحرك بسرعه قليلة جدا" تتراوح بين 10- 100cm/sec للتيار النموذجي خلال البقعة المنفرده يكون (1-300A) وان زيادة التيار تؤدي الى انشطار البقع ، اقل تيار خلال البقعة المنفرده يكون حوالي  $I_{\min}=0.1-1A$  حيث ان القوس ينطفئ كله في التيارات الاقل ، هذه القيمة الحرجة للتيار خلال بقعة الكاثود المنفرده يمكن ان تحسب كالاتي [8]:

$$I_{\min} \approx 2.5 \cdot 10^{-4} \cdot T_{\text{boil}} \sqrt{\lambda_h} \quad \dots(18-2)$$

حيث:  $T_{\text{boil}}$  هي درجة غليان معدن الكاثود و  $\lambda_h$  هي معامل التوصيلية الحرارية . اذ تكون بقع الكاثود من مصادر النفط الكثيف لبخار المعدن .حيث ان نبعاث 10 الكترونات يتوافق مع اجتناث ذره واحده وعند سرعه نفث بخار المعدن تصل الى  $10^5$ - $10^6$ cm/sec. تفاصيل البيانات لبقع الكاثود مبينه في **الجدول (2-2)**. يمكن لكثافة التيار في بقع الكاثود ان تصل الى مستوى عال جدا"  $10^8$ A/cm<sup>2</sup> التي يجب توفرها فقط بواسطة المجال المعزز بالانبعاث الحراري ، **ان كثافة التيار العاليه البدائية في البقع يمكن ان تكون بسبب انبعاث الالكترونات المنفجرة** والتي تتعلق بوجود مجال كهربائي موقعي قوي ويلي الانفجارات نتوءات صغيره على سطح الكاثود [63].

جدول (2-2) الخصائص النموذجية لبقع الكاثود للتفريغ القوسي [8]

| Cathode material                        | Cu                               | Hg                               | Fe              | W                                | Ag               | Zn                  |
|---|----------------------------------|----------------------------------|-----------------|----------------------------------|------------------|---------------------|
| Minimum current through a spot ,A       | 1.6                              | 0.07                             | 1.5             | 1.6                              | 1.2              | 0.3                 |
| Average current through spot,A          | 100                              | 1                                | 80              | 200                              | 80               | 10                  |
| Current density ,A/cm <sup>2</sup>      | 10 <sup>4</sup> -10 <sup>8</sup> | 10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup> | 10 <sup>7</sup> | 10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup> | -                | 3 . 10 <sup>4</sup> |
| Cathode voltage drop, V                 | 18                               | 9                                | 18              | 20                               | 14               | 10                  |
| Specific erosion at 100-200A,g/C        | 10 <sup>-4</sup>                 | -                                | -               | 10 <sup>-4</sup>                 | 10 <sup>-4</sup> | -                   |
| Vapor get velocity,10 <sup>5</sup> cm/s | 1.5                              | 1                                | 0.9             | 3                                | 0.9              | 0.4                 |

## 10-2-العمود الموجب لأقواس الضغط العالي

### The Positive Column of High –pressure Arcs: Elenbaas-Heller Equation

ان قدرة حرارة جول لكل وحدة طول من العمود الموجب في اقواس الضغط العالي كبيرة بحدود 0.2-0.5kw/cm مثلاً" في بلازما الغازات الجزيئية عند ضغط  $p \geq 760$  torr تكون عادة" في حالة شبه توازن في اية تيارات . في الغازات الخاملة ، يكون تبادل الطاقة بين الالكترين والذرات المتعادله اقل فعالية ويتطلب تيارات عالية كثافة الكترونيه لتصل الى شبه التوازن [64]. ان درجة حرارة الالكترونات والذرات المتعادلة يمكن ان تكون مختلفة في الضغوط المنخفضة  $p \leq 76$  torr والتيارات بحدود  $I \approx 1A$ . ان مخطط فولطية- تيار للعمود الموجب موضح في الشكل (2-7) عند



ضغوط مختلفة عند ثبوت المجال الكهربائي E على طول العمود الموجب حيث يبين الشكل مخطط لخصائص فولطيه - تيار بشكل قطع مكافئ والتي تشير الى ان قدرة حرارة جول لكل وحدة طول لا تتغير بشكل كبير مع التيار. وان القدرة سوف تنمو مع زيادة الضغط بسبب تكثيف النقل الحراري الذي له علاقة بالاشعاع ، وان مساهمة الاشعاع تزداد طردياً مع مربع كثافة البلازما وبالتالي سوف تنمو مع زيادة الضغط . ان اشعاع القوس الكهربائي يقل عند الضغط الجوي بحدود 1% ولكن يزداد بشكل كبير عند الضغوط الاعلى من 7600torr . وتكون قدرة القوس الكهربائي اعلى. ان الصيغ التجريبيه لحسابات اشعاع البلازما موجوده في جدول(2-3) جزء القدرة متحولة الى الاشعاع تكون عالية في الزئبق والزينون حتى لقيم منخفضة لحرارة جول لكل وحدة طول. توزيع درجة الحرارة على طول العمود الاسطوانى لحالة البلازما الحرارية المستقره بواسطة الجدران في انبويه نصف قطرها R يوصف بواسطة معادلة النباش - هيلر Elenbaas -Heller بافتراض ان انتقال الحرارة عبر العمود الموجب المتوفره بواسطة التوصيلية الحرارية والذي يكون معاملها  $\lambda_h(T)$ . وفقاً لمعادلة ماكسويل  $curl E=0$  والمجال الكهربائي على طول العمود المتجانس هو ثابت [8] . التوزيع القطري للتوصيلية الكهربائية  $\sigma(T)$  ، كثافة التيار  $j=\sigma(T)E$  وكثافة حرارة جول  $w=jE=\sigma(T)E^2$  تكون محددة فقط بواسطة توزيع درجة الحرارة القطريه  $T(r)$  وبالتالي :

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left[ r \lambda_h(T) \frac{\partial T}{\partial r} \right] + \sigma(T) E^2 = 0 \quad \text{--(19-2)}$$

هذه المعادلة تعرف باسم معادلة Elenbaas- Heller Equation وتطبيق الشروط الحدودية على المعادلة (18-2) ( $dT/dr = 0$  عند  $r=0$  و  $T=T_w$  عند  $r=R$ ) فإن التيار يمكن حسابه [9] .

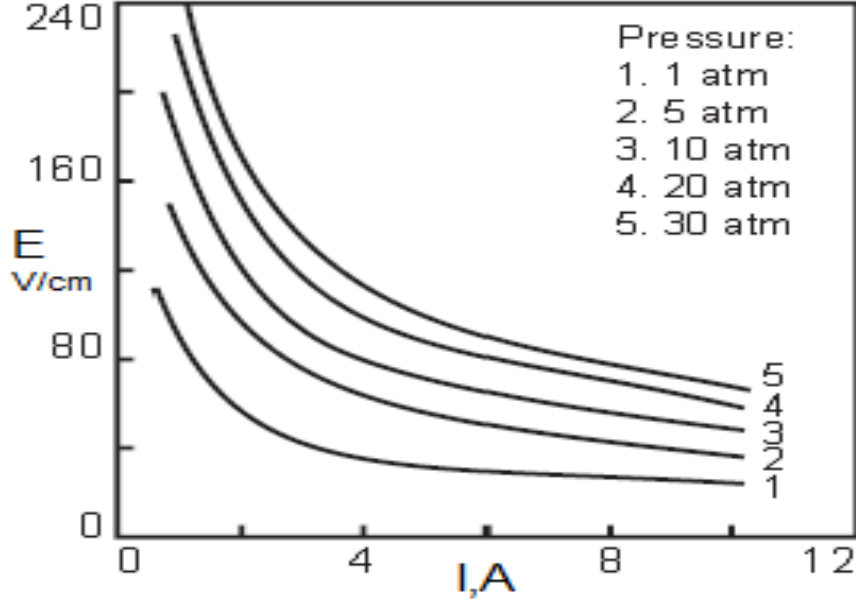
$$I = E \int_0^R \sigma[T(r)] \cdot 2\pi r dr \quad \text{-- ( 20-2)}$$

وبأخذ معادلة (19-2) مع معادلة (20-2) يمكن حساب الدالة  $E(I)$  وان خصائص فولطيه -تيار لعمود البلازما تكون محددة بواسطة خاصيتين للمعدن : وهما التوصيلية الكهربائية  $\sigma(T)$  والتوصيلية الحرارية  $\lambda_h(T)$ . ولتقليل عدد الدوال المعدنية انه من المناسب فرض جهد الفيض الحراري  $\Theta(T)$ : بدلاً من درجة الحرارة باستخدام جهد الفيض الحراري معادلة (19-2) يمكن ان تبسط كالآتي [11].

$$\Theta = \int_0^T \lambda(T) dT, \lambda(T) \frac{dT}{dr} = \frac{d}{dr} \Theta \quad \text{--(21-2)}$$

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left[ r \frac{d\theta}{dr} \right] + \sigma(\theta) E^2 = 0 \quad \text{--(22-2)}$$

حيث لا يمكن حل المعادلة (22-2) عددياً لأنها غير خطية لدالة المعدن  $\sigma(\theta)$ ، [11,65].



الشكل (7-2) خصائص فولطية تيار للعمود الموجب لقوس التفريغ في الهواء في ضغوط مختلفة [11]

جدول (3-2) القدرة الاشعاعية لكل وحدة طول من العمود الموجب لقوس التفريغ في ضغوط مختلفة ولقيم مختلفة من حرارة جول لكل وحدة طول [11].

| Gas | Pressure ,atm | Radiation power<br>unit length ,W/cm | w=EI,W/cm |
|-----|---------------|--------------------------------------|-----------|
| Hg  | $\geq 1$      | $0.72.(w - 10)$                      | —         |
| Xe  | 12            | $0.88(w - 24)$                       | $>35$     |
| Kr  | 12            | $0.72.(w - 42)$                      | $> 70$    |
| Ar  | 1             | $0.52.(w - 95)$                      | $>150$    |

## 2-10-1 نموذج استينباك- رايزر (القناة) للعمود الموجب

### Steenbeck- Raizer "Channel" Model of Positive Column

هذا النموذج معتمد بقوه على ان التوصيلية الكهربائية تعتمد على درجة الحرارة . ففي درجات الحرارة الاقل من 3000k فان توصيلية البلازما تكون منخفضة وهي تنمو بشكل كبير فقط عندما تتجاوز درجة الحرارة 4000k. درجة الحرارة تتناقص بشكل تدريجي من المحور الى الجدار في حين ان التوصيلية تتغير مع نصف القطر  $\sigma[T(r)]$  بشكل حاد وبالتالي تتوافق مع النموذج ، التيار القوسي تقريبا" يقع على محور القناة  $r_0$  [11]. درجة الحرارة  $(T_m)$  و التوصيلية الكهربائية  $\sigma(T_m)$  تعتبران ثابتتان داخل قناة القوس ويمتلكان اعلى قيمة لهما على محور التفريغ . ويمكن التعبير عن التيار القوسي الكلي بالمعادلة التالية [8]:

$$I = E \sigma(T_m) \cdot \pi r_0^2 \quad \text{-- (23-2)}$$

خارج القناة ( $r > r_0$ ) تكون التوصيلية الكهربائية ، التيار ودرجة حرارة جول يمكن ان تهمل ومعادلة يمكن ان تتكامل مع شروط حدوديه  $T = T_m$  عند  $r = r_0$  و  $T = 0$  عند الجدار و الذي يكون فيه  $r = R$  . ان التكامل يعطي علاقه بين جهد الفيض الحراري  $(\Theta_m(T_m))$  المتعلق بدرجة حرارة البلازما و قدرة التفريغ لكل وحدة طول  $w = EI$

$$\Theta_m(T_m) = \frac{w}{2\pi} \ln \frac{R}{r_0} \quad \text{-- (24-2)}$$

الجهد  $(\Theta_m(T_m))$  في قناة القوس و قدرة القوس لكل وحدة طول من القوس  $w = EI$  تكون

$$w = \frac{I^2}{\pi r_0^2 \sigma_m(T_m)}, \quad \Theta_m(T_m) = \int_0^{T_m} \lambda_h(T) dT \quad \text{-- (25-2)}$$

ان موديل القناة للقوس يتضمن ثلاث متغيرات لم يتم تحديدها وهي درجة حرارة البلازما  $(T_m)$  و نصف قطر القناة  $r_0$  و المجال الكهربائي  $E$ . اما التيار الكهربائي  $I$  و نصف القطر  $R$  فهي برامترات يمكن التحكم بها تجريبيا" . و لاجاد  $T_m$  و  $r_0$  و  $E$  باستخدام نموذج القناة هنالك فقط معادلتين (23-2) و (24-2) ، استنبك اقتراح مبدأ اقل قدره كمعادلة ثالثة تكمل النظام ، ومبدأ اقل قدره للاقواس اثبته روزفسكي [66] ، وفقا" لمبدأ الحد الادنى القدرة درجة الحرارة  $T_m$  و نصف قطر

القناة  $r_0$  يجب تقليل قدرة تفريغ معينة  $w$  و المجال الكهربائي  $E=w/I$  عند قيم ثابتة للتيار و نصف قطر الانبوبة  $R$  الحد الأدنى  $0 = \left(\frac{dw}{dr}\right)_{I=CONST}$  يعطي معادلة ثالثة للموديل :

$$\left(\frac{d\sigma}{dT}\right)_{T=T_m} = \frac{4\pi\lambda_{hm}(T_m)\sigma_m(T_m)}{w} \quad \text{--(26-2)}$$

رايزر [67] اثبت بان موديل القناة لايتطلب مبدأ القدرة الدنيا لتبرير المعادلة الثالثة (26-2)، حيث يمكن ان تستمد من خلال تحليل فيض التوصيل الحراري  $J_0$  من قناة القوس  $w=J_0 \cdot 2\pi r_0$  والتي يوفرها اختلاف درجات الحرارة  $\Delta T = T_m - T_0$  عبر القوس انظر الشكل (8-2)

$$J_0 \approx \lambda_{hm}(T_m) \cdot \frac{\Delta T}{r_0} = \lambda_m(T_m) \cdot \frac{T_m - T_0}{r_0} \quad \text{--(27-2)}$$

و عند مكاملة معادلة Elenbaas- Heller Equation داخل القوس  $0 < r < r_0$  يقود الى علاقه مشابهه

$$4\pi\Delta\theta = w \approx 4\pi\lambda_{hm}\Delta T, \quad \Delta\theta = \theta_m - \theta_0 \quad \text{--(28-2)}$$

النقطة الرئيسية لتعديل رايزر لموديل القناة هو تعريف قناة القوس كمنطقه حيث التوصيلية الكهربائية تقل ليس اكثر من "e" من المرات مع قيمه عالية في المحور وهذا يسمح لامكانية تحديد نصف قطر القناة  $r_0$  ويعطي المعادلة الثالثة لموديل القناة. التوصيلية الكهربائية في قناة القوس يمكن التعبير عنها من معادلة ساها كالاتي [11]

$$\sigma(T) = C \exp\left(-\frac{U_i}{2T}\right) \quad \text{-- (29-2)}$$

حيث  $U_i$  هو جهد التأين و  $C$  تقريبا " بارامتر ثابت . التوصيلية الكهربائية في الهواء ، و النتروجين ، و الاركون و عند الضغط الجوي ودرجة حرارة  $T=8000-14000K$  يمكن التعبير عنها بالاتي :

$$\sigma(T), \text{ Ohm}^{-1}\text{cm}^{-1} = 83 \cdot \exp\left(-\frac{36,000}{T,K}\right) \quad \text{--(30-2)}$$

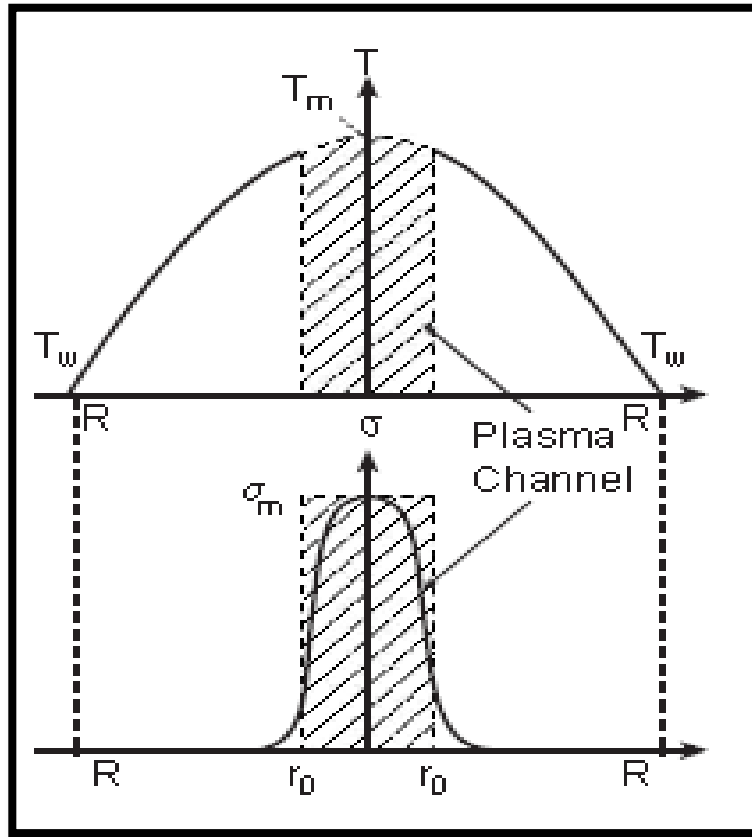
والتي تتوافق مع جهد التأين المؤثر  $U_{\text{eff}} \approx 6.2\text{eV}$  تتفق مع المعادله (29-2) و (30-2) و تناقص التوصيلية بمقدار "e" لعدد من المرات يتوافق مع درجات الحرارة القليلة المتناقصه [8]

$$\Delta T = T_m - T_0 = \frac{2T_m^2}{U_i} \quad \text{--(31-2)}$$

وعند دمج المعادلتين (27-2) و (28-2) مع المعادله (31-2) يعطي المعادلة الثالثة المطلوبة من الموديل بالشكل الاتي

$$W=8\pi\lambda_{hm}(T_m)\frac{T_m^2}{I_i} \quad \text{--(32-2)}$$

المعادله الثالثه لتعديل رايزر لنموذج القناة (32-2) يتطابق مع ذلك النموذج استينبيك البدائي (26-2) والتي تستند بالاساس على مبدأ القدرة الدنيا . كتذكير اول معادلتين من موديل القناة للقوس (26-2) و (27-2) دائما" تبقى ذاتها [11].



