الجمهورية العربية السورية

وزارة التعليم العالي

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية

قسم هندسة التصميم الميكانيكي

**أطروحة أعدت لنيل درجة الماجستير تخصص علم المواد و هندستها**

**بعنوان :**

# تحسين الصلادة السطحية للفولاذ الكربوني من خلال ترسيب أغشية رقيقة من كربيد التيتانيوم بطريقة الرشرشة المهبطية

# Improving the Surface Hardness of Carbon Steel by Deposition of TiC Thin Films Using Cathode Sputtering

إعداد الطالب

المهندس ايمن قاسم النصيرات

اشراف الدكتور

خالد شرف

العام الدراسي 2019/2018

# كلمة شكر و تقدير

**إلى الذين كانوا لنا قدوة .....**

**إلى المشاعل التي أضاءت دروبنا.....**

**إلى ورود الفل و الياسمين.....**

**إلى من يعجز اللسان عن حصر فضائلهم**

أتوجه بالشكر الجزيل لكل من :

جامعة دمشق و كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية و خصوصاً قسم هندسة التصميم الميكانيكي.

الدكتور خالد شرف المشرف العلمي من قسم هندسة التصميم الميكانيكي.

الدكتور حسن هدله من قسم هندسة التصميم الميكانيكي.

الدكتور محمد علي سلامة من قسم هندسة التصميم الميكانيكي.

الدكتور غسان حداد رئيس قسم هندسة التصميم الميكانيكي.

الهيئة السورية للطاقة الذرية– قسم الفيزياء– و أخص به الدكتور بسام عبدالله.

و أشكر كل من أسهم لاتمام هذا العمل.

المراجع

فهرس الأشكال..... 7

فهرس الجداول..... 9

مقدمة..... 10

الملخص باللغة العربية..... 12

الملخص باللغة الإنكليزية..... 13

عموميات عن الفولاذ ..... 14

1.1. مقدمة ..... 15

2.1. تعريف..... 15

3.1. أهم الخواص الميكانيكية للفولاذ..... 15

4.1. تصنيف الفولاذ..... 16

أ. الفولاذ الكربوني ..... 17

ب. أنواع الفولاذ السبائكي..... 19

5.1.مخطط توازن للحديد كربون Fe–C..... 21

1.5.1.الحديد النقي ..... 21

2.5.1. الكربون C..... 23

3.5.1. التحولات الطورية..... 23

4.5.1. الخطان AC3 و AC1..... 24

5.5.1. أهم أطوار المخطط حديد – كربون ..... 25

6.1. البنية المجهرية للفولاذ..... 25

1.6.1. البنية المجهرية للفولاذ قبل اليوتكتويدي..... 25

2.6.1. البنية المجهرية للفولاذ اليوتكتويدي ( برليت )..... 26

3.6.1. البنية المجهرية للفولاذ بعد اليوتكتويدي ..... 26
7.1. التحولات التي تطرأ على الفولاذ في أثناء التسخين و التبريد ..... 27
الأبحاث السابقة ..... 31
مقدمة ..... 32
أ- التقسية بطريقة المعالجات الانتشارية..... 32
ب- التقسية بتقانة الليزر ..... 34
ج- التقسية بطريقة الترسيب PVD ..... 35
عموميات عن العناصر الانتقالية ..... 39
1.3. مقدمة ..... 40
2.3. تعريف..... 40
3.3. تقسيم العناصر الانتقالية..... 40
1.3.3. عناصر انتقالية رئيسة ( الجناح d ) ..... 40
2.3.3. عناصر انتقالية داخلية ( الجناح f )..... 41
أ.1. العناصر الضارة الموجودة بشكل دائم في الفولاذ ..... 41
ب. العناصر التي تضاف للفولاذ للحصول على خواص معينة أو تحسين خواص..... 42
4.3. كربيدات العناصر الانتقالية ..... 45
2.4.3. بعض خصائص كربيدات العناصر الانتقالية ..... 46
3.4.3. كربيد التيتانيوم ..... 46
4.4.3. منحني الأطوار Ti – C..... 47
التقنيات المستخدمة ..... 50
1.4. الرش المهبطي أو الرشرشة المهبطية Cathode Sputtering..... 51
1.1.4. مقدمة..... 51
2.1.4.الرش المهبطي أو الرشرشة Cathode Sputtering ..... 51

3.1.4. فيزياء الرش المهبطي ..... 52
4.1.4. الفكرة الأساسية لتقنية الرشرشة Basic Sputtering Process ..... 53
5.1.4. آلية الترسيب ..... 54
6.1.4. استخدام المجال المغناطيسي في عملية الرشرشة Magnetron Sputtering Process ..... 55
2.4.المعالجة الحرارية Heat Treatment ..... 56
3.4.التحليل بالأشعة السينية X-Rays ..... 57
4.4.التحليل بالمجهر الإلكتروني الماسح ..... 60
1.4.4. المجهر الإلكتروني النافذTransmission electron microscope ..... 61
2.4.4. المجهر الإلكتروني الماسحScanning electron microscope ..... 62
3.4.4. المجهر الإلكتروني النافذ- الماسح Scanning -Transmission Electron microscope ..... 63
5.5.اختبار القساوة ..... 67
الاختبار العملي ..... 69
1.5. إعداد العينات ..... 70
1.1.5. المواد المستعملة ..... 70
2.1.5. تحضير المادة الحاملة ..... 70
2.5. ترسيب الأفلام الرقيقة ..... 73
1.2.5. توصيف جهاز الرشرشة المغنترونية ..... 73
2.2.5. تجهيز العينات لعملية الترسيب ..... 75
3.5. قياس سمك الفلم المترسب ..... 77
4.5. المعالجة الحرارية ..... 78
5.5. الدراسة التحليلية بالمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) ..... 79

6.5. الدراسة التحليلية باستعمال الأشعة السينية ..... 86
1.6.5. مقدمة ..... 86
7.5. اختبار القساوة الدقيقة ..... 90
التفسير ..... 92
الاستنتاجات و التوصيات ..... 92
المراجع ..... 99

## فهرس الأشكال


| |
|---|
| الشكل (1) منحني تبريد الحديد النقي. |
| الشكل (2) مخطط توازن الحديد – كربون. |
| الشكل (3) البنية المجهرية للفولاذ قبل اليوتكتويدي. |
| الشكل (4) البنية المجهرية للبرليت. |
| الشكل (5) البنية المجهرية للفولاذ بعد اليوتكتويدي. |
| الشكل (6) التغيرات التي تطرأ على بلورات الحديد النقي في أثناء التسخين و التبريد. |
| الشكل (7) التحولات الطورية للفولاذ في أثناء التسخين و التبريد. |
| الشكل(8) القساوة السطحية تبعاً للمعالجة السطحية. |
| الشكل (9) تأثير الدورة الحرارية المتكررة على القساوة . |
| الشكل (10) تغيّر القساوة للفولاذ الكربوني (1%C). |
| الشكل (11) تغيّر القساوة للفولاذ الكربوني (0.6%C). |
| الشكل (12) منحني الأطوار Ti – C. |
| الشكل (13) عملية الترسيب بالرشرشة . |
| الشكل (14) يوضح عملية الترسيب بالرشرشة المغنترونية. |
| الشكل (15) دورة تصادم الإلكترونات و أيونات الآرغون . |
| الشكل (16) يوضح عملية الترسيب بالرشرشة المغناطيسية. |
| الشكل (17) انعكاس الأشعة السينية في مستويات البنية البلورية. |
| الشكل (18) مبدأ عمل الأنواع الثلاثة للمجهر الإلكتروني . |
| الشكل (19) رسم تخطيطي للمجهر الإلكتروني. |
| الشكل(20) الرأس المتغلغل هرمي الشكل المستخدم في اختبار فيكرز. |
| الشكل (21) العينات بعد القص. |
| الشكل (22) آلة التجليخ المستخدمة. |
| الشكل (23) العينات بعد التجليخ. |
| الشكل (24) جهاز التنظيف بالأمواج فوق صوتية. |
| الشكل (25) جهاز الرشرشة المغنترونية . |
| الشكل (26) مقياس ضبط الخلاء . |
| الشكل (28) العينات محمولة على ركازة الترسيب. |
| الشكل (29) جهاز الرشرشة في أثناء عملية الترسيب . |
| الشكل(30) البلازما داخل حجرة الترسيب |
| الشكل(31) فرن المعالجة الحرارية المستخدم . |

| |
|---|
| الشكل (32) طيف العناصر في العينة قبل الترسيب. |
| الشكل (33) طيف العناصر بعد حذف عنصر الأكسجين. |
| الشكل (34) طيف العناصر في العينة (Ti1). |
| الشكل (35) طيف العناصر الموجودة في العينة (Ti1). |
| الشكل (36) طيف العناصر في العينة (TiCO1). |
| الشكل (37) طيف عناصر العينة (TiCO1). |
| الشكل (38) طيف عناصر العينة(TiCO2). |
| الشكل (39) طيف عناصر العينة (TiCO2) بعد حذف الأكسجين. |
| الشكل (40) جهاز حيود الأشعة السينية. |
| الشكل (41) تحليل (XRD) للعينة قبل الترسيب. |
| الشكل (42) تحليل XRD للعينة. |
| الشكل (43) تحليل XRD للعينة (TiCO1). |
| الشكل (44) تحليل XRD للعينة (TiCO2). |
| الشكل (45) تغيرات القساوة بدلالة درجة حرارة التلدين. |
| الشكل (46) تغير القساوة مع نسبة الكربون. |

## فهرس الجداول


| |
|---|
| الجدول (1) نقاط التحول الحرجة. |
| الجدول ( 2 ) يبين خواص الفولاذ حسب البنية. |
| الجدول (3) القساوة السطحية للمعالجة السطحية ( الكربنة ، النتردة ، الكربونتردة ). |
| الجدول (4) خصائص بعض الكربيدات. |
| الجدول (5) مقارنة بين المجهر الإلكتروني و المجهر الضوئي. |
| الجدول (6) التركيب الكيميائي للعينات. |
| الجدول (7) بارامترات الترسيب. |
| الجدول (8) نسبة العناصر في العينة قبل الترسيب. |
| الجدول (9) نسب العناصر بعد حذف عنصر الأكسجين. |
| الجدول (10) نسبة العناصر بعد ادخال عنصر التيتانيوم. |
| الجدول (11) نسب العناصر بعد حذف الأكسجين. |
| الجدول (12) نسب العناصر في العينة (TiCO1). |
| الجدول (13) نسب العناصر في العينة (TiCO1) بعد حذف عنصر الأكسجين . |
| الجدول (14) عناصر العينة (TiCO2). |
| الجدول (15) نسب العناصر في العينة (TiCO2) بعد حذف الأكسجين. |
| الجدول (16) نتائج اختبار القساوة الدقيقة . |

## مقدمة :

تعتمد الخواص الفيزيائية و الكيميائية و الميكانيكية للمواد بشـــكل عام على بنيتها البلورية و توضـع الذرات في الهياكل الشـبكية لهذه المواد (تعتمد على تركيبها الكيميائي والتي تعتمد بدورها على شروط تحضيرها)، ومن أهم هذه المواد سبائك الفولاذ التي تحظى بأوسع انتشار في مجال الصناعة، و منها الفولاذ الكربوني و الفولاذ الســـبائكي و الحديد الزهر (الفونت). و قد أجريت دراســـات عديدة لتحســـين الخواص الفيزيائية و الكيميائية و الميكانيكية لخلائط الفولاذ من خلال اضـــافة العناصـــر الســـبائكية مثل: الكروم و التيتانيوم و المنغنيز وغيرها إلى الفولاذ. وبما أن للفولاذ الكربوني عامة" و للفولاذ متوسط نسبة الكربون خاصة" أو ما يدعى بالفولاذ الإنشائي أو الفولاذ الهندسي أهمية كبيرة في تصـــنيع العدد والأدوات وعناصـــر الآلات مثل عجلات الســـكك الحديدية والأعمدة أو المحاورة والمسننات، و بسبب تعرضها لعوامل عدة مثل الاحتكاك الميكانيكي والأكسدة وغيرها من العوامل مما يؤدي إلى تآكل و إهتراء هذه الأدوات و العدد و خروجها عن أداء وظيفتها تم إجراء هذه الدراســـة . في هذا البحث تم التطرق إلى دراســـة تأثير مركب كربيد التيتانيوم على القســـاوة الســـطحية للفولاذ الكربوني متوسط نسبة الكربون والتي نعتمد فيها على ترسيب طبقات معدنية رقيقة من معدن التيتانيوم باستخدام طريقة الرشرشة المهبطية و معالجتها بالتلدين للحصول على مركب كربيد التيتانيوم.

لكربيدات العناصـر الانتقالية مثل التيتانيوم و النيكل والكروم خصـائص فيزيائية و ميكانيكية جيدة مما جعلها تسـتخدم على نطاق واسـع كأفلام رقيقة لتحسـين الخواص الميكانيكة للمعادن عامة" والســطحية للمعادن المســتعملة في التطبيقات التي تحتاج إلى مقاومة حرارية و ميكانيكية عالية مثل مقاومة التآكل و الاحتكاك.

في هذا العمل تم ترسـيب أفلام رقيقة من كربيد التيتانيوم بطريقة الرشـرشـة المهبطية، حيث رسـبت طبقات نقية من معدن التيتانيوم على عينات من الفولاذ متوسـط نسـبة الكربون (0.34 C%) في وسـط مفرغ حيث تم الترسـيب عند بارامترات مختلفة من الضـغط و الاسـتطاعة و شـدة التيار، ثم قمنا بتلدين العينات تحت الفراغ عند درجات الحرارة(400°C ، 700°C ، 900°C ) من أجل تحفيز تفاعل الكربون مع الأفلام الرقيقة المترسبة الذي يؤدي إلى تشكيل كربيد التيتانيوم و نمّوه .

تتضـمن هذه الأطروحة عدة فصـول تسـتهل بمقدمة عامة، و تختم بملخص فضـلاً عن الخلاصـة ، والمصطلحات المستخدمة ، و المراجع .

الفصل الأول: يتطرق إلى مقدمة عن الفولاذ وتصنيفاته وبيان أطوار حديد _ كربون (Fe –C) مع التحولات الطورية . و أهم أطوار مخطط التوازن مع البنية المجهرية للفولاذ .

الفصل الثاني يتضمن الدراسات المرجعية و البحوث السابقة التي تطرقت إلى طرق تقسية الفولاذ الكربوني المختلفة و استخدام طريقة الرشرشة المهبطية لهذا الغرض .

الفصل الثالث: يتضمن دراسة حول العناصر الانتقالية، تقسيمها إلى عناصر انتقالية رئيسة و عناصر انتقالية داخلية، كما يتطرق هذا الفصل بإيجاز إلى بعض كربيدات العناصر الانتقالية، و بعض خصائص العناصر الانتقالية ، كربيد التيتانيوم و مخطط التوازن TiC .

الفصل الرابع: يتطرق إلى التقنيات المستخدمة في هذا البحث، مثل: جهاز الرشرشة المهبطية و مبدئها و طرق قياس القساوة السطحية، و المعالجة الحرارية، و طرق التحليل للبنية البلورية، و المجهر الإلكتروني الماسح و مبدأ عمله و كذلك الأمر بالنسبة للتصوير بالأشعة السينية و خصائصها المستخدمة في دراسة البنية البلورية للمواد الهندسية .

الفصل الخامس: يتطرق إلى العمل المخبري المنجز و تحليل النتائج و مناقشتها، كما يتطرق إلى طريقة إعداد العينات من التقطيع و التجليخ بالوصول إلى عملية ترسيب الأفلام المعدنية الرقيقة و قياس سمك الطبقة المترسبة، و المعالجة الحرارية، ثم دراسة و تحليل البنية البلورية باستخدام الأشعة السينية ، والمجهر الإلكتروني الماسح، و بعد ذلك قياس القساوة السطحية الدقيقة، و دراسة تحليل النتائج.

## الملخص :

تم في هذا البحث دراسة بعض الخصائص البنيوية والميكانيكية لطبقات كربيد التيتانيوم المترسب على عينات من الفولاذ متوسط نسبة الكربون (0.34C%) بسماكة ( 0.2) ميكرومتر . حيث جرى تحضير ثلاث سلاسل من العينات رسبت بطريقة الرشرشة المغنترونية عند بارامترات مختلفة من الضغط و الاستطاعة و شدة التيار، وذلك من أجل تنشيط التفاعل بين كربون الطبقات السطحية للفولاذ الكربوني المستخدم و أفلام التيتانيوم الرقيقة التي تمت معالجتها بالخلاء، و بعدها أجريت للعينات عملية تلدين عند درجة حرارة (400°C)،(700°C)،(900°C) من أجل تحفيز عملية انتشار الكربون إلى السطح. و لدراسة هذه العينات تم استعمال عدة طرق و تقنيات، منها :

1- انعراج الأشعة السينية.

2- المجهر الإلكتروني الماسح.

3- اختبار القساوة السطحية .

بيّنت مخططات و تحليل العينات بتقنية (EDX) و انعراج الأشعة السينية أن تشكل كربيد التيتانيوم ونمّوه ناجم عن انتشار الكربون في العينات إلى الطبقات السطحية الرقيقة بفعل عملية التلدين . إنّ كمية كربيد التيتانيوم المتشكل متناسبة مع درجة حرارة التلدين ، كما لوحظ ارتفاع درجة حرارة التحول الطوري $Fe_{\gamma} \rightarrow Fe_{\alpha}$ في العينات المرسبة بفعل العناصر التي ترفع مجال $Fe_{\alpha}$ مثل التيتانيوم، و في درجات الحرارة العالية لوحظ تشكل أكسيد التيتانيوم و أكسيد الحديد .

كما وجد أنّه كلما زادت درجات حرارة التلدين زادت انتشار العناصر الداخلة في تركيب الفولاذ الكربوني المستخدم مع مراعاة عامل التمدد الطولي لكل من الفولاذ الكربوني المستخدم و أفلام التيتانيوم الرقيقة المرسبة .

أما نتائج اختبار القساوة فقد بيّنت ارتفاعاً فيها في المراحل الأولى مع ارتفاع كمية كربيد التيتانيوم المشكل؛ وفقاً لدرجة حرارة التلدين، أما التناقص الملاحظ في القساوة في المراحل اللاحقة يعود إلى انتشار المنغنيز في الطبقات السطحية و تشكل الأكاسيد .

## Abstract

In this research, we studied effect of titanium carbide films that were deposited on mild carbon steel (0.34% C) on some structural and mechanical properties. The thin film thick was 0.2 μm. Three series of samples were prepared in a magnetic sputtering at different parameters of pressure, capacity and current intensity to activate the interaction between the carbon of the surface layers of carbon steel used and the thin titanium films treated with the vacuum. Temperature (400°C), (700°C), (900°C) to increse the spread of carbon to the surface. To study these samples, several methods and techniques were used, including:

1- X-ray diffraction.
2- Scanning electron microscopy.
3- micro- hardness test.

EDX and X-ray diffraction demonstrated that titanium carbide formation and growth were caused by the spread of carbon in the samples to thin surface films by the process of annealing. The amount of titanium carbide formed is proportional to the temperature of the annealing, and the temperature of the phase transform $Fe_{\gamma} \rightarrow Fe_{\alpha}$ was observed in the sediment samples by the elements that raise the titanium, and at high temperatures the formation of titanium oxide and iron oxide was observed.

It was also found that at the higher temperature of the annealing, the greater the spread of elements in the structure of carbon steel used.

The results of the hardness test showed an increase in the early stages with the increase in the amount of titanium carbide formed; according to the temperature of the annealing, the decrease observed in the severity in the some stages due to the spread of manganese in the surface layers and the growth of oxides

# الفصل الأول

# عموميات عن الفولاذ

## 1.1. مقدمة :

المعادن الحديدية: هي سبائك من الحديد و الكربون و عناصر أخرى، مثل: السيليسيوم و المنغنيز و الفوسفور و غيرها، و تنقسم سبائك الحديد والكربون حسب نسبة الكربون إلى حديد الزهر (الفونت) و الفولاذ، حيث يكون تكون سبائك الحديد _ كربون زهراً عندما تتراوح نسبة الكربون بين (2.1 – 6.67 %) من كتلة السبيكة المدروسة . [1.2.3.4.5]

## 2.1. تعريف :

الفولاذ هو جميع خلائط الحديد التي تحتوي على 0.10% إلى 1.70% من الكربون) في الواقع إن نسبة الكربون في أنواع الفولاذ التي تنتج عملياً يندر أن تتجاوز 1.4%.[1.2.3.5]

و يمكن أن نقول إن الفولاذ يتألف بشكل عام من بلورات لها أشكال هندسية معينة تتوزع فيها ذرات الحديد و الكربون و بقية العناصر الموجودة في الفولاذ و يكون عدد هذه البلورات كبيراً، حيث إن أبعادها تتراوح بين (0.001_1 مم )[1.6.7] و حسب ظروف التجمد فإن هذه البلورات تنمو و تتصادم و تفقد شكلها المنتظم . و تسمى حبيبات و ممكن أن ترى بالمجهر . و إن ما يحدث لهذه الحبيبات في أثناء التسخين و التبريد و التشكيل هو سبب الخواص التي يتمتع بها الفولاذ و هي هدف المعالجات الحرارية [1]

و كما هو معروف عندما يكون المعدن المصهور (سائلاً) لا توجد بلورات، و لكن عند التبريد تبدأ البلورات بالتشكل حول بذور التبلور ضمن المعدن السائل، و تستمر بالنمو حتى يتجمد المعدن بشكل كامل. إذا كان التبريد بطيئاً يتشكل عندها عدد صغير من البلورات؛ و بالتالي نحصل على حبيبات ضخمة ، أما إذا كانت سرعة التبريد كبيرة فيتشكل عدد كبير من البلورات، و بالتالي تكون الحبيبات ناعمة صغيرة الحجم .[1.2.3.8]

و لحجم الحبيبات تأثير كبير في الخواص الميكانيكية للفولاذ و كقاعدة عامة إن حجم الحبيبات الكبير يسيء لخواص الفولاذ و يجعله قليل القابلية للتشكيل .

## 3.1. أهم الخواص الميكانيكية للفولاذ :

لابد أن نشير إلى الخواص الميكانيكية للفولاذ التي يجب على كل متعامل مع الفولاذ معرفتها، و ذلك باختصار شديد، و أهمها[1.2] :

1- حد المتانة : هي قوة الشّـــد التي يتحطم المعدن عند تطبيقها على عينة قياســـية ( و تعبر عن مقاومة المعدن لأحمال الشّد ، و تقاس ($N/mm^2$, MPa)

2- حد الخضــوع : هو الإجهاد الذي تبدأ عنده عينة المعدن القياســية بالاســتطالة ، و يقاس إجهاد الخضوع ب ($N/mm^2$ , MPa)

3- طاقة الصدم : هو العمل الذي يسبب تحطم عينة قياسية من المعدن عند صدمها بسرعة معينة و يمكن القول إنها تعبر عن مقاومة المعدن للكسر بتأثير أحمال الصدم و تقاس بالجول أو كغ.م .

4- الاستطالة النسبية : هي الاستطالة التي يمكن الحصول عليها بشد عينة قياسية حتى التحطم، أي إنها تعبر عن لدونة المعدن و قابليته للتشكيل و تقاس بالنسبة المئوية لزيادة الطول (%) .

5- القساوة : هي مقاومة المعدن للخدش أو انغراس الأجسام الأخرى فيه ( تعبر عن مقاومة المعدن للخدش ) ، و تقاس بالعديد من الوحدات (برنيل HB، فيكرز HV، روكويلHR) .

## 4.1. تصنيف الفولاذ :

لكي نستطيع تصنيع أجزاء الآلات و الآليات الفولاذية ذات مواصفات مناسبة للشروط الاستثمارية و تحقيق أفضل المعايير للاستخدام، لابد من الاهتمام بالآتي [1.7.8.9.10.11.12]:

1. الاختيار الصحيح لنوع الفولاذ حسب الاستخدام .
2. المعالجة الحرارية المناسبة و الناجحة للفولاذ لإعطائه الخواصٍ المناسبة .
3. المعالجة الميكانيكية و الطلاءات المختلفة المناسبة لإعطاء الفولاذ الخواص الأفضل .

و يعد الأمر الأول أساسياً و شديد الأهمية ، و لايمكن النجاح في عملية المعالجة الحرارية من دون معرفة نوع الفولاذ الذي نستخدمه . و يتم تصنيف الفولاذ وفق المواصفات الألمانية بطريقتين :

أ. حسب الاستخدام .

ب. حسب التركيب الكيميائي .

التصنيف حسب الاستخدام فهو كالآتي :

1- فولاذ إنشاءات عام – فولاذ غير قابل للتقسية – فولاذ قابل للنتردة – فولاذ سهل القطع .

2- فولاذ قابل للمعالجة الحرارية – فولاذ المحامل الفولاذية البلحية (رولمانات) .

3- فولاذ النوابض – فولاذ قابل للتقسية السطحية – فولاذ يسحب على البارد .

4- فولاذ متين في درجات الحرارة تحت الصفر– فولاذ أوعية الضغط – فولاذ إنشاءات مقاوم للحرارة .

5- فولاذ إنشاءات ناعم الحبيبات – فولاذ إنشاءات ناعم الحبيبات مقاوم للعوامل الجوية .

6- فولاذ أدوات كربوني – فولاذ سريع القطع .

7- فولاذ أدوات عامل في درجات الحرارة العادية .

8- فولاذ أدوات عامل في درجات الحرارة العالية .

9- فولاذ صمامات – خلائط فولاذية مقاومة لدرجات الحرارة العالية – فولاذ غير مغناطيسي – فولاذ مقاوم للحرارة .

10- فولاذ مقاوم للصدأ (ستانلس ستيل) .

11- فولاذ صب مقاوم للتآكل الكيميائي و الحموض و الحرارة .

12- مواد تعبئة اللحام الفولاذ السبائكي (عالي نسبة عناصر الخلط).

أما تصنيف الفولاذ حسب التركيب الكيميائي يكون :

**أ. الفولاذ الكربوني :**

1. الفولاذ منخفض نسبة الكربون (نسبة الكربون أقل من 0.25%) .

2. الفولاذ متوسط نسبة الكربون (0.3-0.5)% .

3. فولاذ عالي نسبة الكربون (0.5-1)% .

**ب. الفولاذ السبائكي (الخلائطي) :**

1. مجموعة الفولاذ السبائكي قليل نسب الخلط من 5% و عناصر الخلط مثل (المنغنيز و النحاس و الكروم و التيتانيوم) .

2. مجموعة الفولاذ السبائكي متوسط نسب الخلط (5-10%) و هذا الفولاذ هو أنواع الفولاذ قليل نسب الخلط بعد أن يضاف إليها في أثناء الانصهار بعض عناصر الخلط الإضافية مثل المولبيديوم و الفانديوم و التنغستن و غيرها ، حيث ترفع هذه العناصر متانة الفولاذ في درجات الحرارة المرتفعة (400-600) درجة مئوية .

3. مجموعة الفولاذ السبائكي عالي نسب الخلط : في هذه المجموعة تزيد نسبة عناصر الخلط فيها على 10%.

**أ.1. أنواع الفولاذ الكربوني حسب استعماله :**

يقسم الفولاذ الكربوني حسب استعماله إلى نوعين [1.9.13]:

1. فولاذ الإنشاءات الكربوني .

2. فولاذ العدة الكربوني .

## أ.1.1. فولاذ الإنشاءات الكربوني :

هو الفولاذ المستخدم لإعداد أجزاء الآليات و الإنشاءات، و يجب ألا تزيد نسبة الكربون على 0.5 – 0.6% من الكربون .

### أ.1.1.1. فولاذ كربوني عادي :

يستعمل من دون معاملة حرارية و ينقسم إلى مجموعتين :

**1- فولاذ المجموعة A :**

و يرقم على حسب خواصه الميكانيكية

فولاذ i : $C_Ti$ i= 1,2,3,4,.....

Acier : $C_T$

و كلما زاد الرقم تزداد نسبة الكربون في الفولاذ، و بالتالي تزداد متانته، و تقل لدونته .

**2- فولاذ المجموعة B :**

و يرقم على حسب التركيب الكيميائي

الفولاذ م i $CM_Ti$

الفولاذ ب i $BC_Ti$

الفولاذ ت i $CT_Ti$

I= 1,2,3,4,.....

حيث : م (M) ، ب (B) ، ت (T) تدل على طريقة الصهر .

م : مارتن .

ب : بيسمر .

ت : توماس .

### أ.2.1.1. فولاذ كربوني جيد :

يستعمل للأجزاء التي تعامل معاملة حرارية، و كيميائية ،و يشترط في هذا النوع دقة أكبر في التركيب الكيميائي إذ تخفض حدود تغير الكربون و تخفض نسبة الكبريت و الفوسفور حتى (0.04%) .

و تتميز أنواع الفولاذ الكربوني الجيد بالأرقام 08 ، 10 ، ..... 45 ، .... 70 ، و تمثل هذه الأعداد النسبة المتوسطة للكربون في أجزاء من المئة .

### أ.2.1. فولاذ العدة الكربوني :

و يرمز له بالرمز (مثلاً) :

Y7 , y7A , Y8 , Y8A , Y9 , Y9A , Y10 ,Y10A ,.....

يدل الحرف Y على أنه فولاذ كربوني، في حين يبين الرقم نسبة الكربون في أجزاء من عشرة بالمئة و يدل الحرف A على جودة الفولاذ و احتوائه على أقل نسبة من الكبريت و الفوسفور، حيث إنه في عدم وجود A لا تزيد نسبة الكبريت عن 0.04% و في حال وجود A لا تزيد على 0.03% .

### ب. أنواع الفولاذ السبائكي :

يقسم الفولاذ السبائكي حسب البنية أو حسب الاستعمال كالآتي :

### ب.1. حسب البنية :

و هي ستة أنواع :

1- الفريتي .

2- الأوستنيتي .

3- البرليتي .

4- الكربيدي .

5- المارتنسيتي .

## ب.2.1. التقسيم حسب الاستعمال :

و هو نوعان :

- فولاذ الإنشاءات السبائكي .

- فولاذ العدة السبائكي .

### أ. فولاذ الإنشاءات السبائكي :

يجب أن تكون أنواع هذا الفولاذ المستعملة لصناعة أجزاء المكنات و المنشآت عالية المقاومة و المتانة، و تنقسم حسب نسبة الكربون فيها إلى :

**أ.1. فولاذ كربنة** [8.9.10.14.15.16]:

و هو ذلك النوع من الفولاذ السبائكي الذي يحتوي على الكربون بنسبة تتراوح بين 0.01 و 0.25% .

**أ.2. فولاذ محسن** : و يحتوي على 0.30 إلى 0.55% كربون .

### ب. فولاذ العدة السبائكي :

و هو أكثر قساوة و مقاومة للتآكل من الفولاذ الكربوني نظراً لوجود العناصر المكونة للكربيدات، مثل: Cr , Mn ,V , W .

## ب.3.1. تمييز أنواع الفولاذ السبائكي :

### ب.1.3.1. الفولاذ السبائكي الإنشائي :

يميز هذا النوع من الفولاذ بأرقام و حروف و يكتب غلى سبيل المثال كالآتي :

15X, X22H4A

و يدل الرقمان الأولان الواردان في بداية طراز الفولاذ على المحتوى المتوسط للكربون بكسور بالمئة أما الحروف الموجودة على يمين الأرقام، فتدل على عنصر الخلط السبائكي مثلاً :

A تدل على النتروجين.

H تدل على النيكل.

T تدل على التيتانيوم.

X تدل على الكروم.

و تدل الأرقام الموجودة بعد الحروف على النسبة التقريبية للعنصر الذي يدل عليه الحرف .

و يدل عدم وجود رقم على أن النسبة قد تساوي 1.5% أو أقل .

### ب.2.3.1. فولاذ العدة السبائكي :

يميز فولاذ العدة السبائكي بأرقام و حروف مثل :

9X , 7X3 ,.....

يدل الرقم الأول من اليسار على نسبة الكربون بكسور عشرية في المئة هذا في حال النسبة أقل من 1% أما إذا كانت حوالي 1% فلا يذكر الرقم . و تدل الحروف على عناصر الخلط السبائكي و يدل الرقم الذي بعد الحرف على النسبة المئوية الدال عليه الحرف .

## 5.1. مخطط التوازن الحديد كربون Fe-C :

يتكون هذا البيان من عنصـــرين متباينين في الخواص الفيزيائية و الكيميائية هما الحديد و الكربون .

### 1.5.1.الحديد النقي:

### 1.1.5.1. تعريف :

الحديد : هو عنصـــر كيميائي عدده الذري 26 ، كتلته الذرية 55.847 ، درجة انصـــهاره 1536 درجة مئوية، درجة تبخره 3000 درجة مئوية، و كتلته الحجمية 7.86 غ/سم$^3$ ، و يتواجد في الطبيعة على شكل أكاسيد (أكسيد الحديد الأحمر هيماتيت$Fe_2O_3$) ، أكسيد الحديد الأسود ماغنيت، وأكسيد الحديد ماغنيت $Fe_3O_4$)[9.10.11]

### 2.1.5.1. منحني تبريد الحديد النقي :

– في المنطقة 1535 – 1390 درجة مئوية يكون الحديد ذا شـــبكة بلورية مكعبة متمركزة حجمياً CCB طول ضلع مكعبها Å 2.93 ، و يسمى بالحديد δ ( Fe δ) .

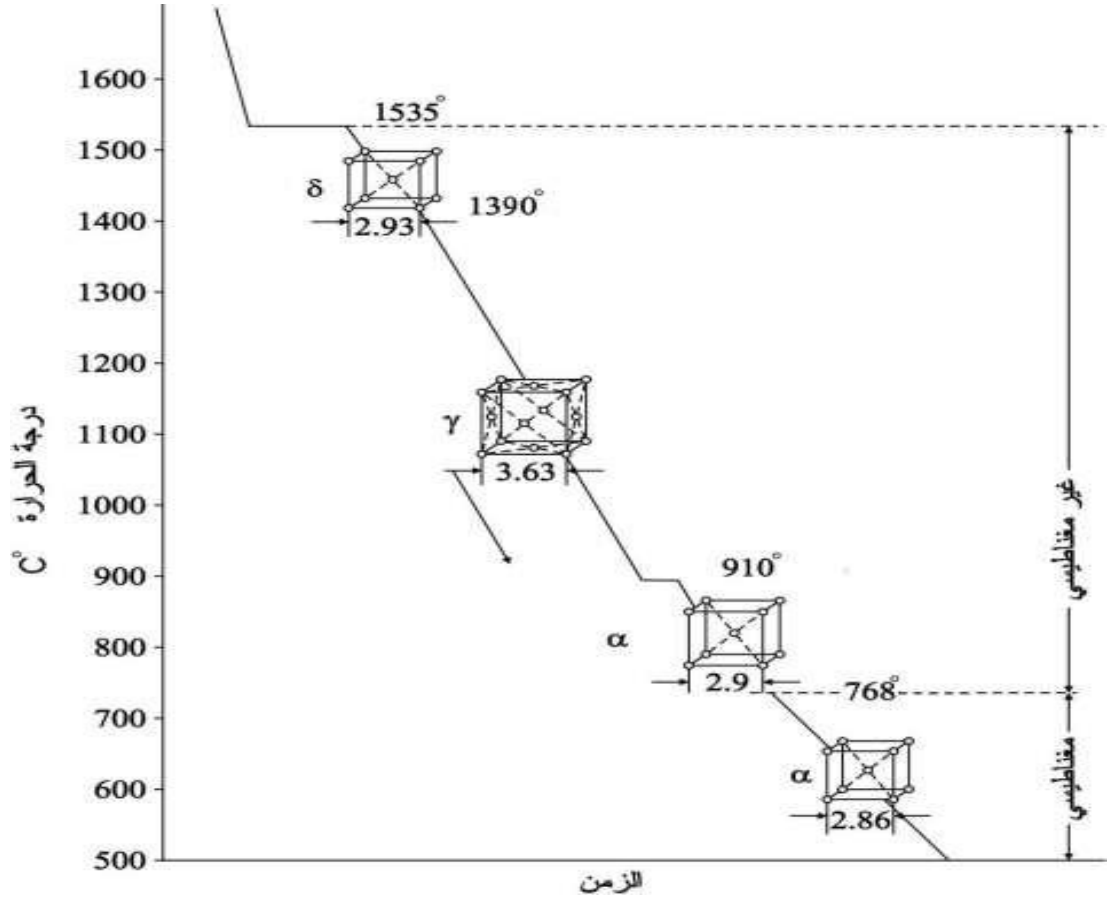
– و عند الدرجة 1390 درجة مئوية تتحول الشبكة المكعبة المتمركزة حجمياً BCC إلى شبكة مكعبة متمركزة وجهياً FCC طول ضلع مكعبها Å 3.63، أي إن الحديد δ يتحول إلى الحديد γ

– و في المدى 1390 درجة مئوية إلى 910 درجة يكون الحديد في الحالة γ .

– و عند الدرجة 910 درجة مئوية تتحول الشبكة المكعبة المتمركزة وجهياً FCC إلى الشبكة المكعبة المتمركزة حجمياً BCC (αFe ) طول ضلع مكعبها Å 2.90 .

و بسـبب تغير الشـبكة البلورية للحديد تتغير بعض خصـائصـه ، فالحديد αFe مثلاً يكاد لا يذيب الكربون. أما الحديد γFe فيذيب الكربون بنســبة تصــل إلى 2% و يذوب الكربون في الحديد Fe δ بنسبة تصل إلى 0.1% [1.2.3.4.9.10.11].

الشكل (1) يبين منحني تبريد الحديد النقي .




**الشكل (1) منحني تبريد الحديد النقي.**

### 2.5.1. الكربون C :

يتواجد الكربون في صورتين بلوريتين، هما: الماس و الغرافيت .

– الماس عديم اللون، شـــديد الصـــلابة، درجة انصـــهاره عالية (3930 درجة مئوية)، كثافته 3.51غ/سم$^3$ .

– الغرافيت لين و يتشـقق بسـهولة، درجة انصـهاره 2940 درجة مئوية، سـداسـي البنية و كثافته 2.22غ/سم$^3$ .

يكون الكربون مع الحديد مركباً وسيطاً هو السمنتيت ($Fe_3C$) الذي ينصـهر عند 1227 درجة مئوية و يحتوي على 6.69% من نسبة الكربون .

### 3.5.1. التحولات الطورية :

يكون الحديد δ و γ و α مع الكربون في الحالة الجامدة محاليل انغراسية بينية هي [10.11]:

– الطور δ ( الفريت δ ) .

– الطور γ ( الأوستنيت γ ) .

– الطور α ( الفريت α ) .

يتغير ذوبان الكربون في كل طور مع تغير درجة الحرارة، كما هوموضح في الشكل (2) .

هناك ثلاثة تحولات يظهرها مخطط توازن :

1– تحول يوتكتيكي عند 1147 درجة مئوية :

$$L\ (4.3\%C) \leftrightarrow Fe_3C + Fe\ \gamma\ (2.11\%C)$$

المركب $Fe_3C + Fe\ \gamma\ (2.11\%C)$ يشكل الليديوبوريت .

2– تحول يوتكتويدي عند درجة الحرارة 727 درجة مئوية وفق المعادلة الآتية :

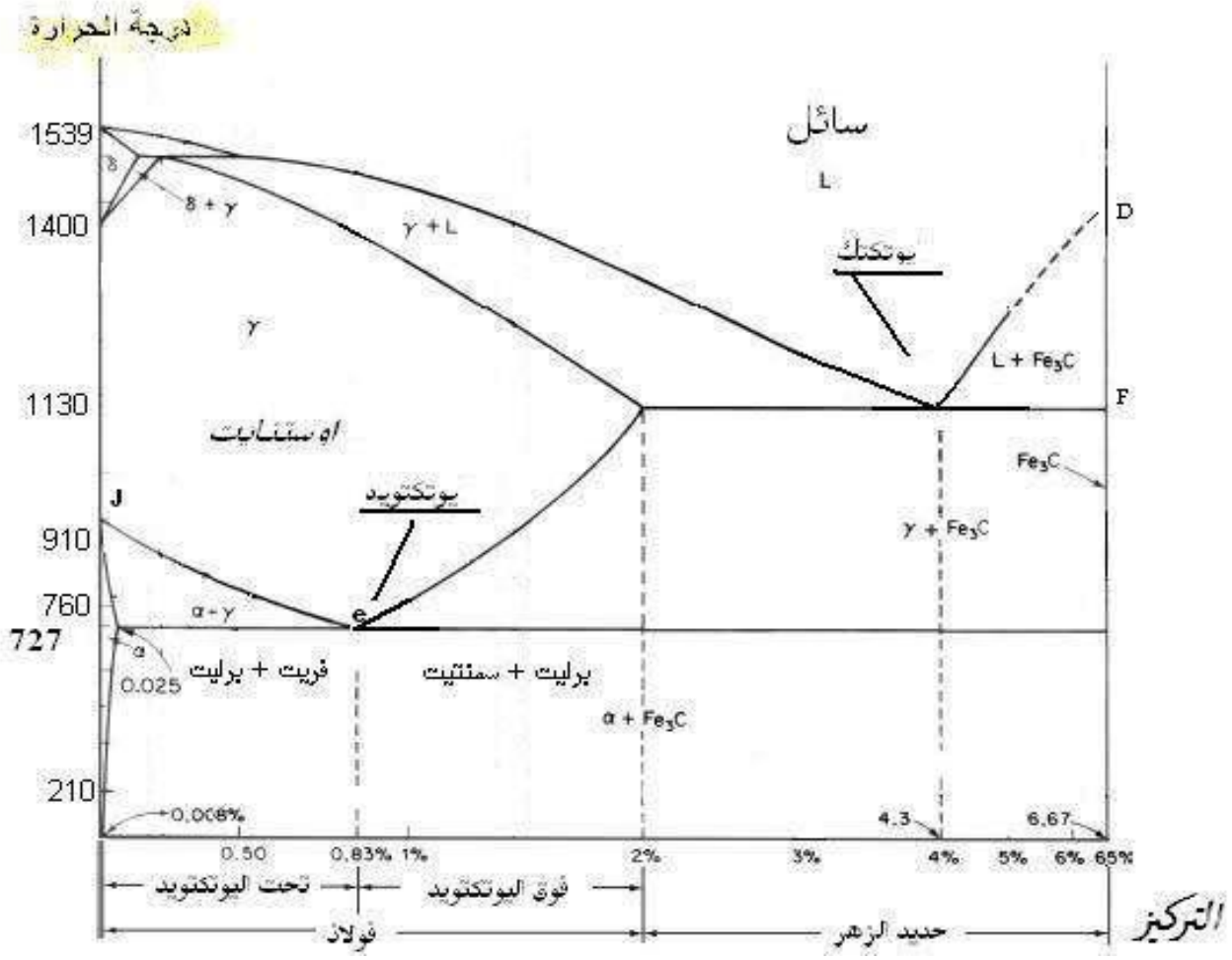
$$\gamma\ (0.77\%\ C) \leftrightarrow Fe_3C + Fe\alpha\ (0.02\%C)$$

$Fe_3C + Fe\alpha\ (0.02\%C)$ هذا المركب يمثل البرليت.

3– التحول البريتكتيكي عند درجة الحرارة 1493 درجة مئوية يتم وفق المعادلة الآتية :

$$L\ (0.5\%C) + Fe\ \delta\ (0.1\%C) \leftrightarrow Fe\ \gamma\ (0.16\%C)$$

و يبين الشكل (2) مخطط توازن الحديد– كربون.




**الشكل (2) مخطط الحديد – كربون**

## 4.5.1. الخطان $AC_3$ و $AC_1$ :

– يسمى المنحني je بالخط $AC_3$، و يمثل الحد الفاصل بين المنطقتين γ و γ+α ، أو درجة حرارة نهاية ( أو بداية ) التحول الطوري γ↔α و هي تتغير مع نسبة تركيز الكربون .

– يسمى المسطح اليوتكتويدي (723 درجة مئوية ) بالخط $AC_1$ و يمثل درجة حرارة أو بداية التحول الطوري γ↔α و هي ثابتة لا تتغير مع تركيز الكربون غير أنها تتغير عند إضافة عناصر سبائكية أخرى .[4.5.8.11]

### 5.5.1. أهم أطوار المخطط حديد – كربون [4.6.8.9.10.11] :

أهم أطوار مخطط الاتزان الحراري لسبيكة الحديد و الكربون لمختلف درجات الحرارة، هي :

1- طور الفريت α :

هذا الطور هو الطور الموجود عند درجات الحرارة الأقل من 911 درجة مئوية ، بناؤه البلوري مكعب متمركز حجمياً BCC .

2- طور السمنتيت :هو مركب كيميائي صيغته $Fe_3C$ و يسمى في بعض الأحيان الكربيد، و هو طور غني بالكربون، نسبة الكربون فيه 6.7% .

3- طور الأوستنيت γ :

هذا الطور يكون مستقراً بين درجتي الحرارة 911 و 1392 درجة مئوية ذا البنية البلورية المكعبة المتمركزة وجهياً FCC .

4- طور الفريت δ :

هو الشكل المستقر فوق درجة الحرارة 1392 درجة مئوية ، بنيته البلورية مكعب متمركز وجهياً BCC .

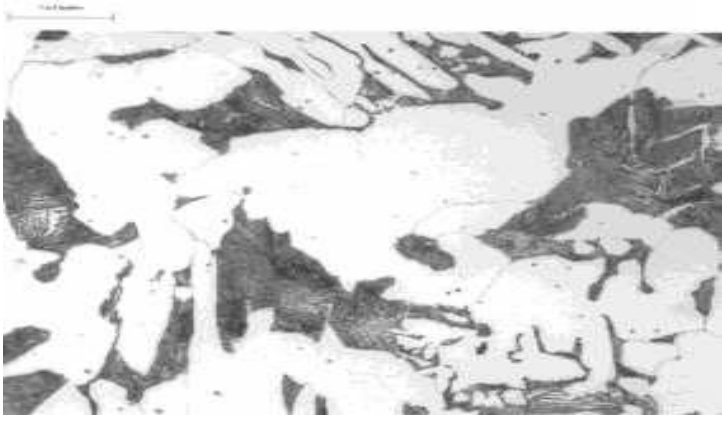
5- طور السائل : وهو سائل مكون من مصهور الحديد و الكربون .

## 6.1. البنية المجهرية للفولاذ :

اصطلح على تسمية سبيكة الفولاذ التي تحتوي على 0.8% كربون بالفولاذ اليوتكتويدي [11].

### 1.6.1. البنية المجهرية للفولاذ قبل اليوتكتويدي :

يظهر الشكل (3) البنية المجهرية للفولاذ قبل يوتكتويدي.



**الشكل (3) البنية المجهرية للفولاذ قبل اليوتكتويدي.**

حيث تمثل المساحات الفاتحة فيريت و المساحات القاتمة البرليت .

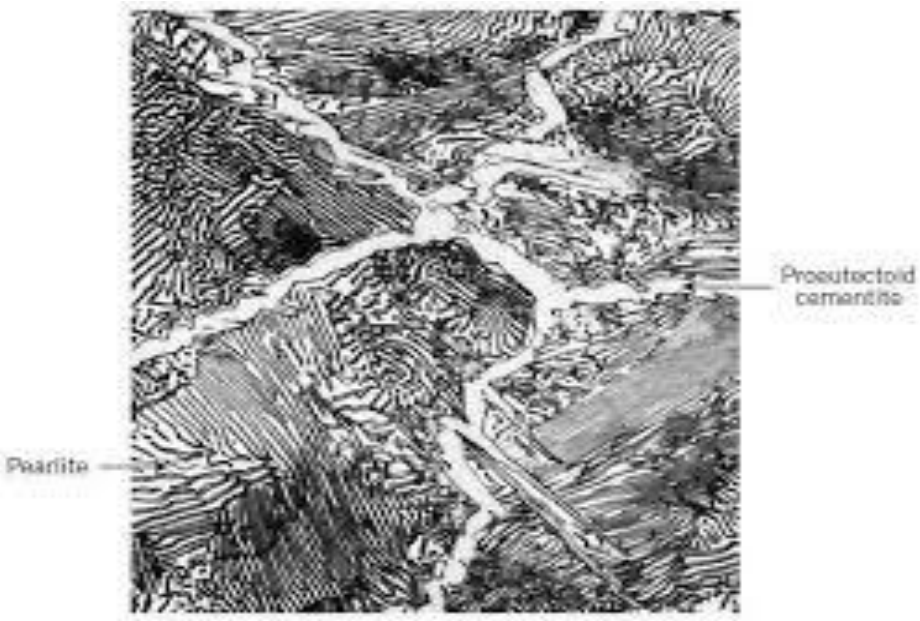
### 2.6.1. البنية المجهرية للفولاذ اليوتكتويدي ( برليت ) :

يظهر الشكل (4) البنية المجهرية للبرليت .

**الشكل (4) البنية المجهرية للبرليت.**

### 3.6.1. البنية المجهرية للفولاذ بعد يوتكتويدي :

الشكل (5) يبين البنية المجهرية للفولاذ بعد اليوتكتويدي .



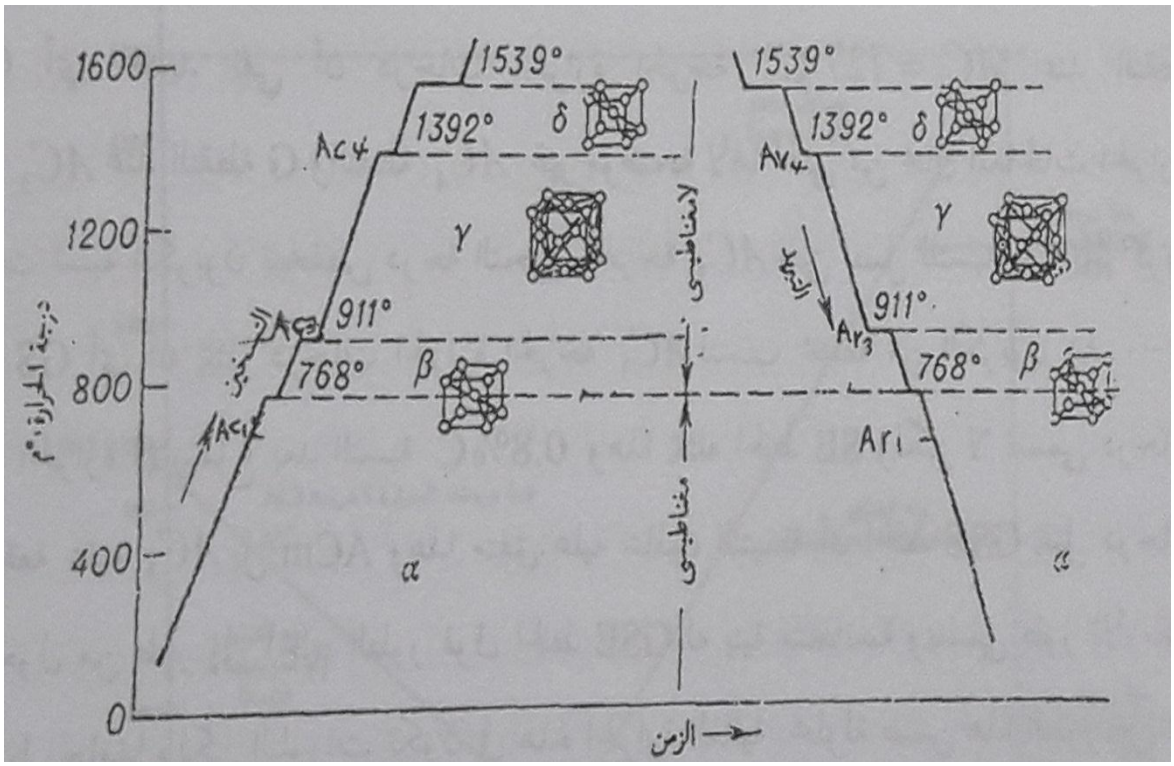

**الشكل (5) البنية المجهرية للفولاذ بعد اليوتكتويدي.**

يتكون من سمنتيت و بيرليت ( السمنتيت بلون فاتح ) .

## 7.1. التحولات التي تطرأ على الفولاذ في أثناء التسخين و التبريد :

إن هذا الموضـــوع واســـع و بحاجة لمســـتوى كاف من المعرفة في علم المعادن و قراءة المخططات، و في هذه الفقرة إيجاز لآلية التحولات و التأثيرات التي تطرأ على الفولاذ عند التسخين و التبريد لكل صنف من الفولاذ، و من ثم المعالجات الحرارية الممكنة [1].

تأخذ البلورات في مجال درجات الحرارة ( 1392 – 1539 درجة مئوية ) شكلاً يدعى (δ)، و في المجال ( 911 – 1392 درجة مئوية ) تأخذ شـــكل غاما (γ) و تحت الدرجة ( 911 درجة مئوية ) تأخذ الشـكل (β) و باسـتمرار التبريد تحافظ البلورات على هذا الشـكل مع انكماش في أبعاد البلورات و يسـمى هذا الحديد حديد (α)، و تختلف الأشـكال البلورية السـابقة بعضـها عن بعض في الأبعاد و توزع ذرات الحديد و الكربون داخلها ( كما يظهر الشكل (6) و كذلك قابليتها لإذابة الكربون . [1.2.3.4.5.9.10.11]




**الشكل (6) التغيرات التي تطرأ على بلورات الحديد النقي في أثناء التسخين و التبريد.**

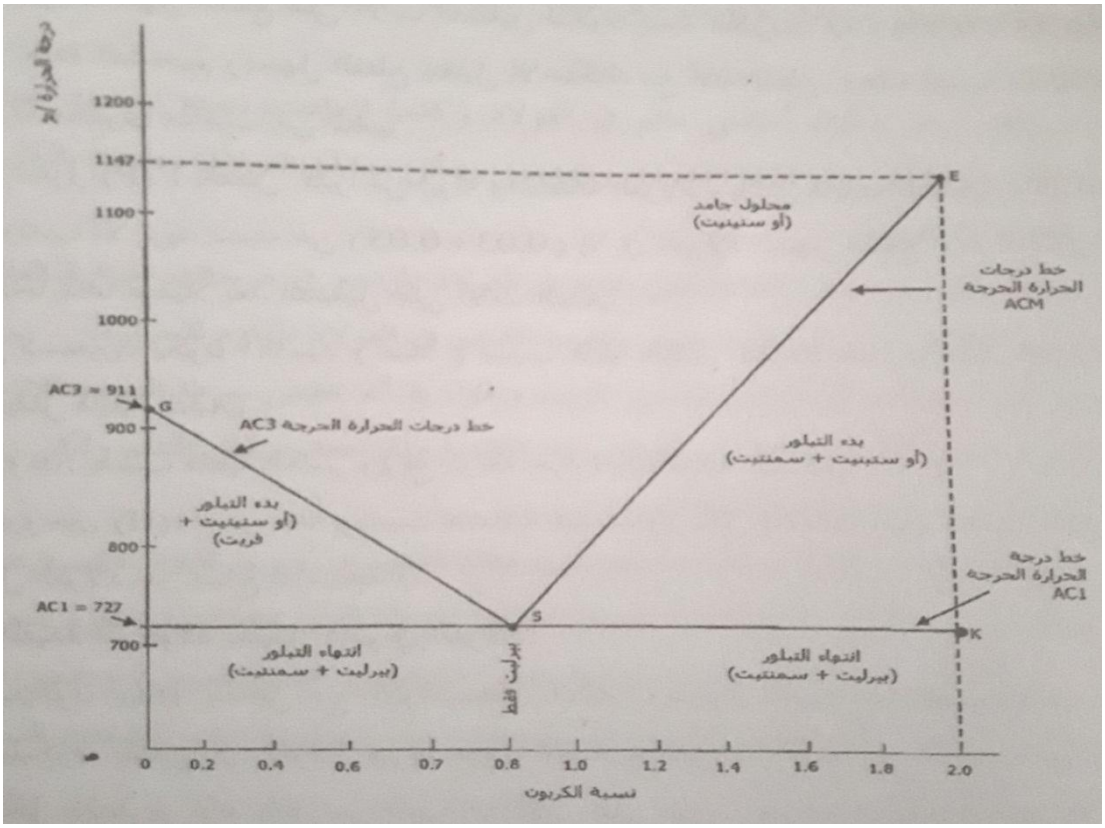
تســـمى درجات الحرارة التي تحدث عندها هذه التحولات بدرجات الحرارة الحرجة للتحول، و هي للحديد النقي، و تسمى النقاط السابقة A1 ، A3 ، A4 بالنقاط الحرجة للتحول ، و نضيف إليها

نقطة مهمة هي نقطة التحول المغناطيسـية، و عندها تظهر الخواص المغناطيسـية للحديد في أثناء التبريد، و تختفي في أثناء التسخين ، و تقع هذه النقطة عند الدرجة ( 760 ) درجة مئوية.

**الجدول (1) نقاط التحول الحرجة**

| عند التسخين | و عند التبريد و لكن نستبدل الحرف C ب r-- |
|---|---|
| AC1=727 $C^0$ | Ar1= 727 $C^0$ |
| AC3=911 $C^0$ | Ar3= 911 $C^0$ |
| AC4=1392 $C^0$ | Ar4=1392 $C^0$ |

يوضـح الشـكل المبسـط (7) الحولات الطورية التي تطرأ عل الفولاذ في أثناء التبريد و التسـخين (في حدود المعالجة الحرارية) .




**الشكل (7) التحولات الطورية للفولاذ أثناء التسخين و التبريد**

يبين الخط الأفقي نسـبة الكربون في الفولاذ، و يمثل الخط الشـاقولي درجات الحرارة . نلاحظ عنـد نسـبـة الكربون 0.022 أن درجـات الحرارة الحرجـة AC1=727 $C^0$ عنـد النقطـة P ، و AC3=911 $C^0$ عند النقطة G و النقطة AC4 غير موضـحة؛ لأنها أعلى من مجال المعالجات

الحرارية [1.6.9.10.11]. كلما زادت نسبة الكربون تنخفض درجة التحول الحرجة AC3 حتى تصل إلى النسبة 0.8% كربون، و يمثل ذلك الخط GS؛ أي إنه يمثل درجات الحرارة الحرجة AC3 لنسب مختلفة من الكربون أي عند النسب بين (0 – 0.8)%، ثم تعود درجة الحرارة للارتفاع بعد النسبة 0.8% كربون و هذا يمثله الخط SE، و لكن لا تسمى درجات الحرارة الحرجة الواقعة عليه AC3 بل ACm و هذا متفق عليه عالمياً[15]، النتيجة أن الخط GSE يمثل درجات الحرارة الحرجة للتحول من طور إلى آخر، فوق الخط GSE له بنية متجانسة، و يسمى طور الأوستنيت و هو ليس سائلاً بل جامد، و لكن البلورات تكون في هذه الحرارة العالية محلولة ضمن هذا الطور، و بالتبريد تحت الخط GSE يحدث تحول طوري و يبدأ التبلور . إذا كانت نسبة الكربون أقل من 0.8% يبدأ تشكل ما يسمى بالفريت، و إذا كانت النسبة أعلى يبدأ تشكل ما يسمى بالسمنتيت، و تنتهي هذه التحولات عند درجة الحرارة الحرجة AC1=727 $C^0$ و التي لها القيمة نفسها مهما كانت نسبة الكربون، و يمثل ذلك الخط الأفقي PK، تحت الخط PK يصل الفولاذ إلى البنية النهائية، و هي حسب نسبة الكربون :

0–0.8% كربون فريت + برليت

0.8% كربون برليت

0.8–2% كربون برليت + سمنتيت ثانوي . ونستطيع معرفة خواص الفولاذ من الأشكال الثلاثة المذكورة سابقاً عبر معرفة خواص هذه البنيات حسب الجدول (2) .