الشكل (8-2) يمثل توزيع درجة حرارة الغاز و التوصيلية الحرارية للبلازما في لتفريغ القوسي المقترح من قبل نموذج القناة لاستينبيك [11]

## 2-10-2 نموذج القناة القوس لستينبيك – رايزر لدرجة حرارة البلازما والقدرة المعينه و المجال الكهربائي في العمود الموجب

العلاقه (32-2) تحدد درجة الحرارة في القوس كدالة لقدرة تفريغ معينه  $w$  لكل وحدة طول (مع جهد التاين  $I_i$  ومعامل التوصيلية الحرارية  $\lambda_m$  كمتغيرات):

$$T_m = \sqrt{w \cdot \frac{U_i}{8\pi\lambda_{hm}}} \quad \text{--(33-2)}$$

درجة الحرارة لاتعتمد مباشرة" على نصف قطر الانبوبة ولكن بالاحرى على القدرة المحددة  $w$ . اساس البراميترات في القوس هو التيار . نفترض ان  $\lambda_h$  ثابت ، و  $\Theta = \lambda_h T$  ، التوصيلية في قناة القوس تكون بالنسبه الى التيار [24]

$$\sigma_m = I \cdot \sqrt{\frac{U_i C}{8\pi^2 R^2 \lambda_{hm} T_m^2}} \quad \text{-- (34-2)}$$

درجة حرارة البلازما في قناة القوس تزداد مع التيار  $I$  ولكن لو غارتيميا"

$$T_m = \frac{U_i}{\ln\left(\frac{8\pi^2 \lambda_{hm} C T_m^2}{U_i}\right) - 2\ln\left(\frac{I}{R}\right)} \quad \text{-- (35 - 2)}$$

الزيادة اللوغارتمية الضعيفة لدرجة الحرارة في القناة مع التيار الكهربائي يؤدي الى تشابه زيادة لوغارتمية الضعيفة لقدرة التفريغ القوسي لكل وحدة طول مع التيار الكهربائي، البيانات التجريبيه المعتمده موجوده في الشكل (9-2) مع الاخذ بعين الاعتبار بان  $w = EI$  التناقص للمجال الكهربائي في العمود الموجب مع التيار قريب بان يكون بشكل قطع مكافىء :

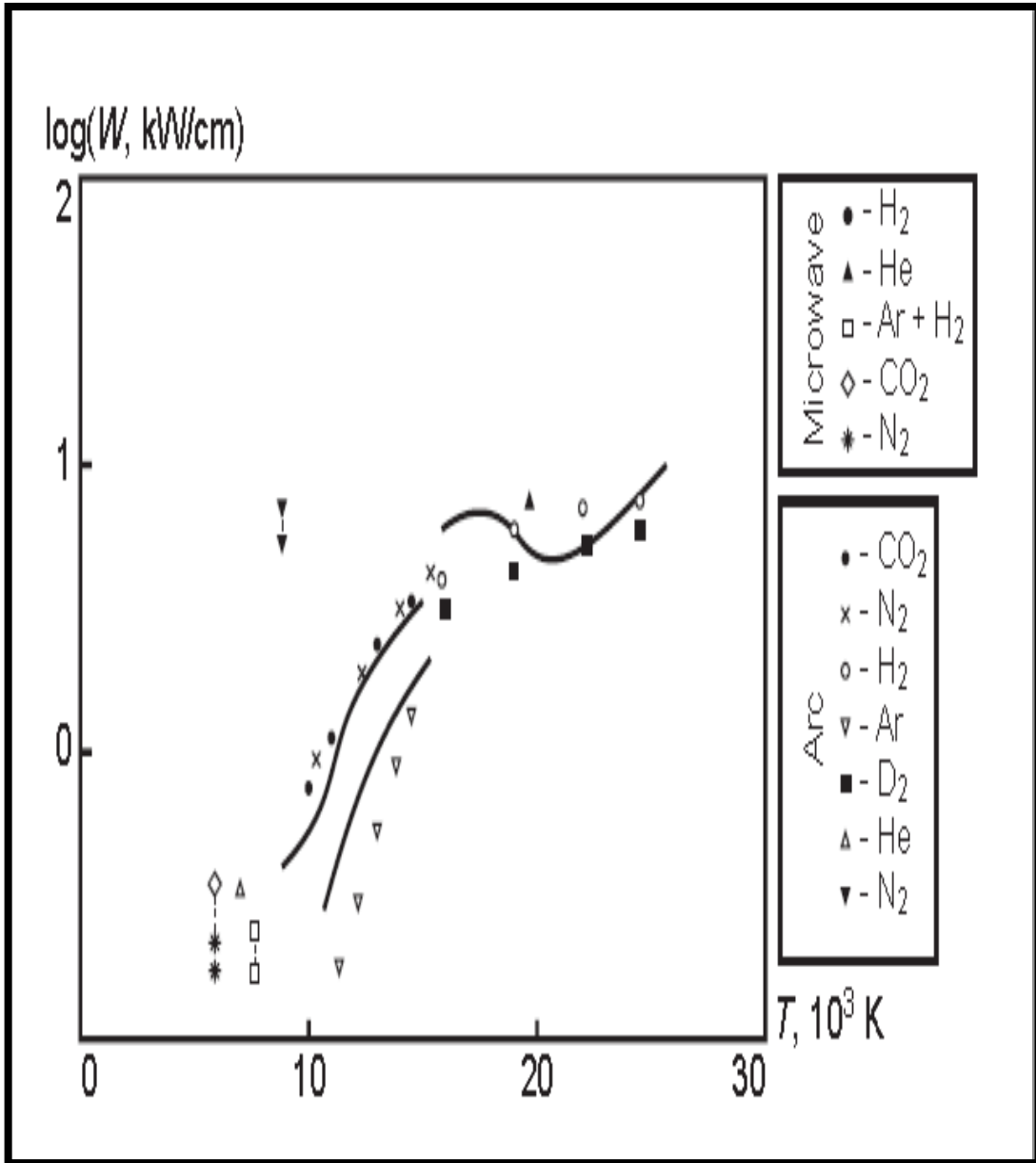
$$w = \frac{const}{(const - \ln I)^2} \quad \text{-- (36-2)}$$

$$E = \frac{8\pi\lambda_m T_m^2}{U_i} \cdot \frac{1}{I} \approx \frac{CONST}{I \cdot (const - \ln I)^2} \quad \text{--(37-2)}$$

هذه العلاقه توضح انخفاض القطع المكافىء لخصائص فولطيه -تيار النموذجي للاقواس الحرارية .  
نصف قطر التفريغ القوسي ربما يمكن ايجادة في اطار نموذج القناة

$$r_0 = R \sqrt{\frac{\sigma_m}{C}} = R \sqrt{\frac{I}{R}} \sqrt[4]{\frac{U_i}{8\pi^2 \lambda_m T_m^2 C}} \quad - (38 - 2)$$

نصف قطر القوس ينمو مع الجذر التربيعي لتيار التفريغ  $I(I\alpha r_0^2)$  [8].



الشكل (9-2) يوضح القدرة الكهربائية المتبددة لكل وحدة طول لتفريغات حرارية مختلفة ( التفريغ القوسي و ميكرويفي) كداله

لدرجة الحرارة العظمى على محور التفريغ . الخط الاسود يمثل النتائج للحسابات العدديه [8]

## 11-2- التوصيل الكهربائي في الغاز

### Electrical Conduction in a Gas

بما ان جزيئات الغاز تكون عادة " متعادلة كهربائيا" بالحالة الاعتيادية ، الغاز يمكنه فقط ان يكون موصلا " كهربائيا" اذا ادخلت حاملات الشحنة فيه او تولدت فيه . ففي اغلب الغازات التي تكون في حالة التوصيل الكهربائي فان حاملات الشحنة هذه تكون الكترونات و ايونات موجبة بالرغم من ان في بعض الحالات تتولد الايونات السالبة ايضا" تكون موجوده . نحن نحصر اهتمامنا في هذا المقطع للغازات التي فقط فيها الكترونات ونوعيه مفرده من الايونات موجبة الشحنة ، فأذا افترضنا بان هنالك  $n_e$  و  $n_i$  من الكترونات وايونات لكل  $cm^3$  على التوالي حاملة شحنات (  $-e$  و  $e$  )، ونفترض في المجال الكهربائي  $E$  ( $V/cm$ ) وان هذه الالكترونات والايونات تتحرك بشكل موازي للمجال الكهربائي بسرعة انجراف  $v_i$  و  $v_e$  ( $cm/sec$ ). بالتالي فان مقدار التيار سيكون [11] :

$$j = n_e e v_e + n_i e v_i \quad (A/cm^2) \quad -- (39-2)$$

وان مساهمة الالكترونات في كثافة التيار تعطى بالعلاقة التالية :

$$j_e = n_e e v_e \quad -- (40-2)$$

هنالك شيء المهم يجب ان ندركه بانه في جميع الحالات التوصيل تكون سرعة الانجراف اصغر بكثير من السرعة العشوائية للالكترونات المثارة. وان حركة الالكترونات في غياب المجال الكهربائي تكون حركة عشوائية وان متوسط السرعات يزيد عن  $10^7 cm/sec$  مع حدوث تصادمات متكرره مع جزيئات الغاز ، حيث تكون معدلات المسار الحر للالكترونات مستقيمه وذات اتجاه عشوائي وتكون معدلات السرعة في اي اتجاه مساوية للصفر. فعند حركة الكترون داخل مجال كهربائي ( $E$ ) فسوف تسلط على ذلك الكترون قوة كهربائية وتكون موازية للمجال لذلك فان معدل السرعة الموازية للمجال لا تساوي صفرأنا يساوي تقريبا إلى مقدار سرعة الانجراف ( $v_e$ )، ان تسليط مجال كهربائي  $E$  بالاضافة الى انتاج سرعة انجراف فأنه يسبب في رفع السرعة العشوائية للالكترونات . عند مناقشة التحركية للالكترونات خلال الغازات لابد من الاشارة في كثير من الاحيان الى معدل المسافه التي تنتقل فيها الالكترونات بين التصادمات والتي تدعى معدل المسار الحر  $l$  . فاذا كانت  $l$  معروفة فان سرعة الانجراف يمكن حسابها من المعادله المعطاة من قبل (Townsend) [4]

$$v_e = 0.815 \cdot 10^{-7} E e l / \mu \quad (cm/sec) \quad -- (41-2)$$



الكمية  $v_e/E$  في بعض الاحيان تدعى بالتحركية للالكترونات [11]، ولكن يجب دائما ان نتذكر بان التحركية هي ليست ثابتة وانما هي دالة ل  $E$  بسبب كون  $l$  و  $u$  تعتمد على  $E$ . وبالتعويض عن قيمة  $v_e$  في معادلة (2-41) سوف نحصل على قيمة  $j_e$  [4]:

$$j_e = 0.815 \cdot 10^{-7} E n_e e^2 l / \mu \quad (\text{A/cm}^2) \quad \text{-- (2-42)}$$

ان الكمية  $j_e/E$  يطلق عليها الموصلية للغاز بسبب الالكترونات وهي ايضا تكون دالة للمجال الكهربائي [4].

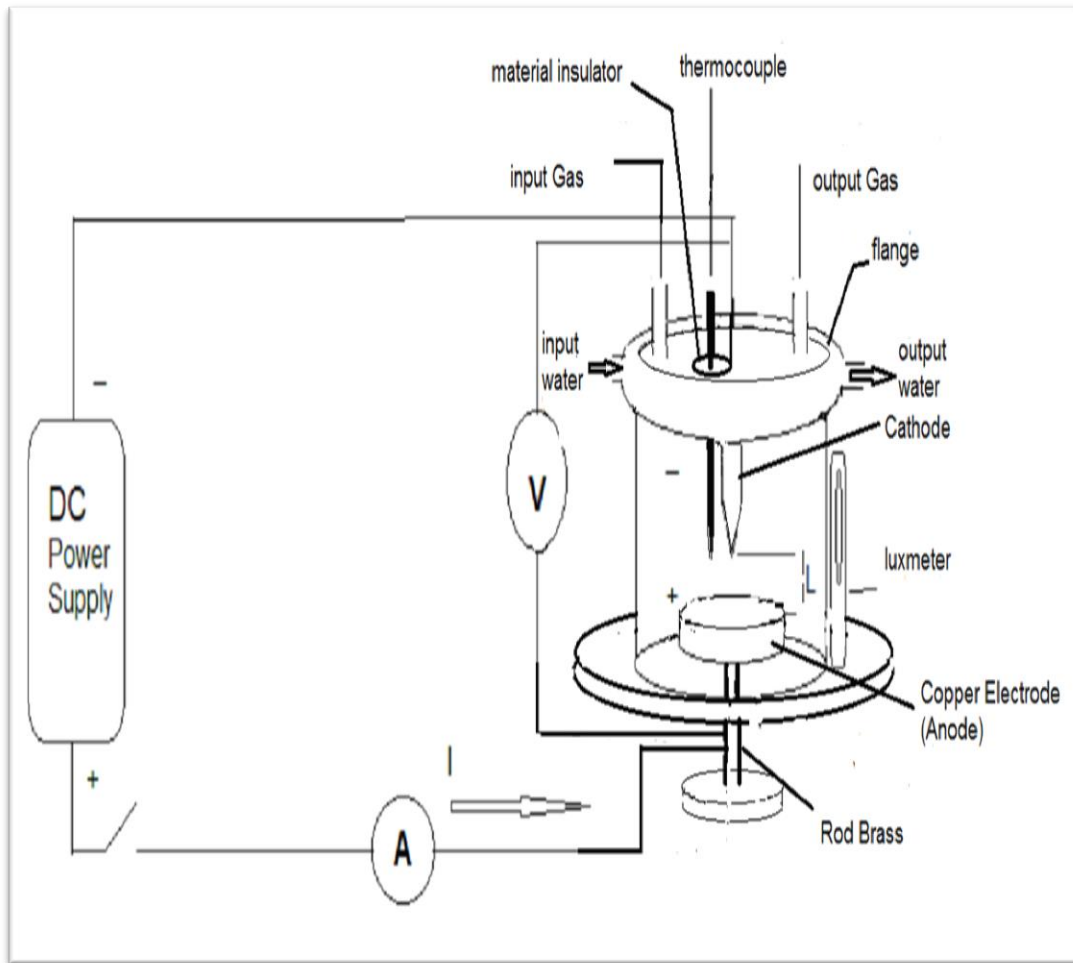
الفصل الثالث

الجزء العملي

## Introduction

## 1-3-المقدمة

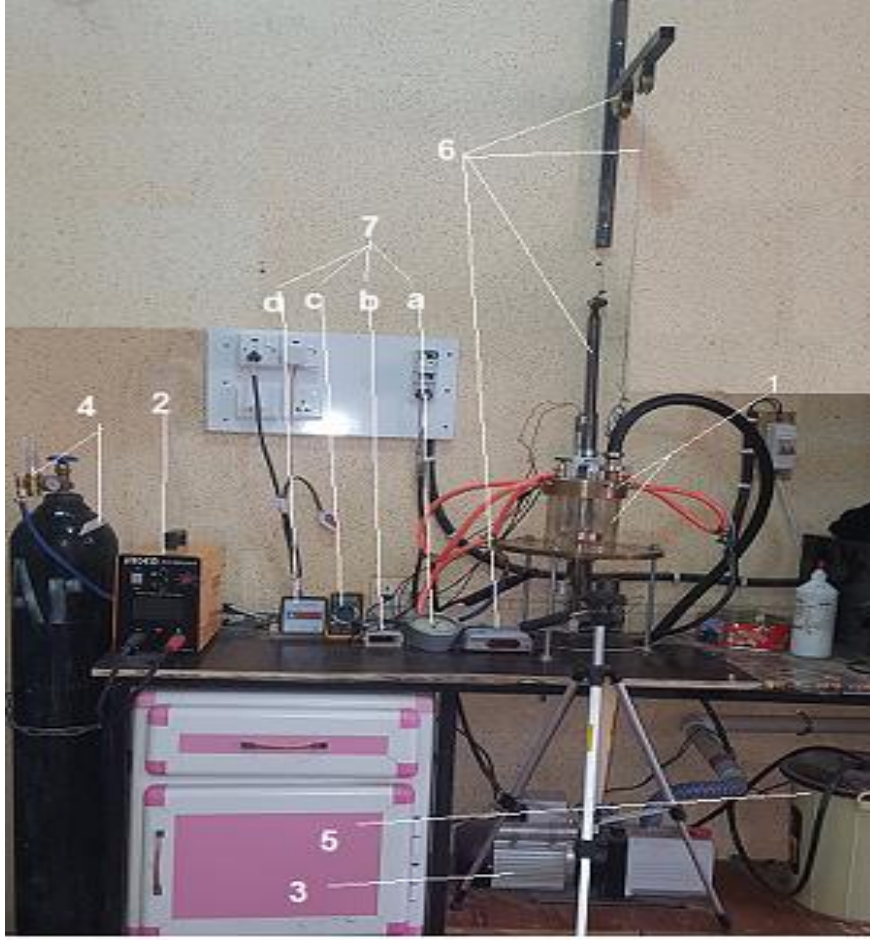
في هذا الفصل سوف يتم تقديم عرض تفصيلي لمنظومة التفريغ القوسي للتيار المستمر المستعملة لدراسة خواص التفريغ القوسي لمواد مختلفة لمادة الاقطاب . حيث تم استخدام نوعين من الغازات Ar ، CO<sub>2</sub> لتوليد البلازما في هذه المنظومة . سوف يشمل العرض التفصيلي الوصف الدقيق لمكونات المنظومة ، التي تشمل كل من حجرة المنظومة ، مجهر القدرة ، منظومة التفريغ واجهزة القياس المستخدمة في هذه المنظومة ( كما موضح بالشكل (1-3) ).



الشكل (1-3) يبين مخطط لاجزاء حجرة التفريغ القوسي

## 2-3-مكونات المنظومة

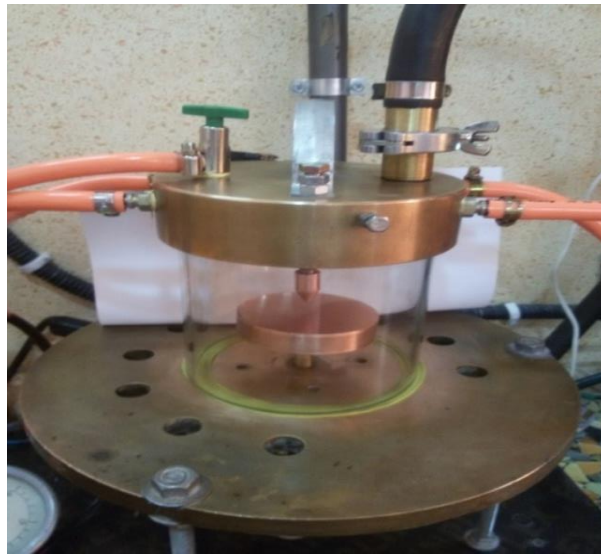
في هذا الجزء سوف يتم تقديم وصف لاجزاء هذه المنظومة والموضحة في الشكل (2-3).



الشكل (2-3) يبين صورة لاجزاء منظومة التفريغ القوسي

### 3-2-1-حجرة التفريغ القوسي

الشكل (3-3) يوضح صورة فوتوغرافية لحجرة منظومة التفريغ والتي تشتمل الاجزاء التالية:



الشكل (3-3) صورة لحجرة التفريغ

## Cylindrical glass

## a-1-2-3- الاسطوانة الزجاجية

ان الاسطوانة الزجاجية لـحجرة التفريغ المصنوعة من مادة زجاج البيركس بقطر 15cm وطول 14.154cm وبسمك 5mm. وهذه ملائمة للاغراض العملية من حيث نوعيتها وكبر قطرها مما يجعلها بعيدة عن القوس المشتعل وتأثيراته.

## Flange

## b-1-2-3- شفة الربط العليا(فلنجة)

تكون مصنوعة من البراص (Brass) على هيئة قرص دائري قطرها الخارجي 17.5cm وسمكها الخارجي 4.38cm، يحتوي على تجويف في احدى جهاته و في اطراف ذلك التجويف اخدود دائري لوضع حلقة مطاطية تستند عليه الاسطوانة الزجاجية داخل التجويف لزيادة احكام الفراغ ، وحماية الاسطوانة من التهشم اثناء وضع شفة الربط عليها. والقرص فيه ثقبان جانبيين مسننان احدهما صغير لتثبيت الصمام المشترك للغاز ومقياس الضغط ، والثقب الاخر واسع لتثبيت صمام انبوية مضخة التفريغ ، كما يوجد في شفة الربط ثقب في مركز التجويف وهو مسنن وواسع قطره تقريبا" 2.1cm لتثبيت قطب الكاثود بشفة الربط ، كما يوجد ثقب جانبي ثالث في شفة الربط معزول كهربائيا" لغرض ادخال المزدوج الحراري . وهناك يوجد ثقبان جانبيين اضافيان في شفة الربط يمتدان الى الطرف الاخر لغرض تبريد شفة الربط وبالتالي يبريد قطب الكاثود. ويوجد في شفة الربط حاملة حديدية مثبتة بمسمارين محوريين لغرض ربط شفة الربط بالرافعة. وكتلة شفة الربط بدون ملحقات حوالي 10kg والشكل (4-3) a، b يبين صورة فوتوغرافية عمودية و جانبية للفلنجة وصورة جانبية لها



الشكل (4-3) يبين صورة عمودية وجانبية لشفة الربط العليا

### c-1-2-3 - شفة الربط (فلنجة) السفلى

وتكون على شكل قرص دائري مصنوع من البراص قطرها 34cm وسمكها 1.35cm تحتوي على ثقب مركزي اضافة الى مجموعة ثقوب جانبيه الثقب المركزي مسنن يتصل به ساق من البراص ليكون منظومة متحركه متكامله تعتبر اساسيه لتغيير الابعاد بين الاقطاب وهذه شفة الربط ترتكز على ثلاثة سيقان من الحديد لغرض تثبيتها وتقليل الحركه الاهتزازيه الناجمه عن تشغيل مضخة التفريغ بحيث ان هذه السيقان مثبتة على منضدة خشبية .

### d-1-2-3 - حلقة رقيقة مطاطية

حيث تكون وظيفة هذا الحلقة احكام الفراغ وللتقليل من خطر تحطم الزجاجه وتهشمها وعزل الزجاجه حراريا" قدر الامكان عن شفة الربط السفلى درجة انصهار هذا الحلقة عاليه.

### e-1-2-3 - ساق البراص

وظيفة هذه الساق هي لتوصيل شفة الربط العليا بالكاثود وتكون احدى نهاياتها مسننه والاخرى مجوفه داخلها مسنن

### Cathode

### f-1-2-3-الكاثود

ويكون شكله اسطواني ونهايته مخروطية أن زاوية رأس المخروط تكون حوالي 60° ، النهاية الاخرى للساق الاسطواني تكون مسننه لغرض توصيله بالساق المصنوعه من البراص ومن ثم توصيله بشفة الربط العليا طول هذا الكاثود من النهاية رأس المخروط الى بداية التسنين حوالي 4.5cm وقطره حوالي 1.5cm ، وقد تم تشكيل الكاثود من اربع مواد وهي النحاس(Copper) والبراص( Brass) و الحديد (Iron)والفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless steel) كما موضح في الشكل(3-5)

### Anode

### g-1-2-3- الانود

يكون الانود هنا على هيئة قرص دائري مصنوع من مادة النحاس قطره 8.6cm وسمكه 1.8cm تكون احدى جهاته ملساء والاخرى تحتوي على مسمار محوري يقع في مركزه، كما موضح في الشكل (3-6) ان الغرض الرئيسي من المسمار المحوري هو تثبيت الانود على ساق البراص المتحرك لتغيير المسافة بينه وبين الكاثود .



الشكل (5-3) صورة للكاثود من مواد مختلفة



الشكل (6-3) يبين صورة قطب الانود

### Power supply

### 2-2-3- جهاز القدرة

استعملنا جهاز قدرة يعطي تيارا "عاليا" welding من شركة انجيكو INGCO مدى التيارات المجهزه بحدود 10A - 200A و بفولتية تصل الى 62V هو ملائم لظروف العمل .

### Vacuum pump

### 3-2-3- مضخة التفريغ

تم استخدام مضخة تفريغ ميكانيكية (Rotary Pump) نوع TRIVAC D16B يمكنها تفريغ الى ضغوط اقل من 1torr وهي مناسبة لظروف العمل .