**الجدول ( 2 ) يبين خواص الفولاذ حسب البنية [1]**

| | القساوة / برينل | المتانة كغ / $مم^2$ | الاستطالة النسبية | مقاومة الصدم كغ / $م^2$ |
|---|---|---|---|---|
| الفريت | 80–180 | 30–85 | (12–50)% | 20 |
| البرليت | 180 | 85 | (12)% | |

أما السمنتيت فقساوته ( 700–800 ) برينل و متانته و مقاومته للصدم منخفضة، و استطالته النسبية شبه معدومة، أي إنه غير قابل للتشكيل إلا بحدود ضيقة و قليل المقاومة للصدمات، إذاً بإمكاننا معرفة خواص الفولاذ من نسبة الكربون فيه .

ملاحظة : يفيدنا المخطط (7) في أمرين أولاً : معرفة درجات حرارة بدء التحول و انتهاؤه ( الدرجات الحرجة للتحول ) إذا عرفنا نسبة الكربون في الفولاذ، و يفيدنا في المعالجات الحرارية لاختيار درجات

حرارة التسـخين المناسـبة ، و ثانياً معرفة بنية الفولاذ النهائية حسـب نسـبة الكربون؛ و بالتالي خواص هذا الفولاذ [8].

# الفصل الثاني

# الأبحاث السابقة

## مقدمة :

يعدّ الفولاذ الكربوني من أهم المعادن الهندسية المستخدمة في الصناعات سواء كانت إنشائية (كمادة تسليح) أو ميكانيكية مثل (عناصر و أجزاء الآلات و أدوات القطع و غيرها)، إنّ استخدام الفولاذ الكربوني في صناعة أجزاء الآلات يستوجب أن تكون له خاصية القساوة العالية لمنع التآكل الناتج عن الاحتكاك، و من هنا بدأت الحاجة الملحة لايجاد طرق للتقسية .

هناك العديد من الطرق و التقنيات المستخدمة لرفع قيم التقسية منها [13]:

أ- التقسية بالمعالجات الانتشارية التي تتضمن :

1- الكربنة .

2- النتردة .

3- الكربونتردة .

4- عمليات المعالجة الانتشارية الخاصة .

ب- التقسية بتقانة الليزر .

ج- التقسية بتقانة الترسيب الحراري .

د- التقسية بتقانة الترسيب بالأبخرة الفيزيائية .

هـ- تقانات التقسية الخاصة .

## أ- التقسية بطريقة المعالجات الانتشارية :

### أ-1- الكربنة [17.18] :

تعد عملية الكربنة من أقدم المعالجات الحرارية الكيميائية للفولاذ و أوسعها . و الهدف من عملية الكربنة هو إشباع الطبقات السطحية للفولاذ الكربوني بالكربون . تطبق عمليات الكربنة على الفولاذ منخفض الكربون و الفولاذ منخفض السبائكية و بعض أنواع الفولاذ غير قابل للصدأ إذ لا تزيد نسبة الكربون فيه على (0.25%C) ، و هذا يعني تكوين طبقة سطحية غنية بالكربون (حيث يكون المعدن الأصلي بالأساس منخفض الكربون) و يبقى القلب (المنخفض الكربون) طرياً متيناً حتى بعد تعرض الطبقات السطحية لعملية التقسية بالكربنة .

**أ-2- النتردة** [17]:

هي عملية انتشار النتروجين في سطح المادة الحاوية على الحديد ثنائي التكافؤ في تركيبها من أجل إنتاج طبقة سطحية قاسية إن تأثير النتروجين في الفولاذ مشابه لتأثير الكربون، و لكن مع إيجابيات إضافية و بعض السلبيات. يمكن بالنتردة أن ننتج طبقات أقسى من الطبقات المكربنة، و لكنها أبطأ و تكون عادة أكثر تعقيداً من عملية الكربنة، يمكن للنتروجين أن يقوي المحلول الصلب للفولاذ، و لكن التأثير الأكثر أهمية هو القدرة على تشكيل مركبات قاسية مع الحديد و هذه المركبات تزيد من القساوة السطحية حتى قيمة (70HRC) و هذه القساوة أعلى من التي يمكن الحصول عليها من عمليات التقسية بالغمس، و هذا السطح القاسي يمتاز بتجانس في النظام المادي .

**أ-3- الكربونتردة** [16.17.18]:

و هذه العملية تقسم إلى أنواع عدّة منها :

* الكربونتردة السائلة أو السيندة .

* الكربونتردة الغازية .

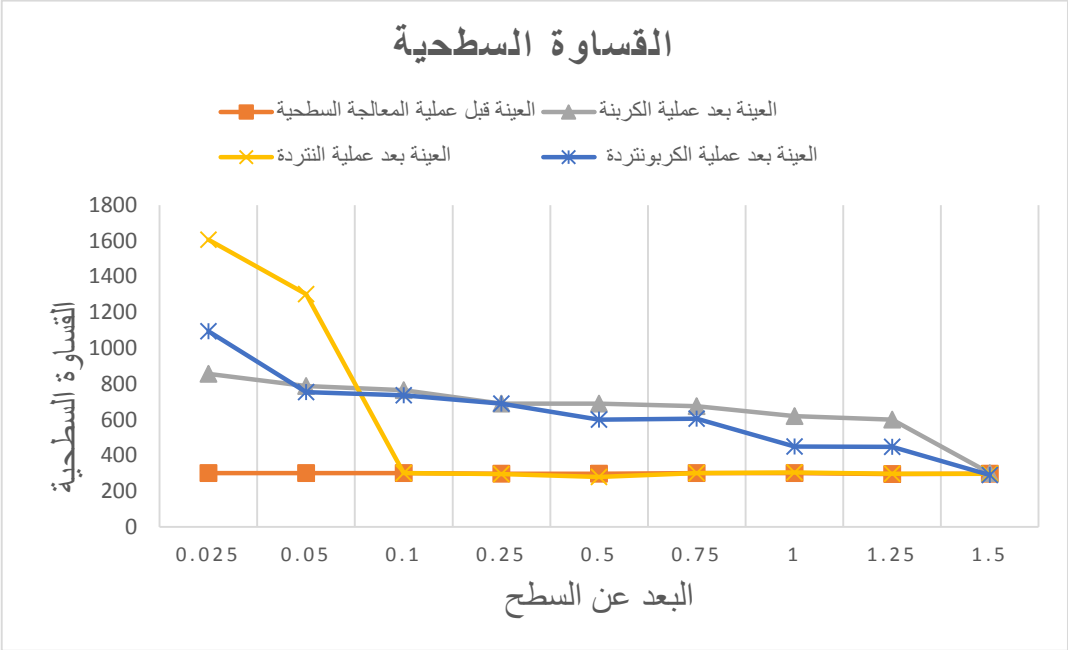
من الأبحاث في هذا المجال ما قام به الباحث (محمد عبد الصادق عبد المحسن)،حيث درس تأثير المعالجة السطحية (الكربنة ، النتردة ، الكربونتردة) على الفولاذ منخفض الكربون (0.2%C) و حسب الجدول (3) تبين أن عملية الكربنة تؤدي إلى زيادة القساوة السطحية بثلاثة أضعاف، أما بالنسبة لعملية النتردة و الكربونتردة فقد ازدادت حوالي خمسة أضعاف بسبب تشكل نتريد الحديد ذي القساوة العالية .

**يبيّن الجدول (3) القساوة السطحية للمعالجة السطحية ( الكربنة ، النتردة ، الكربونتردة )** [19]:

| البعد عن السطح (mm) | القساوة السطحية HV | | | |
|---|---|---|---|---|
| | العينة قبل عملية المعالجة | العينة بعد عملية الكربنة | العينة بعد عملية النتردة | العينة بعد عملية الكربونتردة |
| 0.025 | 301 | 855 | 1605 | 1094 |
| 0.05 | 300 | 788 | 1302 | 753 |
| 0.1 | 300 | 765 | 300 | 735 |
| 0.25 | 297 | 690 | 295 | 690 |
| 0.5 | 297 | 690 | 297 | 600 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 605 | 300 | 675 | 300 | 0.75 |
| 450 | 305 | 620 | 300 | 1 |
| 448 | 298 | 600 | 295 | 1.25 |
| 290 | 297 | 300 | 298 | 1.5 |

و الشكل (8) يبين المخطط البياني للنتائج .




**الشكل(8) القساوة السطحية تبعاً للمعالجة السطحية.**

## ب- التقسية بتقانة الليزر :

إن استخدام شعاع الليزر في تقسية المعادن يعتمد على عدد من العوامل المهمة و التي تختلف أهميتها وفقاً لخصائص المادة الخاضعة للمعالجة بالليزر كما تختلف خواص شعاع الليزر. إن تركيز كثافة عالية من الطاقة على أجزاء الأجسام المراد معالجتها يؤدي إلى الحصول على هياكل شبكية مختلفة ( محاليل صلبة مشبعة ) بالنتيجة زيادة القساوة و تحسن في المتانة و مقاومة التآكل [15]. في هذا المجال قام الباحث ( تحسين البرغوث ) و زملاؤه [20] بدراسة تأثير بارامترات الليزر في البنية البلورية و الخواص الميكانيكية للفولاذ، ففي هذا البحث درس الباحثون تأثير تغير بعض البارامترات الرئيسة لشعاع الليزر $CO_2$ في كل من البنية البلورية و الخواص الميكانيكية لسطوح عينات من الفولاذ الكربوني منخفض ، متوسط ، عالي نسبة الكربون. و أظهرت النتائج أن هناك مجالاً واسعاً لتغير كل من سرعة شعاع ليزر $CO_2$ و استطاعته من دون أن يحدث صهراً موضعياً في سطح العينة المعالجة و ارتفاع القساوة السطحية بمقدار الضعف للفولاذ منخفض الكربون و ارتفاعها بمقدار ثلاثة أضعاف للفولاذ

متوسط و عالي الكربوني عند استطاعة و شعاع الليزر نفسه، وسرعته الخطية، و يعزى ذلك إلى ارتفاع نسبة الكربون في كل من الأخيرين .

و في المجال نفسه قامت الباحثة ( صباح محمود ) و زميلها [21] بدراسة تأثير المعالجة الحرارية السطحية بالليزر على خواص الفولاذ CK45 ، حيث أجريت التقسية باستخدام ليزر نيديميوم– ياغ المستمر عند قدرات استطاعة مختلفة، و قد أظهرت الاختبارات أن القساوة السطحية تزداد بازدياد استطاعة شعاع الليزر المستخدم حيث تكون قيمتها عظمى عند الاستطاعة الأكبر في الطبقة السطحية و تتناقص كلما اتجهنا نحو العمق .

## ج– التقسية بطريقة الترسيب PVD:

هناك العديد من التقنيات الفيزيائية للترسيب بالتخلية (PVD) و لها جميعاً عامل مشترك واحد أنها تتم في ضغوط منخفضة $10^{-5}$–$10^{-2}$pa و تعتمد عملية الترسيب على إحداث جريان للبلازما ضمن الوسط المفرغ ، و من هذه التقنيات تقنية الرشرشة المهبطية (Cathode Sputtering)[17] .

في هذا المجال قام الباحث (إدريس سليماني ) بدراسة تأثير ترسيب طبقات معدنية رقيقة من التيتانيوم على فولاذ المساند بطريقة الرشرشة المهبطية على القساوة السطحية ، حيث قام بتحضير سلسلتين من الفولاذ (K80FF–1) الذي يحتوي على كربون بنسبة (0.81%C)، و أجرى عملية الترسيب تحت الفراغ من أجل شدتي استطاعة 100 واط و 200 واط، و أجريت عملية تلدين حراري عند درجات الحرارة (900،700،400 ) درجة مئوية و وجد أن القساوة تزداد في الطبقات السطحية بسبب تشكل طبقات من كربيد التيتانيوم المعروف بقساوته و تتناقص باتجاه عمق العينة ، كما لوحظ أن القساوة السطحية للعينات المرسبة عند الاستطاعة 200 واط كانت أكبر مما هي عند الاستطاعة 100 واط؛ و ذلك بسبب البنية المتماسكة عند الاستطاعة 200 واط [22] .

قام الباحث (K.Singh) و زملاؤه بدراسة تأثير ترسيب أفلام رقيقة لكلاً من نتريد التيتانيوم و نتريد الكروم على القساوة السطحية للفولاذ متوسط نسبة الكربون (ck45)، فوجد أن قساوة العينات تزداد بشكل كبير عما كانت عليه، كما لاحظ أن ترسيب أفلام رقيقة من نتريد التيتانيوم و زيادة ضخ النتروجين إلى حجرة الترسيب تسهم في زيادة القساوة أكبر منها عند ترسيب أفلام رقيقة من نتريد الكروم.[23]

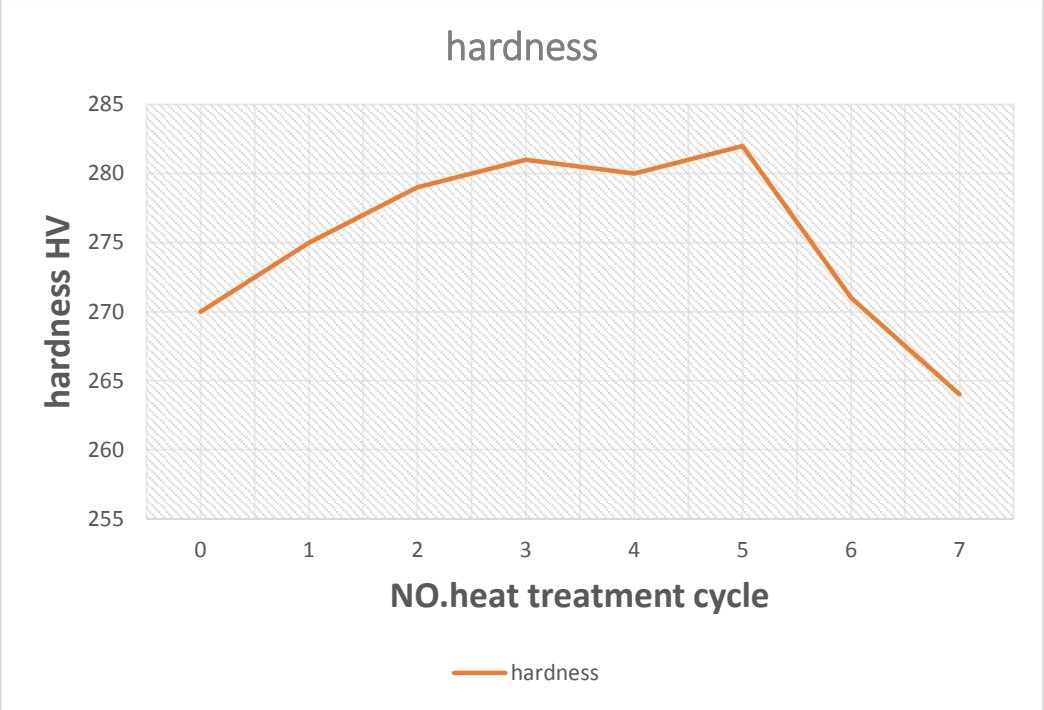
قام الباحث ( CH.Heo) و زملاؤه بدراسة تأثير ترسيب أفلام رقيقة من أوكسيد التيتانيوم على متانة و قساوة ركائز من الزجاج و الكريستال، و قد أوضحت النتائج ارتفاع القساوة بمقدار ضعف للزجاج و ضعف و نصف للكريستال[24]

أما الباحث ( N.Panid ) و زملاؤه قامو بدراسة تأثير تقنية الترسيب على الخصائص الميكانيكية لفولاذ السرعات العالية، فوجدوا أن أهم الخصائص التي تحسنت هي القساوة و كانت بمقدار ثلاثة أضعاف[25]

الباحث (M.Polboon) و زملاؤه درسوا تأثير التقسية بطريقة ترسيب طبقات من التيتانيوم على قساوة الفولاذ منخفض نسبة الكربون ، و قد وجدوا أن القساوة السطحية للعينات تزداد بمقدار ضعفين عن القساوة قبل الترسيب[26]

من التقنيات المستخدمة أيضاً في تحسين القساوة و الخواص الميكانيكية الأخرى تقنية التقسية باستخدام التيارات عالية التردد ، حيث قام الباحث (ميلاد حمدان )[27] بدراسة تأثير التقسية باستخدام تيارات عالية التردد على الخواص الميكانيكية للفولاذ الكربوني (0.35%C و 0.59%C) ، حيث أخذت عينات من نوعي الفولاذ بعد تقسيتها بالتيارات العالية التردد عند قيم مختلفة للاستطاعة و لسرعة تحرك الملف التحريضي و لوحظ أن القساوة تزداد في الطبقات السطحية، و تتناقص باتجاه العمق نظراً لتركز التيارات في الطبقات السطحية . أي إن قيم القساوة تزداد بازدياد قيم الاستطاعة المستخدمة نظراًلازدياد نسبة المارتنسيت المتشكلة في البنية .

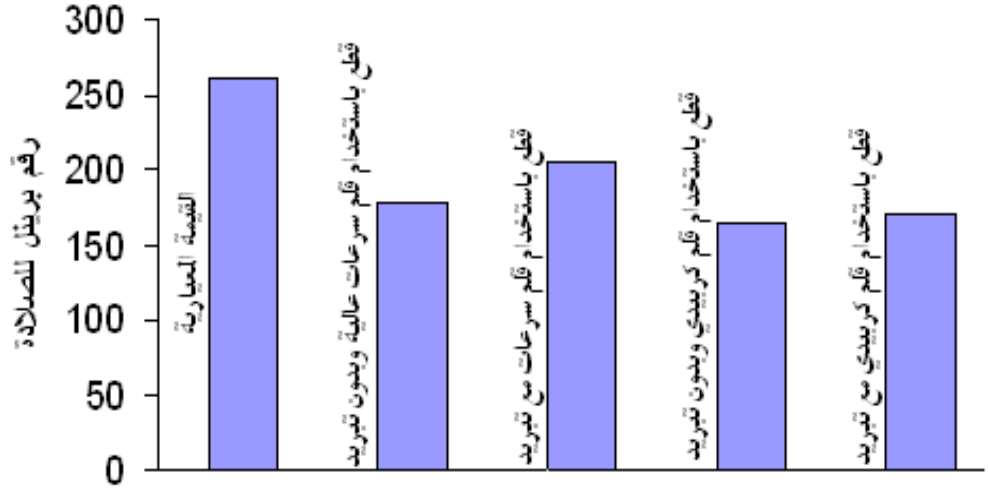
و من التقنيات أيضاً المعالجة الحرارية الدورية ، قام الباحث ( محمود الأسعد ) و زميله[28] بدراسة تأثير المعالجة الحرارية الدورية على خواص الفولاذ الكربوني (CK45) و قد أظهرت النتائج أن القساوة تزداد ازدياداً طفيفاً في مراحل المعالجة الأولية إلا أنها تتحسن عند الدورة الحرارية الخامسة كما يظهر الشكل (9) .



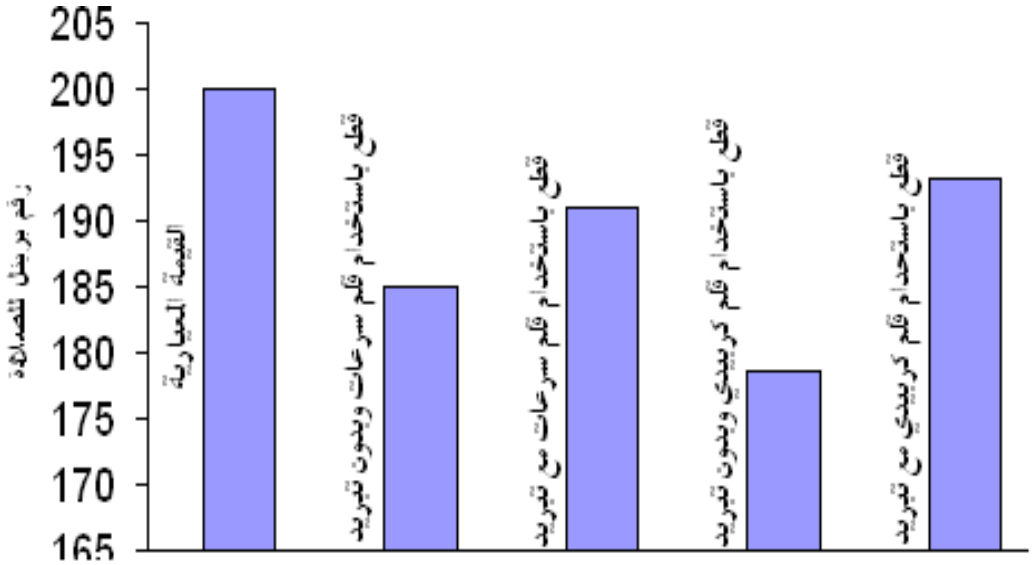

**الشكل (9) تأثير الدورة الحرارية المتكررة على القساوة .**

كما استخدمت تقنية التقسية باستخدام الماء الممغنط ، حيث قام الباحث (خلدون إسماعيل ) [29] باجراء عملية تقسية اعتيادية للفولاذ الكربوني (CK45) باستخدام الماء الممغنط كوسط تقسية بدلاً من الماء الاعتيادي ، حيث عرض الماء الاعتيادي لمجال مغناطيسي ذي شدتين 1000غاوس و 2000غاوس و لفترات زمنية تراوحت بين ساعة واحدة إلى 5 ساعات، و قد بينت النتائج أن القساوة تزداد ازدياداً طردياً بزيادة شدة المجال المغناطيسي و الفترة الزمنية إلى أن تصل أعلاها عند مجال مغناطيسي شدته 2000كاوس عند الفترة الزمنية (5) ساعات .

كما درس الباحث (حسين داوود) [30] تأثير عدة القطع على الخواص الميكانيكية لكل من الفولاذ (0.6%C) و (1%C) و بينت النتائج أن القساوة تتغير تغيراً ملحوظاً بتغير نوع عدة القطع وسائل التبريد، كما هو مبين في الشكلين (10) ، (11) .




**الشكل (10) تغيير القساوة للفولاذ الكربوني (1%C).**




**الشكل (11) تغير القساوة للفولاذ الكربوني (0.6%C).**

# الفصل الثالث

## عموميات عن العناصر الانتقالية

## 1.3. مقدمة :

إن أحد التقسيمات الخاصة بالعناصر الكيميائية صنفتها إلى معدنية و غير معدنية ، و هذا التقسيم ليس دقيقاً لأنه توجد عناصر يطلق عليها أنصاف المعادن كما أن التقسيم يكون غير متساوي إذ إن المعادن تفوق المواد غير المعدنية عدداً بنسبة 4 إلى 1 و مع ذلك فإنه يمكن تقسيم المعادن فرعياً إلى عناصر انتقالية و عناصر غير انتقالية [31].

العناصر غير انتقالية هي المعادن التي تنتمي إلى المجموعة (s) أو المجموعة (p) ، و من أهم خصائصها أنها لينة نسبياً مقارنة بالعناصر الانتقالية مثل الحديد و التنغستن .

## 2.3. تعريف :

يمكن أن نعرف العناصر الانتقالية بأنها العناصر التي تقع في وسط الجدول الدوري بين عناصر المجموعة (s) و عناصر المجموعة (p) [32] و يكون توزعها الإلكتروني منتهياً بالشكل :

$(n1)\ d^j\ n\ s^m$

حيث إن : $j=1\ ,\ 2\ ...,\ 10$ . $m=1\ ,\ 2$ .

$n=\ 4\ ,\ 5\ ,\ 6\ ,\ 7$

## 3.3. تقسيم العناصر الانتقالية :

تقسم العناصر الانتقالية إلى قسمين :

### 1.3.3. عناصر انتقالية رئيسة ( الجناح d ) :

يتضمن هذا الجناح 10 أعمدة ، عناصر هذا الجناح لها الكترونان s في الطبقة الخارجية و عدد من الإلكترونات d يتغير من 1 إلى 10 ، و هناك استثناء بالنسبة لعناصر عمود النحاس التي تحتوي على الكترون واحد s؛ لأن الثاني قفز إلى المستوى d ( n1− ) ، في هذه حالة الكترون الزنك العاشر أخذ مكان الإلكترون s الذي انتقل إلى المستوى d .

### 2.3.3. عناصر انتقالية داخلية ( الجناح f ) :

هي تلك العناصر الواقعة في الدورين 6 و 7 أسفل الجدول الدوري .

صنف العناصر في الدور 6، و تسمى اللانثانيدات .

صنف العناصر في الدور 7، و تسمى الأكتانيدات [33].

تشمل الإنثانيدات على العناصر من سيريوم ( 58 ) إلى لوتيتيوم ( 71 ) .

و تشمل الأكتانيدات على العناصر من توريوم ( 90 ) إلى لورانسوم ( 103 ) ، و معظم أفراد الاكتينيدات غير موجودة تقريباً في الطبيعة، و تنتج معظمها صناعياً منذ عام 1940 [33] .

كما يمكن تصنيف العناصر الكيميائية إلى :

أ. عناصر داخلة في تركيب الفولاذ بشكل دائم .

ب. عناصر سبائكية يمكن إضافتها.

أما العناصر الداخلة في تركيب الفولاذ بشكل دائم إما أن تكون عناصر ضارة أو عناصر مفيدة تسهم في تحسين خواص الفولاذ .

### أ.1. العناصر الضارة الموجودة بشكل دائم في الفولاذ :

1- الكبريت (s) : يشكل مع الحديد مركباً سهل الانصهار، و يسبب قابلية الكسر للفولاذ عند تسخينه للدرجة ( 1000-1100 )$C^0$ و يقلل قابلية اللحام و مقاومة التآكل و يجب ألا تزيد نسبته على (0.06 - 0.035 )% و يضاف المنغنيز للحدّ من تأثير الكبريت . أما الفولاذ سهل القطع على آلات التشغيل، فتكون نسبة الكبريت فيه (0.015-0.03)%؛ لأنه يؤدي دور مادة التشحيم، و يسهل عملية القطع بتقليل الاحتكاك مع أداة القطع ، و هذه النسبة العالية من الكبريت توازن بمحتوى مناسب من المنغنيز.

2- الفوسفور (P) : يخفض كثيراً من ليونة الفولاذ و استطالته، و بالتالي قابليته للتشكيل و السحب (البلص) ، و يجب ألا تزيد نسبته على (0.03-0.05)% إلا في الفولاذ السهل القطع آنف الذكر حيث يعطي سطحاً لماعاً صقيلاً بعد التشغيل على آلات التشغيل .

3- الأكسجين (O) : يكون أكاسيد (صدأ) تسبب قابيلة الكسر للفولاذ عند درجات الحرارة العالية، كما أنه يقلل قابلية التشغيل .

4- الآزوت (N) : يسبب قابلية الكسر، و يرفع درجة حرارة بدء قابلية التشكيل .

5- الهيدروجين (H) : ضاراً جداً و يسبب هشاشة شديدة، و يشكل فقاعات تسبب الشقوق و أحياناً تجعل الفولاذ غير صالح للاستخدام .

## أ.2. العناصر المفيدة الموجودة بشكل دائم في الفولاذ :

1. السيليكون (Si) : يتفاعل مع الأكسجين الضار، و يتحول لخبث؛ مما يحسن نوعية الفولاذ ، أما السيليكون المتبقي في الفولاذ فيزيد مرونة الفولاذ و صلابته، و لكنه غير مرغوب في أنواع الفولاذ المشكل بالتطريق؛ لأنه يقلل من قابلية التشكيل على البارد ، و نسبة السيليكون كشائبة في الفولاذ (0.4-0.035)% [29].

2. المنغنيز (Mn) : يسهم أيضاً في التخلص من الأكسجين، و يرفع متانة الفولاذ، و لا يقلل من لدونته كما أنه يحد من ضرر الكبريت، و هو مفيد بحدود (0.25-1)% .

## ب. العناصر التي تضاف للفولاذ للحصول على خواص معينة أو تحسين خواص الفولاذ:

1. الألمنيوم (Al) : يساعد في التخلص من الأكسجين بحيث لا تتجاوز نسبته (0.02%) ، و يعطي مقاومة كبيرة للأكسدة و مقاومة للتقشر في درجات الحرارة العالية ($850-900\ C^0$) و يشكل نتريدات قاسية جداً ، كما أنه يسهم في الحصول على بنية ناعمة الحبيبات (عنصر تعديل) و يستخدم في الفولاذ المقاوم للحرارة و لتشريب سطح الفولاذ بالألمنيوم و لبعض الخلائط المغناطيسية [1] .