### Gas cylinder

### 4-2-3- اسطوانة غاز

استعملنا اسطوانتين لنوعين من الغازات CO<sub>2</sub> و Ar مع العلم ان كل اسطوانه تحتوي على صمام للتحكم بمقدار تدفق الغاز الى حجرة التفريغ

### Water pump

### 5-2-3- مضخة ماء

استعملنا في هذا البحث مضخة ماء معدل تدفق الماء خلالها 1400L/h لغرض دفع الماء الى شفة الربط العليا متصلة معها عن طريق مجموعة من الانابيب من حجرة التفريغ وبالتالي تيم تقليل الحمل الحراري الناتج عن التفريغ القوسي

### Crane

### 6-2-3- الرافعه

حيث ان هذه الرافعة قما بتحويلها من محرك كهربائي يتحرك باتجاهين متعاكسين ،استعملنا رافعه لرفع شفة الربط العليا من حجرة التفريغ و تتكون هذه الرافعه من جهاز السيطره للتحكم في اتجاه حركة المحرك لرفع او انزال شفة الربط والمحرك وبكرتين معلقتين في الجدار بحامل حديدي وسلك شعري من الفولاذ يتحمل قوة سحب اكثر من 500N ،

### Measurement Devices

### 7- 2-3- أجهزة القياس

### 7-2-3-a- مقياس الضغط

تم قياس الضغط بمقياس ضغط نوع (SPEEDIVAC G.G.3) الذي يقيس الضغوط (1Torr- 20Torr) وهو ملائم لتجربتنا هذه حيث يتم تفريغ الهواء من حجرة التفريغ حتى تصل قيمة الضغط اقل من 1Torr ثم يتم ضخ غاز العمل Ar او CO<sub>2</sub>



### Thermocouple

### b-7-2-3- المزودج الحراري

حيث استخدمنا في هذا البحث مزودج حراري نوع k مدى قياسات درجات الحرارة له (273K – 1533K) والشكل (7-3)a يبين صورة لذلك المزودج و القارىء الرقمي المتصل مع المزودج الحراري موضح في الشكل(7-3)bمن نوع Yangming 991 حيث يمكنه تسجيل درجات الحرارة من 273K الى 1573K .



a

b

الشكل(7-3) صور للمزودج الحراري والقارىء الالكتروني

### Digital avometer

### c-7-2-3- افوميتر رقمي

حيث تم قياس فرق الجهد بين الكاثود والانود باستخدام افوميتر رقمي تم ضبطه لقياس فرق جهد المستمر من مديات (200V-1V) .

### Digital ammeter

### d-7-2-3- اميتر رقمي

تم استخدام اميتر رقمي للتيار المستمر اقصى حد لقياساته 400A

### Auto Digital Luxmeter

### e-7-2-3 - مقياس شدة الضوء رقمي

حيث تم قياس شدة الضوء الذي يبعثه التفريغ القوسي باستعمال مقياس رقمي مدى قياساته-0.1) (50000 Lux ويوضع على مسافة 7.5cm من قمة الكاثود وهو موضح في الشكل (8-3)



الشكل (8-3) يبين صورة مقياس الضوء الرقمي

### Experimental Processes

### 3-3- الظروف التجريبية

في هذا الجزء من العمل ، سوف يتم عرض تفصيلي لألية العمل الواجب اتخاذها قبل وبعد عملية اخذ القياسات

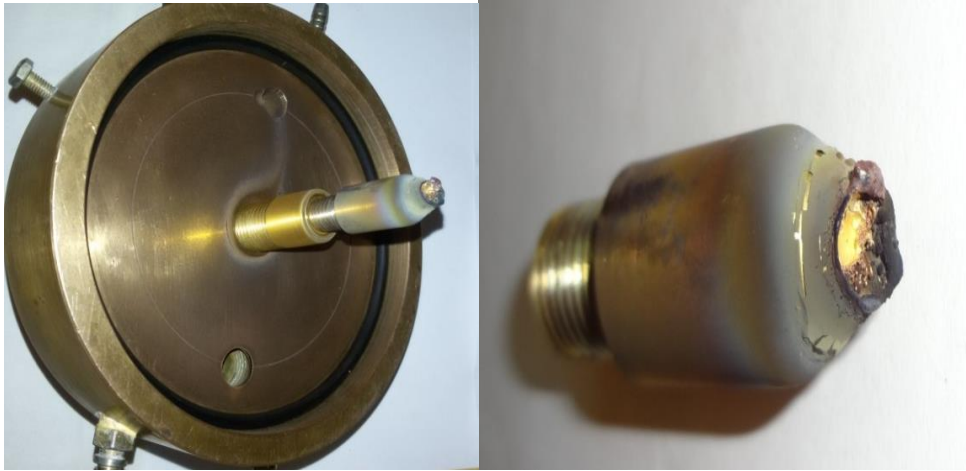
### 3-3-1- الية تنظيف الكاثود

بسبب مرور تيارات عالية وتوليد التفريغ القوسي (Arc discharge) بين الاقطاب الكهربائية مما يؤدي الى تسبب تآكل قطب الكاثود بفعل التفريغ القوسي (Arc discharge) لذا فهناك جملة من الاجراءات الواجب اتخاذها بعد كل عملية تشكيل لقطب الكاثود . حيث يتم صقل قطب الكاثود باستخدام الة الصقل ومن ثم تنعيمه باستخدام اوراق التنعيم ومن ثم يتم تنظيفه باستخدام الكحول المركز (معدل النقاوة 96% ) . الشكل (9-3) يبين صورة فوتوغرافية لقطب الكاثود.

### Working gas

### 2-3-3-غاز العمل

في هذا العمل تم استخدام نوعين مختلفين من الغازات هما  $CO_2$  و  $Ar$  حيث أنّ الغازين مختلفان في العديد من الخواص وتبين ان لكل نوع من الغاز خصائص قوس خاصه به من حيث التيار والفولطيه و الشده ودرجة الحرارة والطيف وقطر القوس وسرعة تآكل الكاثود وكمية المواد المترسبه في حجرة التفريغ

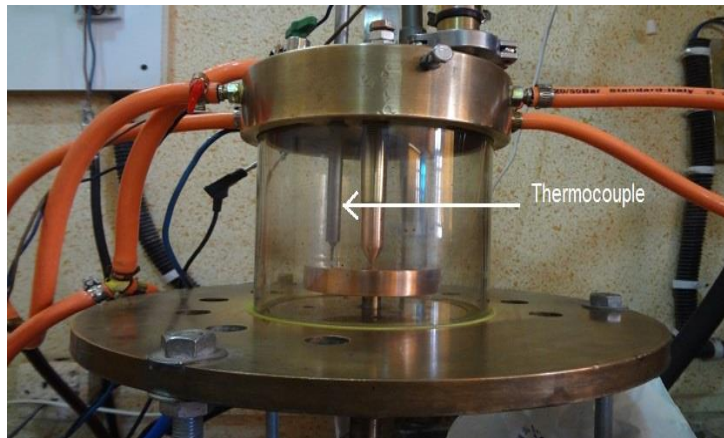


الشكل(3-9) صورة فوتوغرافية تبين شكل الكاثود بعد عملية التفريغ القوسي بين الاقطاب المعدنية

### Thermocouple

### 3-3-3-المزدوج الحراري

تم استخدام المزدوج الحراري داخل حجرة التفريغ لقياس درجة حرارة الغاز داخل حجرة التفريغ. تم تثبيت هذا المزدوج في شفة الربط العليا وعلى مسافة قريبة من الانود . الشكل (3-10) يبين تركيب المزدوج الحراري داخل حجرة التفريغ.



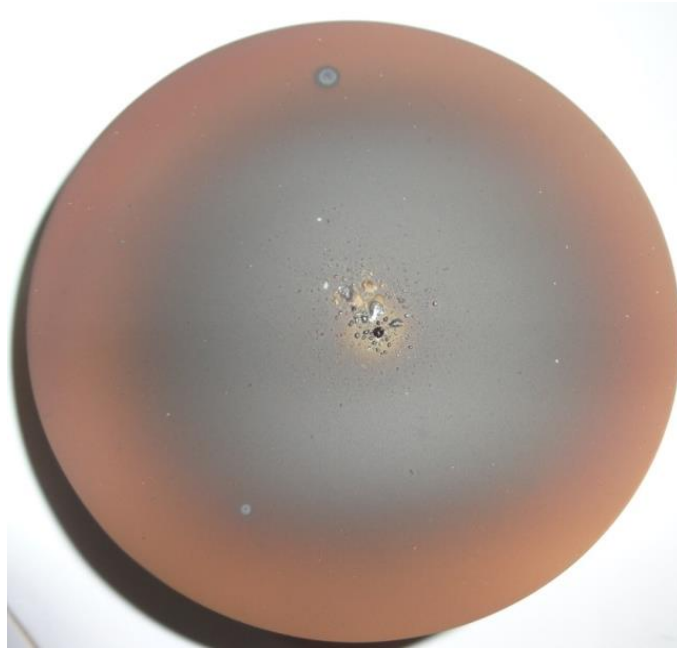
الشكل (3-10)صورة للمزدوج المستعمل داخل حجرة التفريغ

### 3-3-4- الية تصوير التفريغ القوسي

تم تصوير غرفة التفريغ القوسي (Arc discharge) لكلا الغازين باستخدام كاميرا نوع sony . حيث تم تثبيت هذه الكاميرا على مسند بحيث كانت المسافة بين عدسة الكاميرا وحجرة التفريغ بحدود 30cm للحصول على افضل صورة للتفريغ القوسي .

### 3-3-5 الية ازالة الرواسب الناتجة من التفريغ القوسي

بسبب تولد التفريغ القوسي بين الاقطاب وبسبب ارتفاع درجة حرارة الاقطاب بفعل هذا التفريغ مما يؤدي الى حدوث ترسبات ناتجة عن تبخير مادة الاقطاب لذا وكأجراء عملي تم تنظيف هذه الاقطاب وبشكل دوري بعد كل عملية تولد لتفريغ القوسي . حيث تتم عملية التنظيف عن طريق تنعيم الاقطاب الكهربائية للتخلص من الترسبات على سطوح الاقطاب بواسطة استخدام ادوات التنعيم (اوراق صنفرة) ومن ثم تنظيفها بواسطة الكحول النقي . الشكل (3-11) يبين صورة فوتوغرافية للانود بعد تولد التفريغ القوسي . في هذا العمل تم استخدام الة رقع محلية الصنع تتكون من محرك كهربائي يتصل بذراع معدني يتم التحكم به بجهاز السيطرة المتصل به . يتصل بالذراع سلك شعري من الفولاذ يلف حول بكرتين مثبتتين بساق حديدية من الاعلى . ففي نهاية هذا السلك كلاب متصل بشفة الربط العليا لغرض تحريك الشفة للاعلى والاسفل .



الشكل (3-11) صورة تبين ترسب مادة الكاثود المنصهره على سطح الانود بسبب التفريغ القوسي

### 3-3-6- عملية تبريد شفة الربط العليا

استخدام مضخة ماء في عملية تبريد شفة الربط العليا وذلك عن طريق توصيل المضخة بانابيب بلاستيكية تقوم بادخال الماء البارد الى شفة الربط عن طريق ثقبين داخلها .

### Steps Work

### 3-4- خطوات العمل

سوف يتم سرد تفصيلي لخطوات العمل الواجب اتباعها والتي يمكن تلخيصها بالشكل التالي :

1-تفرغ حجرة القوس الكهربائي من الهواء الى ضغط اقل من (1torr) باستخدام منظومة تفريغ Rotary pump

2-يتم ضبط او تصفير المسطرة لقياس المسافة المطلوب

3-بعد تفريغ حجرة المنظومة عند ضغط معين يتم دخول غاز للحصول على التفريغ القوسي بين الاقطاب

4-يتم تشغيل مضخة التبريد بلماء لتبريد حجرة المنظومة والاقطاب.

5-يتم توليد تفريغ القوسي عن طريق تسليط جهد كهربائي بين الاقطاب الكهربائية .

6-تتم تهيئة الكاميرا على مسافة مناسبة مسافة تعتم حجرة التفريغ واخذ صورة للقوس عند الظروف المطلوبه ، بحيث تأخذ لقطة للقوس لكل ضغط مع تسجيل مقدار التيار ومقدار الفولطيه لتلك الصورة وكذلك تأخذ صورة للقوس لكل مسافة بين الكاثود والانود مع تسجيل مقدار التيار والفولطيه

7-وضع مقياس شدة الضوء على مسافة ثابتة من حجرة التفريغ ويتم تسجيل شدة الضوء لكل قوس متولد

8-تتم عملية تسجيل التيار المار وفرق الجهد والضغط ودرجة الحرارة التي يسجلها المزودج الحراري و التيار الذي يجهزه المصدر

9-اعادة تشكيل الكاثود وازالة الرواسب المتولدة من التفريغ القوسي

10-تعاد الخطوات من 1 الى 9 لغاز Ar و CO<sub>2</sub> ولكل نوع من مواد الكاثود

**الفصل الرابع**  
**النتائج والمناقشة**

## 4-1-1 المقدمة

## Introduction

يتضمن هذا الفصل دراسة تأثير كل من ضغط الغاز ، نوع الغاز ، المسافة بين الاقطاب والمادة المصنوع منها قطب الكاثود على خواص قوس الاشتعال الحر المتضمنة (التيار (I) ، الفولطية (V) ، المجال الكهربائي (E) ، كثافة التيار الكهربائي (J)، التوصيلية الكهربائية ( $\sigma$ ) ، شدة الاضاءة التفريغ ، درجة الحرارة قرب الكاثود). وكذلك سيثمل هذا الفصل دراسة تأثير مادة القطب ونوع الغاز (Ar ، CO<sub>2</sub>) على تآكل مادة الاقطاب الكهربائية .

## 4-2-2 تأثير الضغط

## Effect of pressure

حيث وجدنا ان تغير الضغط له تأثير على خواص التفريغ القوسي مثل التيار ، الفولطية ، القدرة المجال الكهربائي ، كثافة المجال الكهربائي ، التوصيلية الكهربائية ، شدة الاضاءة ، درجة الحرارة قرب الكاثود.

## 4-2-1-1 تأثير الضغط على تيار تفريغ القوس الكهربائي

## Effect Of Pressure on the arc current discharg

## Argon gas

## 4-2-1-a-1 غاز الاركون

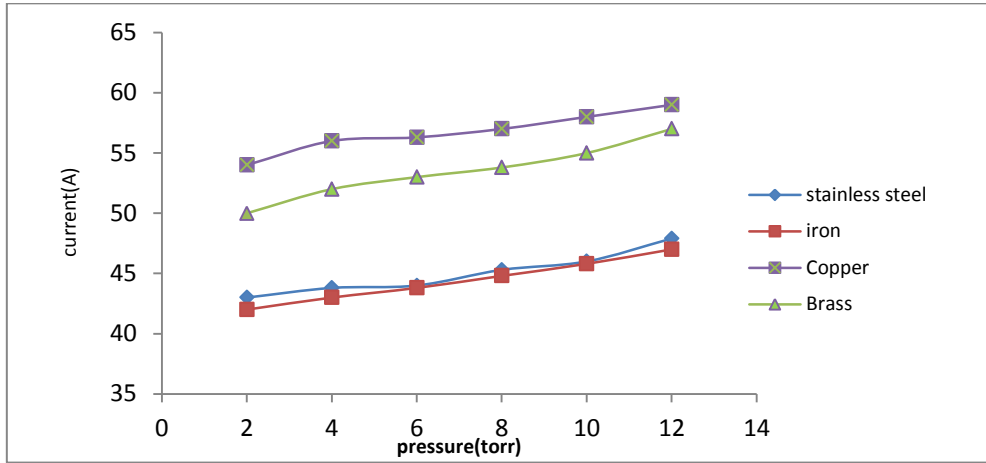
الشكل (1-4) يبين تأثير مادة قطب الكاثود على العلاقة بين تيار التفريغ القوسي وضغط غاز الاركون. فمن الشكل يتضح بأن تيار التفريغ القوسي يزداد بزيادة ضغط غاز الاركون ولكل مواد قطب الكاثود. والسبب يعود لكون بزيادة ضغط الغاز سوف تزداد التصادمات بين ذرات الغاز وبالتالي سوف يزداد التأين مما يسبب في زيادة تيار التفريغ القوسي . وكما تبين نتائج الشكل بأن زيادة التيار مع زيادة الضغط يكون اعلى في حالة استخدام قطب من مادة النحاس ، من مادة البراص ، ومن ثم الحديد المطاوع ومن ثم الحديد . والسبب يعود لكون دالة الشغل للكاثود اقل من بقية المواد. فكلما قلت دالة الشغل للمعدن يزداد انبعاث الالكترونات من سطح المعدن مما يؤدي الى زيادة تيار التفريغ القوسي .

## CO<sub>2</sub> gas

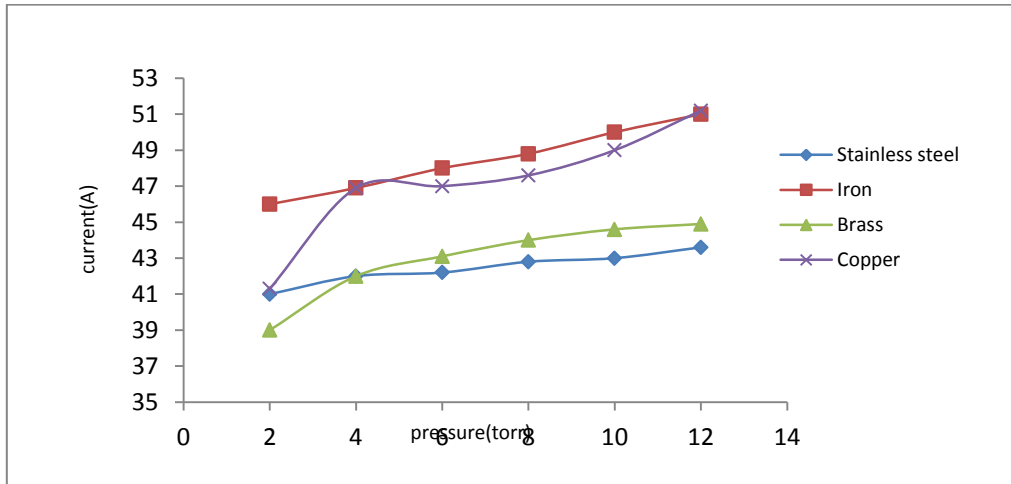
## 4-2-1-b غاز ثنائي اوكسيدالكاربون

الشكل (2-4) يوضح تأثير مادة القطب على علاقة بين تيار التفريغ القوسي كدالة لزيادة ضغط غاز CO<sub>2</sub> . فقد بينت النتائج أن لجميع مواد القطب يزداد تيار التفريغ القوسي بزيادة ضغط غاز CO<sub>2</sub> ، وذلك بسبب ان زيادة ضغط الغاز سوف تزداد التصادمات وبالتالي سوف تؤدي الى زيادة تيار التفريغ

القوسي . كما بينت النتائج ان لدالة الشغل للمادة المصنوع منها الاقطاب تأثير على قيمة تيار التفريغ القوسي . فكلما قلت دالة شغل المعدن ازداد تيار التفريغ بسبب زيادة انبعاث الحراري للالكترود من سطح المعدن .بالاضافة الى ذلك ، وعند مقارنة الشكلين (1-4) و (2-4) يتضح بأن تيار التفريغ القوسي يكون كبير في حالة كون غاز التفريغ هو غاز الاركون مقارنة مع زيادة التيار في حالة كون غاز التفريغ هو  $CO_2$  . والسبب يعود الى زيادة المقطع العرضي للقوس في حالة غاز الاركون وهذا يتفق مع النتائج التي حصل عليها الباحث [68] H.J.Lee.



الشكل (1-4) يمثل العلاقة بين تيار التفريغ القوسي كدالة لضغط غاز Ar لكافة الاقطاب عند مسافة فاصلة بين الاقطاب 2mm



الشكل (2-4) يبين العلاقة بين تيار التفريغ القوسي كدالة لضغط غاز  $CO_2$  عندما تكون المسافة الفاصلة بين الاقطاب 2mm



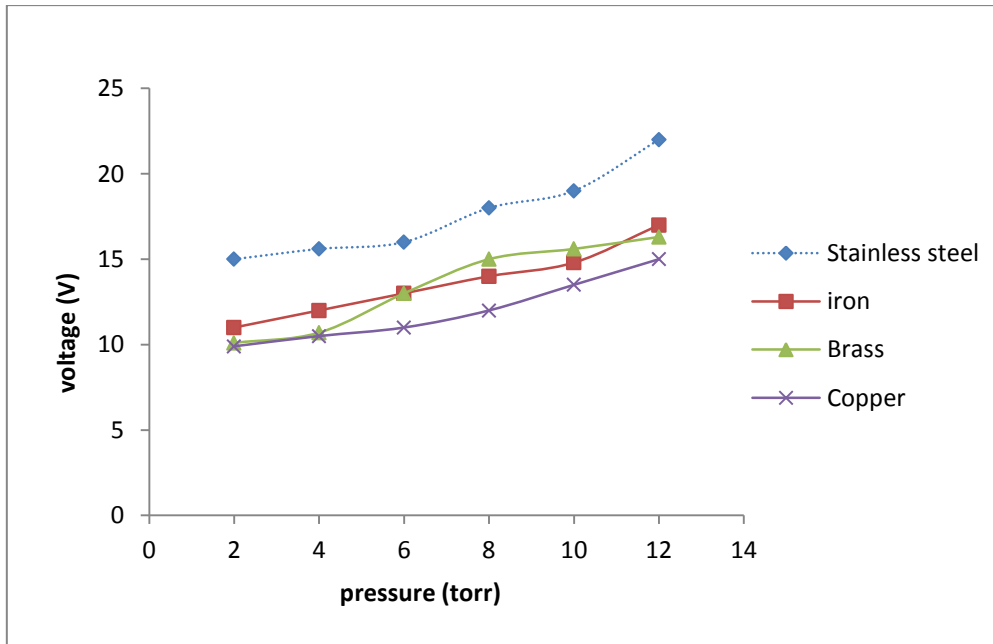
#### 2-2-4-2- تأثير الضغط على الفولطية التفريغ

### Effect of Pressure on the discharge voltage

#### Argon gas

#### 2-2-4-a- غاز الاركون

الشكل (3-4) يبين تأثير نوع مادة القطب على العلاقة بين فولطية التفريغ وضغط غاز الاركون عند مسافة فاصلة 2mm بين القطبين ، فمن الشكل يتضح بأن فولطية التفريغ تزداد مع زيادة ضغط الغاز لكل المعادن . وان معدن النحاس يمتلك اقل فولطية بسبب امتلاكه على تيار تفريغ . وان معدن الحديد المقاوم يمتلك اعلى زيادة بالفولطية مع زيادة ضغط الغاز من مادة الحديد ومن ثم البراص ومن ثم النحاس . ان هذا التفاوت بين قيمة فولطية التفريغ مع التيار بسبب كون هنالك تفاوت بدالة الشغل بين المعادن .