2. البورون (B) : يفيد في رفع متانة الشد في درجات الحرارة العالية للفولاذ الأوستنيتي . و في فولاذ الإنشاءات يحسن التقسية النافذة و لكنه يقلل قابلية اللحام .

3. البيريليوم (Be) : البيريليوم مع النحاس يرفع المغناطيسية، و تستخدم هذه الخليطة في صناعة نوابض الساعات حيث تتحمل الحمولات المتغيرة . تعدّ خليطة البيريليوم و النيكل قاسية جداً،

و مقاومة للتآكل، و تستخدم في صناعة الأدوات الجراحية ، كما أن البيريليوم مؤكسد قوي، و يحد من تأثير الكبريت .

4- الكربون (C) : هو مكون أساسي دائم في الفولاذ، و كلما ازدادت نسبته ازدادت متانة الفولاذ و قابليته للتقسية . و لكن تقل قابلية التشكيل و التشغيل، و يمكن معالجة الفولاذ سطحياً بالكربون لزيادة قابليته للتقسية السطحية .

5- الكوبالت (CO) : يساعد في الحفاظ على المتانة في الفولاذ المراجع في درجات الحرارة العالية . و يعزز الخواص في التشكيل على الساخن، و يحسن مقاومة التقشير في الفولاذ المقاوم للحرارة .

6- الكروم (Cr) : يستخدم في الفولاذ المقسى بالزيت و الهواء؛ إذ أنه يخفض سرعة التبريد اللازمة للتقسية؛ و بالتالي يزيد قابلية التقسية، و يحسن الخواص عند التقسية و المراجعة . و يقلل التثلم، و لكن زيادته تقلل اللحام.

7- النحاس (Cu) : يضاف بكميات قليلة حيث يزيد متانة الخضوع و يزيد قابلية التقسية عند وجوده بنسبة (0.3%) و لا تتأثر بذلك قابلية اللحام. أما في الفولاذ عالي الخلائطية المقاوم للحموض، فإن النحاس بنسبة أعلى من (1%) يزيد مقاومة حمض الماءات ( الهيدروكسيد ) و حمض الفوسفور. و لكن النحاس يتغلغل تحت طبقات القشور السطحية، و يسبب حساسية تقشر للطبقات السطحية عند التشكيل على الساخن .

8- المنغنيز (Mn) : المنغنيز مضاد للأكاسيد، و يحدّ من تأثير الكبريت الضار، و هذا مهم في فولاذ أدوات القطع سهلة التشغيل، و يقلل من القصافة في درجة الحرارة الحمراء ، و يخفض من سرعة التبريد الحرجة اللازمة للتقسية، و بذلك يزيد قابلية التقسية . كما أنه يزيد متانة الخضوع و متانة الشد و عمق التقسية، و يزيد مقاومة السطح لأحمال الصدم عند وجوده بنسبة أعلى من (12%)، و يضاف بنسبة أعلى من (18%) في بعض أنواع الفولاذ العامل في درجات الحرارة المنخفضة، و أخيراً تجب الإشارة إلى أنه يزيد تمدد الفولاذ بالحرارة .

9- الموليبدينوم (Mo) : يستخدم عادة مع عناصر أخرى، و هو يخفض سرعة التبريد الحرجة؛ و بالتالي يحسن قابلية الفولاذ للتقسية الحرارية، و يقلل قصافة الفولاذ بسبب المراجعة. و عند

إضافة الموليبدينوم إلى الفولاذ المحتوي على ( كروم + نيكل + منغنيز ) فإنه يعطي حبيبات ناعمة و تأثيراً مرغوباً على قابلية اللحام . كما يزيد من متانة الخضوع و متانة الشّد، و لكن بزيادته تقل قابلية التطريق . و الموليبدينوم مشكل للكربيدات و هي مواد قاسية جداً ، و لذلك فهو يحسن خواص الأدوات القاطعة المصنوعة من الفولاذ سريع القطع (HSS) و يزيد مقاومة التآكل بالاحتكاك و المتانة في درجات الحرارة العالية، و يقاوم التقشر .

10- النتيتروجين (N) : يستخدم للمعالجة السطحية للفولاذ لأنه يشكل كربيدات قاسية متينة .

11- النيوبيوم (Nb) + الكولومبيوم (Cb) + التانتاليوم (Ta) : هذه العناصر من الصعب أن تكون متفرقة و توجد معاً، و تستخدم لرفع المقاومة الكيميائية للفولاذ المقاوم للمواد الكيميائية و لرفع متانة الفولاذ الأوستنيتي في درجات الحرارة العالية، و لذلك تستخدم لفولاذ المراجل، كما و ترفع هذه العناصر مقاومة الزحف .

12- النيكل (Ni) : يستخدم لرفع مقاومة التثلم للفولاذ الإنشائي حتى في درجات الحرارة المنخفضة . أما بالنسبة للأنواع الأخرى، فإنه يرفع الصلابة للفولاذ غير نافذ التقسية في درجات الحرارة العادية و الدرجات التي تحت الصفر . كما و يخفض درجات التحول الحرجة للفولاذ و يقاوم الصدأ خاصة مع الكروم . و يرفع متانة الفولاذ الأوستنيتي في درجات الحرارة فوق (600 درجة مئوية ) . و وجوده بنسب عالية يقلل التمدد الحراري .

13- الرصاص (Pb) : عند إضافته للفولاذ سهل القطع بكمية (0.2-0.5)% فإنه يساعد في الحصول على سطوح نظيفة لماعة عند استخدام الآلات القاطعة و يكون الرايش قصيراً، فهو إذن يحسن قابلية التشغيل .

14- الكبريت (s) : عنصر ضار، و لكنه يضاف بنسبة حتى (0.04%) للفولاذ المشغل على الآلات الأتوماتيكية لأنه يقلل الاحتكاك مع أداة القطع مما يزيد من عمرها، و يساعد في تشكيل رايش قصير.

15- السيلينيوم (Se) : يضاف للفولاذ سهل القطع، ليؤدي دور الكبريت نفسه، و لكنه يقلل مقاومة التآكل أكثر من الكبريت .

16- السـيليسـيوم (Si) : عنصـر دائم الوجود في الفولاذ، و يضـاف لزيادة مقاومة التآكل بالاحتكاك .

و هو مرجع جيد و يزيد مرونة الفولاذ كثيراً ، لذلك يسـتخدم لفولاذ النوابض كما يرفع المقاومة للحموض ، لكن وجوده بنسب عالية يقلل قابلية التشكيل بالتطريق و بنسب أكثر من (12%) يعطي قساوة عالية و قصافة مرتفعة تؤدي إلى عدم إمكانية تشكيل الفولاذ و تشغيله إلا بالجلخ .

17- التيتانيوم (Ti) : مرجع قوي و شـره التفاعل مع الأكسـجين و الآزوت و الكبريت و الكربون . و يسـتخدم أيضـاً كمنعم للحبيبات ( عنصـر تعديل ) و يزيد مقاومة التحطم بالزحف حيث يشكل نتريدات قاسية .

18- الفاناديوم (V) : ينعم بنية الفولاذ الحبيبية ( عنصـر تعديل ) و يشـكل الكربيدات التي تتميز بقسـاوة عالية؛ و بالتالي يزيد مقاومة التآكل بالاحتكاك . كما يعطي أفضـل متانة في درجات الحرارة العالية . و يستخدم لأصناف الفولاذ ( فولاذ القطع السريع HSS – فولاذ التشكيل على الساخن – الفولاذ المقاوم للزحف )، و يقلل من الحساسية للتسخين المفرط في أثناء المراجعة ، و يزيد مقاومة الهيدروجين المضـغوط . كما أنه يعزز قابلية اللحام للفولاذ المعالج حرارياً ، و يقسـى الفولاذ المحتوي على الفانديوم بالهواء .

20- الزركونيوم (Zr) : مشـكل للكربيدات القاسـية ، و يضـاف للتخلص من الأكسـجين و الكبريت .

إذ يسـتخدم للتخلص التام من الأكسـجين في الفولاذ سـهل القطع ، و فولاذ المحامل (الرولمانات) و يمنع القصافة في الدرجة الحمراء . و الزركونيوم يزيد عمر الموصلات الحرارية .

## 4.3. كربيدات العناصر الانتقالية :

### 1.4.3. تعريف :

كربيـد أي معـدن هو مركـب يتكون نتيجـة ارتبـاط ذرات هـذا المعـدن مع ذرات الكربون [4.5.7.8] .

كربيدات العناصر الانتقالية من المجموعة IV ( TiC , ZrC , HfC ) هي الأكثر استخداماً؛ فضلاً عن ذلك تم إجراء العديد من الدراسات على كربيدات عناصر المجموعة V (VC , NbC ,TaC) و المجموعة VI ( WC , MoC , CrC ) .

كل الكربيدات أحادية الطور من المجموعة IV و V و لديها بنية NaCL نوع B1 في حين كربيدات VI لها بنية أكثر تعقيداً .

## 2.4.3. بعض خصائص كربيدات العناصر الانتقالية :

يبين الجدول (4) بعض خصائص كربيدات العناصر الانتقالية [5] :

**الجدول (4) خصائص بعض الكربيدات:**

| المجموعة | | درجة الانصهار $م^0$ | الصلادة ( كغ / $مم^2$ ) |
|---|---|---|---|
| IV | Ti | 1910 | |
| | TiC | 3220 | 2000 |
| V | V | 2170 | 2900 |
| | VC | 2970 | |
| | Ta | 3260 | 1800 |
| | TaC | 4070 | |
| VI | Cr | 3160 | |
| | $Cr_3C_2$ | 2070 | 1400 |
| | Mo | 2800 | |
| | $Mo_2C$ | 2770 | 110 |
| | W | 3670 | |
| | WC | | 2200 |

## 3.4.3. كربيد التيتانيوم :

التيتانيوم هو عنصر كيميائي رمزه Ti، و رقمه الذري 22 ،و كتلته المولية 47.86 غ / مول،

درجة انصـهاره 1668 م$^0$ و هو من العناصـر الانتقالية لونه رمادي، مقاوم للتآكل أعلى صـلادة من الصـلب و أقل منه كثافة ، يفوق الألمنيوم عند درجات الحرارة العالية، و هذه الميزات جعلته يسـتخدم في صناعة الصواريخ .

يعدّ كربيد التيتانيوم TiC المرسب بطرق CVD أو PVD الأكثر دراسـة، و كان أول اسـتعمال له في سنة 1950 م، و في هذه الطريقة يأتي الكربون من الميثان حسب المعادلة الكيميائية الآتية :

$$TiCL_4 + CH_4 \rightarrow TiC + 4HCL$$

و لكن في هذه الحالة الركازة التي تحتوي على الكربون تأتي النسبة الكبيرة منها، و هذا ما ينتج منطقة هشة بين الطبقة المرسبة و المادة الحاملة .

قام Vourinen و Horswell بدراسة بنيوية مفصلة على طبقات من TiC باستعمال المجهر الإلكتروني، و قد وجد أن البنية المجهرية تتغير مع السماكة[34].

للأفلام ذات السـماكة 6 ميكرومتر فإن (2) ميكرومتر الأولى تتكون من حبيبات صـغيرة لها محاور التناظر نفســـها ذات أقطار تتراوح بين 10 و 100 نـانومتر ، أما في الجزء الداخلي تكون الحبيبات أكبر مع حدود فاصلة حبيبية واضحة جداً .

أفلام كربيد التيتانيوم TiC المرســـبة بطريقة PVD درســـت على نطاق واســـع ، وكان Banshah و فريقه من بين الكثير الذين أجروا دراسات على بنية و خصائص أفلام وضعت بطريقتي التبخر التفاعلي النشط و التبخير و حتى الرش المهبطي [33.34.35].

تعدّ صلادة كربيد التيتانيوم ذات مجال واسع إذ تتراوح بين 1000 و 5000 كغ / مم$^2$ [5]

### 4.4.3. مخطط توازن Ti – C :

للتيتانيوم تحول طوري عند درجة الحرارة 882 م$^0$ ، أقل من هذه الدرجة لديه بنية ســداســية كثيفة تسمى Ti – α وفوق هذه الدرجة لديه بنية مكعبة تسمى Ti – β ، درجة انصهاره 1668 م$^0$ ، للتيتانيوم كربيد واحد هو $TiC_X$ ببنية FCC ( X نسبة تركيز الكربون ) .

– في المجال acbe يظهر محلول انغراسـي من Ti في المواقع الأصـلية للشـبكة Ti – α و الكربون في المواقع البينية و أقصى نسبة انحلال للكربون تكون 2% .

- في المجال cfgd يتواجد محلول انغراسي من Ti في المواقع الأصلية للشبكة β – Ti و الكربون في المواقع البينية و أقصى نسبة انحلال للكربون تكون حوالي 1.8% .

– في المجال ebmn خليطة من الطور α و TiC الذي تكون فيه نسبة الكربون من حوالي 38 إلى 43% حسب درجة الحرارة .

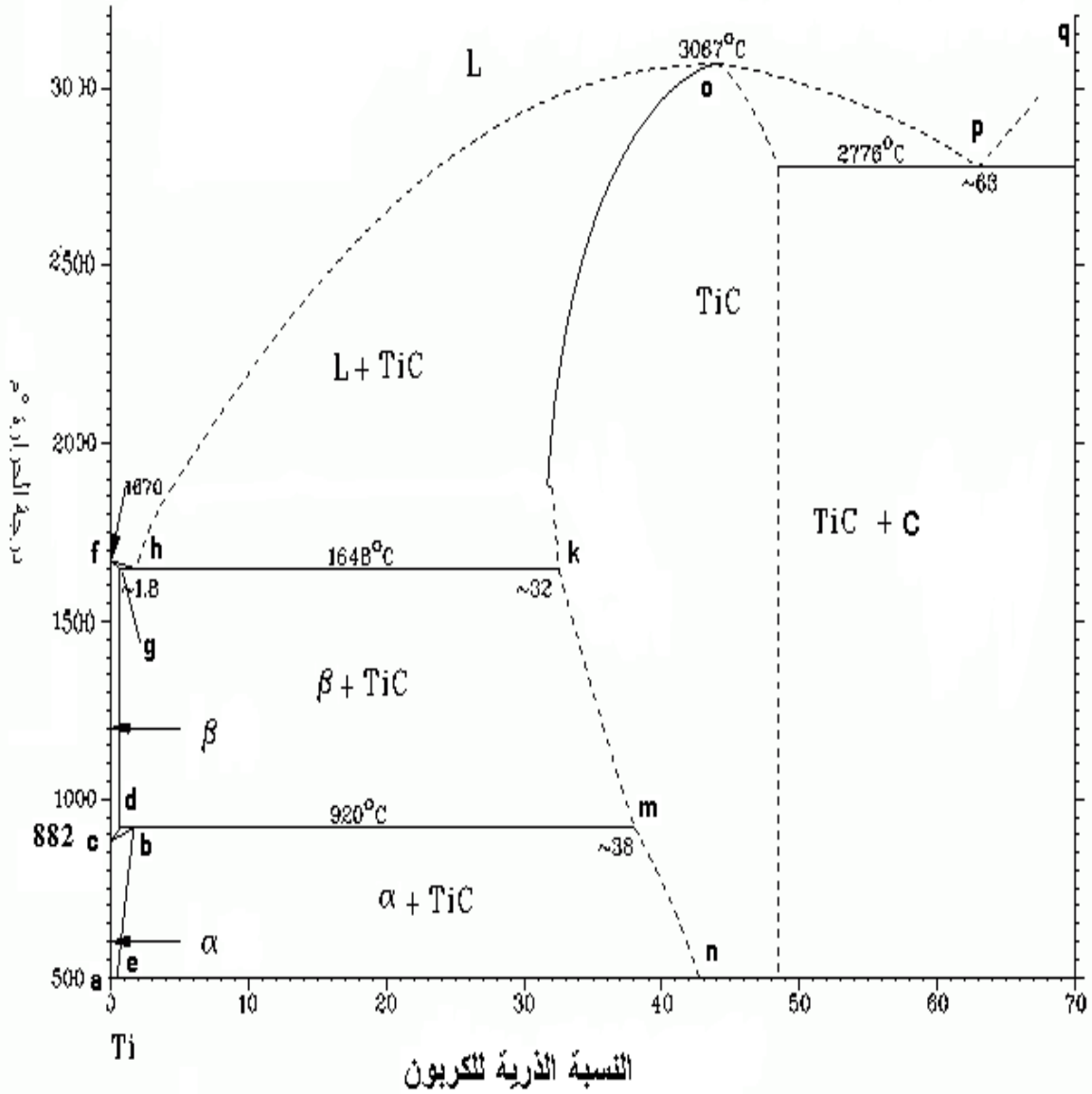
– في المجال dgkm خليط من الطور β و TiC الذي تكون فيه نسبة الكربون من حوالي 32 إلى 38% حسب درجة الحرارة .

– في المجال hok يكون الخليط من الطور السائل و TiC الذي تتغير به نسبة الكربون من حوالي 32 إلى 44% حسب درجة الحرارة .

– أعلى من fhopq عبارة عن طور سائل من الكربون و التيتانيوم .

– في حالة درجة الحرارة أقل من 2776 م$^0$ و نسبة الكربون أكبر من 48.5% يكون خليط من الغرافيت و TiC بنسبة كربون 48.5% .

و الشكل (9) يبين مخطط توازن Ti – C




الشكل (12) مخطط توازن Ti – C

# الفصل الرابع

# التقنيات المستخدمة

## 1.4. الرش المهبطي أو الرشرشة المهبطية Cathode Sputtering:

### 1.1.4. مقدمة :

لوضع الطبقات الرقيقة طرق عدّة وهي تنقسم إلى قسمين رئيسين :

1- الترسيب الكيميائي للأبخرة CVD ( Chemical Vapor Deposition ) .

2- الترسيب الفيزيائي للأبخرة PVD (Physical Vapor Deposition ) .

تتكون الطبقة الرقيقة في طرق الترسيب الكيميائي CVD نتيجة تفاعلات كيميائية بين مكونات الغاز تحت درجة حرارة كافية للتفاعل .

أما في طرق الترسيب الفيزيائي PVD تتوضع الطبقة المترسبة نتيجة تكاثف أبخرة المادة المراد ترسبها و التي تسمى بالهدف، و يتم ذلك بإحدى العمليتين :

- التبخير .

- الرش .[36]

لوحظت ظاهرة الرش في سنة 1852 م من قبل Grove[37]، حيث رأى نشوء طبقة من المعدن المكون للقطبين الكهربائيين على جدران الأنبوب المفرغ، و لأسباب تكنولوجية لم تستعمل لإنتاج الطبقات الرقيقة إلا بعد عام 1950 م .

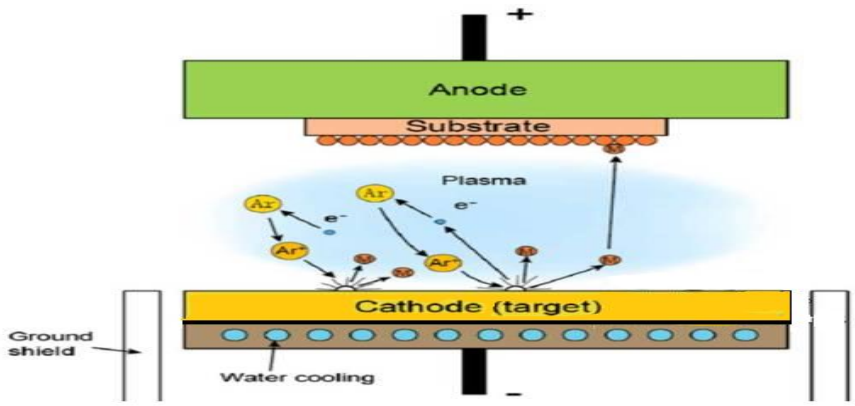
و تعتمد طريقة الرش المهبطي على اقتلاع الذرات من الهدف عن طريق تحول كمية الحركة، و تتم هذه الظاهرة بواسطة أيونات ($Ar^+$) ناتجة عن تفريغ ضوئي داخل ضغط منخفض يتراوح بين 1 و $10^{-3}$ بار ، تتم عملية التفريغ داخل غاز (Ar) بواسطة قطبين ، حيث يربط المهبط بالهدف و المصعد بالمسند، و تكون الغرفة التي تتم فيها عملية التفريغ موصولة بمجموعة ضخ تستخدم لتفريغ الغرفة إلى ضغط يتراوح بين $10^{-5}$ و $10^{-7}$ ميلي بار . [37.38]

**2.1.4.الرش المهبطي أو الرشرشة Cathode Sputtering:** هي عملية يجري فيها لفظ الذرات من مادة صلبة لدى تعريضها إلى قذف من جسيمات عالية الطاقة .عادة" ما تستعمل هذه العملية من أجل ترسيب الأغشية الرقيقة؛ فضلاً عن التنميش وتقنيات تحليلية أخرى [39].

### 3.1.4. فيزياء الرش المهبطي :

يعتمد المبدأ الفيزيائي للرش المهبطي على تبادل العزم بين الأيونات والذرات في المادة المستهدفة؛ نتيجة حدوث التصادم [41.42.43]عندما يلتقي الأيون الصادم مع الذرات تنشأ تعاقبات التصادم في المادة الهدف. وعندما يرتد هذا التعاقب ويصل إلى سطح المادة الهدف بطاقة أعلى من طاقة ارتباط السطح، فإن ذرة من ذرات السطح يمكن أن تلفظ. إن متوسط عدد الذرات التي يمكن أن تلفظ من مادة هدف ما نتيجة أيون صادم يسمّى مردود الرش المهبطي، وهو يعتمد على زاوية الأيون الصادم وطاقة الأيون وكتلته وعلى نوع الذرة المستهدفة وطاقة ارتباطها بالسطح. بالنسبة للمواد البلورية فإن توجه محاور البلورة بالنسبة إلى السطح يمكن أن يكون مؤثراً .يمكن الحصول على الأيونات الصادمة بواسطة طرق عديدة، مثل البلازما، أو عن طريق معجل جسيمات أو مواد مشعة لجسيمات ألفا.

يقوم كثير من الصناعات و الأبحاث العلمية على تقنية الأغشية الرقيقة و التي تعرف باسم thin film وهي تحويل المادة إلى طبقات رقيقة جداً لا يتعدى سمكها الميكرون . تقوم تقنية الأغشية الرقيقة على عملية ترسيب Deposition الذرات أو الجزيئات على ركيزة تعرف ب Substrate و التي تعد كقاعدة لدعم الأغشية الرقيقة، و قد تكون هذه الركيزة من الزجاج أو الكوارتز أو من المعادن الشكل (10) يوضح عملية الترسيب بالرشرشة[39.40] .

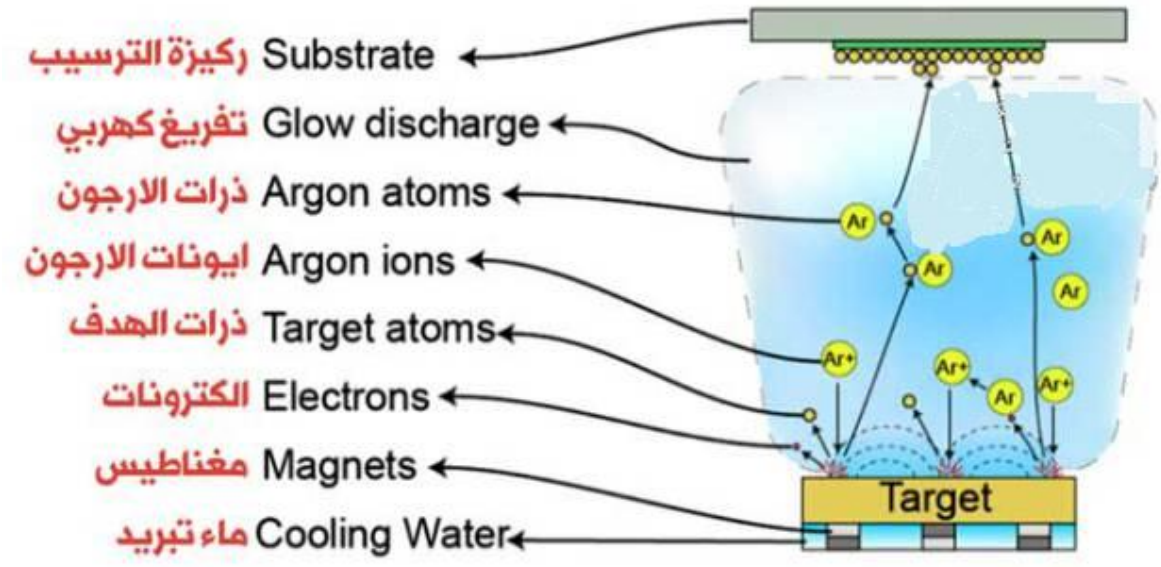



**الشكل (13) عملية الترسيب بالرشرشة .**

### 4.1.4. الفكرة الأساسية لتقنية الرشرشة Basic Sputtering Process :

هناك الكثير من الطرق المستخدمة لترسيب المواد، مثل المعادن أو المواد السيراميكية أو البلاستيك على أسطح معينة (الركيزة) و تشكيل أغشية رقيقة. من بين هذه الطرق طريقة الرشرشة Sputtering، التي تعد من أكثر الطرق استخداماً و التي تنطوي تحت طرق الترسيب الفيزيائي للبخار Physical Vapor Deposition (PVD) . يتم في هذه الطريقة ترسيب المواد على الركائز من خلال طرد أو قذف أو رش أو اقتلاع الذرات من المادة المستهدفة (Target) و ترسيبها على الركيزة في حجيرة مفرغة [38.39.40]

تتم عملية الترسيب بالرشرشة من خلال تجهيز المادة الهدف أو المصدر المراد استخدامه للحصول منه على أغشية رقيقة و تثبيتها في الحجيرة المفرغة ، يتم قذفها بأيونات غاز خامل و في الأغلب يكون غاز الآرغون (Ar). التصادمات القوية لهذه الأيونات مع مادة الهدف تعمل على انتزاع الذرات التي تتحرك حتى تصل إلى ركيزة الترسيب و تبدأ في التكثف على سطحها بصورة غشاء رقيق . مع ترسيب المزيد من الذرات تبدأ بالالتحام بعضها ببعض و تشكل طبقة ذرية مترابطة . يمكن الحصول على طبقة أو أكثر من هذه الذرات بالاعتماد على زمن الترسيب، و بالتالي الحصول على السماكة المطلوبة، كما هو موضح بالشكل (11) .

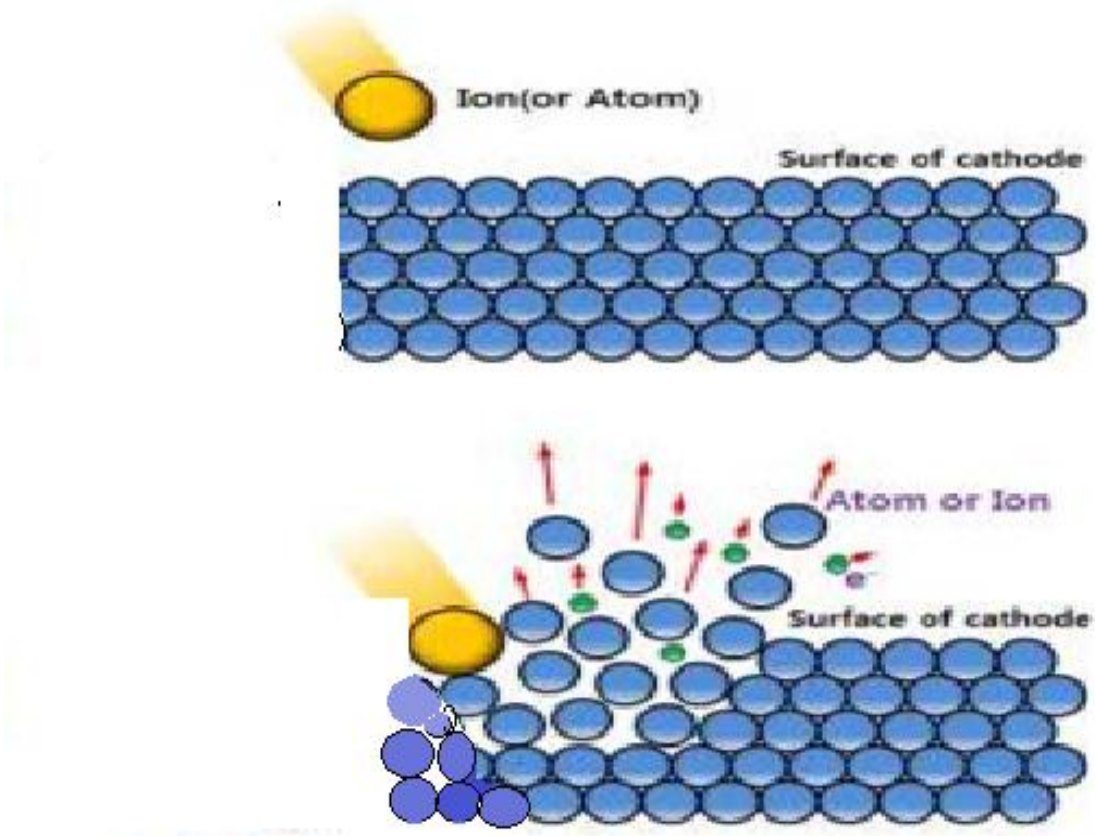



**الشكل (14) يوضح عملية الترسيب بالرشرشة المغنترونية.**

تصـــدم أيونات الآرغون($Ar^+$) الهدف، و يحرر ذرات من المادة الهدف، و تنتقل هذه الذرات بدورها من المادة الهدف إلى ركيزة الترسيب . تشكل الإلكترونات و أيونات الآرغون بلازما بالقرب من الهدف و يستخدم مجال مغناطيسي لتتحكم في انتشارها؛ مما ينتج عنه كفاية ترسيب أعلى و أغشية رقيقة بجودة عالية .

### 5.1.4. آلية الترسيب :

يتم إدخال ذرات الآرغون المتعادلة كهربائياً إلى غرفة الترســـيب المفرغة، و يتم تطبيق فرق جهد DC بين الهدف و الركيزة ، ويعمل على تأيين ذرات الآرغون و يحولها إلى بلازما ( وهي عبارة عن غاز يحتوي على أيونات و الكترونات عند درجة حرارة عالية ) . تســـرع أيونات الآرغون باتجاه الهدف و التصـــادمات الناتجة عن أيونات الآرغون المســـرعة تعمل على انتزاع ذرات المادة الهدف التي بدورها تتحرك نحو ركيزة الترسـيب و تسـتقر عليها [44]. إن الإلكترونات المتحررة خلال عملية تأيين الآرغون تنطلق و تتصادم مع المزيد من ذرات الآرغون و تأين المزيد منها، و يتحرر المزيد من الإلكترونات و تستمر هذه الدورة كما هو مبين في الشكل (12) .

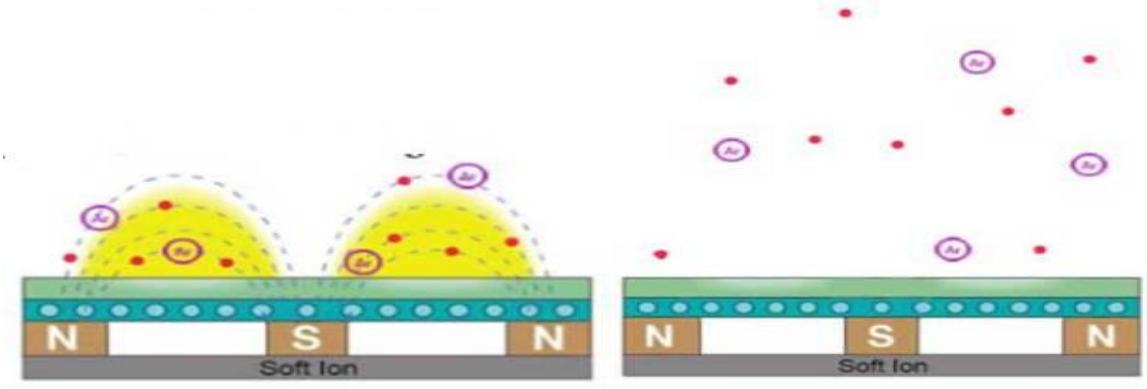



**الشكل (15) دورة تصادم الإلكترونات و أيونات الآرغون .**

### 6.1.4. استخدام المجال المغناطيسي في عملية الرشرشة Magnetron Sputtering Process :

أدخل الكثير من التحسينات على تقنية الرشرشة لتعزيز عملية الترسيب ، من أهم هذه التحسينات هي استخدام المجال المغناطيسي ليصبح اسم التقنية نظام الرشرشة المغناطيسية Magnetron Sputtering . الفرق الأساسي بين هذه الطريقة و الطريقة التقليدية التي تم وصفها آنفاً هو استخدام مجال مغناطيس قوي بالقرب من الهدف . يتسبب المجال المغناطيسي بجعل حركة الإلكترونات في مسار حلزوني على امتداد خطوط الطيف المغناطيسي بالقرب من الهدف بدلاً من انجذابها مباشرة نحو ركيزة الترسيب [45.46.47.48.49] .

من ميزات هذه الطريقة هو حصر البلازما بالقرب من الهدف من دون التسبب في حدوث أي ضرر على الغشاء الرقيق في أثناء ترسيبه . كما أن الإلكترونات تتحرك لمسافات أطول و هذا ما يزيد احتمالية تأيين المزيد من ذرات الآرغون، و هذا يؤدي بدوره إلى توليد بلازما مستمرة مع كثافة عالية من الأيونات . و المزيد من الأيونات يعني المزيد من الذرات المتحررة من الهدف، و بالتالي زيادة كفاية عملية الترسيب بتقنية الرشرشة . إن زيادة معدل الترسيب يعمل على تقليل الشوائب المتكونة على الغشاء الرقيق المتشكل، و زيادة المسافة بين البلازما و الركيزة يقلل من الضرر الحادث عند اصطدام أيونات الآرغون و الإلكترونات أحياناً مع الغشاء الرقيق، كما هو موضح في الشكل (13) .




**الشكل (16) يوضح عملية الترسيب بالرشرشة المغناطيسية .**

تحدد كفاية عملية الترسـيب بحصـيلة الرشـرشــة Sputtering Yiled و التي تعرّف على أنها عدد ذرات الهدف المتحررة لكل أيون آرغون عند طاقة حركية معينة . على سبيل المثال إذا تحررت ذرتان من مادة الهدف مع كل تصادم بأيون آرغون فإن حصيلة الرشرشة تكون 2 .

## 2.4.المعالجة الحرارية Heat Treatment:

لتحسـين الخواص الفيزيائية و الكيميائية طرق عدّة، من بينها المعالجة الحرارية ، فبالمعالجة الحرارية يمكن :

* الحصول على بنية بلورية منتظمة و متجانسة .

* إزالة الإجهادات المتبقية .

* تطرية الخلائط المعدنية .

* رفع القساوة السطحية .

* رفع قيمة المتانة .

و المعالجة الحرارية لقطعة معدنية تعني إخضـــاعها إلى تغيرات بنيوية بفعل دورات حرارية من أجل تحسين خصائصها [4] و تشمل الدورات الحرارية عمليات، هي :

- التسخين .

- زمن الإبقاء .

- التبريد .

و من المعالجة الحرارية المستعملة بالنسبة للمعادن :

- التلدين .

- التطبيع .

- السقاية .

- الإرجاع .

يتم التلدين عن طريق تسخين القطعة ( درجة الحرارة تكون حسب نوع المعدن ) لمدة زمنية ثم التبريد في الفرن حتى تأخذ السبيكة وضع الاستقرار .

و هناك نوعان من التلدين ( للفولاذ مثلاً ) :

* التلدين من النوع الأول و الذي يشمل عمليات المجانسة و إعادة التبلور و إزالة الإجهادات المتبقية و ذلك تبعاً للحالة الأولية للصلب و درجة إجراء هذا التلدين ، و السمة المميزة لهذا النوع هو أن هذه العمليات المذكورة تحدث بغض النظر عن حدوث أو عدم حدوث تحولات طورية، فلهذا فإن هذا النوع يمكن أن يحدث أقل أو أعلى من درجات حرارة التحولات الطورية[16.17.37] .

* يتلخص التلدين من النوع الثاني في تسخين الصلب حتى درجات حرارة أعلى من النقطة $Ac_3$ أو $Ac_1$ و الإبقاء عند هذه الدرجة ثم التبريد البطيء، و نتيجة لهذا التلدين يؤدي التحول الطوري إلى الوصول إلى حالة بنيوية متزنة، و عند تلدين الفولاذ الكربوني نحصل على البنيات المبينة في الأشكال ( 3,4,5 ) .

## 3.4.التحليل بالأشعة السينية X-Rays :

اكتشفت الأشعة السينية من قبل Wilhelm Konrod Rontgen ( 1845 – 1923 م ) في سنة 1895م [11]. و الذي حصل على جائزة نوبل سنة 1913م نتيجة هذا الاكتشاف . و لم تتأكد طبيعة الأشعة السينية الموجية إلا عام 1913م عندما أجريت أولى تجارب الحيود التي اقترحها " "فون لاوي" ثم بينت التجارب اللاحقة أن الأشعة السينية موجات مستعرضة و أنها موجات كهرومغناطيسية .

تنشأ الأشعة السينية عندما يصطدم إلكترون مسرع في مجال كهربائي بهدف مصنوع من مادة معدنية، و يسمى هذا الهدف بالمصعد ، و تتحول كل طاقة الإلكترون إلى طاقة إشعاعية و لذلك اصطلح على تعريف مقدار يسمى بكفاية الأشعة السينية (η) .

$$\eta = \frac{\text{طاقة الفوتون}}{\text{طاقة الإلكترون}} = 1.1 * 10^{-9} z * v$$

Z: العدد الذري للمصعد .

V: الجهد الكهربائي المستخدم في تسريع الإلكترونات ( فولت ) .

قد تصل كفاية مصعد التنغستن مثلاً إلى نحو 0.8% إذا كان يعمل عند جهد مقداره 100 كيلو فولط.

من خصائص الأشعة السينية أنها إذا سقطت حزمة فوتونات منها ذات طاقة E و شدة $L_0$ ( عدد الفوتونات / وحدة الزمن في وحدة المساحة ) على قطعة معدن متجانسة بسماكة قدرها X فإنها تنشأ حزمة مخالفة و ذلك حسب العلاقة [53]:

$$L = L^{\circ} * e^{-X.(E,Z)U}$$

$L_0$ : شدة الأشعة الأصلية .

L : شدة الأشعة بعد مسافة X .

U : معامل الامتصاص الخطي .

Z : العدد الذري للمعدن .

E : طاقة الفوتونات .

يتراوح الطول الموجي للأشعة السينية بين 0.1 Å ( و هو الحد الأدنى لأشعة جاما ) و 100 Å( و هو الحد الأقصى للموجات فوق البنفسجية ) ، في حين أنها في هذا المجال تتراوح طاقتها من 0.1 إلى 100 الكترون فولط، و تحسب E (ev) طاقة الفوتون من الأشعة السينية و الذي طول موجته λ (و تقدر ب Å الأنغستروم ) من العلاقة :

$$E = \frac{12400}{\lambda}$$

. (1ev= $1.6*10^{-9}$ J)

و يتراوح الطول الموجي للأشعة السينية المستخدمة في مجال دراسة التركيب البلوري بين 0.5 Å – 2.5 Å .

لحيود الأشعة السينية أهمية كبيرة في الكشف عن بنية البلورات ، و قد اكتشف حيود الأشعة السينية في البلورات Laue, Nigppkin , Fridrich في ميونخ عام 1912م ثم طور هذه التقنية بعد ذلك Bragg.L.W .

و قد وجد براغ أنه لكي يكون شـــعاعان مســـتطيران مقويان لبعضـــهما يجب أن يكون فرق المسار بينهما يساوي عدداً طبيعياً من طول الموجة حسب المعادلة الآتية :

$$n\lambda = 2dsin\theta$$

λ : طول موجة حزمة الأشعة السينية (Å) .

n : رتبة الانعكاس ( n= 1,2,3,4,..... ) .

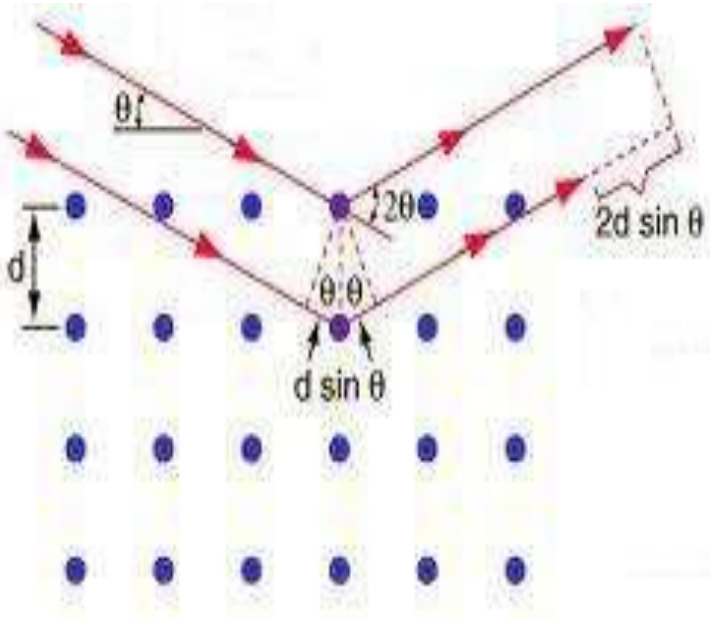
θ : زاوية الانعكاس (°) .

d : البعد بين مستويين بلوريين و له علاقة بمعاملات ميلر :

في الشبكة المكعبة تكون العلاقة :

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

و الشكل (14) يوضح انعكاس الأشعة السينية عبر مستويات عدّة في البنية البلورية .




**الشكل (17) انعكاس الأشعة السينية في مستويات البنية البلورية.**

يســتعمل التحليل الكمي و الكيفي لأطياف الأشــعة الســينية غالب الأحيان في علم التعدين للكشـــف عن البنية البلورية لجميع المعادن فضـــلاً عن معرفة المركبات الكيميائية لها. و الأهداف الرئيسة من الدراسة التحليلية لهذه الأطياف، هي :

1- تحديد مواقع النهايات العظمى التي من خلالها نتعرف إلى طبيعة المعدن و بنيته، فضلاً عن معرفة جميع أطواره .

2- انزياح الطيف بقيمة $\Delta 2\theta$ دليل على وجود إجهادات داخلية للمعدن المدروس .

3- من خلال معرفتنا لشـــدة النهايات العظمى لأي طيف نســـتطيع تحديد تركيز أو كثافة الأطوار المشكلة للمعدن .

4- التغير في الشدة $\Delta I$ للنهايات العظمى يحدد النسيج البلوري للمعدن .

5- من خلال شـكل طيف الأشـعة السـينية يمكن معرفة إذا ما حدثت تشـوهات على أطوار الأبعاد الحبيبية .

## 4.4.التحليل بالمجهر الإلكتروني الماسح :

يستخدم هذا النوع من المجاهر الإلكترونات بدلاً من الأشعة الضوئية، حيث إن الإلكترونات ذات طول موجي قصير فتعطي هذه المجاهر قوة تكبيرية عالية تصل لأكثر من نصف مليون مرة أي حوالي 1000 ضعف عن المجاهر العادية [1] وفي الميكروسكوب الإلكتروني تمر الإلكترونات من خلال سلسلة من المجالات المغناطيسية تشبه في عملها نظام العدسات في المجهر الضوئي، وبذلك فإن الإلكترونات التي تنعكس عن العينة والتي تنفذ من خلالها تبعاً لكثافة التراكيب في العينة المفحوصة يمكن استقبالها على لوحات حساسة أو مشاهدتها على شاشات خاصة مفسفرة تسمح برؤية الصورة لامعة وهي على عدة أنواع، منها:

1- المجهر الإلكتروني النافذ Transmission Electron microscope(TEM) : يستخدم لدراسة المحتويات الداخلية للعينة.

2- المجهر الإلكتروني الماسح Scanning electron microscope(SEM) : يستخدم لدراسة السطح الخارجي للعينة.

3- المجهر الإلكتروني النافذ- الماسح Scanning -Transmission Electron microscope(STEM) : الذي يجمع بين النوعين أعلاه .

### 1.4.4. المجهر الإلكتروني النافذ Transmission electron microscope :

في حالة المجهر الإلكتروني النافذ تتعرض العينة كلياً للإشعاع الإلكتروني الذي ينفذ أو يمر من العينة ليكوّن الصورة على شاشة العرض، ويأتي التباين في الصورة من الاختلافات في الكثافة الإلكترونية للعينة، أو من كمية الإلكترونات التي تمر من خلال العينة. ومما هو جدير بالذكر أن الفحص بالمجهر الإلكتروني يحتاج إلى معاملات خاصة سواء" في تحضير العينة أو في إعداد المجهر للفحص. إن استعمال سيل أو تيار من الإلكترونات والتي لها طول موجة قصير جداً تمكّن من الحصول على قدرة تمييز عالية جداً وبهذا فان المجهر الإلكتروني له قدرة او قوة تمييز عالية تصل إلى حوالي 10-20 أنغستروم مع قوة تكبير عالية تصل إلى 50 ألف او أكثر[11]. يستخدم تيار كهربائي بقوة آلاف الفولتات عوضاً عن الضوء المستخدم في المجهر الضوئي، ويكون طول موجة شعاع الإلكترونات قصيراً جداً؛ لذلك يستطيع تحطيم أي شيء يوضع مقابل هذه الإلكترونات، ولهذا لا تستخدم عدسات زجاجية، بل تستخدم ملفات كهربائية مغناطيسية Electromagnetic fields تقوم مقام العدسات الزجاجية. إن المجاهر الإلكترونية معقدة كثيراً وغالية الثمن وصعبة الاستعمال، ولكن أسسها العامة تشبه في كثير من الوجوه المجهر الضوئي حيث يتكون المجهر الإلكتروني من أنبوبة عمودية محكمة القفل، وتنبثق الإلكترونات من مصدر كهربائي قوي يعرف electron gum والذي هو عبارة عن خيط معدني مسخن لدرجة حرارة عالية في مجال مفرغ من الهواء تماماً فضلاً عن ملفات كهرومغناطيسية تعمل عمل العدسة المكثفة تدعى بعدسات المكثف الكهرومغناطيسية electromagnetic condenser lenses ثم تمرّ

حزمة الإلكترونات على العينة المراد فحصها ثم يضبط مسار الإلكترونات بملف كهربائي آخر يقوم مقام العدسة الشيئية حيث تكبر الصورة ثم تضبط الإلكترونات بملفات كهربائية أخرى تقوم مقام العدسة العينية، وتستقبل الإلكترونات الخارجة على شاشة متفلورة Fluorescent screen يمكن النظر إليها مباشرة أو باستخدام عدسات مكبرة وتوجد آلة تصوير فيها أفلام حساسة تستطيع التقاط الصورة المتكونة.

بعكس المجهر الضوئي فإن قدرة التمييز العالية للمجهر الإلكتروني النافذ تمكن من مشاهدة تفاصيل أكثر للخلية. لا يمكن تكبير سيل الإلكترونات إلا في الفراغ التام لأن الإلكترونات تفقد سرعتها وتتباعد اذا اصطدمت بجزيئات الأوكسجين والنتروجين المتفرقة وبقية جزيئات الهواء. يغلف الجهاز أنبوب محكم صلد قوي ويحافظ على استمرارية تفريغه من الهواء بصورة ثابتة فضلاً عن أن التفريغ يحتاج إلى تبريد مائي وان التيارات الكهربائية العالية يجب أن تكون مستقرة ومتوازنة.

### 2.4.4. المجهر الإلكتروني الماسح Scanning electron microscope :

تقوم كمية قليلة من الإشعاع الإلكتروني بمسح العينة، فتتجمع الإلكترونات المنبعثة من العينة لتكون الصورة المنبعثة على أنبوبة أشعة المهبط إن الصفة الرئيسة المميزة في جهاز (SEM) أنه تستخدم فيه حزمة الكترونية ضيقة لمسح النموذج البايولوجي، وهذه الحزمة تتحرك إلى الأمام والخلف أثناء عبورها الجسم المفحوص الذي سوف يبعث الإلكترونات ثانوية تستخدم لتكوين الصورة أي إن العينة تتسبب في عكس الإلكترونات الثانوية، ويمكن استخدامها لإنتاج الصورة . عند استعمال المجهر الإلكتروني الماسح تظهر الصورة بأبعادها الثلاثة حيث يمكن فحص السطح الخارجي للخلايا . يحتوي المجهر الإلكتروني على الأدوات المنتجة للإلكترونات ، والمستخدمة لمسح العينة المراد فحصها ، هذه الإلكترونات تتمثل في مدفعة الإلكترونات المنطلقة، وتمرّ بالعمود المفرغ تماماً من الهواء حتى لا تعيق مرور الإلكترونات وعند وصول الحزمة تصطدم بالعينة المراد فحصها ، حيث تنتج عدة إشعاعات منها الإلكترونات الثانوية

المسؤولة عن إنتاج خيال الصورة ، وأي اختلاف في كثافة الإلكترونات الثانوية المنبعثة من العينة يظهر لنا اختلاف في البريق على الشاشة .

### 3.4.4. المجهر الإلكتروني النافذ- الماسح Scanning -Transmission Electron microscope:

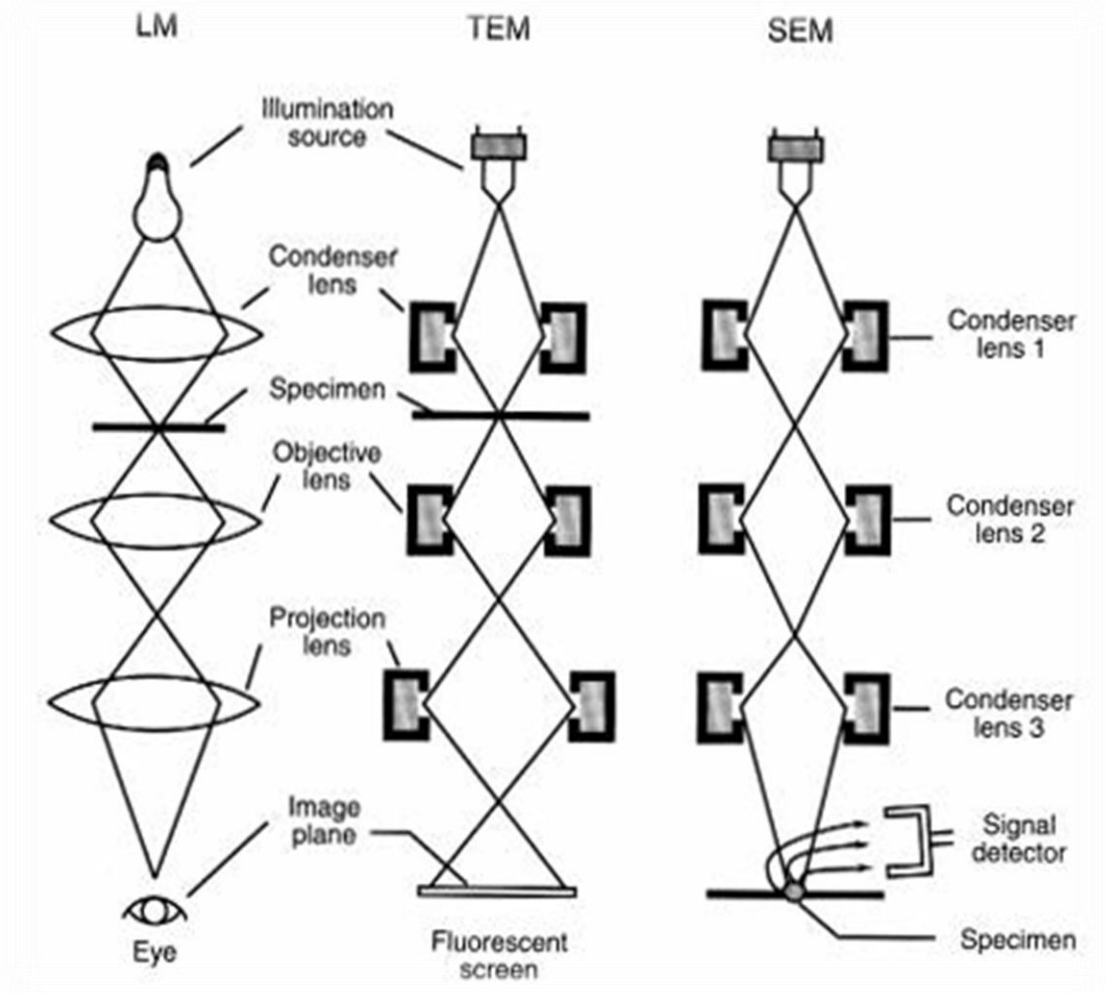
هو نوع من المجاهر الإلكترونية النافذة TEM حيث يتخلل الشعاع الإلكتروني العينة التي لا بد وأن تكون رقيقة جداً. ويختلف المجهر الإلكتروني النافذ الماسح عن المجهر الإلكتروني النافذ المعتاد في أنه يركز فيض الإلكترونات على بقعة صغيرة من العينة ويصورها ثم ينتقل إلى بقعة أخرى حتى يصور جميع البقع المشكلة للعينة. تعود التسمية "نافذ " إلى أن المجهر يرى داخل العينة حيث يمرّ الشعاع الإلكتروني خلالها.، لذلك يجب أن يكون سمك العينة قليلاً. وتعود التسمية "ماسح " إلى أن المجهر يلتقط صورة بقعة صغيرة من العينة، ثم ينتقل إلى باقي النقط الأخرى ويقوم بتصويرها نقطة تلو نقطة. بذلك فلا يوجد في المجهر صورة كاملة للعينة. ولكن يقوم حاسوب بتجميع النقط التي قام المجهر بتصويرها ويرتبها، فتظهر الصورة على شاشة الحاسوب. و الجدول (5) يمثل مقارنة بين المجهر الإلكتروني والضوئي .

**الجدول (5) مقارنة بين المجهر الإلكتروني و المجهر الضوئي**

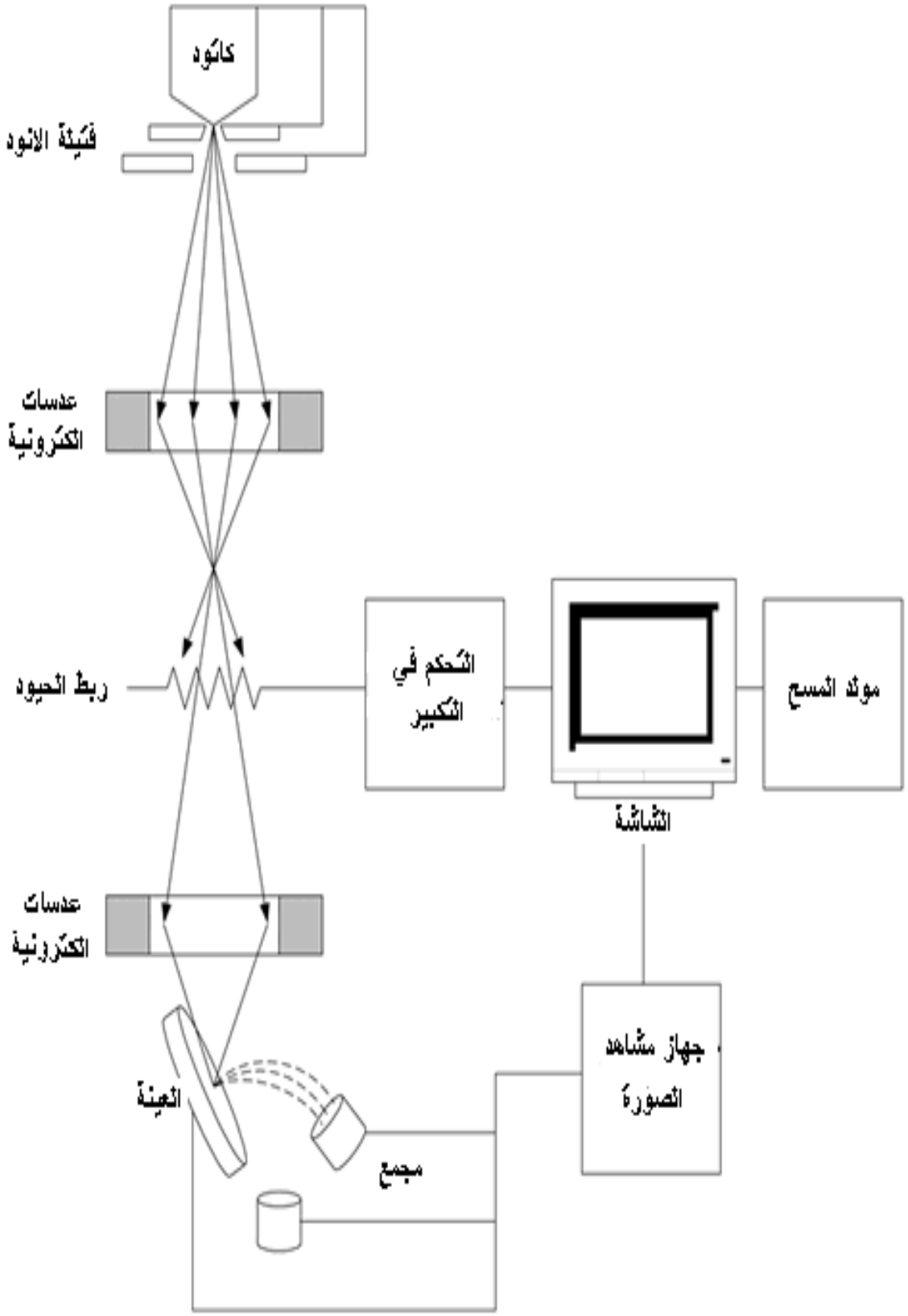
| | المجهر الإلكتروني | المجهر الضوئي |
|---|---|---|
| 1 | لا تستعمل عدسات زجاجية بل عدسات مغناطيسية أو ملفات مغناطيسية. | تستعمل عدسات زجاجية. |
| 2 | يحتوي على أنبوبة مفرغة من الهواء حيث إن الإلكترونات لا تستطيع السير في الهواء. | يستعمل المجهر بوجود الهواء. |
| 3 | يكون طول الموجة قصيراً جداً. | يكون طول الموجة 400 ملي مايكرون ( نانومتر) أو أكثر. |

| | | |
|---|---|---|
| 4 | قوة التمييز عالية جداً 10–20 A°. | يكون قوة تمييز 0.2 مايكرون. |
| 5 | يكون سمك العينة حوالي 300 A°. | يكون سمك العينة 4 مايكرون أو أكثر. |
| 6 | يجب أن تكون العينة المراد فحصها جافة (خلايا ميتة). | تكون العينة المراد فحصها جافة (ميتة) أو غير جافة (خلايا حية). |

**الشكل (18) مبدأ عمل الأنواع الثلاثة للمجهر الإلكتروني .**



أي بالنتيجة يعتمد المجهر الإلكتروني الماســـح على انعكاس الإلكترونات من ســـطح العينة المدروسة، و يتم ذلك من خلال تركيز شعاع من الإلكترونات التي تصطدم بسطح العينة (الإلكترونات الأولية) و تنعكس بدورها على الشـــاشـــة الفلورية الإلكترونات الثانوية (و هي الإلكترونات الناتجة عن اصطدام الإلكترونات الأولية بسطح المادة) معطية صورة لذلك السطح . يستخدم المجهر الإلكتروني الماسح لدراسة تفاصيل السطح الخارجي للمعدن أو المركب التنغستن؛ أي أن المجهر الإلكتروني الماسح يعتمد على انبعاث الإلكترونات الثانوية من سطح العينة و هي التي تكون الصورة باستخدام نظام من العدسات .والشكل (16) يوضح رسم تخطيطي للمجهر الإلكتروني .