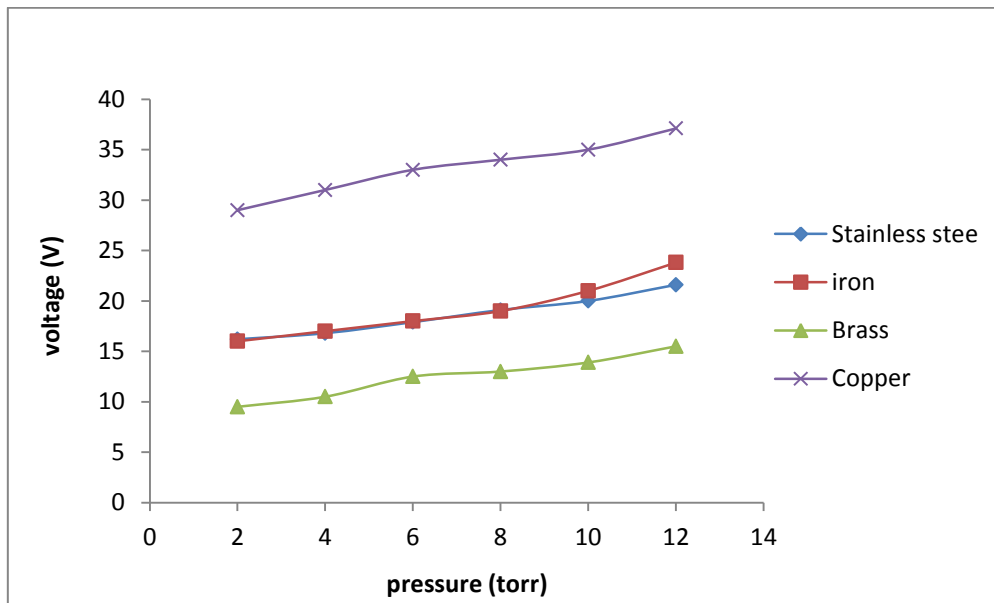
الشكل (3-4) يبين تأثير نوع مادة القطب على العلاقة بين فولطية التفريغ وضغط غاز الاركون عند مسافة فاصلة بين الاقطاب 2mm.

#### CO<sub>2</sub> gas

#### b-2-2-4- غاز ثنائي اوكسيد الكربون

الشكل (4-4) يوضح تأثير الضغط على الفولطية في التفريغ القوسي لغاز CO<sub>2</sub> لكافة الاقطاب المستعملة لصناعة الكاثود عند مسافة فاصلة 2mm ، حيث لاحظنا عند تغيير الضغط تتغير الفولطية والعلاقة هي علاقة طردية لكافة الاقطاب ايضا" كما هو الحال في غاز الاركون وقد لاحظنا بأن تغيير

الفولطية في النحاس مع الضغط يكون عالي مقارنة مع باقي الاقطاب وان تغير الفولطية للحديد والحديد المقاوم تقريبا" متساوي وذلك لتقارب دالتي الشغل للمادتين تقريبا" اما البراص فيكون مقدار الفولطية قليل وتغيرها يكون قليل مقارنة" بباقي المواد.وان مقدار الفولطية في حالة غاز ثنائي اوكسيد الكربون عالي بسبب تكون رواسب على الاقطاب ناتجة عن تفكك غاز ثنائي اوكسيد الكربون وتآكل مادة القطب والذي قد يكون سبب اخر لزيادة الفولطية بسبب زيادة الفجوة الناتجة عن التآكل ، في الغازين نلاحظ ان الفولطية تزداد مع زيادة ضغط الغاز وهذا يتفق مع نتائج التي حصل عليها الباحث H.J.Lee [68].



الشكل (4-4) يبين تأثير مادة القطب على العلاقة بين فولطية التفريغ وضغط غاز CO<sub>2</sub> عند مسافة فاصلة 2mm

#### 4-2-3- تأثير ضغط الغاز على درجة الحرارة الغاز قرب الكاثود

### Effect of gas pressure on the gas temperature near the cathode

#### Argon gas

#### 4-2-3-a- غاز الاركون

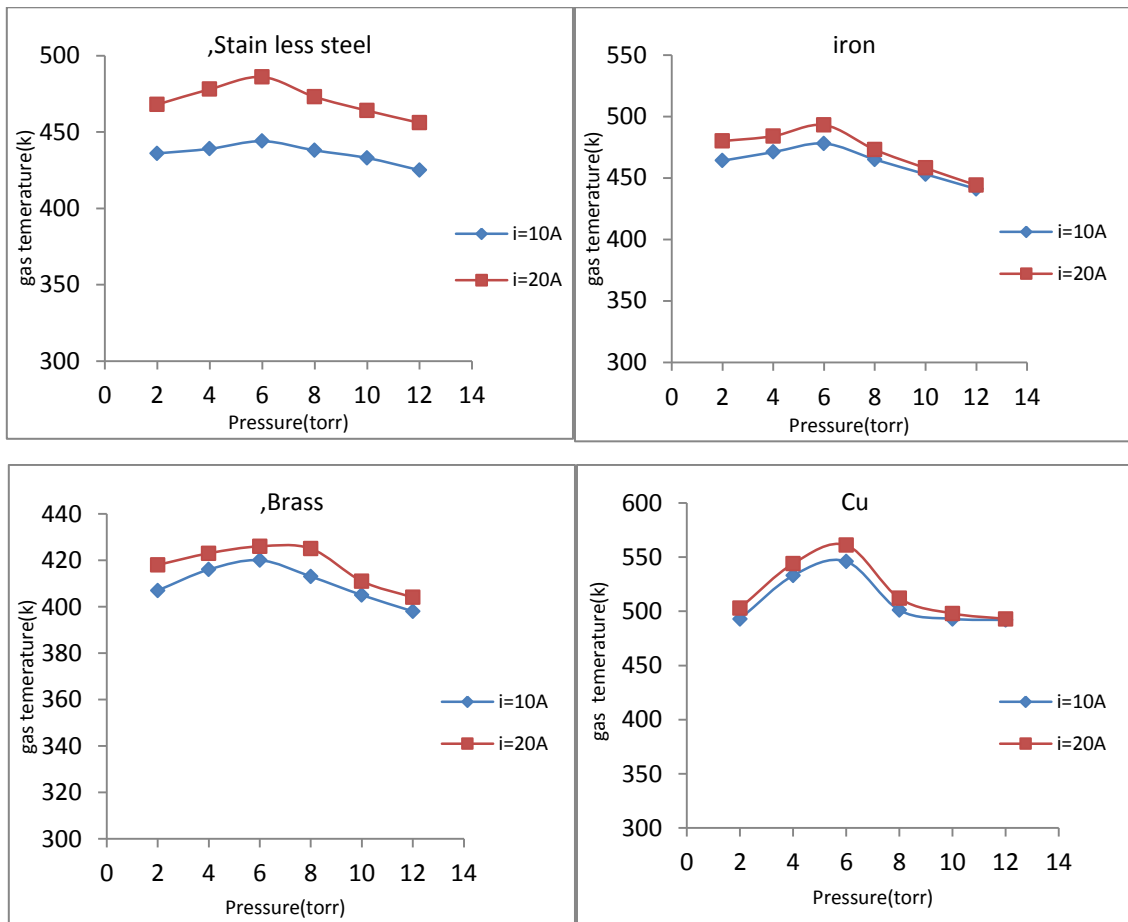
الشكل (4-5) يبين العلاقة بين درجة الحرارة الغاز قرب الكاثود مع ضغط غاز الاركون عند معادن مختلفة لمادة الاقطاب . فقد بينت النتائج بأن زيادة ضغط الغاز سوف يسبب زيادة في درجة حرارة الغاز قرب الكاثود ومن ثم تناقص تدريجي لدرجة الحرارة بزيادة الضغط . ان مقدار الزيادة لدرجة الحرارة بزيادة ضغط الغاز يعزى الى ثبوت كثافة الغاز وبالتالي فسوف تزداد درجة حرارة

الغاز مع زيادة ضغط الغاز وهذا يتفق مع النتائج التي حصل عليها الباحث R.Monno [69]. اما سبب قلة درجة حرارة مع زيادة الضغط عند الضغوط العالية جدا" سوف تزداد كثافة جسيمات المتعادلة وبالتالي يزداد الحمل الحراري بعيداً عن المزدوج الحراري .

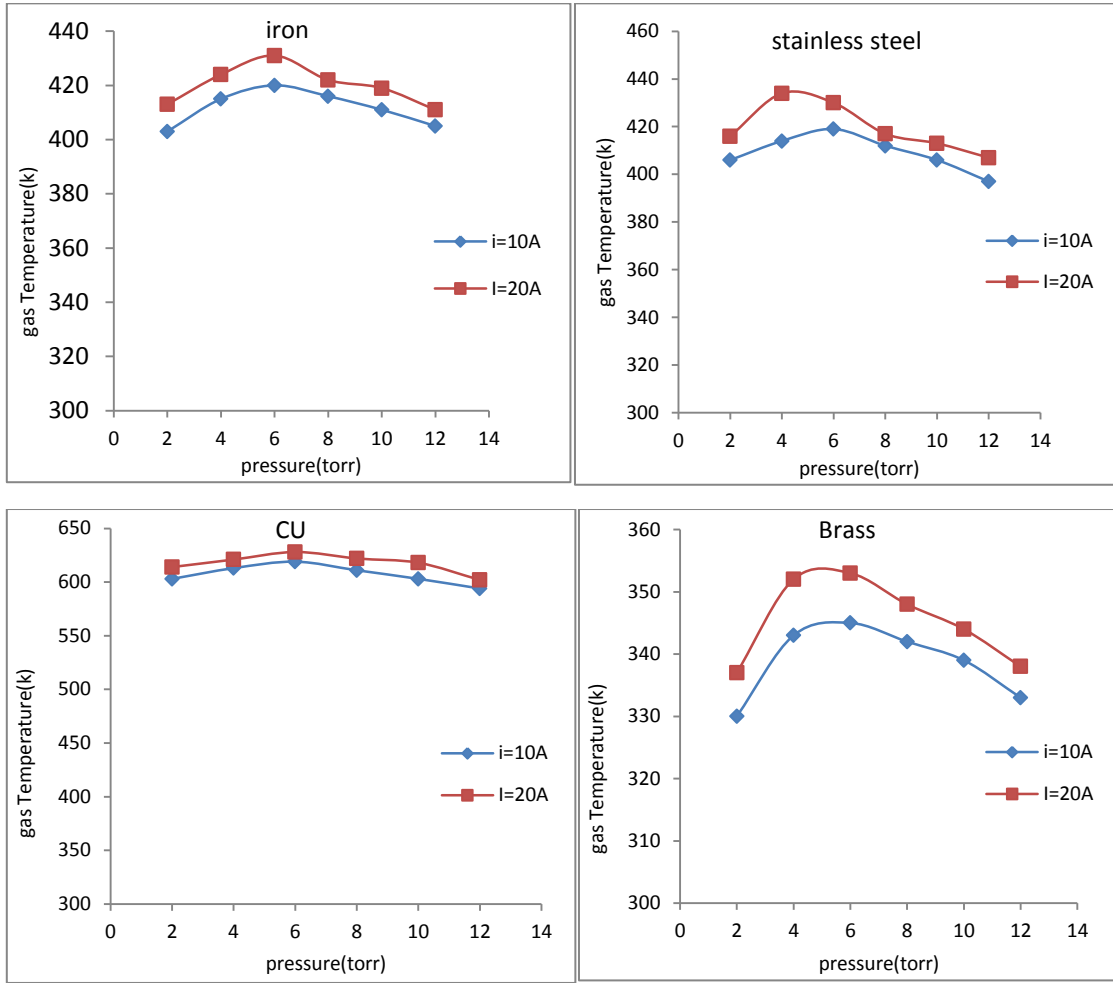
## CO<sub>2</sub> gas

## b-3-2-4 - غاز ثنائي اوكسيد الكربون

يمثل الشكل (6-4) مخطط يبين العلاقة بين درجة الحرارة الغاز قرب سطح الكاثود وضغط غاز CO<sub>2</sub> لكافة الاقطاب المستعملة بينت النتائج بان درجة حرارة الغاز تبدأ بالارتفاع مع زيادة الضغط ثم تبدأ بالهبوط لكافة الاقطاب كما في حالة غاز الاركون .



الشكل (5-4) يبين تأثير كل من نوع مادة القطب وتيار المسلط على العلاقة بين درجة حرارة الغاز وضغط غاز الاركون عند مسافة فاصلة 1mm



الشكل (4-6) يبين تأثير كل من نوع مادة القطب وتيار المسط على العلاقة بين درجة حرارة الغاز وضغط غاز  $CO_2$  عند مسافة فاصلة 1mm

#### 4-2-4- تأثير الضغط على شدة الضوء المنبعث من التفريغ القوسي:

### Effect of gas pressure on the emission light intensity from Arc discharge

#### Argon gas

#### 4-2-4-a- غاز الاركون

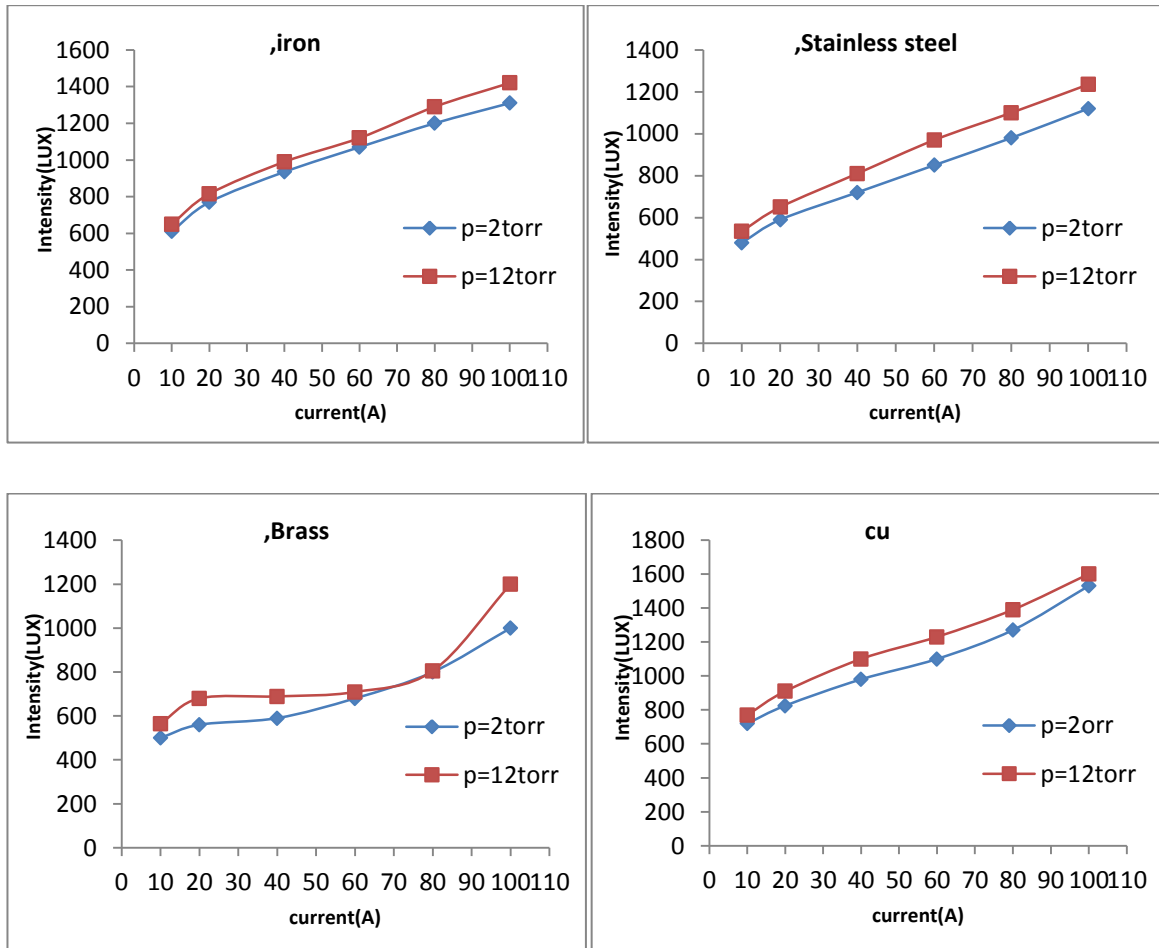
يمثل الشكل (4-7) العلاقة بين شدة الضوء المنبعث من الاقطاب والضغط لغاز الاركون وقد تبين بان شدة الضوء تزداد بزيادة الضغط لكافة الاقطاب المستعملة وسبب ذلك هو زيادة عدد الذرات المثارة بسبب زيادة التصادمات التي تحدث ما بين ذرات الغاز والالكترونات وكذلك نلاحظ زيادة الشدة مع زيادة التيار بسبب زيادة عدد الالكترونات وبالتالي زيادة التصادمات التي تحدث وبالتالي زيادة عدد الذرات

المثارة والتي تستقر بانبعث طاقة كهرومغناطيسية ( فوتونات ) .وهذا يتطابق مع النتائج التي حصل عليها الباحث Y.Cressault [70].

## CO<sub>2</sub> gas

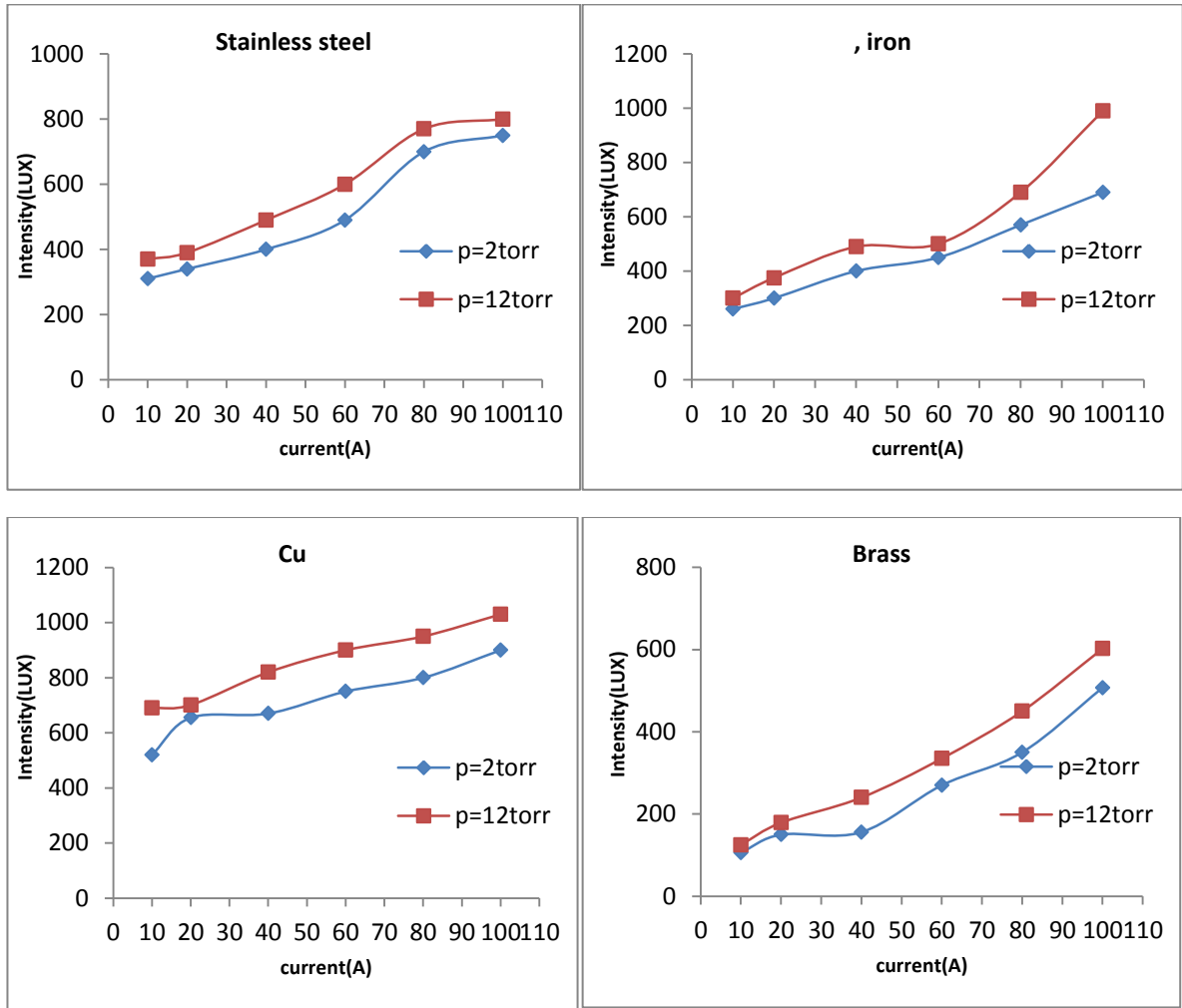
## b-4-2-4 - غاز ثنائي اوكسيد الكربون

الشكل (8-4) يمثل تأثير نوع مادة القطب على العلاقة بين التيار الكهربائي والشدة لضغطين مختلفين لغاز CO<sub>2</sub> وهنا نلاحظ ايضا" بان الشدة تزداد مع زيادة الضغط والتيار ولكن الشدة هنا تكون اقل مقارنة مع غاز الاركون بسبب كون التيار الكهربائي اقل بالمقارنة مع غاز الاركون



الشكل(7-4)يبين تأثير ضغط غاز الاركون على شدة الضوء المنبعث من التفريغ القوسي لمواد مختلفة لمادة القطب وعند

مسافة فاصلة 1mm



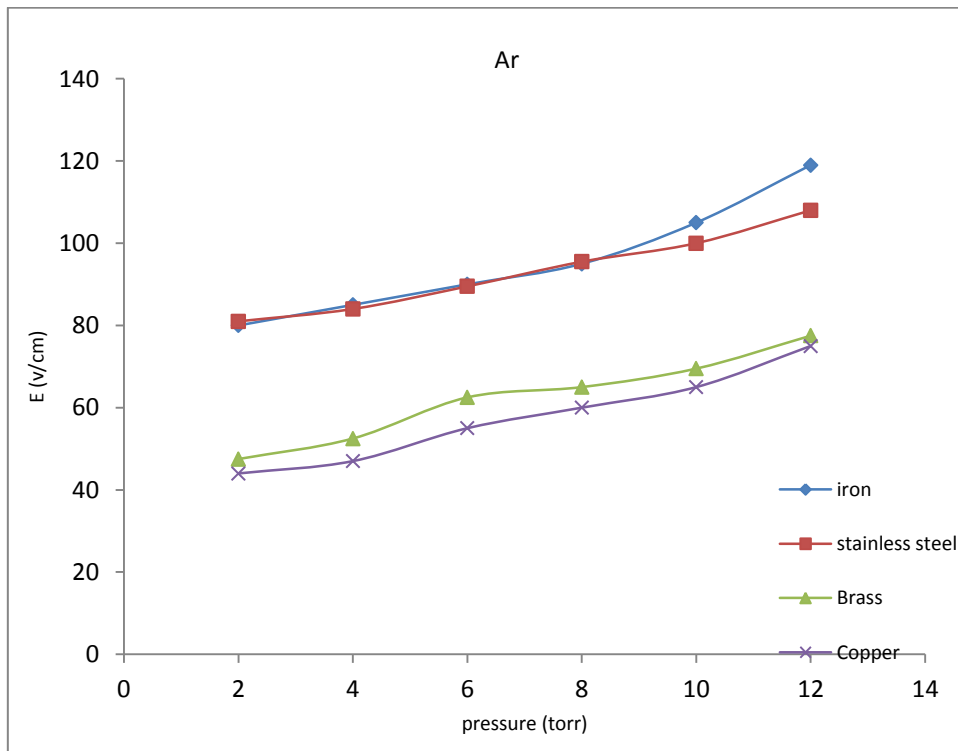
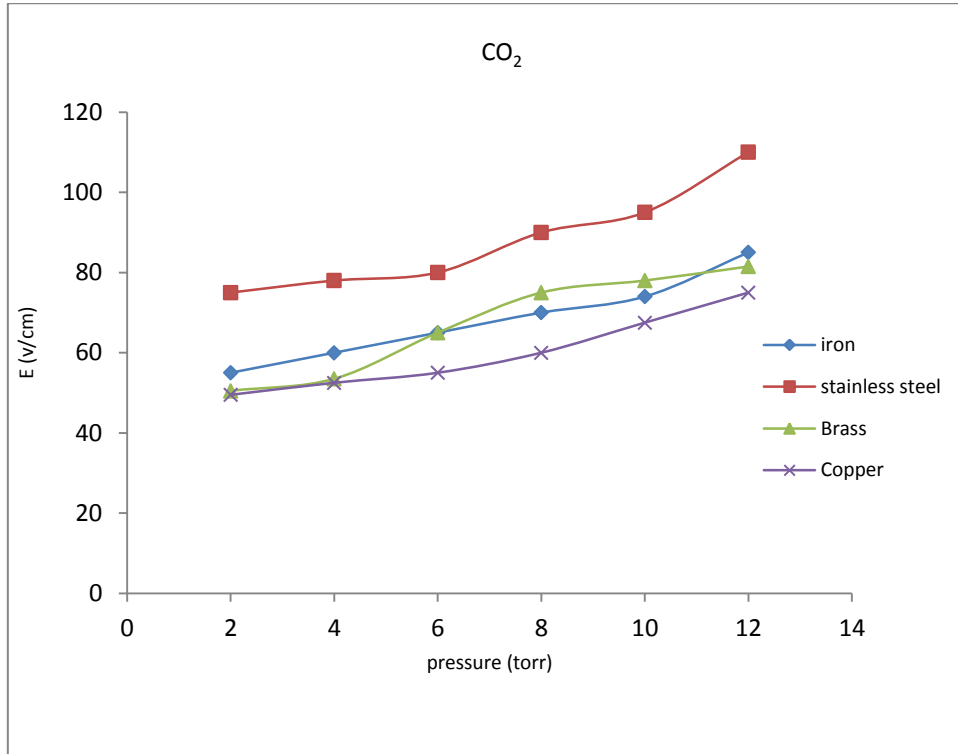
الشكل (4-8) يبين تأثير ضغط غاز CO<sub>2</sub> على شدة الضوء المنبعث من التفريغ القوسي لمواد مختلفة لمادة القطب وعند مسافة فاصلة 1mm

#### 4-2-5- تأثير الضغط الغاز على المجال الكهربائي

### Effect of gas pressure on the electric field

حيث يبين الشكل (4-9) العلاقة بين الضغط والمجال الكهربائي لكافة المواد ولكلا نوعي الغاز المستعمل ولقد تبين لنا بان المجال الكهربائي يزداد بزيادة الضغط لكافة الاقطاب ولكلا نوعي الغاز وان مقدار المجال الكهربائي للمواد اكبر في حالة غاز ثنائي اوكسيد الكربون و اقل في حالة غاز الاركون

وهذا يتطابق مع نتائج الباحث Somerville [4]

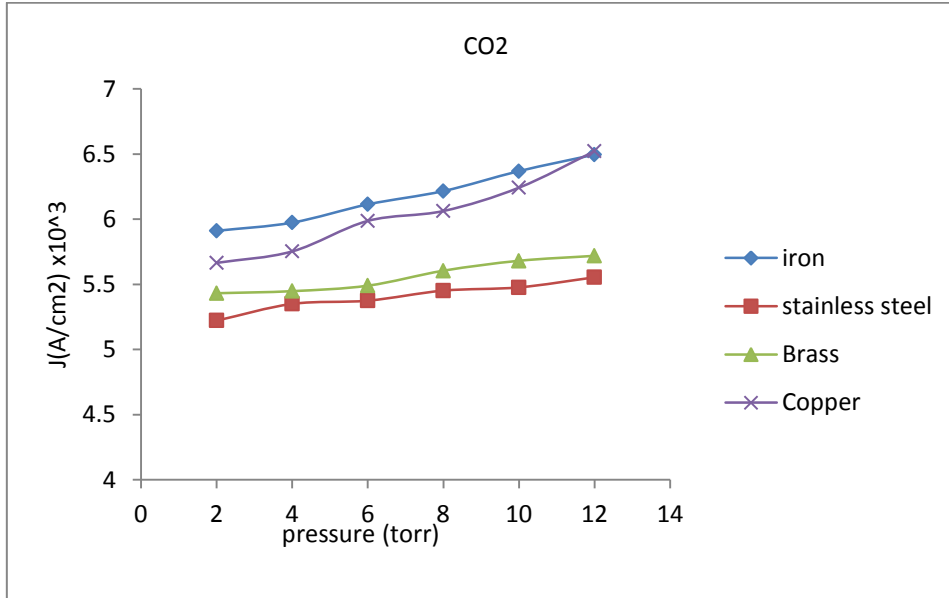
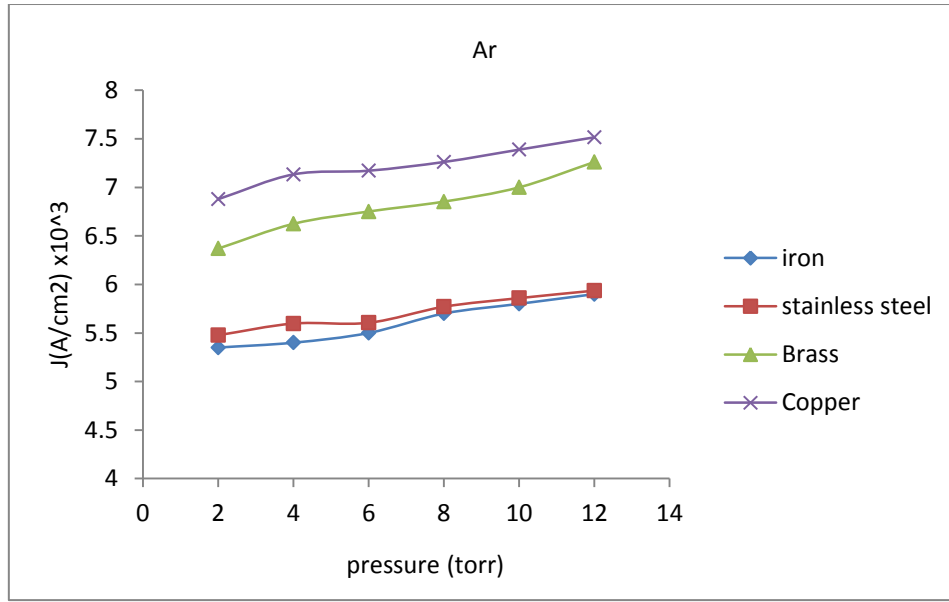


الشكل (9-4) يوضح تأثير نوع مادة القطب على علاقة بين تغير المجال الكهربائي المتولد من تفريغ القوسي كدالة لضغط الغاز وللغازين Ar ، CO<sub>2</sub> عند مسافة فاصلة بين الاقطاب 2mm

#### 6-2-4- تأثير ضغط الغاز على كثافة التيار

### Effect of gas pressure on the current density

يبين الشكل (10-4) العلاقة بين ضغط الغاز وكثافة التيار الكهربائي لكافة مواد الاقطاب المستعملة ولغازي العمل. ويتبين لنا بان كثافة التيار تزداد بزيادة الضغط لكافة مواد الاقطاب ولكلا نوعي الغاز وان كثافة التيار الكهربائي للنحاس يكون اكبر في غاز Ar بينما يكون كثافة التيار للحديد اكبر لغاز CO<sub>2</sub>.



الشكل (10-4) تمثل تأثير نوع مادة القطب على العلاقة بين كثافة التيار الكهربائي وضغط الغاز لكافة انواع الاقطاب

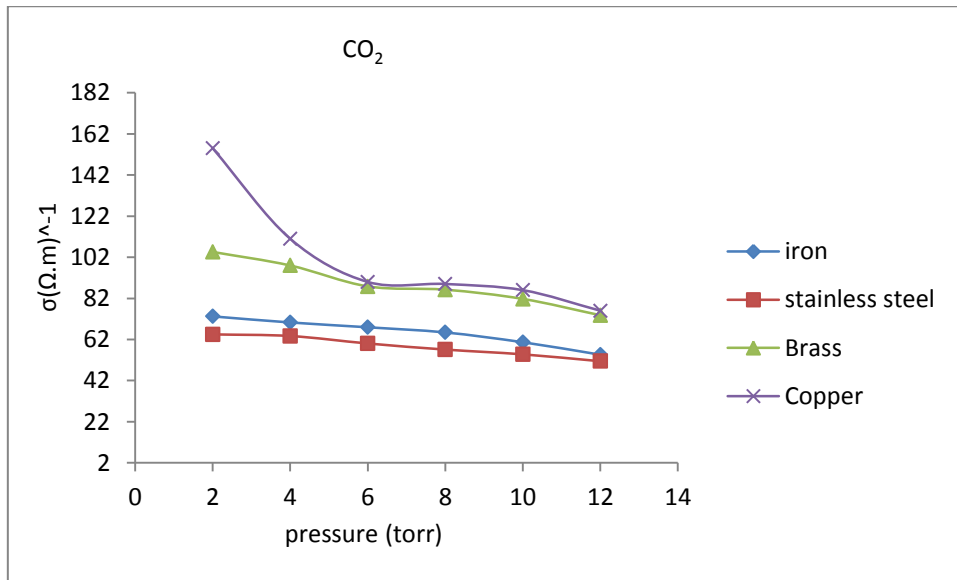
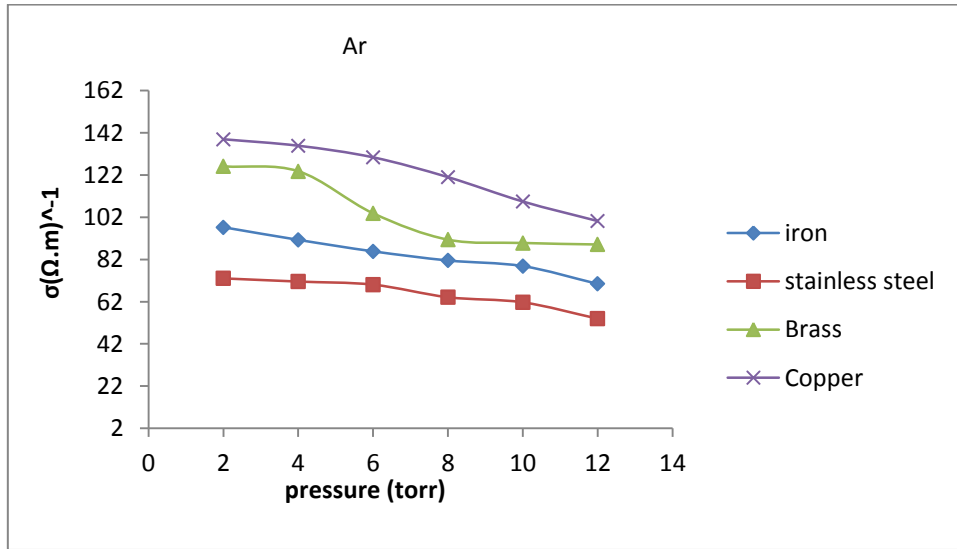
لغاز , Ar و CO<sub>2</sub> وعند مسافة فاصلة 2mm



#### 7-2-4- تأثير ضغط الغاز على التوصيلية الكهربائية

### Effect of gas pressure on the electrical conductivity

يبين الشكل (11-4) العلاقة بين الضغط والتوصيلية الكهربائيه لكافة مواد الاقطاب ولغازي العمل من خلال النتائج تبين لنا بان التوصيلية تقل بزيادة الضغط لكافة الاقطاب و قد تبين لنا بان التوصيلية تقل بزيادة الضغط وقد يكون سبب ذلك هو زيادة في عدد الذرات المتعادلة نتيجة لزيادة ضغط الغاز.



الشكل (11-4) يبين تأثير نوع مادة القطب على العلاقة بين التوصيلية الكهربائية والضغط لكافة

انواع الاقطاب وللغازين Ar و CO<sub>2</sub> وعند مسافة فاصلة 2mm

### 3-4- تأثير المسافة الفاصلة بين الاقطاب على خواص التفريغ القوسي

## Effect of the distance between electrodes on the properties of arc discharge

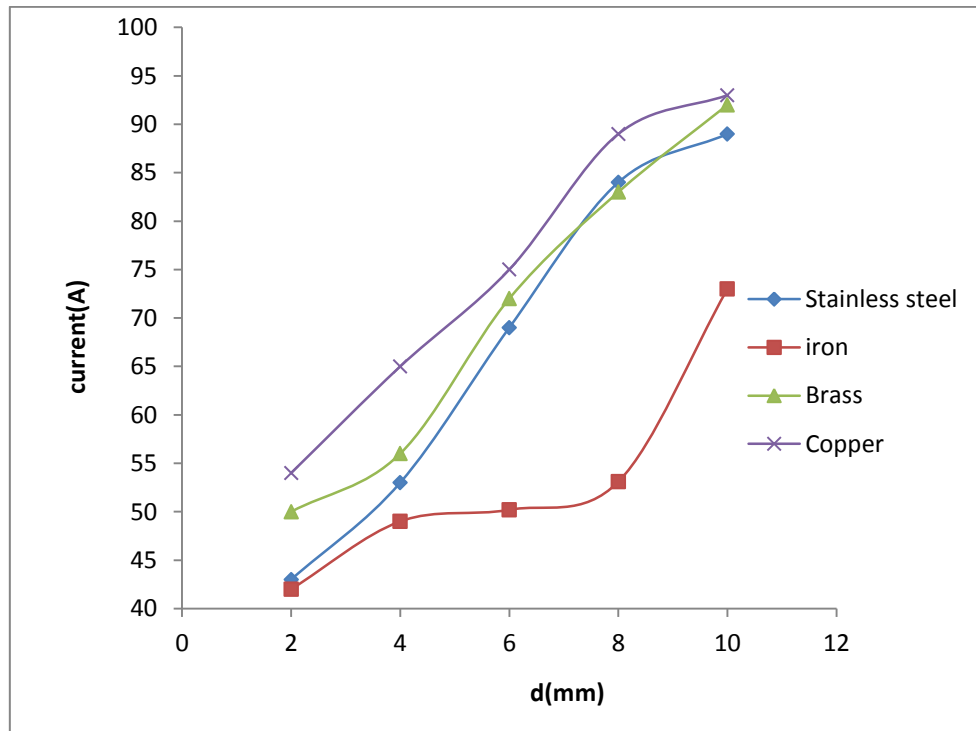
### 1-3-4- تأثير المسافة بين الاقطاب على التيار الكهربائي

## Effect of distance between electrodes on the electric current

### Argon gas

### a-1-3-4- غاز الاركون

يمثل الشكل (12-4) العلاقة بين المسافة الفاصلة بين الاقطاب والتيار التفريغ القوسي لكافة مواد الاقطاب المستعملة لغاز الاركون. ويتبين لنا بان التيار الكهربائي يزداد طرديا" بازدياد المسافة فاصلة بين الاقطاب لكافة المواد المستعملة وقد يكون سبب ذلك هو زيادة معدل المسار الحر للالكترتون وهذا يؤدي الى زيادة الطاقة المكتسبة له وبالتالي قابلية الالكترتون على تأين الذرات المتعادلة تزداد .