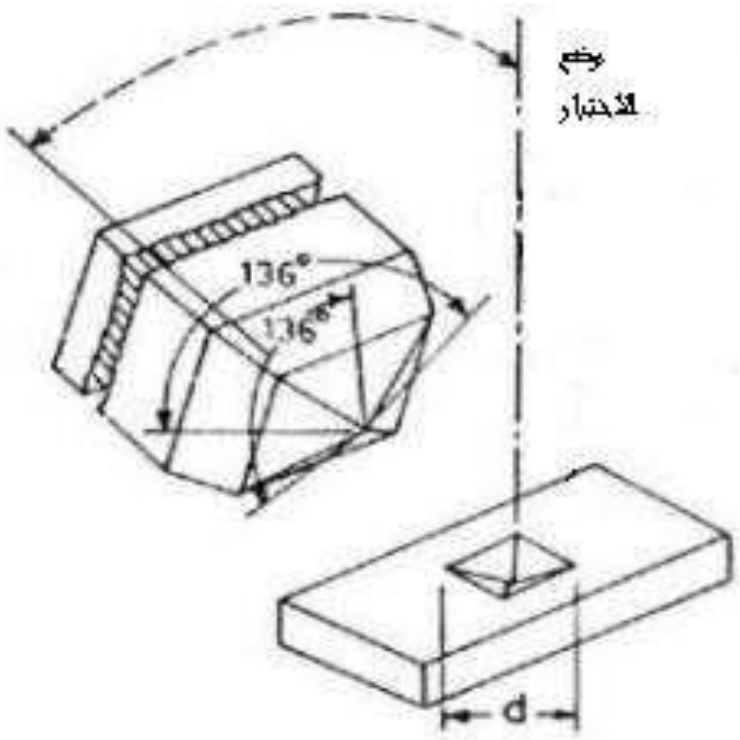

**الشكل (19) رسم تخطيطي للمجهر الإلكتروني.**

## 5.5.اختبار القساوة:

القسـاوة: هي مقاومة المادة للاختراق بمادة أخرى ، و يمكن تعريفها أيضـاً بأنها مقاومة المادة للخدش أو التثليم بتأثير ضربة أو حمولة مثبتة[1.2] .

تقاس مقاومة الخدش وفق سـلم موس و هو سـلم وضـعه فريدريك موس (1839–1773) و الذي اختار في دراسته عشرة معادن كنقاط مرجعية بدءاً من الصـوديوم الذي قسـاوته 1 إلى الألماس (Diamond) الذي قسـاوته 10 ، و يسـتخدم حالياً سـلم موس المعدل مضـافاً إليه 9 معادن أخرى كنقاط مرجعية ، و تقاس التثلم وفق سلالم أخرى، مثل برينل و ركويل و فيكرز و غيرها .

في اختبار فيكرز للصـلادة يستخدم رأساً مخترقاً مصـنوعاً من الألماس ( الرأس المتغلغل ) و تكون على شكل هرم ، و الزاوية بين كل وجهين من وجوه هذا الهرم هي 136 درجة، كما هو موضح في الشكل ( 17) .




**الشكل(20) الرأس المتغلغل هرمي الشكل المستخدم في اختبار فيكرز.**

و يقدر رقم القساوة في اختبار فيكرز كالآتي :

$$VHN = \frac{2p \sin \frac{a}{2}}{d}$$

VHN: رقم فيكرز للقساوة.

p : الحمولة المؤثرة ( كغ ) .

$d_m$ : القطر الوسطي لأثر الرأس المتغلغل .

a : الزاوية بين كل وجهين متقابلين من رأس الاختراق .

# الفصل الخامس

# الاختبار العملي

## 1.5. إعداد العينات :

### 1.1.5. المواد المستعملة :

في هذه الدراسة تم اعتماد مادتين أساسيتين، هما :

* المادة الهدف (التيتانيوم) ذو نقاوة عالية .

* المادة الحاملة (فولاذ متوسط نسبة الكربون) والذي يحتوي على عناصر بنسب موضحة بالجدول (6).

**الجدول (6) التركيب الكيميائي للعينات**

| العنصر % | C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Ti |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.34 | 0.64 | 0.194 | 0.088 | 0.0120 | 0.036 | 1.44 | 0.0008 |

### 2.1.5. تحضير المادة الحاملة :

#### 1.2.1.5. التقطيع :

باستخدام منشار آلي نصف مؤتمت تم تقطيع القضيب الفولاذي إلى أقراص صغيرة بأبعادΦ=20mm و بسماكة 2mm، تجنبنا استخدام آلات القص التي تسبب ارتفاع درجة الحرارة حفاظاً على طبيعة العينات و خواصها ، الشكل (21) يوضح شكل العينات بعد عملية القص.

**الشكل (21) العينات بعد القص**

**2.2.1.5. الصقل و الشحيذ :** من أجل تهيئة سطح العينة لعملية الترسيب لابد من إجراء عدة عمليات ميكانيكية و كيميائية بداية من التجليخ الآلي باستخدام آلة التجليخ الموضحة بالشكل (22).

**الشكل (22) آلة التجليخ المستخدمة.**

**الشكل (23) العينات بعد التجليخ.**

بعد عملية التجليخ تتم عملية الشحذ والصقل باستخدام أوراق الشحذ (الصنفرة) بدرجات متتابعة (150،200،220،280،320،400،600،800،1000،1200،2000)، بعدها تتم عملية إزالة الحزوز الناتجة عن عملية الشحذ بالصقل باستخدام لبادة مبللة بمحلول أكسيد الألمنيوم $Al_2O_3$ .

### 3.2.1.5. التنظيف الكيميائي :

عادة" ما يستخدم التنظيف الكيميائي لإزالة آثار الشحوم و الزيوت العالقة بسطح العينة نتيجة عملية التقطيع و الشحذ، تتم عملية التنظيف الكيميائي وفق الخطوات الآتية :

1- وضع العينات في وعاء يحتوي على الاسيتون و يوضع الوعاء في جهاز الأمواج الفوق صوتية المبين في الشكل (24) .

**الشكل (24) جهاز التنظيف بالأمواج الفوق صوتية.**

2- يتم ضبط جهاز الأمواج فوق الصوتية عند درجة 30 درجة مئوية و لمدة 15 دقيقة .

3- يتم مسح العينات بقطعة قماش ناعمة و تجفف بواسطة تيار من غاز الآزوت .

ملاحظة : تم إجراء عملية التنظيف الكيميائي مباشرة بعد عملية الشحذ الميكانيكي لمنع التغيرات التي تحدث بسبب تماس العينات مع الوسط المحيط .

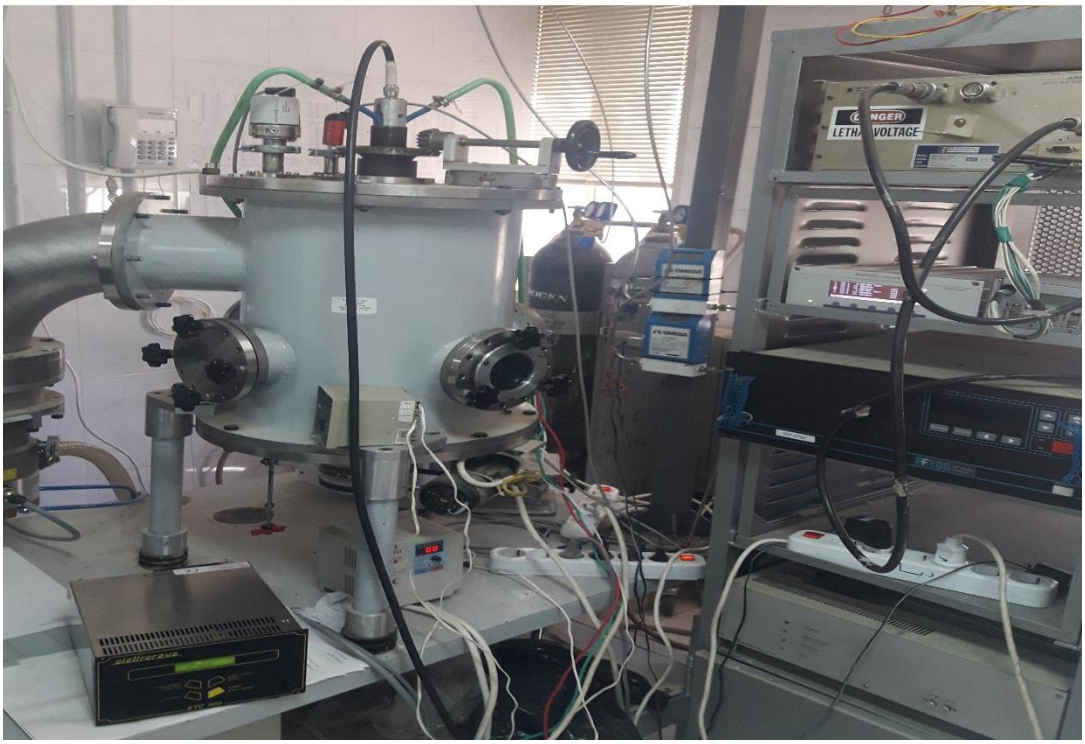
## 2.5. ترسيب الأفلام الرقيقة :

قبل البدء بشرح عملية ترسيب العينات، لابد من التطرق إلى توصيف جهاز الرشرشة المغنترونية المستخدم في هذا البحث .

### 1.2.5. توصيف جهاز الرشرشة المغنترونية :

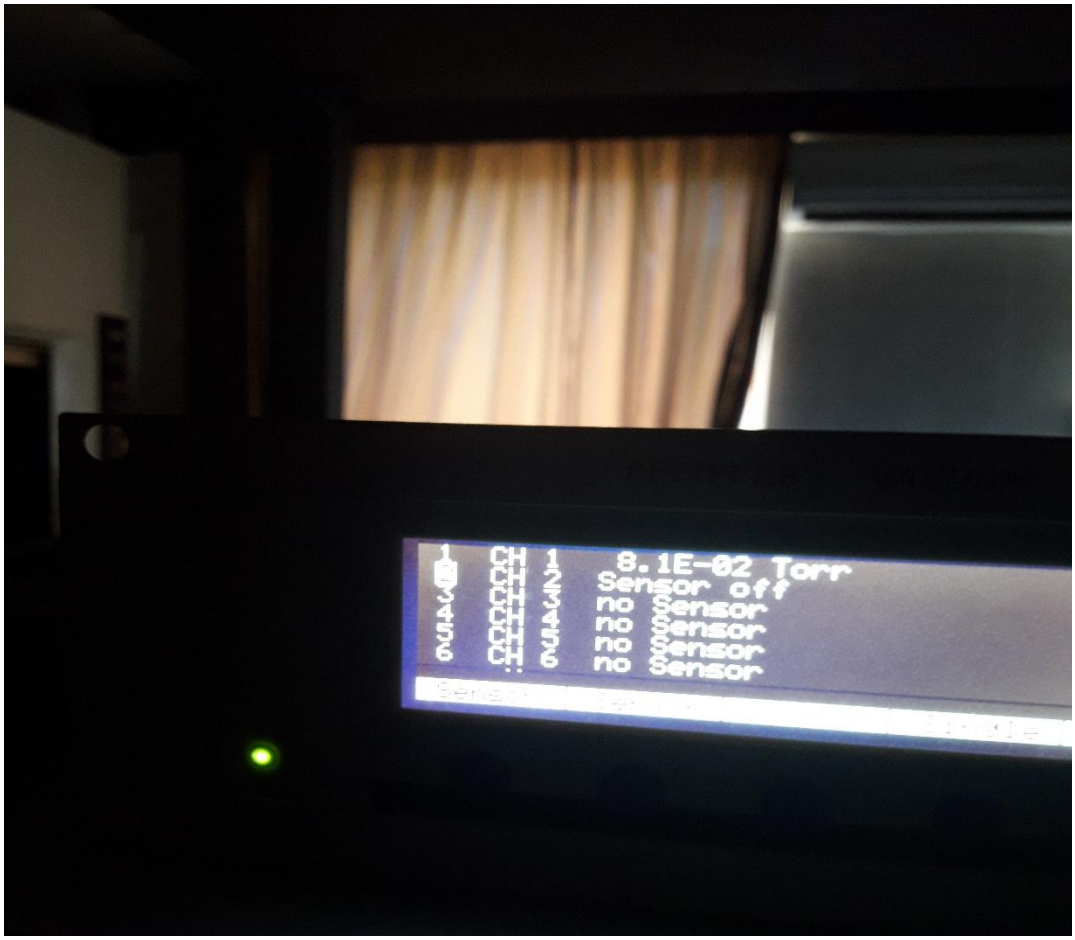
يتم توضيع الأغشية المعدنية الرقيقة بواسطة جهاز الرشرشة المغنترونية بتغذية تيار مستمر DC (DC Magnetron Sputtering)، تستخدم مضخة أولية (Rotary Pump) لإحداث الخلاء في الحجرة (يجب أن يصل الخلاء إلى$4*10^{-3}$ Torr)، بعدها تستخدم مضخة ثانوية أخرى جزئية نفاثة (Turbo Molecular Pump) لإخلاء الحجرة من الهواء حتى ($10^{-6}$ Torr) مع ملاحظة كون الأخيرة لا تستعمل مباشرة في تخلية الحجرة من الهواء، بل يحتاج الأمر إلى عملية إخلاء أولي يتم الوصول إليه بواسطة المضخة الأولية .

يتوضع الكاثود ضمن حجرة إسطوانية الشكل مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ (st316) بارتفاع 50 سم و بقطر 36 سم مثبتة بعوارض مخمدة للاهتزازات كما هو موضح في الشكل(25) .



**الشكل (25) جهاز الرشرشة المغنترونية .**

يتألف الكاثود من محور مجوف بداخله سلك من النحاس يعمل على نقل القطبية السالبة من خلال كبل خاص من مولد التيار المستمر. تتوضع المغانط الدائمة ذوات الأقطار 5 سم للخارجي و 2 سم للداخلي على قطعة من النحاس الأحمر و ذلك من أجل توصيل التيار الكهربائي و كفاءة عملية التبريد، حيث يكون القطب الشمالي باتجاه الهدف الذي يبلغ قطره الأقصى 5 سم ، الجهة المقابلة للهدف مجوفة ليمر بها سائل تبريد المغانط (الماء) كي لا ترتفع درجة الحرارة؛ مما يؤثر سلباً على عمر و أداء تلك المغانط كما يتم التحكم بدرجة حرارة سائل التبريد عن طريق وحدة التبريد و التي تتراوح من 12–15 درجة مئوية، و يتم مراقبة ضبط الحجرة باستخدام مقياس خلاء أولية و ثانوية، كما هو مبين في الشكل (26) .




**الشكل (26) مقياس ضبط الخلاء .**

كما يستخدم مقياس تحكم تدفق الغاز (Mass Flow Controller) للتحكم بمعدل تدفق الغاز الداخل إلى الحجرة من نوع أوميغا (0–100 sccm) ( Standard Cubic Centimeter Per Minute)، كما يتم التحكم بالحركة الدورانية باستخدام تدوير (Rotary Table) بغية توضع أغشية ذات تجانس جيد . ملاحظة : 1 Torr=133.332pa=0.00133bar

### 2.2.5. تجهيز العينات لعملية الترسيب :

بعد التأكد من نعومة و نظافة العينات بشكل جيد يتم وضع العينات على ركازة (حاملة العينات)، كما هو مبين في الشكل (27).

**الشكل (28) العينات محمولة على ركازة الترسيب.**

و بعد ضبط الخلاء في الحجرة إلى الضغط المطلوب يتم إدخال البارامترات، كما هو موضح في الجدول الآتي :

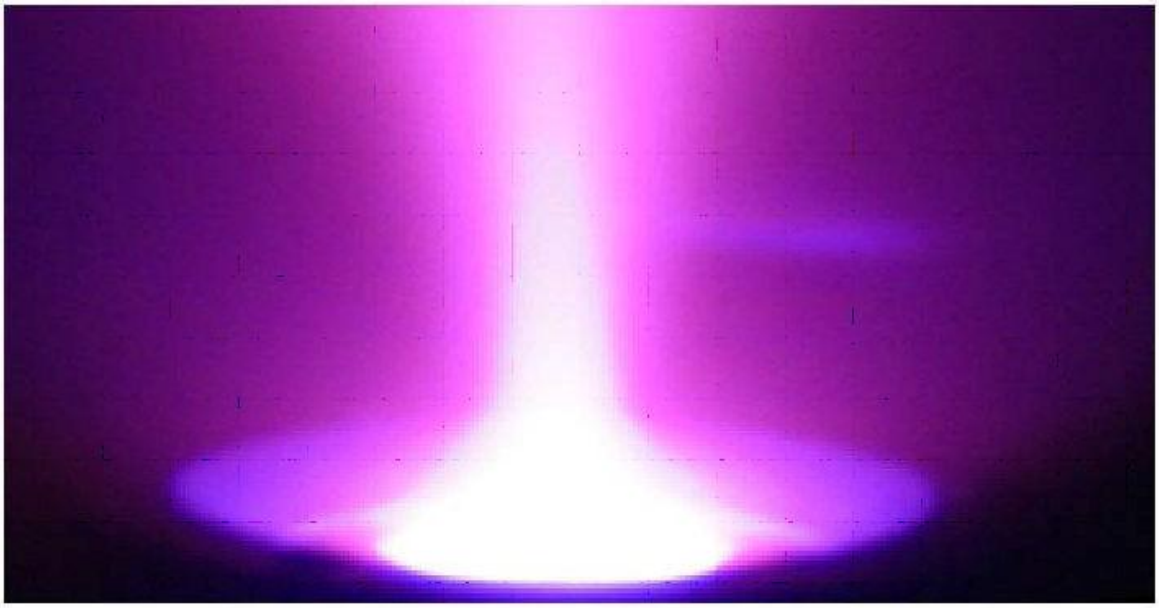
**الجدول (7) بارامترات الترسيب**

| العينة | الاستطاعة watt | شدة التيار mA | الجهد V | الضغط الأولي Torr | ضغط العمل Torr | تدفق الغاز sccm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 125 | 235 | 450 | $7.2*10^{-5}$ | $50*10^{-3}$ | Ar57 |
| S2 | 81 | 126 | 790 | $7.2*10^{-5}$ | $53*10^{-3}$ | Ar45,CO215 |
| S3 | 395 | 94 | 905 | $7.2*10^{-5}$ | $7*10^{-3}$ | Ar40,CO217 |

الشكل (29) يبين جهاز الرشرشة في أثناء عملية الترسيب .

**الشكل (29) جهاز الرشرشة في أثناء عملية الترسيب .**

الشكل (30) يبين البلازما داخل حجرة الترسيب .



**الشكل(30) البلازما داخل حجرة الترسيب.**

## 3.5. قياس سمك الفلم المترسب :

لقياس سماكة الفلم المترسب طرق عدّة منها :

1- الطريقة الضوئية.

2- الطريقة الهندسية.

3- استخدام المجهر الإلكتروني .

كمثال على حساب سماكة الطبقة بالطريقة الهندسية إذا رمزنا إلى :

سمك الطبقة المترسبة ب:e

سرعة الترسيب ب : $v_D$

زمن الترسيب ب:$t_D$

الاستطاعة : p

فإن : $V_D = \frac{E}{T_D}$

$= \frac{0.1}{10} = 1.10^{-2}$ µm/min

هذا بالنسبة لسلسلة العينات في حال الاستطاعة نفسها؛ أي ($v_D=v_{D1}$)، أما بالنسبة للعينات عند شروط أخرى فإنه كلما زادت الاستطاعة كلما زادت سرعة الترسيب .

أي : $V_{D1} = \frac{P_1 * P_2}{P_2}$

$= \frac{200.10^{-2}}{100} = 2.10^{-2}$ µm/min

حيث :

$P_1$: الاستطاعة المستعملة لترسيب عينات السلسلة الأولى .

$P_2$: الاستطاعة المستعملة لترسيب عينات السلسلة الثانية .

$V_{D1}$: سرعة الترسيب للسلسلة الأولى .

$V_{D2}$: سرعة الترسيب للسلسلة الثانية .

فإذا رمزنا ب :

$t_{D1}$: لزمن ترسيب السلسلة الأولى.

$t_{D2}$: لزمن ترسيب السلسلة الثانية.

$e_1$: سماكة الفلم الأول و $e_2$ : سماكة الفلم الثاني، يكون:

$$e_1 = v_{D1}.t_{D1} = 2.10^{-2}.20 = 0.4\ \mu m$$

$$e_2 = v_{D2}.t_{D2} = 1.10^{-2}.40 = 0.4\ \mu m$$

أما سماكة طبقة كربيد التيتانيوم المترسبة في هذا البحث هي 0.2 ميكرومتر.

## 4.5. المعالجة الحرارية :

تم إجراء عملية المعالجة الحرارية من أجل تنشيط التفاعل بين عينات الفولاذ متوسط نسبة الكربون و أفلام التيتانيوم الرقيقة، هذا من جهة، و من جهة أخرى زيادة انتشار الكربون من قلب العينات إلى السطح و ارتباطه مع التيتانيوم لتشكيل كربيد التيتانيوم TiC .

تمت عملية التلدين عند درجات الحرارة 400ºم، 700ºم، 900ºم، و ذلك بوضع العينات تحت ضغط $5*10^{-6}$ ميلي بار .

طبعاً تمت معالجة 12 عينة لكل درجة حرارة ثلاث عينات بأفلام مترسبة و الرابعة من دون ترسيب تستخدم كمرجعية . الشكل (31) يوضح شكل فرن المعالجة الحرارية المستخدم.

**الشكل(31) فرن المعالجة الحرارية المستخدم .**

## 5.5. الدراسة التحليلية بالمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) :

لإجراء عملية التحليل استخدم جهاز من طراز VEGA TESCAN الموجود في الهيئة السورية للطاقة الذرية، تم التحليل للعينات الأربعة و كانت النتائج كالآتي :

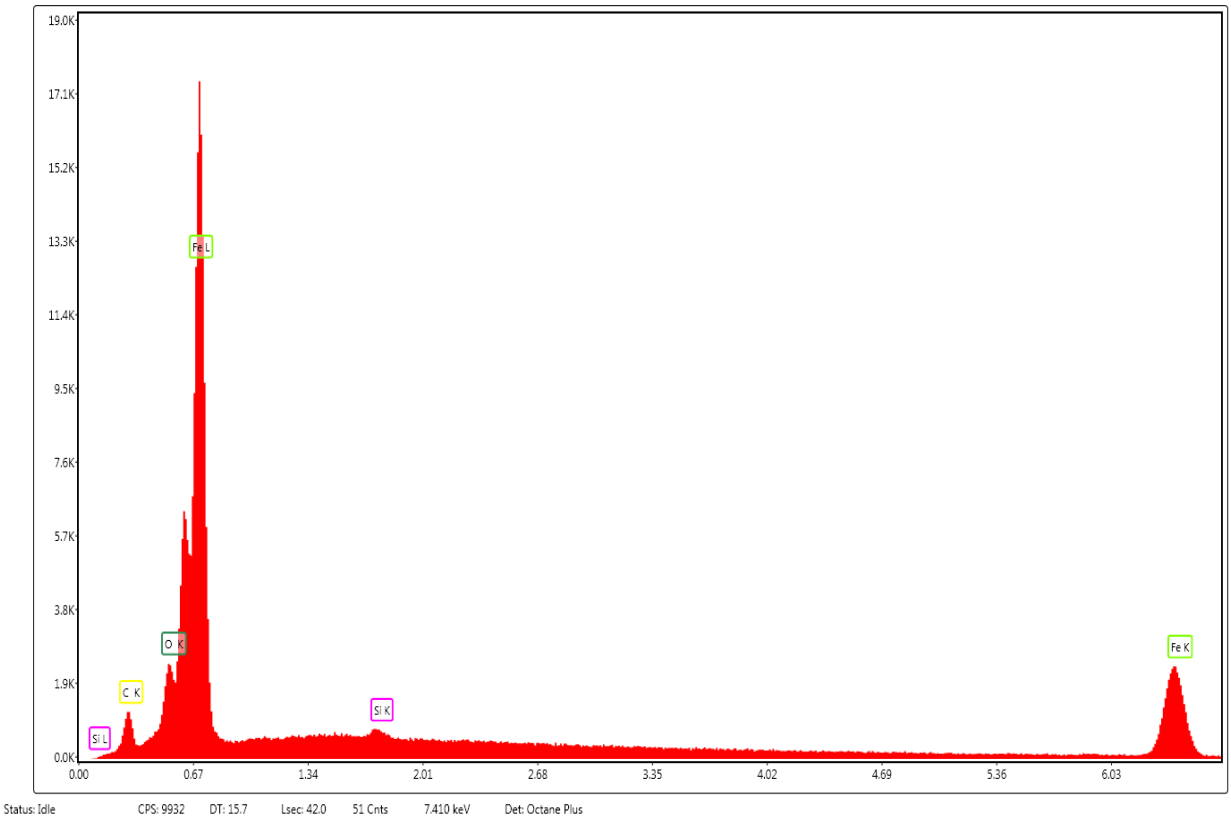
1- العينة قبل الترسيب:

عند إجراء التحليل بينت النتائج نسب العناصر، كما هو مبين في الجدول (8) :

**الجدول (8) نسبة العناصر في العينة قبل الترسيب:**

| Elements | Weight% |
|---|---|
| C K | 7.93 |
| O K | 6.03 |
| Fe I | 84 |
| Si K | 0.71 |
| Mn k | 1.34 |

و يبين الشكل (32) طيف العناصر في العينة:



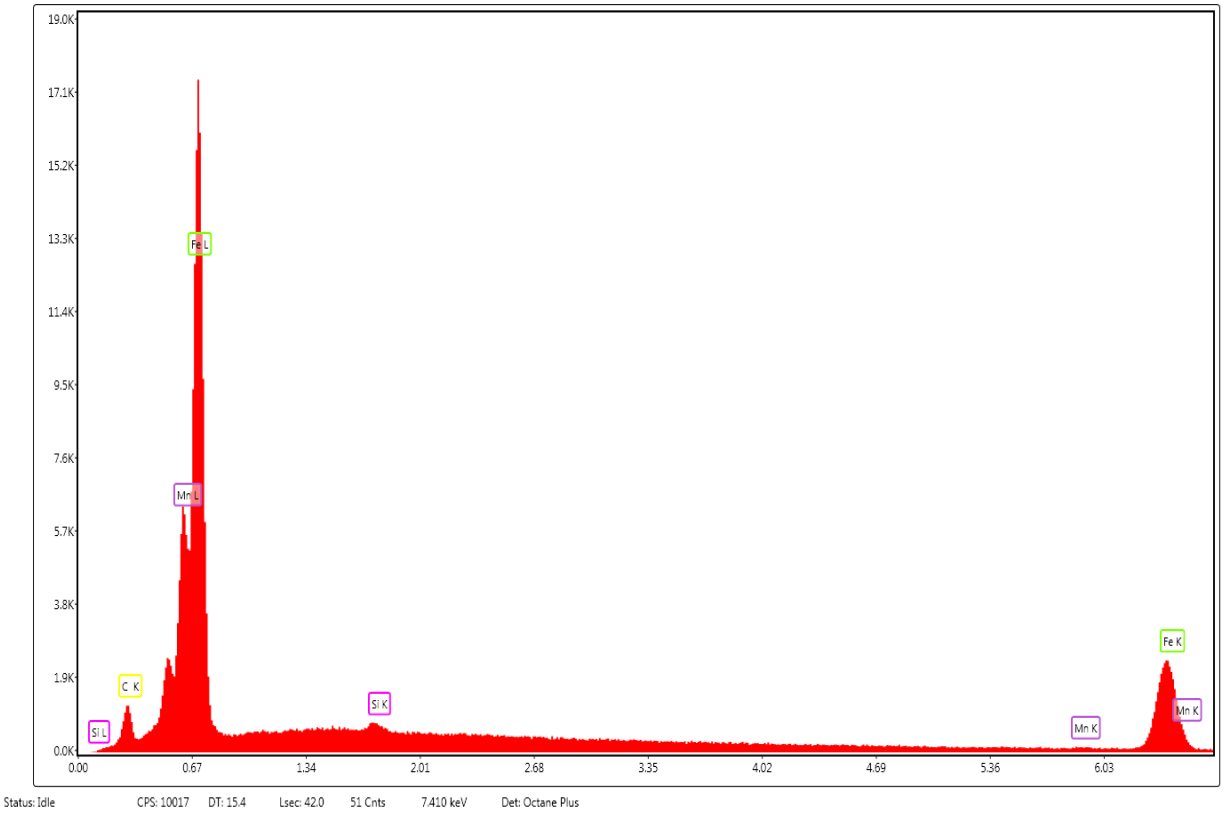

**الشكل (32) طيف العناصر في العينة قبل الترسيب.**

* عند حذف نسبة عنصر الأكسجين من نسب العناصر الكلية نلاحظ أن نسب العناصر أصبحت كما هو مبين في الجدول (9) :

**الجدول (9) نسب العناصر بعد حذف عنصر الأكسجين:**

| Elements | Weight% |
|---|---|
| **C K** | **9.08** |
| **Fe L** | **88.64** |
| **Si k** | **0.79** |
| **Mn k** | **1.49** |

و يبين الشكل (33) طيف العناصر بعد حذف عنصر الأكسجين:




**الشكل (33) طيف العناصر بعد حذف عنصر الأكسجين.**

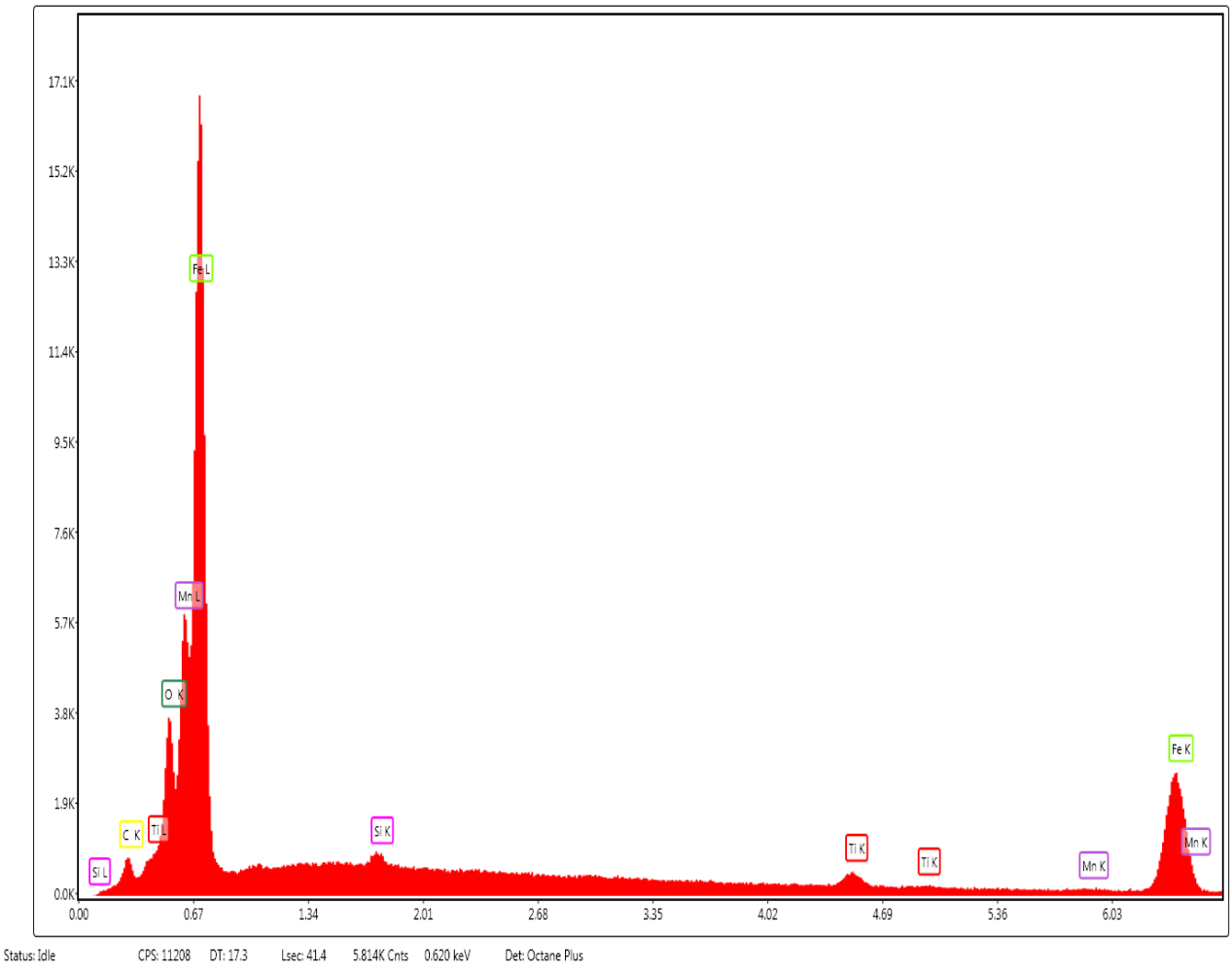
2- العينة (Ti1) :

تبيّن عند تحليل العينة (Ti1) وجود العناصر بالنسب المبينة في الجدول (10) :

**الجدول (10) نسبة العناصر بعد ادخال عنصر التيتانيوم:**

| Elements | Weight% |
|---|---|
| **C K** | **4.91** |
| **O K** | **7.32** |
| **Fe L** | **80.52** |
| **Si K** | **0.84** |
| **Ti k** | **4.26** |
| **Mn k** | **2.14** |

يبين الشكل (34) طيف العناصر الموجودة في العينة (Ti1):



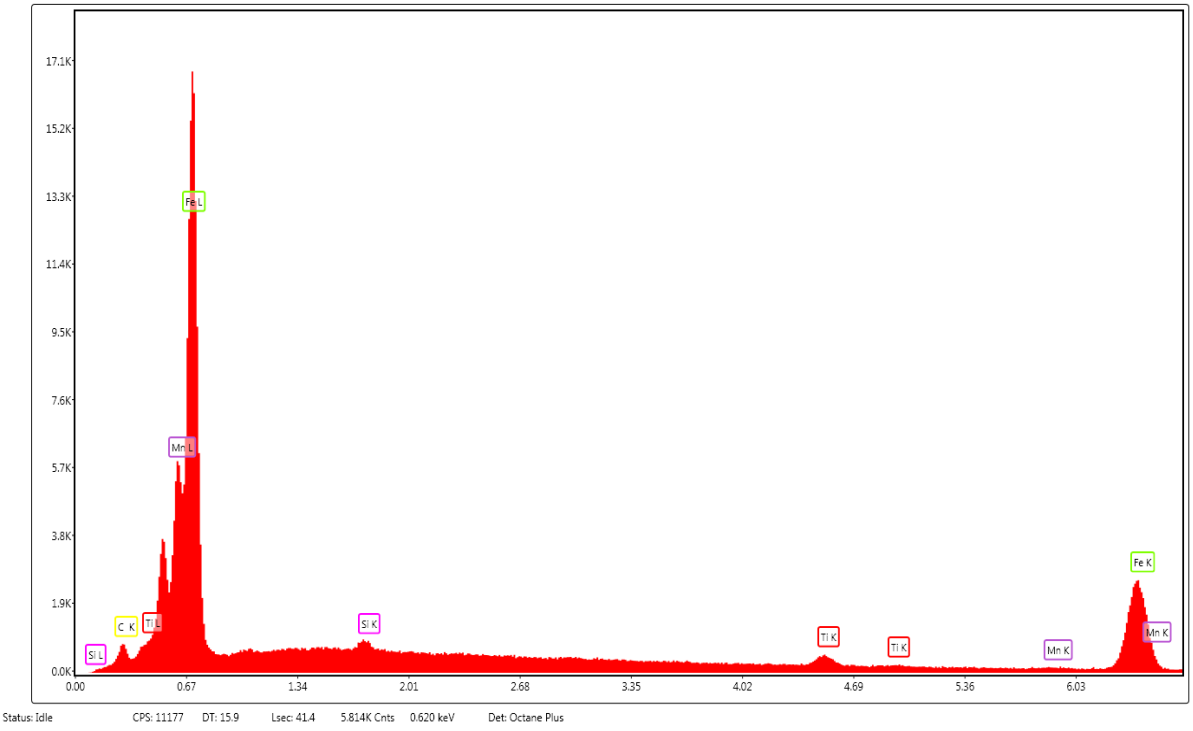

**الشكل (34) طيف العناصر في العينة (Ti1).**

* بعد حذف عنصر الأكسجين تكون نسب العناصر، كما هو مبين في الجدول (11):

**الجدول (11) نسب العناصر بعد حذف الأكسجين:**

| Elements | Weight% |
|---|---|
| **C K** | 5.76 |
| **Fe L** | 86.04 |
| **Si K** | 0.96 |
| **Ti k** | 4.83 |
| **Mn k** | 2.42 |

و يبين الشكل (35) طيف العناصر المذكورة أعلاه :




الشكل (35) طيف العناصر الموجودة في العينة (Ti1)

3- العينة (TiCO1) :

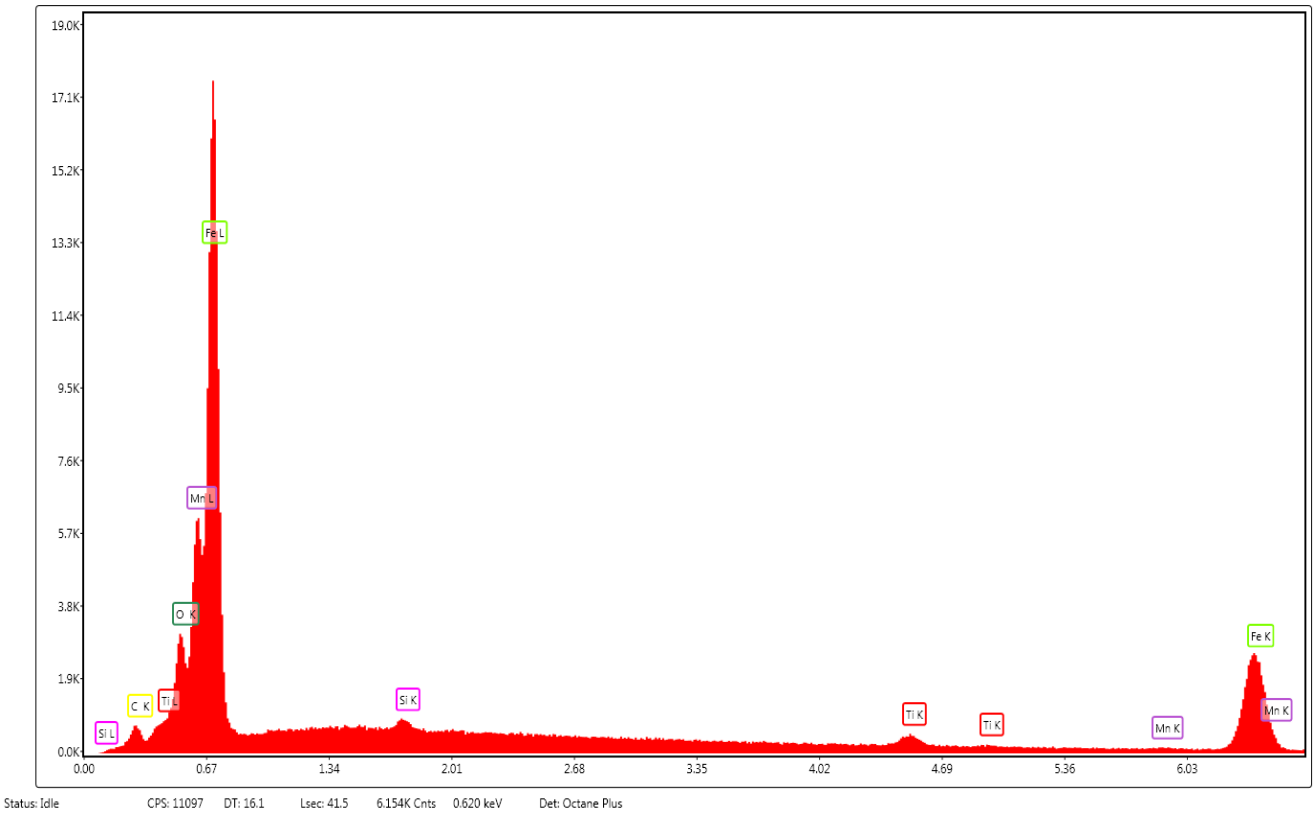
يبين الجدول (12) العناصر الموجودة في العينة بعد إدخال غاز $CO_2$ في أثناء عملية الترسيب .

**الجدول (12) نسب العناصر في العينة (TiCO1):**

| Elements | Weight% |
|---|---|
| **C K** | 4.38 |
| **O K** | 5.26 |

| | |
|---|---|
| **Mn k** | 6.61 |
| **Fe L** | 78.69 |
| **Si K** | 0.77 |
| **Ti k** | 4.28 |

و يبين الشكل (36) طيف العناصر المذكورة أعلاه .



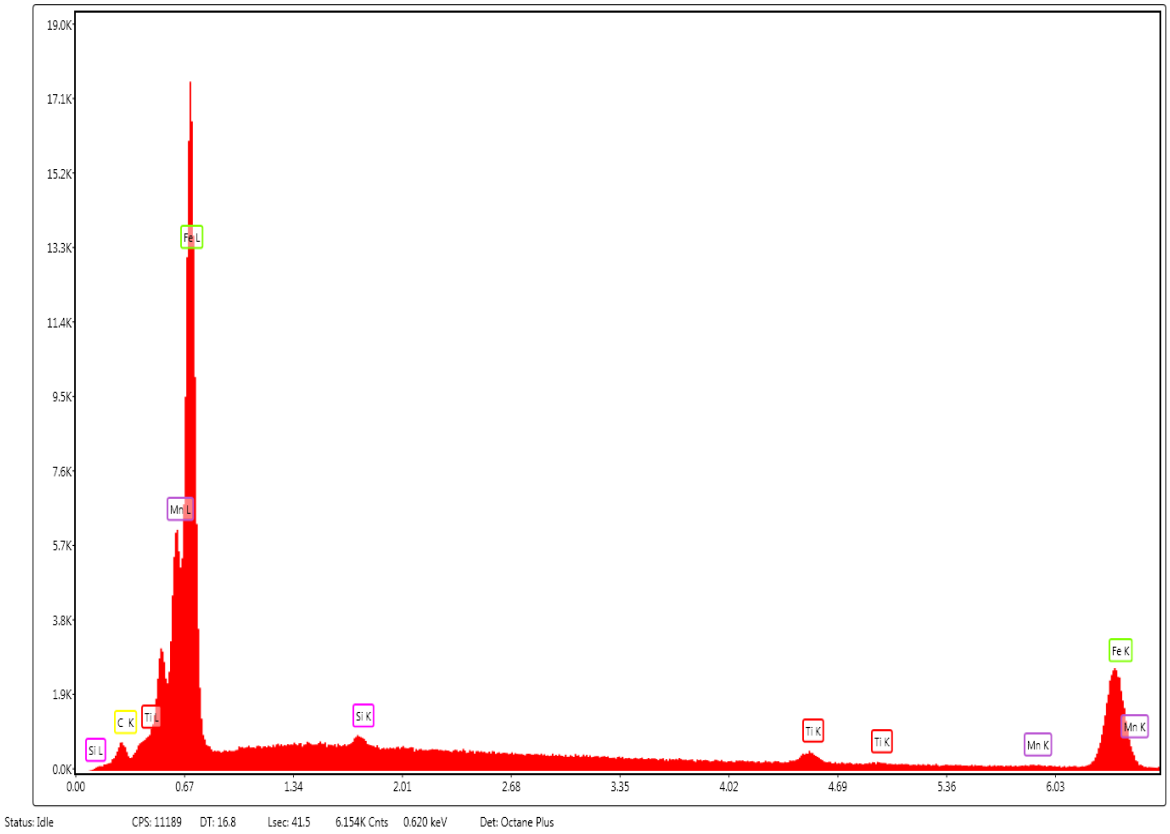

**الشكل (36) طيف العناصر في العينة (TiCO1):**

* بعد حذف عنصر الأكسجين نلاحظ أن نسب العناصر تغيرت، لتصبح كما هي في الجدول (13)

**الجدول (13) نسب العناصر في العينة (TiCO1) بعد حذف عنصر الأكسجين .**

| Elements | Weight% |
|---|---|
| **C K** | 4.59 |
| **Mn k** | 12.84 |
| **Fe L** | 77.39 |
| **Si K** | 0.79 |
| **Ti k** | 4.39 |

يبين الشكل (37) طيف العناصر المبينة في الجدول السابق .




**الشكل (37) طيف عناصر العينة (TiCO1).**

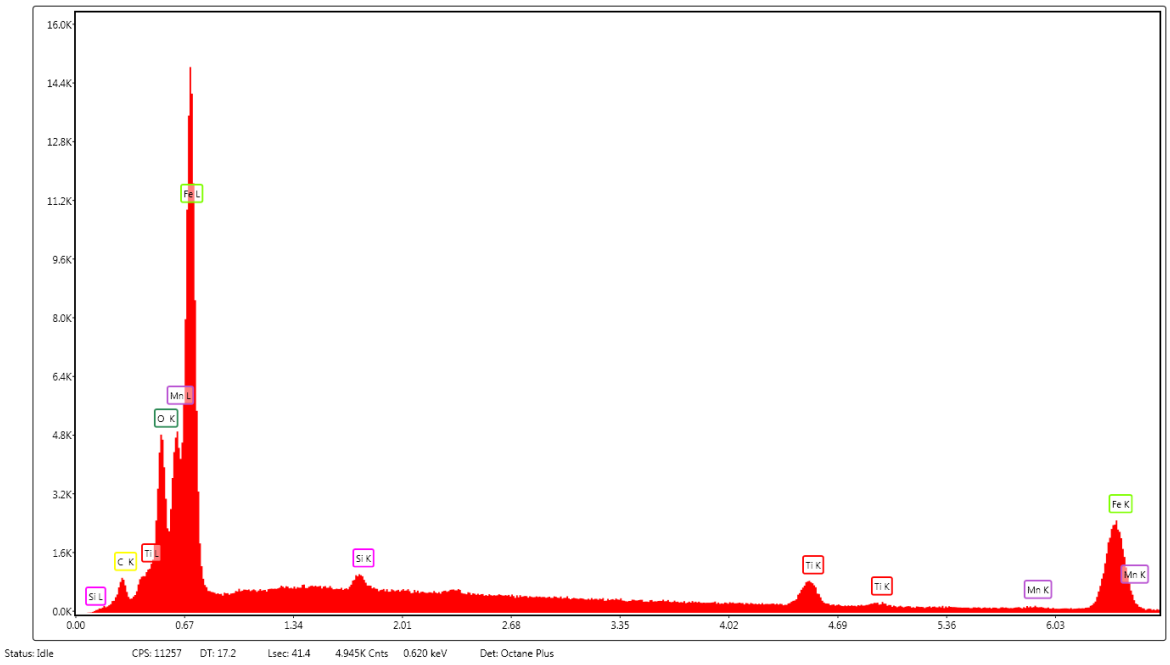
4- العينة (TiCO2) :

إن إدخال غاز ثاني أكسيد الكربون في أثناء عملية الترسيب تؤدي إلى تغير في نسب العناصر و خاصة الكربون، و الجدول (14) يبين نسب العناصر الموجودة في هذه العينة.

**الجدول (14) عناصر العينة (TiCO2):**

| Elements | Weight% |
|---|---|
| **C K** | 5.08 |
| **O K** | 10.16 |
| **Fe L** | 71.77 |
| **Si K** | 1.04 |
| **Ti k** | 9.55 |
| **Si K** | 2.39 |

يبين الشكل (38) طيف العناصر المذكورة في الجدول السابق:



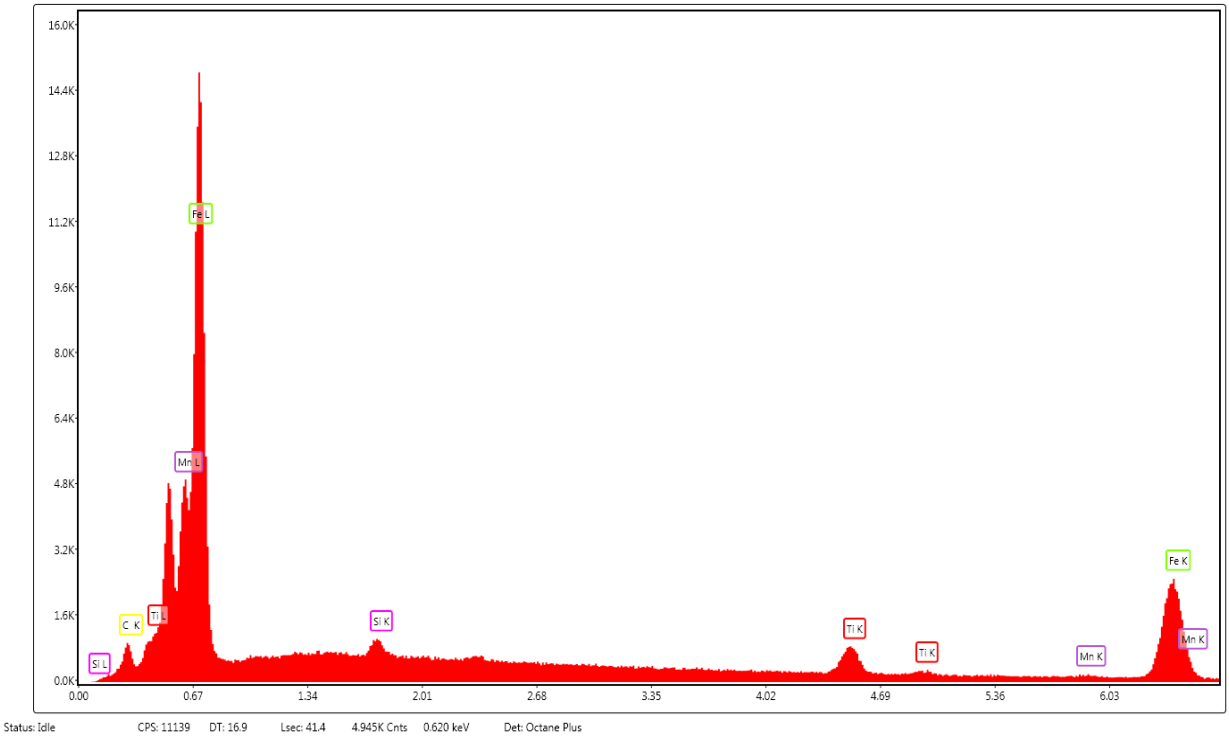

**الشكل (38) طيف عناصر العينة(TiCO2).**

* نسب العناصر بعد حذف الأكسجين مبينة في الجدول (15)

**الجدول (15) نسب العناصر في العينة (TiCO2) بعد حذف الأكسجين:**

| Elements | Weight% |
|---|---|
| **C K** | 6.21 |
| **Fe L** | 78.61 |
| **Si K** | 1.23 |
| **Ti k** | 11.17 |
| **Si K** | 2.78 |

و يوضح الشكل (39) طيف العناصر أعلاه.




**الشكل (39) طيف عناصر العينة (TiCO2) بعد حذف الأكسجين.**

## 6.5. الدراسة التحليلية باستعمال الأشعة السينية :

### 1.6.5. مقدمة :

يمكننا انعكاس الأشعة السينية في الأجسام البلورية من معرفة تركيبها الكيميائي و بعض خصائصها، والنتائج التي نحصل عليها تعتمد على عدة عوامل منها نوعية، و مدى دقة، و جودة الأجهزة المستخدمة في التحليل، و طريقة معالجة النتائج .

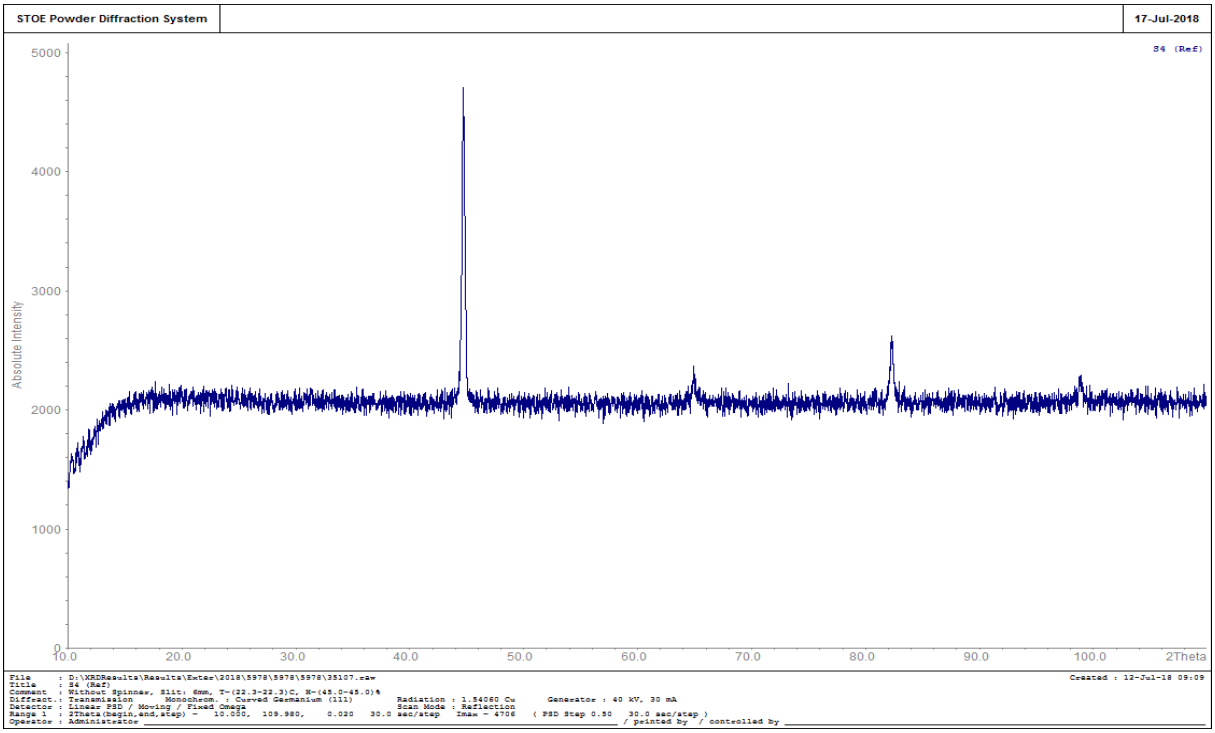
توجد طريقتان أساسيتان في انعراج الأشعة السينية، الأولى تعرف بطريقة دباي شرر، و يتم فيها تسجيل الطيف على فلم حساس و هو عبارة عن شريط يوضع في غرفة تعرف بغرفة دباي، أما الطريقة الثانية فهي الأدق من حيث النتائج و يتم التسجيل فيها باستعمال عداد يوصل بجهاز يقوم برسم مخطط الانعراج (شدة الخط بدلالة زاوية براغ)، تسمح هذه التقنية بتأشير خطوط الانعراج الحادثة، و معرفة الفاصلة ($d_{hk}$) الموافقة للشدة (I) حيث إنّ ($d_{hk}$) تحسب من قانون براغ .

انطلاقاً من المخطط يتم الحصول على قائمة للثنائيات (I,d) هذه القوائم مرتبة في جداول تعرف ببطاقات (A.S.T.M) كل قائمة من هذه القوائم تمثل بطاقة تعريف لمركب من الخطوط الثلاثة الأكثر شدة لكل عنصر أو طور .

تمّ استعمال جهاز حيود الأشعة السينية الموجود في الهيئة السورية للطاقة الذرية . الشكل (40) يبين صورة لجهاز الحيود .