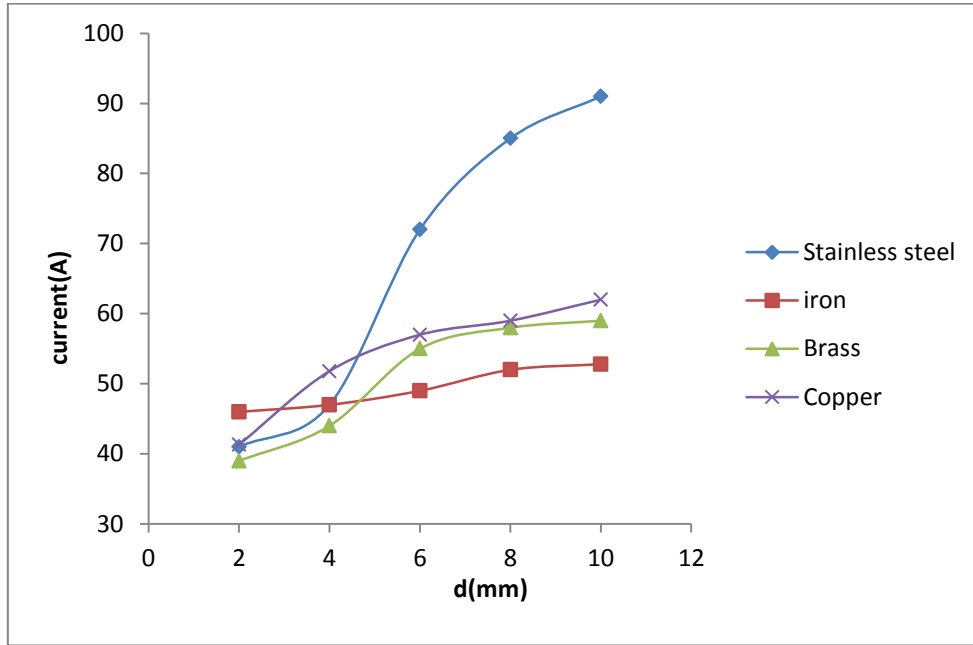


الشكل (12-4) يمثل تأثير نوع مادة القطب على العلاقة بين المسافة الفاصلة والتيار التفريغ لكافة انواع الاقطاب المستعملة لغاز الاركون

## CO<sub>2</sub> gas

## b-1-3-4 غاز ثنائي اوكسيد الكربون

يمثل الشكل (13-4) العلاقة بين المسافة الفاصلة وتيار التفريغ القوسي لكافة انواع الاقطاب المستعملة لغاز ثنائي اوكسيد الكربون. حيث يتضح من الشكل بأن تيار التفريغ يزداد مع زيادة المسافة الفاصلة بين الاقطاب ولكافة انواع الاقطاب ولكلا الغازين المستعملين وهذا يتفق مع نتائج الباحث [71] M.Baeva



الشكل (13-4) يمثل تأثير نوع مادة القطب على العلاقة بين المسافة الفاصلة وتيار التفريغ لكافة انواع الاقطاب المستعملة لغاز CO<sub>2</sub>

## 2-3-4- تأثير المسافة الفاصلة على فولطية التفريغ القوسي

## Effect of separated distance on the discharge voltage

### Argon gas

### a-2-3-4 غاز الاركون

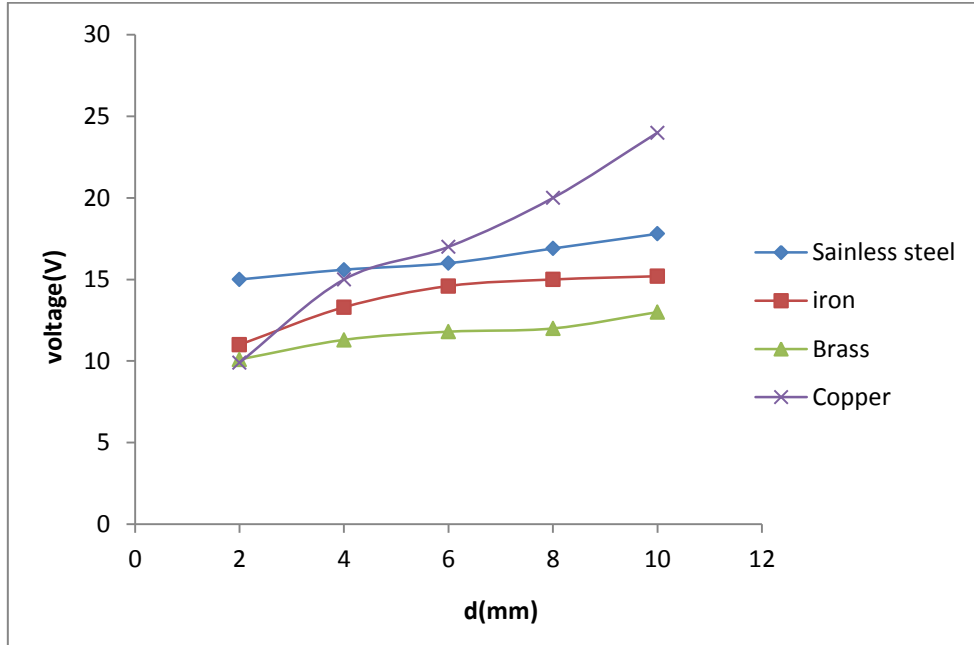
يبين الشكل (14-4) العلاقة بين المسافة بين الاقطاب وفولطية التفريغ القوسي لكافة الاقطاب لغاز الاركون ويتبين بان زيادة المسافة تؤدي الى زيادة الفولطية لكافة انواع الاقطاب

### CO<sub>2</sub> gas

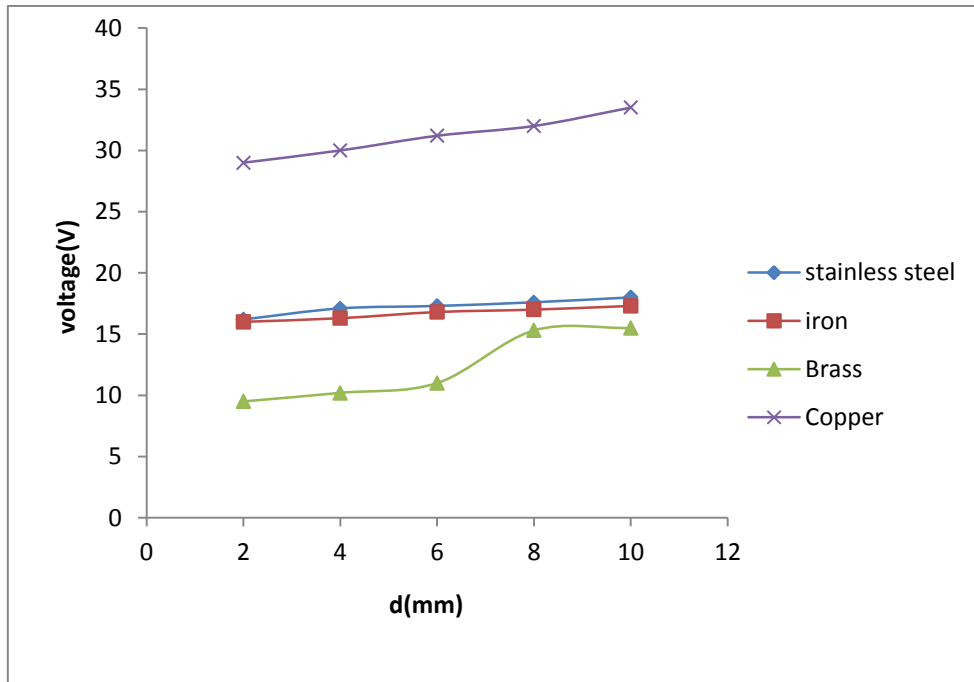
### b-2-3-4 غاز ثنائي اوكسيد الكربون

الشكل (15-4) يبين العلاقة بين المسافة والفولطية لكافة الاقطاب وغاز CO<sub>2</sub> ويتضح ايضا بان

الفولطية تزداد زيادة طفيفة مع ازدياد المسافة لكافة الاقطاب ولكلا من نوعي الغاز وهذا يتطابق مع نتائج الباحث Monno [69].



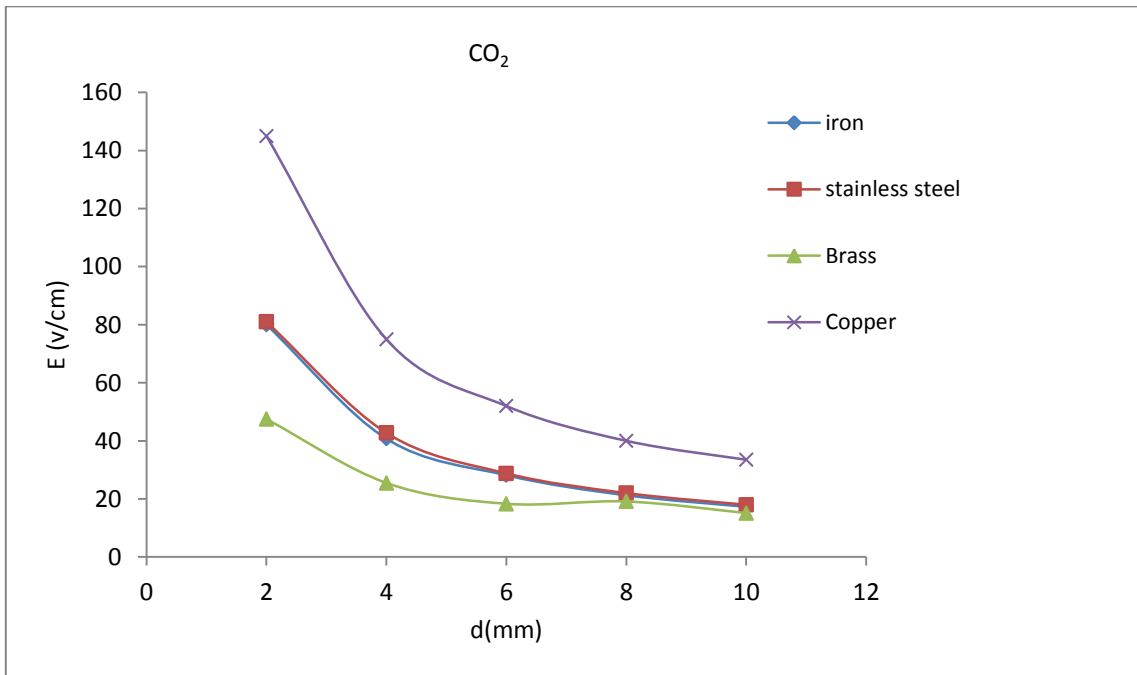
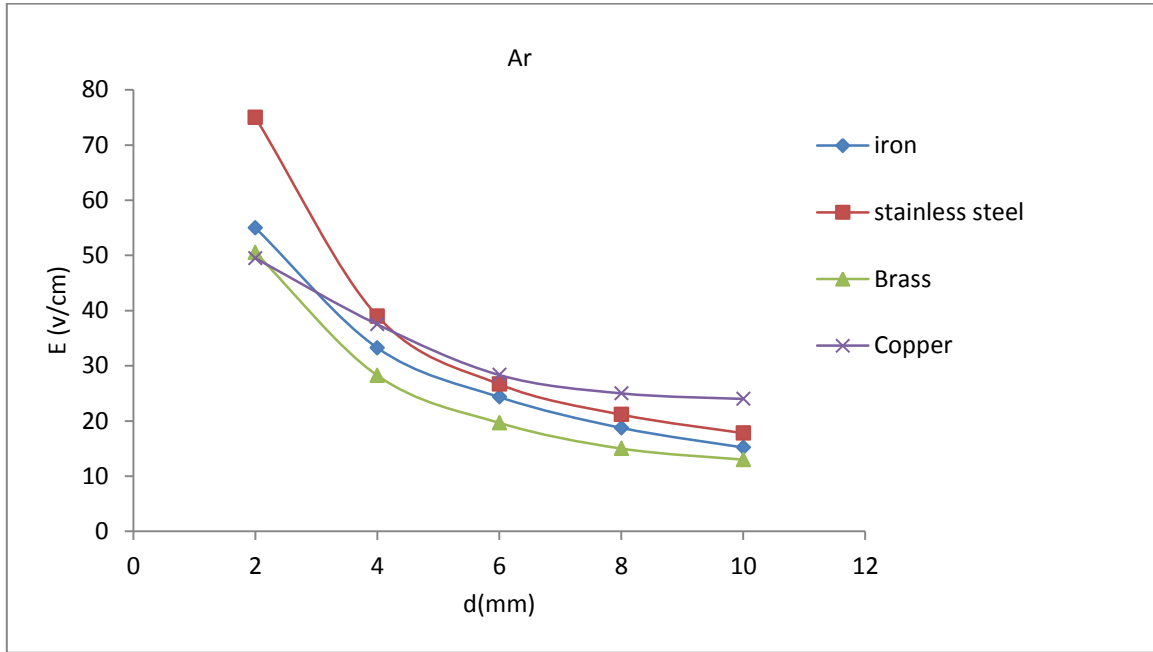
الشكل (4-14) يبين تأثير ضغط غاز الاركون على العلاقة بين فولطية التفريغ كدالة للمسافة الفاصلة بين الاقطاب لمختلف انواع مواد الاقطاب



الشكل (4-15) يبين تأثير ضغط غاز CO<sub>2</sub> على العلاقة بين فولطية التفريغ كدالة للمسافة الفاصلة بين الاقطاب لمختلف انواع مواد الاقطاب

### 3-3-4- تأثير المسافة الفاصلة على المجال الكهربائي

يمثل الشكل (4-16) العلاقة بين المجال الكهربائي والمسافة بين الاقطاب لكافة الاقطاب ولغاز الاركون وثنائي اوكسيد الكربون يتضح بان المجال يتناقص تدريجيا كلما زادت المسافة بين الاقطاب وهذا يتفق مع نتائج التي تم الحصول عليها في الباحث [4] Somerville



الشكل (4-16) يمثل العلاقة بين المجال الكهربائي والمسافة الفاصلة لكافة انواع الاقطاب ولكلا الغازين

#### 4-4 تأثير مادة القطب على الطيف المنبعث من التفريغ القوسي

##### CO<sub>2</sub> gas

##### a-4-4 - غاز ثنائي اوكسيد الكربون

يمثل الشكل (4-17) صورته للطيف المنبعث من التفريغ القوسي لغاز CO<sub>2</sub> لكافة الاقطاب ويتضح هنا بان القوس يكون اقل شدة واكثر استقرارية في غاز ثنائي اوكسيد الكربون حيث تكون نقطة تعلق القوس بالكاثود صغيرة وبالتالي يكون القوس اكثر استقرارية وبنفس الوقت فان الحرارة الناتجة في نقطة تعلق القوس تكون عالية جدا" مركزة على هذه المنطقة مما يؤدي الى انصهار مادة الكاثود وتبخرها وبالتالي يكون تأثير مادة قطب الكاثود واضح جدا" على الطيف المنبعث من التفريغ القوسي

##### Argon gas

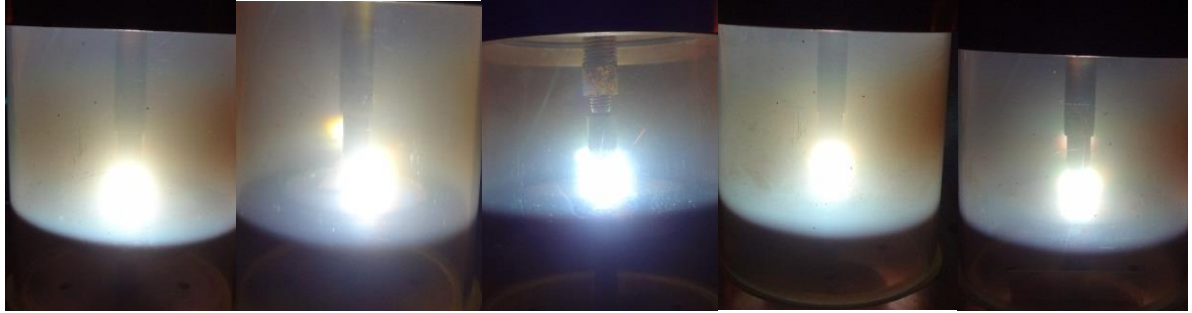
##### b-4-4 غاز الاركون

يمثل الشكل (4-18) صور للتفريغ القوسي لكافة المواد المستعملة في صناعة الاقطاب لغاز الاركون حيث تبين لنا بأن لنوع الغاز المستخدم تأثير في لون الطيف المنبعث من القوس حيث استعملنا في بحثنا هذا نوعين مختلفين من الغازات الاركون وهو غاز خامل وثنائي اوكسيد كربون وهو غاز جزئي يمكن ان يتأين متفكك الى نوعين من الايونات السالبة والموجبة اما الايونات السالبة فانها تتجه نحو الانود مكونه طبقة من الاوكسيد و الايونات الموجبه فانها تتجه الى الكاثود مكونه طبقه رقيقه جدا" من ذرات الكربون و التي قد تؤدي الى التأثير في مقدار التيار وشدة الضوء المنبعث من القوس الكهربائي و قد تبين بان لمادة القطب تأثير على الطيف المنبعث من القوس بشكل اكثر وضوحا" في حالة غاز ثنائي اوكسيد الكربون وهذا يتطابق مع نتائج الباحث Cressault [70] .

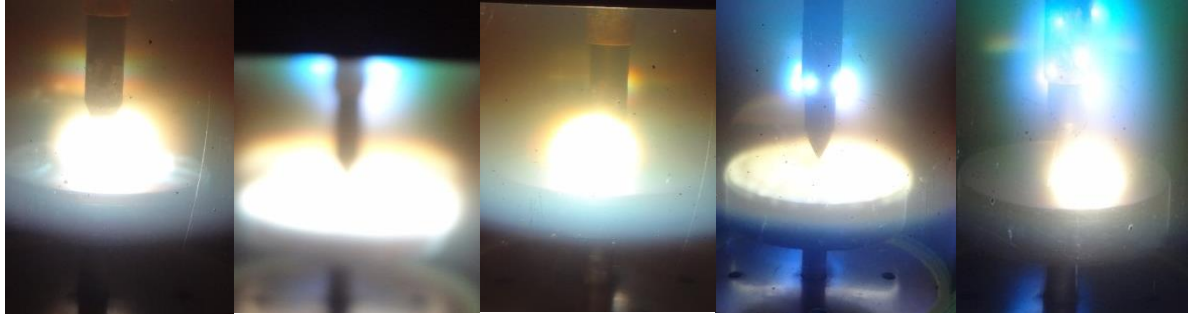
##### Stability arc

##### 5-4 استقرارية القوس

ان للمسافة الفاصلة بين الاقطاب وكذلك نوع مادة الكاثود تأثير في استقرارية القوس الكهربائي المتولد حيث تبين لنا بانه كلما زادت المسافة بين الاقطاب زادت استقرارية القوس . وكذلك تبين لنا بأن لضغط الغاز تأثير قليل على استقرار الضغط وقد يعزى سبب ذلك الى الفرق في الضغط المستخدم يكون قليل وقد لاحظنا بأن هنالك صعوبة في بداية اشتعال عند استخدام الكاثود المصنوع من النحاس حيث ان القوس لايتوهج بسهولة وخصوصا" عند تجهيز الاقطاب بتيارات واطئه وعند ذلك قمنا بزيادة التيار المجهز من المصدر وبعد عدة محاولات يتوهج القوس بالنسبة للنحاس حيث يكتسب طاقه حراريه اضافية عند كل محاوله اما باقي المواد فلا توجد مشكله فيها من ناحية بداية اشعال القوس فيها ، وقد لاحظنا بأن القوس يبدأ بالتشكل بصور اسهل بالنسبه للبراص و الحديد المقاوم للصدأ حتي لوكانت التيارات المجهزه واطئه نسبياً

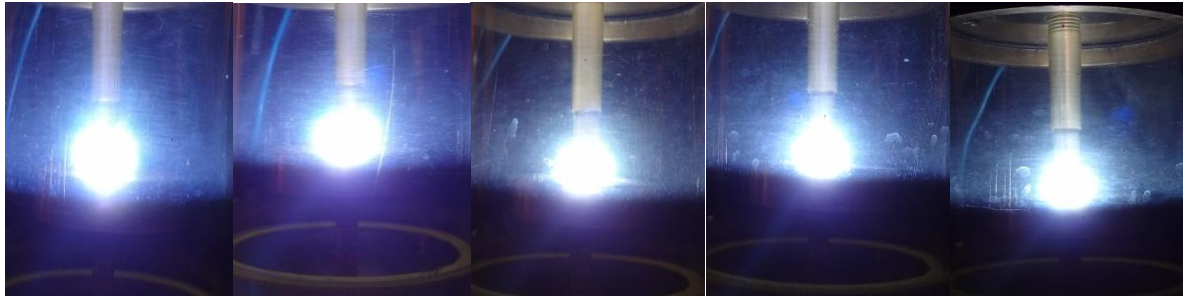


$i=48A, V=16.5v, d=5mm$  \  $i=47A, V=16.3v, d=4mm$  \  $i=46.3A, V=16.2v, d=3mm$  \  $i=46A, V=16v, d=2mm$  \  $i=45A, V=15v, d=1mm$

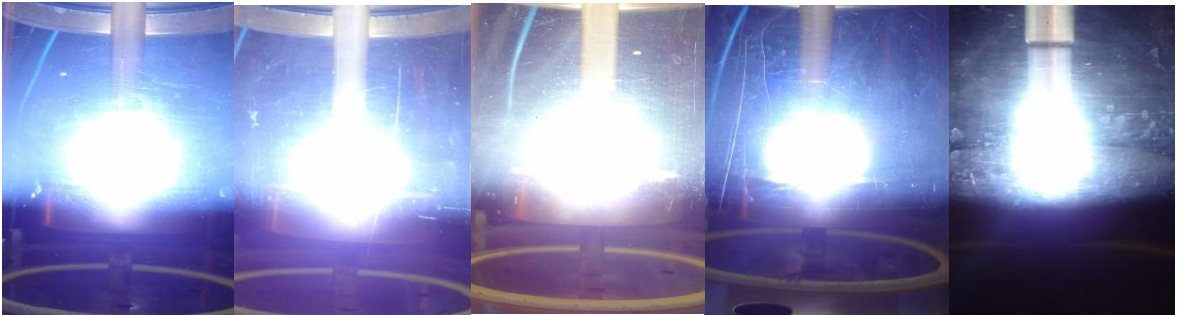


$i=52.8A, V=17.3v, d=10mm$  \  $i=52A, V=17.1v, d=9mm$  \  $i=51.7, V=17v, d=8mm$  \  $i=51A, v=16.9v, d=7mm$  \  $i=49A, V=16.8v, d=6mm$

الشكل (17-4) a يمثل صور للتفريغ القوسي لغاز  $CO_2$  عند ضغط 2torr للكاثود مصنوع من الحديد



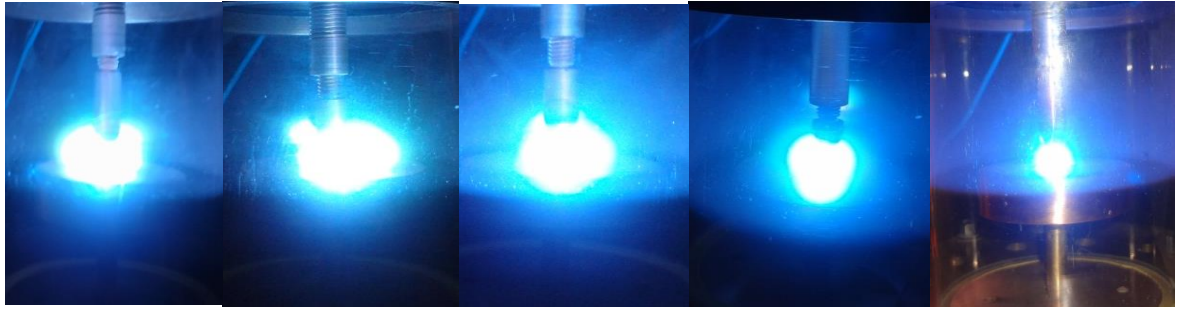
$I=70A, V=17.2v, d=5mm$  \  $i=47A, V=17.1v, d=4mm$  \  $i=46.1A, V=16.6v, d=3mm$  \  $i=41A, V=16.2v, d=2mm$  \  $i=40A, V=16v, d=1mm$



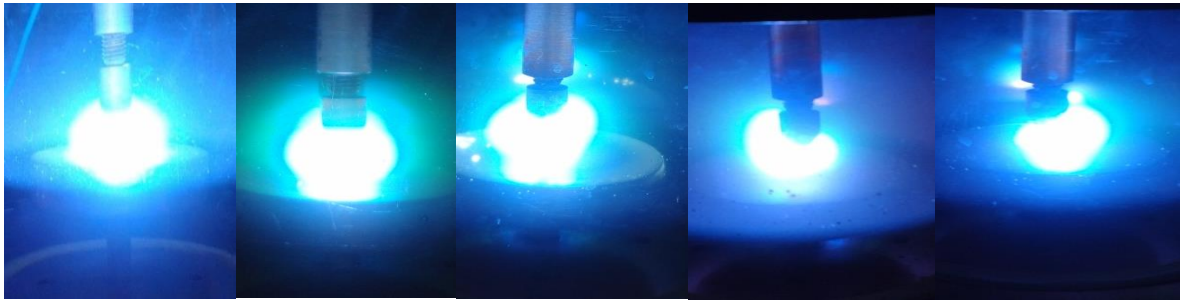
$i=91A, V=18v, d=10mm$  \  $i=89A, V=17.9v, d=9mm$  \  $i=85A, V=17.6v, d=8mm$  \  $i=84A, V=17.5v, d=7mm$  \  $I=72, V=17.3v, Ad=6mm$

الشكل (17-4) b يمثل صور للتفريغ القوسي لغاز  $CO_2$  عند ضغط 2torr للكاثود مصنوع من الحديد المقاوم

للصدأ

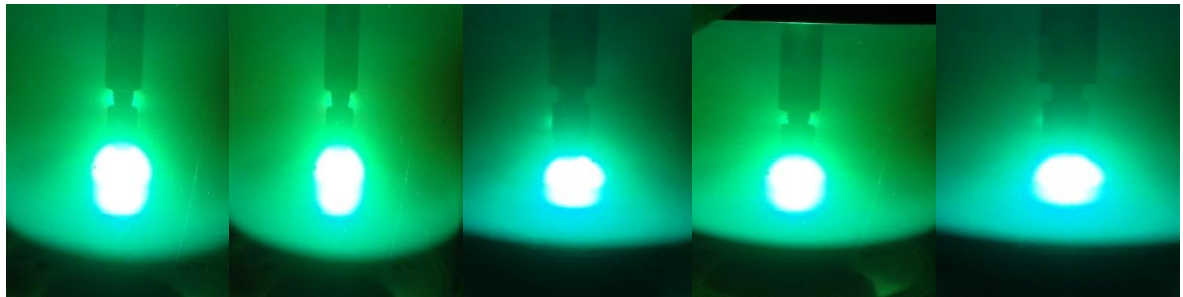


$I=54A, V=10.5v, d=5mm$  \  $i=44A, V=10.2v, d=4mm$  \  $i=43A, V=10v, d=3mm$  \  $i=39A, V=9.5v, d=2mm$  \  $i=38A, V=9v, d=1mm$



$I=59A, V=15.5v, d=10mm$  \  $i=58.8A, V=15.4v, d=9mm$  \  $i=58A, V=15.3v, d=8mm$  \  $i=56A, V=12v, d=7mm$  \  $i=55A, V=11v, d=6mm$

الشكل (17-4) c يمثل صور للتفريغ القوسي لغاز  $CO_2$  عند ضغط 2torr للكاثود مصنوع من البراص



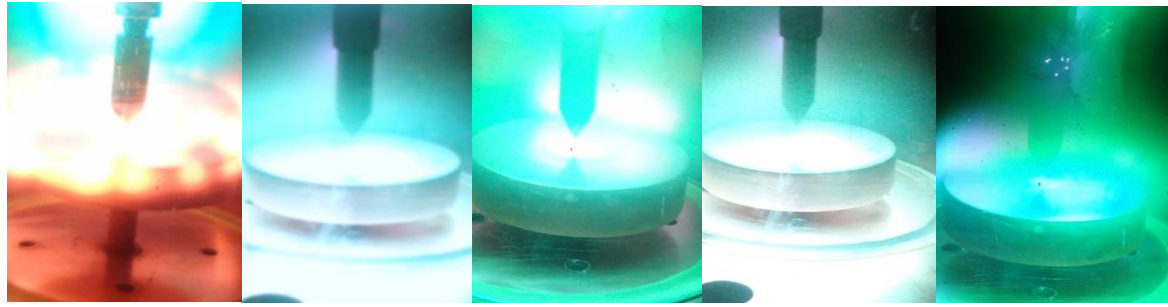
$I=56A, V=30.7v, d=5mm$  \  $i=51.8A, V=30v, d=4mm$  \  $i=51A, V=29.3v, d=3mm$  \  $i=41.3A, V=29v, d=2mm$  \  $i=41A, V=27v, d=1mm$



$I=62A, V=33.5v, d=10mm$  \  $i=60A, V=32.6v, d=9mm$  \  $i=59A, V=32v, d=8mm$  \  $i=57.9A, V=31.8v, d=7mm$  \  $i=57A, V=31.2v, d=6mm$

الشكل (17-4) d يمثل صور للتفريغ القوسي لغاز  $CO_2$  عند ضغط 2torr للكاثود مصنوع من النحاس



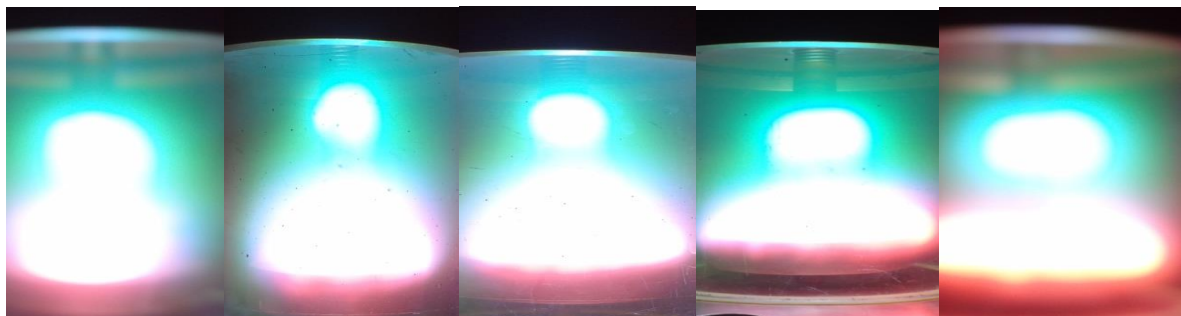


$I=66A, V=14v, d=5mm$  \  $i=53A, V=13.3v, d=4mm$  \  $i=51A, V=12v, d=3mm$  \  $i=43A, V=11v, d=2mm$  \  $i=42A, V=10.9v, d=1mm$

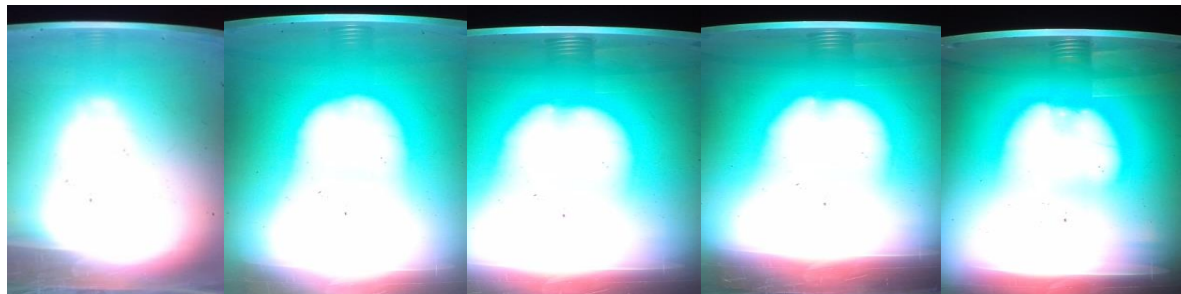


$I=89A, V=15v, d=10mm$  \  $i=86A, V=15.1v, d=9mm$  \  $i=84A, V=15v, d=8mm$  \  $i=80A, V=14.8v, d=7mm$  \  $i=69A, V=14.6v, d=6mm$

الشكل (18-4) صور للتفريغ القوسي لغاز الاركون عند ضغط 2torr للكاثود مصنوع من الحديد

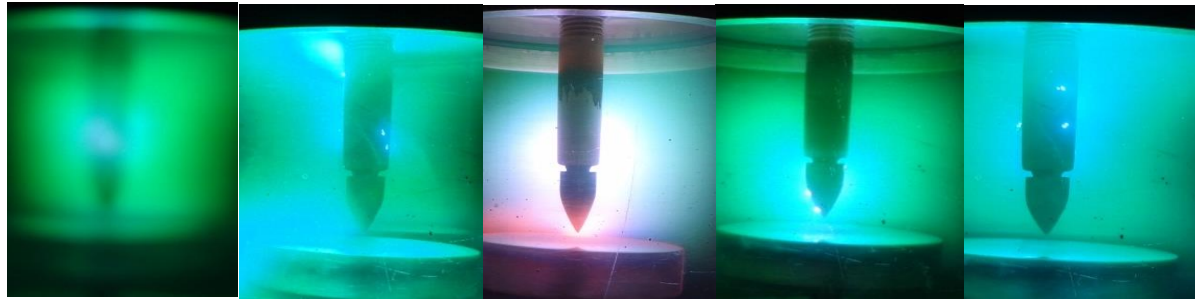


$I=49.6A, V=15.9v, d=5mm$  \  $i=49A, V=15.6v, d=4mm$  \  $i=46A, V=15.3v, d=3mm$  \  $i=42A, V=15v, d=2mm$  \  $i=41A, V=14v, d=1mm$

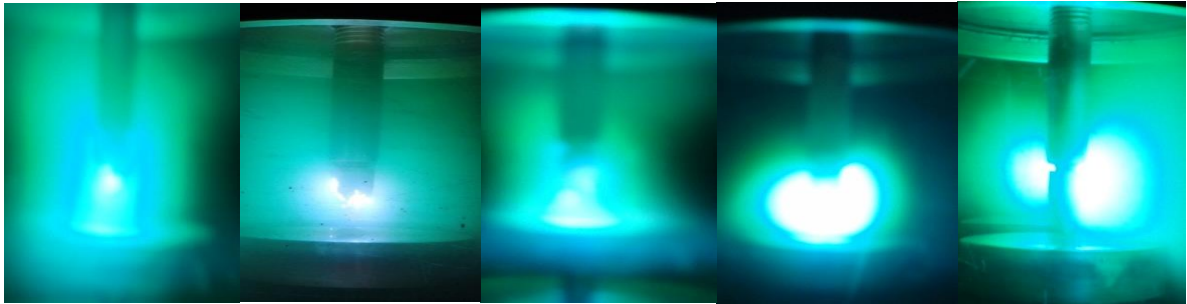


$I=73A, V=17.8v, d=10mm$  \  $i=63A, V=17.1v, d=9mm$  \  $i=53.1A, V=16.9v, d=8mm$  \  $i=53A, V=16.6v, d=7mm$  \  $i=50.2A, V=16v, d=6mm$

الشكل (18-4) صور للتفريغ القوسي لغاز الاركون عند ضغط 2torr للكاثود مصنوع من الحديد المقاوم للصدأ

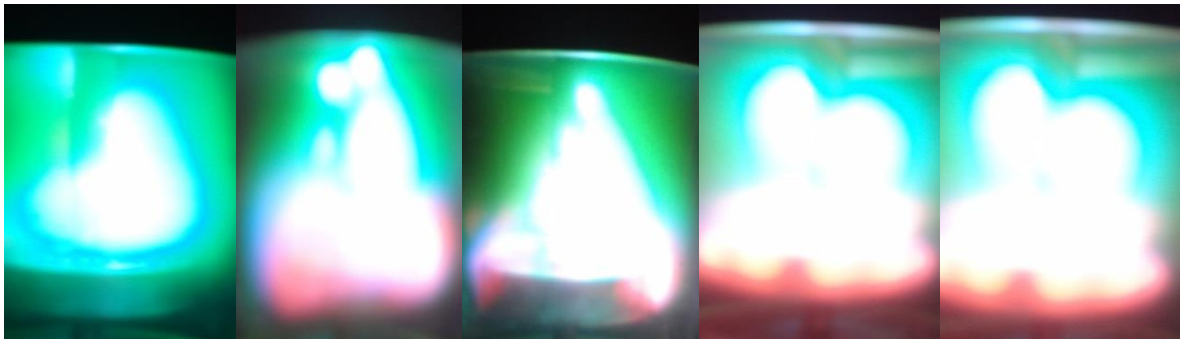


$I=70A, V=11.6v, d=5mm$  \  $i=56A, V=11.3v, d=4mm$  \  $i=53A, V=11v, d=3mm$  \  $i=50A, V=10.1v, d=2mm$  \  $i=48A, V=10vd=1mm$

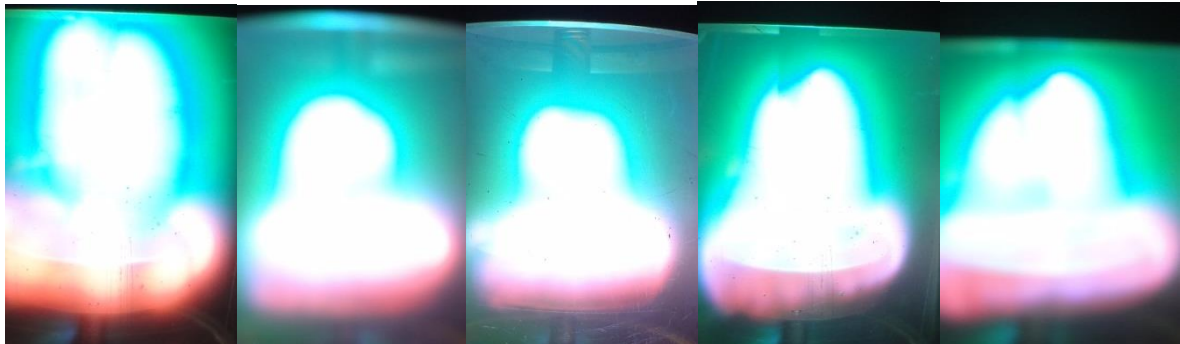


$I=92A, V=13v, d=10mm$  \  $i=89A, V=12.7v, d=9mm$  \  $i=83A, V=12v, d=8mm$  \  $i=83A, V=11.9v, d=7mm$  \  $i=72A, V=11.8v, d=6mm$

(c) الشكل (18-4) صور للتفريغ القوسي لغاز الاركون عند ضغط 2torr للكاثود مصنوع من البراص



$I=67A, V=16v, d=5mm$  \  $i=64A, V=15v, d=4mm$  \  $i=64A, V=11.5v, d=3mm$  \  $i=54A, V=9.9v, d=2mm$  \  $i=52A, V=9.3v, d=1mm$



$I=76A, V=17v, d=10mm$  \  $i=75.5A, V=19v, d=9mm$  \  $i=75, V=20v, d=8mm$  \  $i=69A, V=23v, d=7mm$  \  $i=68A, V=17v, d=6mm$

(d) الشكل (18-4) صور للتفريغ القوسي لغاز الاركون عند ضغط 2torr للكاثود مصنوع من النحاس

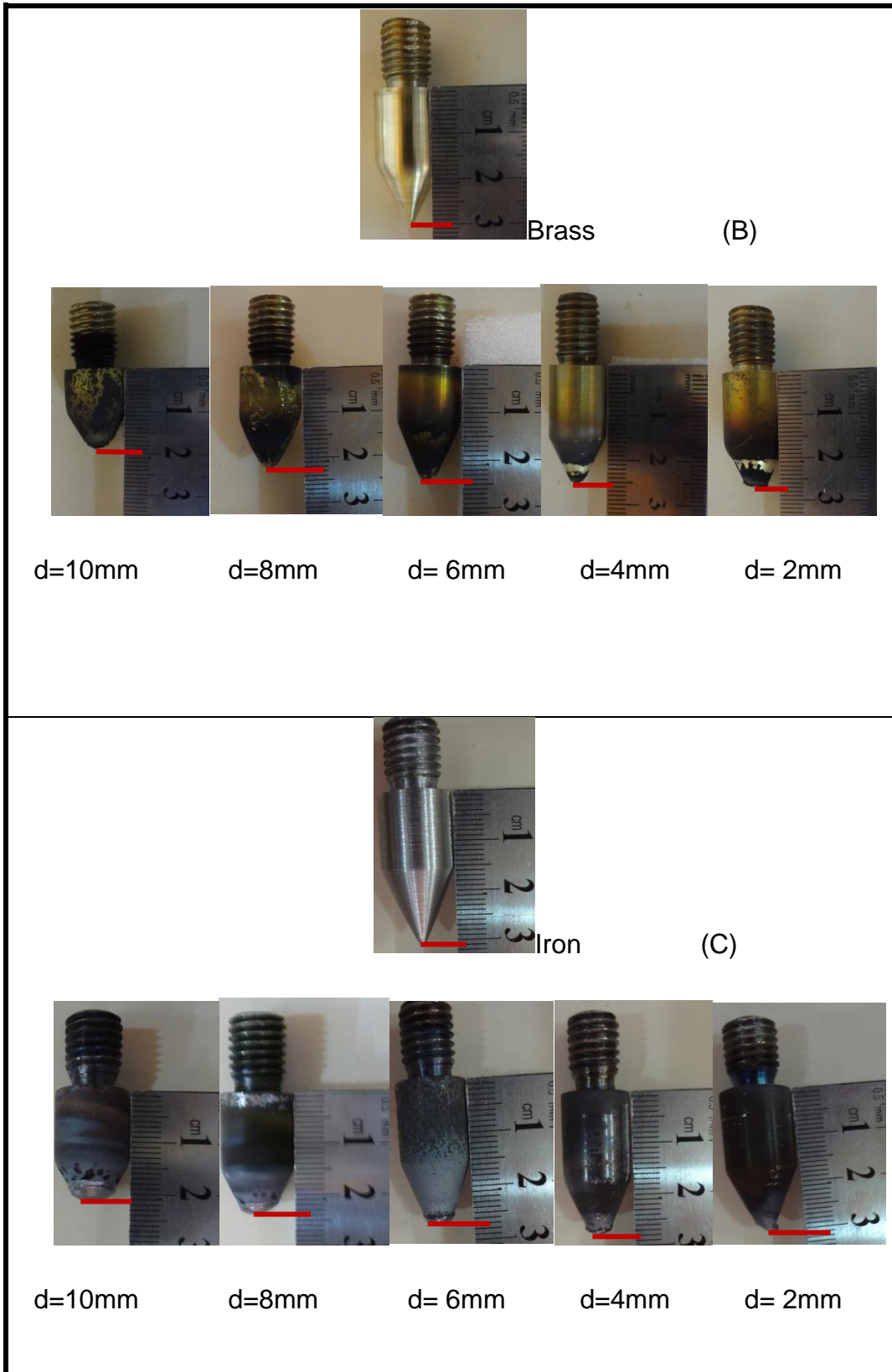
#### 6-4 التآكل في قطب الكاثود

#### Erosion of the cathode electrode

كما هو معلوم بان للاقواس الكهربائيه القابليه على انتاج طاقة حراريه عاليه قد تؤدي الى انصهار المواد حيث تستخدم لهذه الاغراض في بعض الصناعات، الا ان الاقطاب المولدة للاقواس الكهربائيه تتأثر كثيرا" بالاحمال الحراريه الناتجة . ففي هذه المنظومة لاحظنا وبشكل واضح بان الكاثود رغم انه مبرد بالماء الا انه يتأثر بالحراره وينصهر مما يؤدي الى حدوث تآكل فيه . وان هذا التآكل يحدث بشكل واضح عند استخدامنا لغاز ثنائي اوكسيد الكربون بينما عند استخدامنا لغاز الاركون لا يحصل التآكل بشكل واضح للكاثود وهذا يتطابق مع نتائج مصدر [69]. والشكل (4-19) يوضح صور للكاثود قبل وبعد حصول التفريغ القوسي لكافة المواد المستخدمة ولغاز ثنائي اوكسيد الكربون بينما يوضح الشكل (4-20) صور للكاثودات المستخدمه مختلفه المواد لغاز الاركون . وقد استخدمنا كاثودات مدببه وان هذه النهايه للكاثود تنصهر فقمنا بحساب طول الجزء المنصهر من الكاثود باستعمال مسطرة مترية.