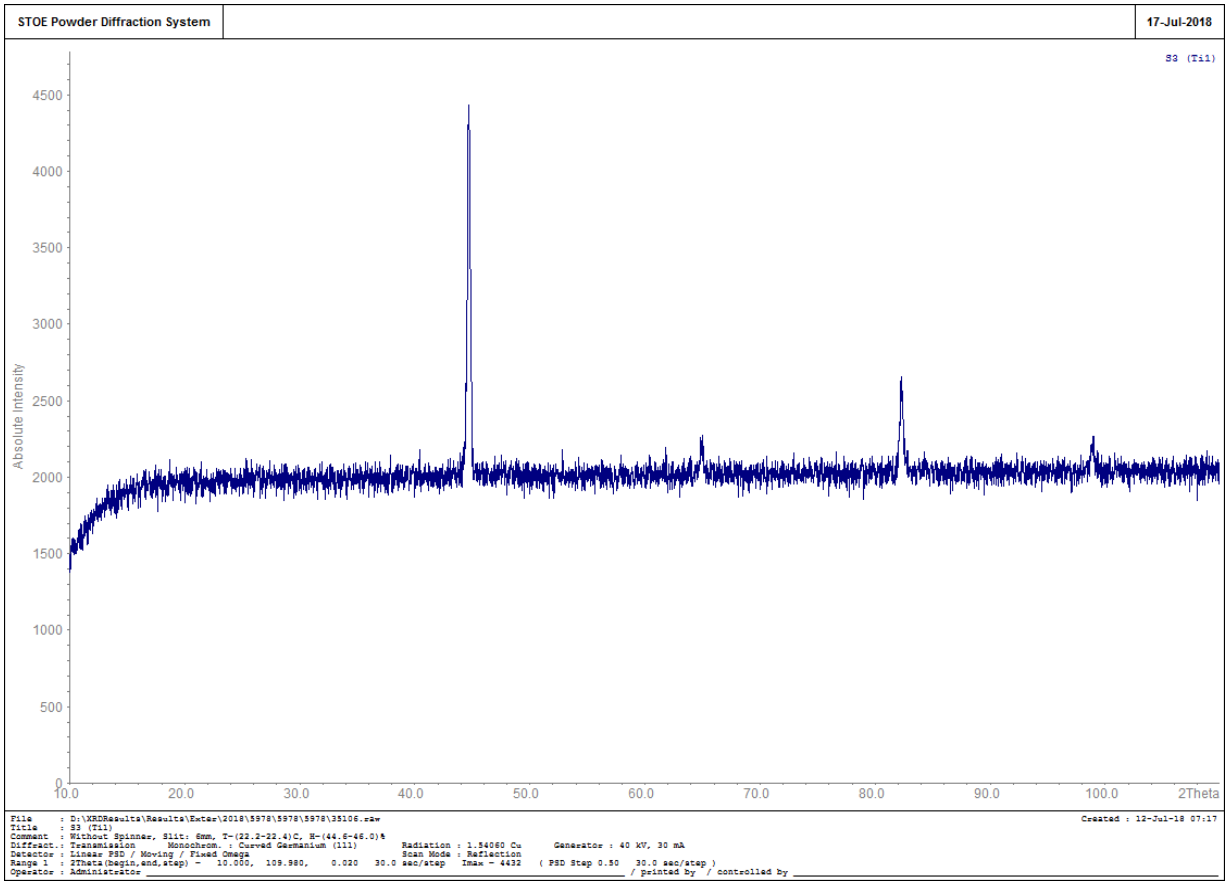
**الشكل (40) جهاز حيود الأشعة السينية.**

1- العينة قبل الترسيب : يبين الشكل (41) تحليل العينة قبل الترسيب:



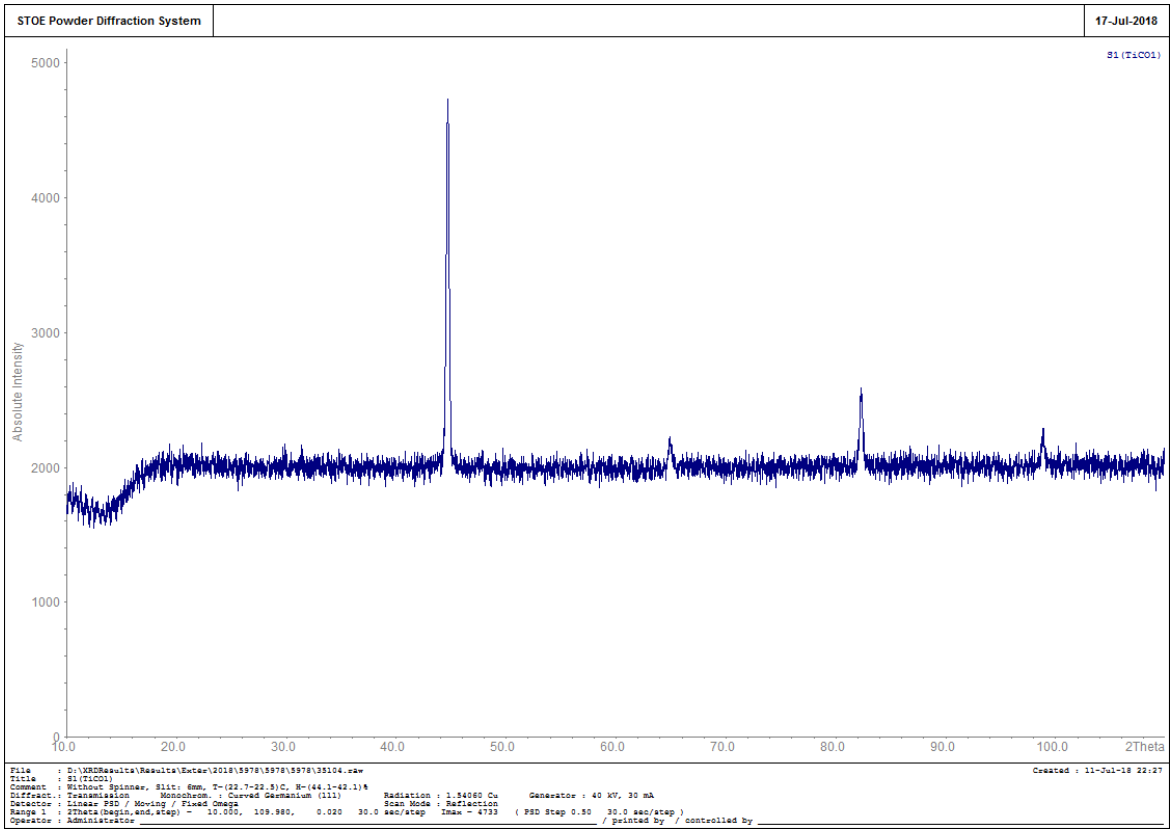

**الشكل (41) تحليل (XRD) للعينة قبل الترسيب.**

**2**- العينة (Ti1) : يبين الشكل (42) تحليل العينة بطريقة انعراج الأشعة السينية .



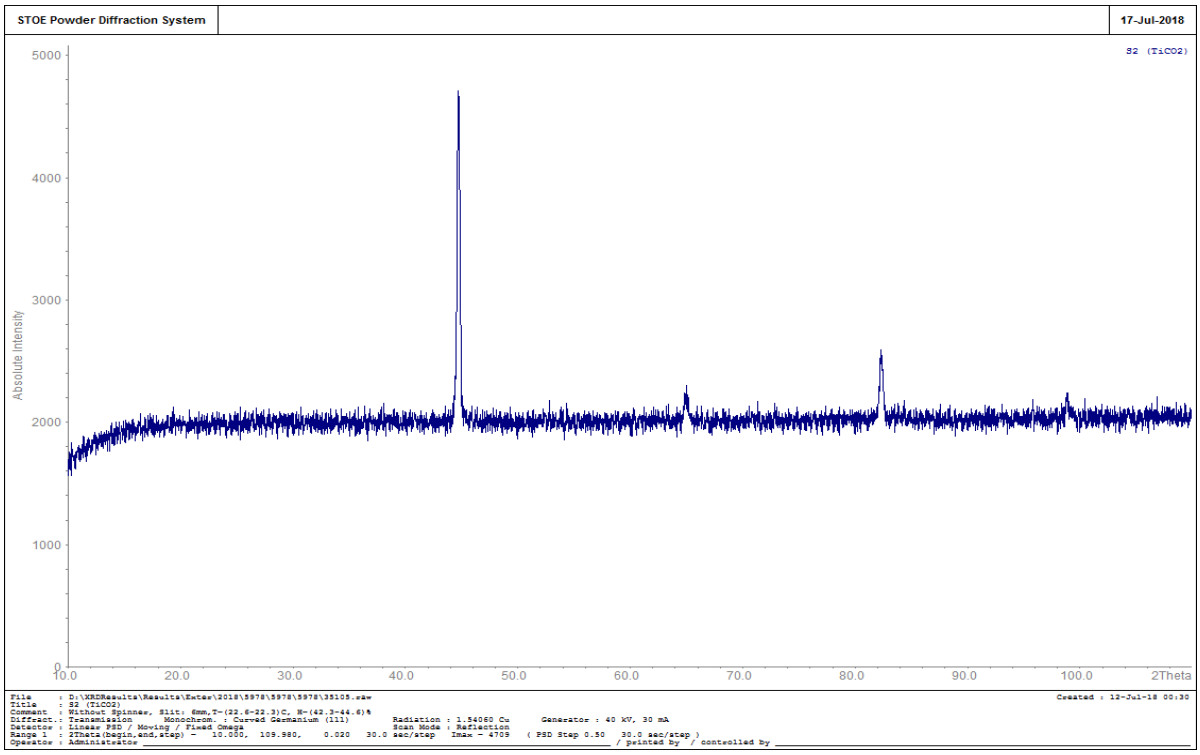

**الشكل (42) تحليل XRD للعينة.**

3- العينة (TiCO1) : يبين الشكل تحليل XRD للعينة المذكورة .




**الشكل (43) تحليل XRD للعينة (TiCOI1).**

4- العينة ($TiCO_2$) : يبين الشكل تحليل XRD للعينة($TiCO_2$)




**الشكل (44) تحليل XRD للعينة($TiCO_2$).**

أظهرت نتائج تحليل XRD أن المخططات التي تم الحصول عليها غير متطابقة مع بطاقات A.S.T.M ولم يلحظ تشكل الأطوار و ذلك أن الأفلام المترسبة غير متبلورة بشكل كامل.

## 7.5. اختبار القساوة الدقيقة :

نعتمد في اختبار القساوة الدقيقة (فيكرز) على اختراق الجسم المختبر، و تؤخذ قراءة القساوة بعد إجراء عملية قسمة الحمل المستخدم على مساحة الأثر، نستخدم في هذا الاختبار هرماً ماسياً زاويته 136º و تتم قراءة قيمة الأثر الحاصل بواسطة ميكرومتر متصل بالميكروسكوب الضوئي ذي قوة تكبير عالية حتى نتمكن من مشاهدة سطح العينة المختبرة و قراءة أبعاد الأثر بدقة .

من أهم خواص اختبار فيكرز :

- يعد من الاختبارات التي تستعمل من أجل البحث العلمي و لا تستعمل للأغراض الصناعية .

- يعطي نتائج دقيقة جداً، و لهذا فهو يستخدم للمواد ذات الحساسية العالية مثل الأفلام الرقيقة و قياس القساوة الدقيقة للحبيبات .

- يستخدم في قياس القساوة للمواد الرقيقة جداً .

- يتطلب الاختبار أن يكون سطح العينة مستوياً مصقولاً و أملس و نظيفاً .

- يتراوح الحمل بين 1 إلى 1000 غ .

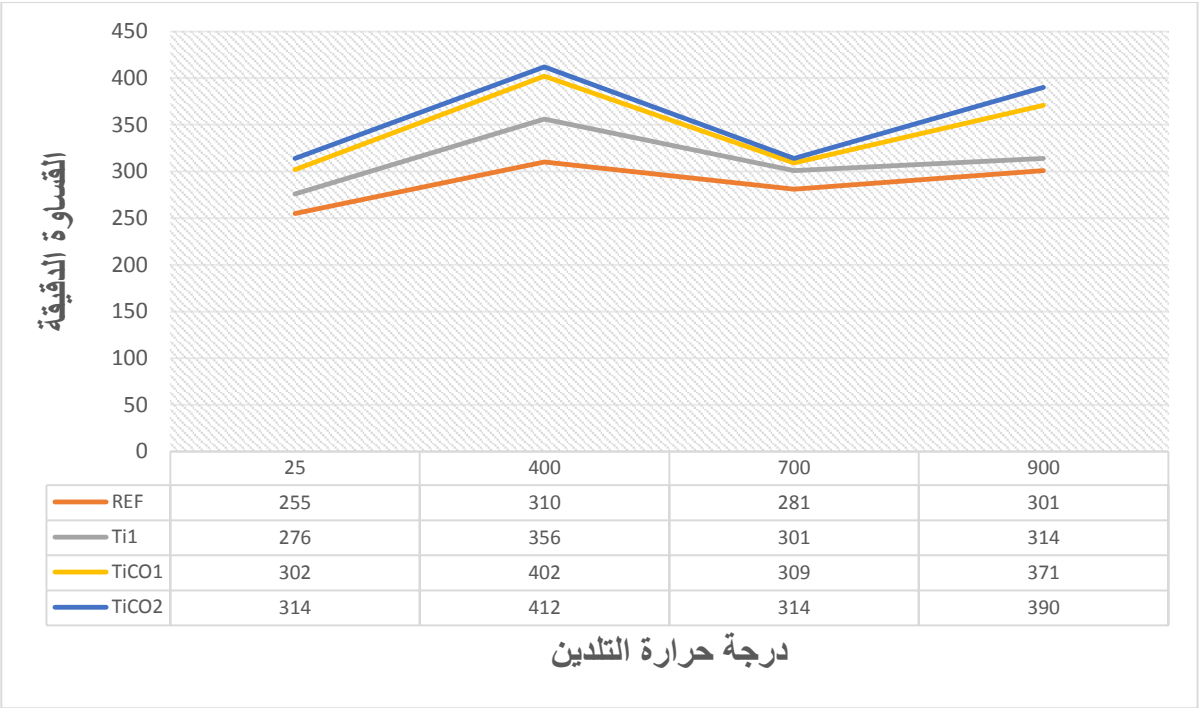
- يمكن استخدام هذه الطريقة في قياس قساوة المعادن و البلاستيك و المواد السيراميكية .[52]

لإجراء اختبار القساوة للعينات المرسبة تم استخدام جهاز فيكرز بحمولة 30 غ و بزمن إبقاء 10 ثواني. يبين و الجدول (16) نتائج اختبار القساوة الدقيقة .

**الجدول (16) نتائج اختبار القساوة الدقيقة :**

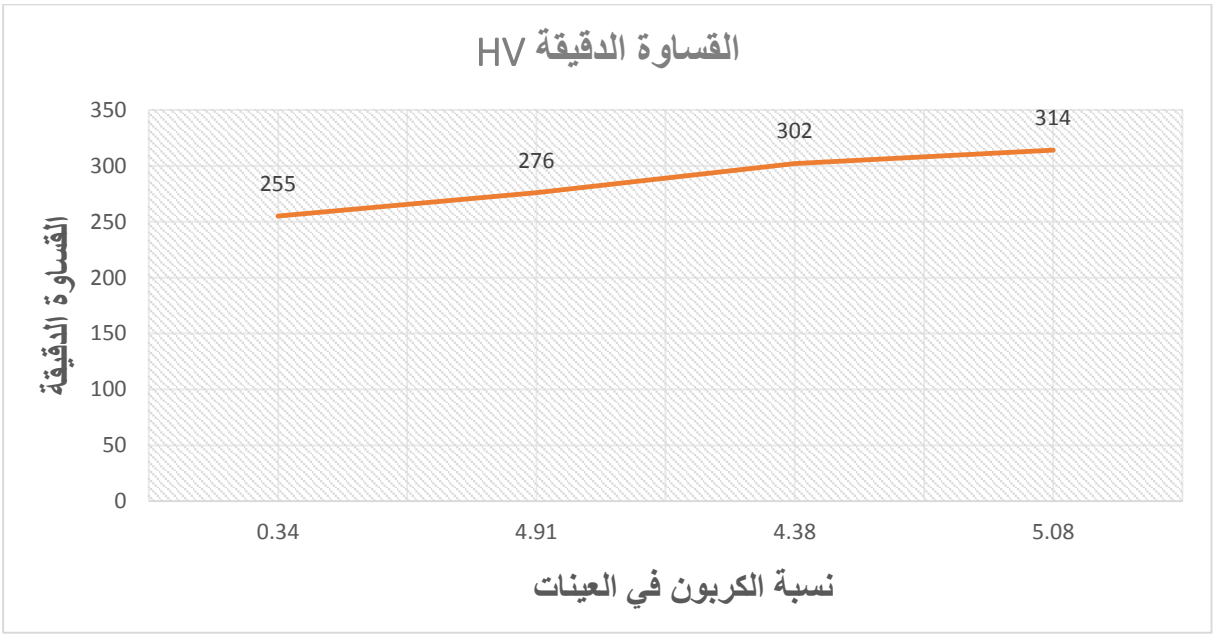
| درجة حرارة التلدين (مº) | | 25º | 400º | 700º | 900º |
|---|---|---|---|---|---|
| القساوة الدقيقة (كغ/مم$^2$) | REF | 255 | 310 | 281 | 301 |
| | Ti1 | 276 | 356 | 301 | 314 |
| | TiCO1 | 302 | 402 | 309 | 371 |
| | TiCO2 | 314 | 412 | 314 | 390 |

يبين المخطط البياني تغيرات القساوة للعينات مع تغيير درجة حرارة التلدين .




**الشكل (45) تغيرات القساوة بدلالة درجة حرارة التلدين.**

الشكل (46) يبين علاقة تغير القساوة مع تزايد نسبة الكربون في العينات.




**الشكل (46) تغير القساوة مع نسبة الكربون.**

**التفسير :**

– إن زيادة القساوة مع درجة حرارة التلدين 400º نتيجة انتشار كربون المادة الحاملة بتحفيز من حرارة الفرن نحو طبقة التيتانيوم المرسبة، و هذا ما يؤدي إلى نمو كربيد التيتانيوم الذي يزيد من القساوة السطحية .

– إن القساوة للعينة TiCO1,TiCO2 أفضل منها للعينة Ti1 عند كافة درجات حرارة التلدين، و ذلك بسبب زيادة نسبة الكربون بسبب ضخ غاز ثاني أكسيد الكربون .

– من درجة حرارة التلدين 400º إلى 700º تتناقص القساوة بسبب انتشار العناصر الداخلة في تركيب العينات مثل المنغنيز الذي له دور سلبي اتجاه الخواص الميكانيكية .

– من درجة الحرارة 700º إلى 900º تزداد القساوة؛ و ذلك بسبب زيادة انتشار الكربون باتجاه الطبقة السطحية و قصور انتشار العناصر الأخرى .

**الاستنتاجات و التوصيات :**

1- يعدّ الفولاذ متوسط الكربون أحد أهم المواد الهندسية المستخدمة في التطبيقات الصناعية و الإنشائية (مواد تسليح).
2- هناك الكثير من طرق التقسية السطحية من أهمها و أحدثها طرق ترسيب الأغشية النانوية.
3- استخدام أغشية معدنية رقيقة من معدن التيتانيوم يزيد من التقسية السطحية بشكل ملحوظ.
4- اعتماد طرق ترسيب الأغشية النانوية في التطبيقات الصناعية يعد ثورة صناعية في هندسة المواد.
5- تسمح هذه التقنية من استخدام واسع من أغشية المواد .
6- ترسيب أفلام رقيقة بسماكات أقل من 0.2 ميكرومتر و دراسة تأثيرها على القساوة السطحية.
7- ترسيب أفلام كربيد التيتانيوم عند بارامترات مختلفة .
8- دراسة تأثير ترسيب أفلام كربيد التيتانيوم على الخواص الميكانيكية الأخرى مثل الشد و الصدم
9- ترسيب أفلام رقيقة من كربيدات من عناصر أخرى مثل كربيد التنجستن.
10- ترسيب أفلام من نتريدات المعادن و دراسة تأثيرها على الخواص الميكانيكية .

# الفصل السادس
# المصطلحات

المصطلحات :

| English | عربي |
|---|---|
| Abrasive | كشط |
| Adherence | التصاق ، تماسك |
| Alloy | سبيكة |
| Iron | حديد |
| Gamma iron (ɣ) | حديد غاما (ɣ) |
| Steel | الفولاذ |
| Austenitic steel | فولاذ أوستنيتي |
| Cast iron | حديد الزهر ، حديد الصب |
| Carbon (C) | كربون (C) |
| Carbide | كربونات |
| Graphite | غرافيت (C) |
| Alumina | الألومين |
| Chromium (Cr) | كروم (Cr) |
| Manganese (Mn) | منغنيز (Mn) |
| Titanium (Ti) | تيتانيوم (Ti) |
| Austenite | أوستنيت |
| Cementite | سمنتيت |
| Ferrite | فريت |
| Pearlite | برليت |

| | |
|---|---|
| Hardness | قساوة |
| Hardening | تقسية |
| Hardness test | اختبار القساوة |
| Analysis | تحليل |
| Angle | زاوية |
| Annealing | تلدين |
| Anode | مصعد |
| Cathode | مهبط |
| Body centered cubic | مكعب متمركز حجمياً |
| Face centered cubic | مكعب متمركز وجهياً |
| Beam | حزمة أشعة |
| Binary alloy | سبيكة ثنائية |
| Boundaries | حدود |
| Brittleness | قصافة ، هشاشة |
| Cast ability | السبائكية |
| Charge | شحنة ، حمولة |
| Clean | نظيف ، نقي |
| Cleavage | تصدع |
| Coating | تغطية |
| Components | عناصر |
| Compound | مركب |

| | |
|---|---|
| Condensation | تكثيف |
| Cooling | تبريد |
| Cooling Curve | منحني التبريد |
| Cracks | شقوق |
| Degree | درجة |
| Device | جهاز ، آلة |
| Diagram | بيان ، مخطط |
| Diameter | قطر |
| Diamond | ألماس |
| Diamond Pyramid | هرم ماسي الشكل |
| Diffraction | حيود ، انعراج |
| Diffract Meter | مقياس حيود الأشعة |
| Disc | قرص |
| Discovery | اكتشاف |
| Dissolution | انحلال ، ذوبان |
| Ejection | قذف |
| Elaboration | تحضير ، انجاز |
| Ethanol | كحول اثيلي |
| Eutectic | يوتكتيك |
| Eutectoid | يوتكتويدي |
| Face | سطح ، وجه |

| | |
|---|---|
| Figure | شكل ، صورة |
| Filament | سلك دقيق ، فتيلة |
| Film | طبقة رقيقة |
| Filter | مرشح |
| Furnace | فرن |
| Fusion | انصهار ، صهر |
| Gray | رمادي |
| Grinding | طحن ، سقل ، شحذ |
| Heat | حرارة |
| Heating | تسخين |
| Heat Treatment | معالجة حرارية |
| Intensity | شد ، قوة |
| Interstitial Solution | محلول انغراسي |
| Load | ثقل |
| Mechanical Properties | خواص ميكانيكية |
| Microanalysis | تحليل مجهري |
| Electronic Microscope | مجهر الكتروني |
| Multiphase | متعدد الأطوار |
| Oxidation | أكسدة |
| Phase | طور |
| Phase Diagram | بيان الأطوار |

| | |
|---|---|
| Quenching | سقاية ، تبريد سريع |
| Tempering | تطبيع |
| Vacuum | تفريغ من الهواء ، فراغ |
| X-Rays | أشعة X |
| Thin | رقيق |

## المراجع


[1] م.غنمة, ع.موسى, "اختيار و اختبار المواد " ,

[2] ف.ضحية, خ.عزيمة, "علم المواد و هندستهاً, جامعة دمشق, دمشق, 2011م.

[3] ج.مالشييف , تيكولاييف " تكنولوجيا المعادن " ترجمة أنور الطويل , دار مير للطباعة و النشر , الاتحاد السوفييتي , موسكو .

[9] ر. لعروق, " مدخل في علم المعادن " , جامعة منتوري , قسنطينة, 2003م .

[10] جامعة كامبردج , (2003) "علم المواد" , قسم الهندسة في جامعة كامبردج , المملكة المتحدة

[11] ن.أحمد , م.سليمان ,(2005) " علم البلورات و الأشعة السينية " , دار الفكر العربي للطباعة و النشر , القاهرة .

[12] خ.شرف, ح.هدلة , " الخلائط المعدنية و سبائكهاً , جامعة دمشق , دمشق, 2012م .

[13] يولاختين , " علم المعادن و المعاملة الحرارية للمعادن " , دار مير للطباعة و النشر , الاتحاد السوفييتي , موسكو .

[14]أ.شحادة, م.علي, " خواص المواد " , دار الفجر للطباعة و النشر , مصر, 2005م .

[15] م.الدهشان, إ.المعتاز , م.الهزاع , " الهندسة التطبيقية للمواد " , جامعة الملك سعود , المملكة العربية السعودية .

[16] م.سلامة, ب.عمار, " المعادن و معالجتها الحرارية " , جامعة دمشق , دمشق, 2017م.

[17] خ.عزيمة," هندسة السطوح " , منشورات جامعة دمشق , دمشق, 2011م .

[18] ج.توماس , ج.ساموئيل , و.جيلين,"المعالجة الحرارية و خواص الحديد و الفولاذ " , الولايات المتحدة الأمريكية, 1966م .

[19] م.عبد الحسن, " تأثير التصليد السطحي على التآكل الكيميائي–الميكانيكي لفولاذ منخفض الكربون " و مجلة كلية الهندسة , جامعة النهرين , العراق .

[20] ت.البرغوث , م.سلامة , إ.عبد الهادي, "تأثير بارامترات الليزر في البنية البلورية و الخواص الميكانيكية للفولاذ " , مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية , دمشق,2011م .

[21] ص.محمود , خ.سليمان, "تأثير المعاملة بالليزر على القساوة السطحية و الخواص الميكانيكية للفولاذ CK45 " , مجلة العلوم و الهندسة , بغداد, 2011م .

[22] إ.سليماني , " مساهمة في دراسة طبقات رقيقة معدنية من مركب التيتان مرسبة على مساند فولاذية " , جامعة قاصدي مرباح ورقلة .

[27] م.حمدان, " تأثير التقسية السطحية باستخدتم التيارات عالية التردد على الخصائص الميكانيكية للفولاذ الكربوني " , مجلة جامعة تشرين للبحوث و الدراسات العلمية , جامعة تشرين, 2016م .

[28] م.الأسعد , و.وحود , " تحسين خواص الفولاذ الكربوني عن طريق المعالجة الحرارية الدورية " , مجلة جامعة البعث , جامعة البعث, 2014م .

[29] خ.اسماعيل, "استخدام الماء الممغنط في تقسية الفولاذ CK45 " , مجلة علوم الرافدين , الموصل, 2014م .

[30] ح.داوود , " تأثير عدة القطع على الخواص الميكانيكية لسبائك مختلفة " , كلية العلوم الهندسية و التقنية , جامعة سبها .

[31] س.ميشيل , أ.روبرت , " الكيمياء " , الدار الدولية للنشر و الطباعة .

[32] ج.لي , " المختصر الجديد في الكيمياء غير العضوية " , ترجمة محمد الأمين صابر , محمد بشير حسن , محمد محمود مصطفى , منشورات جامعة سبها , ليبيا .

[33] ن.بودجّة, " خواص المواد " , منشورات جامعة الجزائر , الجزائر, 1992م .

[34] ب.أوبيترون , "استخدام طريقة مونتي كارلو لمحاكاة الظواهر الفيزيائية المساهمة في تطوير الأفلام المشبعة بالحزم الإلكترونية " ,جامعة ليموج , فرنسا .

[37] ك.مانتريسكي, "استخدام الرش المهبطي صناعياً في المطابع " , كلية العلوم التطبيقية, 2005م

[38] س.ايتين , د.لورنت, " المواد من الألف إلى الياء " , بلجيكا, 2008م .

[39] ر.بيرسيك, " الترسيب باستخدام الجزيئات المقذوفة ", برلين, ألمانيا, 1981م .

[40] ب.سيجموند, " ميكانيزم و نظرية فيزياء الترسيب بالجزيئيات الممغنطة " , معهد دراسات الفيزياء النووية, 1987م .

[41] ف.ساكري , " حساب توزيع سرعات الأيونات باستعمال محاكاة مونتي كارلو عند التصادم بالهدف في تقنية الرش المهبطي في نظام كهربائي مستمر DC " , جامعة قاصدي مرباح ورقلة .

[42] ز.لين وانغ ,, " المولدات النانوية لأجهزة و الأنظمة ذاتية التغذية " , معهد جورجيا التقاني , جورجيا , الولايات المتحدة الأمريكية, 2016م .

[43] س.صالح، "فيزياء الحيود"، الجامعة التكنولوجية مركز التعريب و النشر بغداد ,1982م

[4] E.Koller ," Dictionnair encyclopédique des sciences des materiaux imprierie chart ", France , 2008 .

[5] J.R.Davis , "Structure/Property Relationships in Iron and Steel," ASM Metals Handbook , 1998 .

[6] Cambridge University Engineering Department ," Materials Data Book ", Edition 2003 .

[7] D.Gandy ,''Carbon Steel Handbook," Final Report , 2007 .

[23] K.Singh,A.K.Gover,"Metals Materials and rocesses",Vol.16,p.111,2004

[24] CH.Heo,S.Lee," Deposition of $Tio_2$ Thin Films Using RF Magnetron Sputtering Method and Study of their Characteristics ",South Korea,2004.

[25] N.Panid,P.Wangyao " Techniques to Improve Coating Adhesion of Super hard coating", Journal of Metals , Materials and Minerals,Vol.16,pp.19-23,2006.

[26] M.Polboon,N.CH," Improving Quench Hardening of Low Carbon Steel ",Journal of Metals, Materials and Minerals,Vol.21,No1,pp.67-74,2011.

[35] KH.Daeood Sleman , S.Mahmood , "Effect of Laser Surface Treatment on Mechanical Properties of CK45 Steel " , Eng & Tech, Journal, Vol.29 ,2011.

[36] D.Oluyemi , B.O.Adewuyi ," Studies of the Properties of Heat Treated Rolled Medium Carbon Steel ",2011.

[44] J.Dossett , G.E.Totten ," Introduction to Surface Hardening of Steel ASM Handbook Vol 4A ,2013 .

[45] G.Thomas , J.Rosenberg , W.Geil ,"Heat Treatment and Properties of Iron and Steel",1965.

[46] Lu.Xie , "Simulation of Plasma Sputtering Deposition and Thin Film Growth", 2013 .

[47] L.I.Maissel , "Application of Sputtering to Depsition of Film ", Handbook of Thin Film Technology , New Yourk , 1970 .

[48] D.Depla , S.Mhieu , J.E.Greene ,"Sputtering Deposition Processes " , USA .

[49] G.K.Whener and G.S.Anderson ," The nature of Physical Sputtering ", Handbook of thin film technology , New York , 1970 .