الشكل (4-19) (A) صور للاقطاب المستعملة قبل وبعد التفريغ القوسي لغاز CO<sub>2</sub> للكاثود المصنوع من الحديد القاروم للصدأ

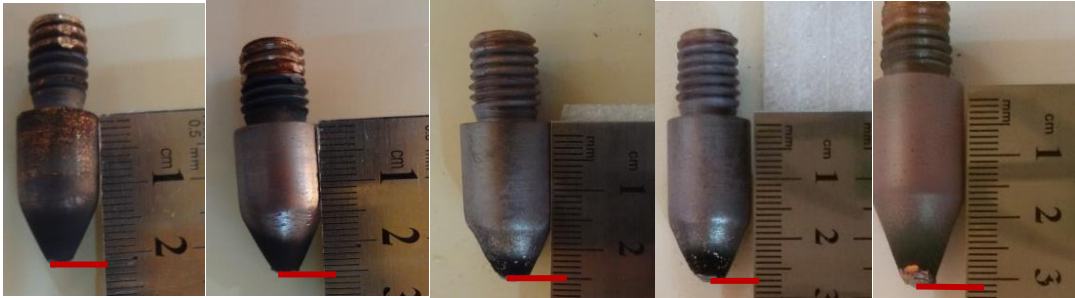


الشكل (4-19) صور للاقطاب المستعملة قبل وبعد التفريغ القوسي لغاز  $\text{CO}_2$  (B) للكاثود المصنوع من البراص  
(C) للكاثود المصنوع من الحديد

D



Copper



d=10mm

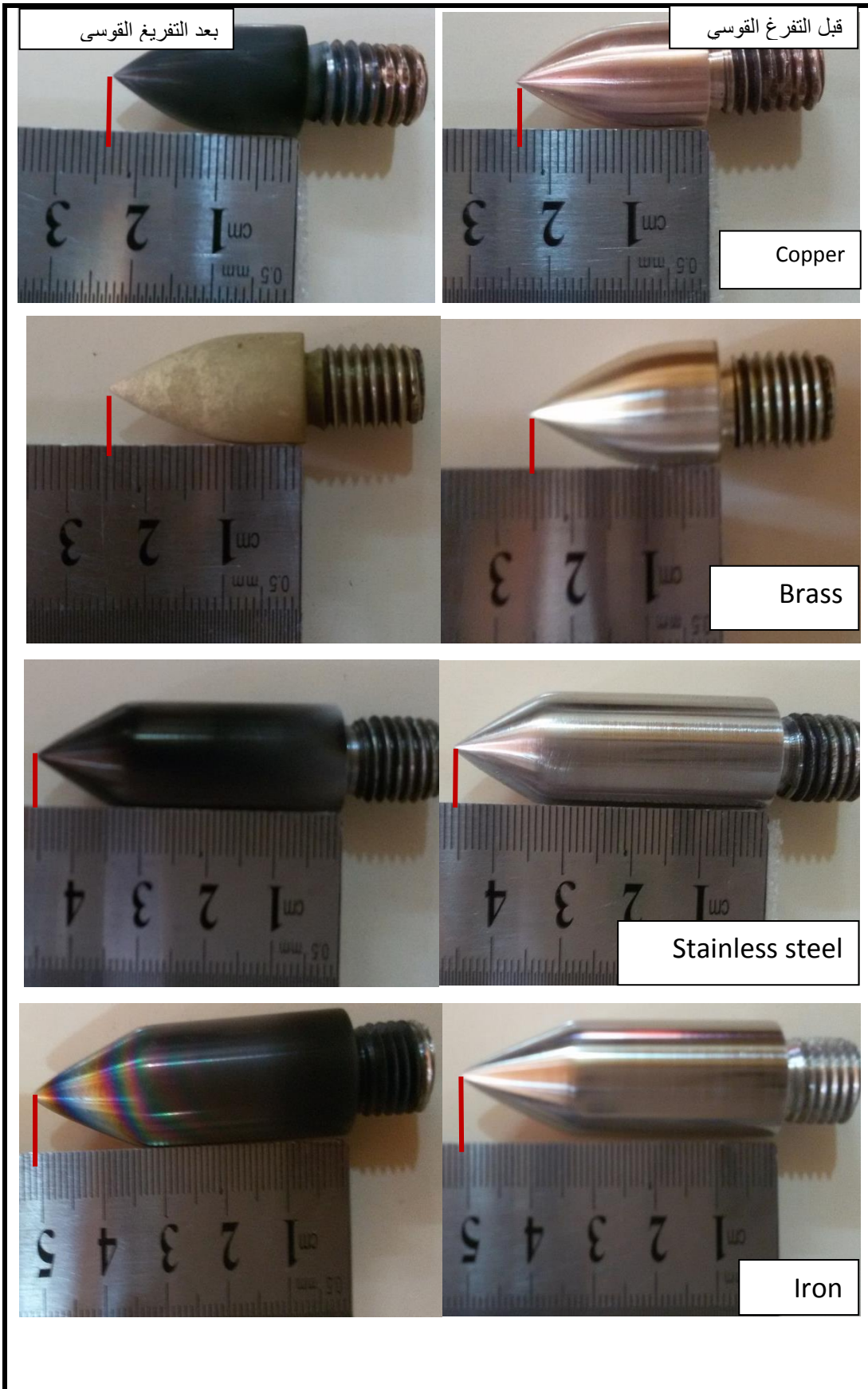
d=8mm

d= 6mm

d=4mm

d= 2mm

الشكل(4-19) D صور للاقطاب المستعملة قبل وبعد التفريغ القوسي لغاز  $CO_2$  للكاثود المصنوع من النحاس



الشكل (4-20) صور للأقطاب المستعملة قبل وبعد التفريغ القوسي لغاز Ar

- 1-يزداد مقدار التيار الكهربائي بزيادة الضغط لكافة الاقطاب المستعملة ويكون اكبر مقدار للتيار عند استخدام قطب كاثود مصنوع من النحاس في غاز الاركون
- 2- زيادة مقدار التيار الكهربائي مع زيادة المسافة الفاصلة بين الاقطاب ولكافة الاقطاب ولكلا الغازين المستعملين
- 3-زيادة الفولطية مع زيادة الضغط واکبر مقدار للفولطية تكون في حالة استخدام قطب كاثود مصنوع من الحديد المقاوم للصدأ عند استخدام غاز الاركون وفي حالة استخدام غاز ثنائي اوكسيد الكربون تكون اعلى مقدار للفولطية للنحاس
- 4- زيادة الفولطية مع زيادة المسافة الفاصلة بين الاقطاب لكافة الاقطاب ولكلا نوعي الغاز ويكون اكبر مقدار للفولطية للنحاس
- 5-درجة حرارة الغاز قرب الكاثود تزداد مع زيادة الضغط ثم تنخفض وتزداد مع زيادة تيار التفريغ وان اعلى درجات حرارة يمكن الحصول عليها تكون للنحاس
- 6-شدة الضوء المنبعث من التفريغ القوسي تزداد مع زيادة التيار و مع زيادة الضغط لكافة المواد المستخدمة في صناعة الكاثود ولكلا نوعي الغاز وتكون اعلى شدة مسجلة عند استخدام غاز الاركون واكثر المواد تعطي شدة اكبر هي النحاس والحديد
- 7-المجال الكهربائي يزداد مع زيادة الضغط لكافة المواد المستخدمة ولكلا نوعي الغاز المستخدم ويتناقص المجال الكهربائي مع زيادة المسافة الفاصلة بين الاقطاب
- 8-تزداد كثافة التيار الكهربائي مع زيادة الضغط لكافة الاقطاب المستعملة ولكلا نوعي الغاز
- 9-تنخفض التوصيلية الكهربائية مع زيادة الضغط لكافة الاقطاب المستعملة ولكلا نوعي الغاز وتكون التوصيلية اكبر مايمكن عند استخدام قطب من النحاس
- 10- يكون تأثير مادة القطب واضح على الطيف المنبعث من التفريغ القوسي عند استخدام غاز ثنائي اوكسيد الكربون
- 11-يزداد التآكل بزيادة المسافة الفاصلة بين الاقطاب واكثر المواد تتأثر بالحرارة هو النحاس ويظهر التآكل بشكل واضح عند استخدام غاز ثنائي اوكسيد الكربون

## Suggestions for future projects

## 8-4 مقترحات للمشاريع المستقبلية

- 1 – يمكن استخدام هذه المنظومة لدراسة خواص الاقواس لمادة معدنية معينة (نحاس او حديد) مع تغير شكلها الهندسي
- 2-يمكن استخدام تقنية قوس البلازما لتحضير اغشية رقيقة ودراسة خصائصها وكذلك معاملات البلازما المتولدة.
- 3-يمكن دراسة تأثير المجال المغناطيسي على خواص القوس باستخدام هذه المنظومة
- 4 – يمكن تطوير المنظومة لدراسة خواص بلازما القوس باستعمال تقنيات المجس او المطياف وقياس برامترات البلازما .



## References

## المصادر

- [1] T.Body , J.Sanderson , "The Physics of Plasma" . Cambridge University Press,USA,2003.
- [2] F.Chen, "Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion",vol .1.springer,second edition,1984.
- [3] D. S. Atao , " Study of Direct Current Corona Discharge in Gases And Liquids for Thin Film" ,M. Sc.Thesis, Drexel university,2009.
- [4] J.M .Somerville , "The Electric Arc" ,London, 1959.
- [5] A. Schutze,J. Y . Jeong ,S. E.Babayn, J.Park ,G. S.Selwyn,R. F.Hicks,"The Atmospheric –Pressure Plasma Jet : A review and Comperison to other Plasma Suorces " ,IEEE Transaction on Plasma Science ,vol,26 ,no,6, 1998.
- [6] A.M .Howaston , " An Introduction to GAS Discharge" , Second Edition, Pergamon Press Ltd, 1976.
- [7] P. Zut, J J Lowke and R Morrow, " A unified theory of free burning arcs Cathode sheaths and cathodes" , J. phy. D: phys. 25,1992.
- [8] A. Fridman , "plasma Chemistry" ,Drexel University,2008.
- [9] J.Reece Roth , "Industrial Plasma Engineering" , vol 1 :principles ,IOP Publishing ,1995.
- [10] I.Choquet, P.Degond , B.Lucquin-Desreux,et at, "A hierarchy of diffusion models for Partially ionized Plasma " ,HAL Id: hal- , 2007.
- [11] Y. P .Raizer , "Gas Discharge Physics" ,Springer,1991.
- [12] A.Abbas , " Double Probes Characteristic Measurement for Wall Stabilized D.C Arcs in Argon at Different Pressures" , M.sc.thesis , Baghdad University, Science of collage,1989.
- [13] C.J.Lewis , "Development of a methodology for numerical simulation of a DC Arc Discharge in liquid Dielectric" ,Dr.thesis, Brigham Young University,2010
- [14] J. Gong , "Experimental Investigation of Biogas Reforming in Gliding Arc Plasma Reactors" , 2014 .
- [15] H. Timko". Modelling vacuum arcs :from plasma initiation to Surface Interactions",University of Helsinki, 2011.

- [16] J.P.Telles, C.Chazelas,A.Vardelle, and J.V.Helberleein,"Arc P;asma Torch Modeling", Journal of thermal spray technology,vol18(5-6),2009.
- [17] M.I. Boulos ,P.Fauchais , and E.pfender, "Thermal Plasmas: Fundamentals and Application" Plenum Press, New York, 1994.
- [18] E . Kuffel , W.S. Zaengl, J. Kuffel. "High voltage Engineering ", Second edition, First published 1984 by Pergamon Press Reprinted 1986.
- [19] W..Nottingham, Thermionic Emission ,research laboratory of electronics Massachusetts institute of techonology , Cambridge ,1956
- [20] A. Eastman, " Fundamentals of Vacuum Tubes". New York: McGraw-Hill Publishing. p. 89.1941
- [21] F. L. Jones , " Electrical discharge", Reports on progress in physics and technik. vol 1 .1953
- [22] V. Kukreja , "Field- Emission Properties in the ERL-Electron Source", Department of physics , cornell University, 2005.
- [23] G. Busz,W.Finkelnburg,"Anode mechanism of thermal Argon Arc" , Z . Phys . 144 . 1956
- [24] A . Fridman ,L. A .Kennedy," plasma physics and Engineering" ,new York. London(2004).
- [25] E. R. G. Eckert, E. Pfender, and S. A. Wutzke,"Study of electric-arc behavior with superimposed flow". AIAA J.5. 1967
- [26] A . Fridman ,G. Friedman," plasma medicine" , Drexel university ,Philadelphia , PA ,USA , 2013.
- [27] K.P.Sreekumar,J.K,P.V,n.v,u.k, "Laser and Plasma technology Division", 1991.
- [28] S.Mijovic .Sptroscopic of free air arc in different regimes,Romanian Reports in Physics, vol.66 , 2014.
- [29] R.Huang and H.Fukanuma,Y.Uesugi and Y.Tanaka , "An Improved Local Thermal Equilibrium Model of DC Arc Plasma Torch" IEEE Transactions on Plasma Science ;Vol:39,Issue:10,2011.
- [30] A. Felix," Rotating Magnetic Field in Plasma Torch",international journal of engineering science invention ,vol:3 ,2014.
- [31] M.Ushio, Arc discharge and electrode phenomena, Appl.chem.vol.60.No.5,pp.809-814.1988
- [32] T. Nielsen ,A. Kaddani and M.Benilovg ,Model for arc cathode region in a wide pressure range,J.Phys: dAppl. Phys. 34 2001.

- [33] S .Eliezer and Y .Eliezer,"The fourth state of matter an introduction to plasma science ", second edition , IOP Publishing Ltd ,2001
- [34] A.Dinulescu and E. Pfender , " Analysis of the anode boundary layer of high intensity arcs" J.Appl.Phys.51, 1980.
- [35] N.Sanders , K. Etemadi , K. C Hsu and E.Pfender , "Studies of the anode region of a high – intensity argon arc" J.Appl.Phys.53, 1982.
- [36] C. Hsu, K. Etemadi and E.Pfender, "Study of the free-burning high – intensity argon arc" J.Appl.Phys.54, 1983.
- [37] K. Etemadi and E.Pfender, " Impact of anode evaporation on the anode region of a high – intensity argon arc plasma". Chem Plasma. Process.5 . 1985
- [38] E.Leveroni , " Electric probe measurements in the boundary layer of thermal arcs : theory and experiments", PhD Thesis University of Minnesota ,1990.
- [39] E.Leveroni and E.Pfender," Investigation of anode boundary layer of free – burning high intensity arcs", Proc. Welding and Joining Processes , ASME Winter Annual Mtg (Atlanta, GA), 1991.
- [40] J.Jensta,J.Heberlein and E.Pfender , " Numerical model of the anode region of high-current electric arcs", IEEE Trans . Plasma Sci,25 ,1997.
- [41] G.Dyuzhev , K.Mitrofanov and M.Shkolnik, "Experimental investigation of the anode region of a free-burning atmospheric-pressure inert-gas arc :I.General characteristics of the discharge .Low –current regime" Tech. Phys.42. 1997.
- [42] I.Tanaka , A.Ito,T. Kameda, T.Iwao , T.Inaba and Y.Miyashita, Voltage gradient of torch plasma forced with high –speed cross wind proc" .13<sup>th</sup> Int. Conf . on Gas Discharges and their Applications (Glasgow , UK) ed I D Chalmers (G lasgow : University of Strathclde), 1997.
- [43] M.Hartmann and V.Heberlein , "Quantive investigations on arc anode attachments in transferred arcs", J.Phys . D: Appl. Phys 34 . 2000.
- [44] M.Hartmann and V.Heberlein," Experimental investigation of anode arc attachment instabilities proc".15<sup>th</sup> Int . Symp . on plasma Chemistry (Orleans, France) ed A Bouchoule et at ( Orleans: GREMI,CNRS,University of Orleans ), 2001.

- [45] R. Hemmi ,Y.Yokomizu and T.Matsumura ," Anode- fall and cathode- fall voltages of air arc in atmosphere between silver electrodes", J.Phys.D:Appl.phys , 37. 2001 .
- [46] P.Cronin ," Investigation in anode boundary layer of a high intensity arc", *MS thesis Department of Mechanical Engineering , university of Minnesota , 2004.*
- [47] M .Tanaka, M.Ushio,M. ikeuchi and Y. Kagebashi ,"In situ measurements of electrode work functions in free- burning arcs during operation at atmospheric pressure ,J. phys, D: Applied 38,2005.
- [48] T.Iwao , Cronin. P ,Bendix. D and Heberlein . R , " Anode attachment stability and anode heat transfer for high- intensity arcs with lateral gas flow", IEEE Trans. Plasma Sci,33. 2005.
- [49] G.Yang,P.Cronin, J.Heberlein and E.Pfender ," Experimental investigations of the anode boundary layer in high intensity arcs with cross flow" J.Phys . D: Appl. Phys,.39.2006.
- [50] G.Yang and J.Heberlein ," Anode attachment modes and their formation in high intensity argon arc Plasma Sourcee ", Sci . Technol .16.2007.
- [51] M. Ushio , M . Tanaka and J. lowke, "Anode melting from free- burning argon arcs" ,IEEE Transaction on Plasma Science , vol. 32, 2014.
- [52] X. Yau , L. Herrea , Y.Huang , and J.Wang , The Delection of DC Arc fault: Experimental study and fault Recognition , IEEE 978-1-4577-1216,2012.
- [53] Z. Peng , N. Guo-Hua , M. Yue-Dong ,N. Masaaki," Volt- Ampere characteristics of a nitrogen DC Plasma arc with anode melting" ,Chin .Phys.B,vol.22,No.62013.
- [54] W -Ho Leea, Jong-Chul Leeb," Three-Dimensionl Computitions of Free-Burning Arcs and their surroundings", Plasma Physics and Technology 3(3):151–154, 2016.
- [55] J-Marc Bauchire ,"Numerical Modelling of a Free-Burning Arc in Argon",A tool for Understanding the Optical Mirage Effect in a TIG Welding Device Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference , Milan, ,2009.
- [56] J.P.Trelles ," simulation of anode pattern formation in arc discharges", 22nd International Symposium on Plasma Chemistry July 5-10, 2015; Antwerp, Belgium.

- [57] M. Tanaka , H . Terasaki , M . Ushio , and J .Lowke, "Numerical Study of free – burning Argon Arc with Anode Melting" , Plasma Chemistry and plasma processing,23(3) , 2003
- [58] H.A.Dinulescu and E.Pfender , "Analysis of the Anode Boundary Layer of High Intensity Arcs" ,J.Appl.Phys.,1980.
- [59] X.Zhou and J.Heberlein , "Analysis of the arc – cathode interaction of free- burning arcs" ,Plasma source sci. Teechnol.3,1994.
- [60] A.Anders , S.Anders, B.J,and H.Pursh, vacuum arc cathode spot parameters from high-resolution luminosity measurements, J.Appl.phys,71,1992.
- [61] B.Juttner ,Properties of Arc Cathode Spots, J. Phys ivFrance 7 1997.
- [62] Y.Wang, C.Zhang ,H.Zang,B.Ding , Effect of microstructure of electrode materials on arc cathode dynamics, J.Phys. 36, 2003.
- [63] Yu.D,Korolev , Mesiatz,G.A, "Field Emission and Explosive Processes In Gas Discharge" ,Nauka(science) .Novosibirsk,1982
- [64] V.L. ,Granovsky," Electric Current in Gas Steady Current" ,Nauka (Science ) ,Moscow,1971.
- [65] S.V,Dresvin, "physics and Technology of low Temperature Plasmas", Iowa State University Press ,Ames, IA, 1977.
- [66] M.O,Rozovsky , Sov .phys., J .Appl.Mech.Techn.Phys ., PMTph,1972.
- [67] Yu. P,Raizer, sov. Phys.,Therm. Phys .High Temp.,vol.108,1972
- [68] H.J.Lee, V.YuP;aksin .V.A.Riaby, "the volt-ampere characteristics of a DC arc plasmatron with a distributed anode spot",thin sold films 515,5197-5201,2007.
- [69] R.Bini.Monno, M.I.Boulos,"Effect of cathode Nozzle geometry and process parameters on the Energy distribution for an argon transferred arc" , plasma chem ,plasma process,27,359-380,2007.
- [70] Y.Cressault and Gleizes , " thermal plasma properties for Ar-Al ,Ar-Fe and Ar-Cu mixtures used in welding plasmas processes : I.Net emission coefficients at atmospheric pressure " , J.Phys .D:Appl.phys.46, 2013.
- [71] M.Baeva , " chemical and thermal non-equilibrium effects free-burning arcs " ,22<sup>nd</sup> international symposium on plasma chemistry ,ant werp , Belgium,2015.

## Abstract

The properties of the free - burning arc (Current, voltage, Current density, arc intensity, temperatures 1.5 cm from the cathode surface, electric field, electrical conductivity) were studied for four types of cathode materials, In this study we used iron, stainless steel, brass, and copper, and the sensitivity of these properties to gas pressure changes. The pressure was changed between (2, 4, 6, 8, 10, 12) torr as well as the extent to which these properties were affected by the change of the distance between the electrodes for distances (2,4,6,8,10) mm, and we used two gases, Argon and CO<sub>2</sub> in this research .

The results show: That the magintude of current increases with increasing gas pressure as well as voltage, current density, and electric field, and the temperature of gas near the surface of the cathode increases and then decreases with increasing gas pressure, and that the electrical conductivity decreases with increasing gas pressure , The results showed that the distance between the electrodes had an effect on the properties of the arc. It was observed that when the distance increased, the arc discharge current increased, as did the voltage. The electric field was found to decrease as the separation distance increased. We have completed the study to study the effect of corrosion of the cathode electrode for each type of material used. It has been shown that the type of gas and the pressure and the distance between the electrodes affect the corrosion of the cathode electrode where we noticed that the Argon gas is very little corrosion "while corrosion is clear for CO<sub>2</sub>

Republic of Iraq

Ministry of Higher Education

& Scientific Research

University of Al-Qadisiyah

College of Education

Department of Physics



# STUDY THE EFFECT OF ELECTRODE MATERIAL ON FREE-BURNING ARC CHARACTERISTICS

*A thesis*

*Submitted to the Physics Department , College of Education*

*University of Al-Qadisiyah*

*In Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in  
Physics*

by

**JAFAR LATEEF HAJI**

*B. Sc. Physics (2005)*

*College of Education / University of Al-Qadisiyah*

*Supervised by*

*Assist .Prof .Dr. Abdulhussain A. Khadyair*

2017A.C

1438A.H