

دراسة تأثير درجة حرارة التسخين الابتدائي على البنية المجهرية في لحام أنابيب نقل الغاز API-5L X42

د. ميساء علي شاش*

د. محمد كمال قرفول**

م. غيث زهير قرفول***

(تاريخ الإيداع 21/ 6/ 2021 . قُبل للنشر في 4/ 8/ 2021)

□ ملخص □

يتضمن البحث دراسة تجريبية لتأثير درجة حرارة التسخين الابتدائية (PH) على البنية المجهرية في لحام أنابيب نقل الغاز من نوع API-5L X42 أحد أنواع الأنابيب المستخدمة في الجمهورية العربية السورية، وهي أنابيب مصنعة من الفولاذ عالي المتانة منخفض السبائكية (HSLA)، بقطر (10mm) وبسماكة جدران (7mm) ذات نسبة الكربون (0.269%) ونسبة المنغنيز (0.72%)، وقد أظهرت الدراسة من خلال المقارنة بين اللحام بدون تسخين ابتدائي واللحام مع تسخين ابتدائي على درجة حرارة (120 °) التحسن الواضح في بنية منطقة التأثير الحراري (HAZ) عند التسخين الابتدائي من خلال تلافي تشكل البنية المارتنزيتية المتشكلة عند اللحام بدون تسخين ابتدائي، وأن نسبة المنغنيز في منطقة التأثير الحراري تحسنت بنسبة (11.4 %) والتي انعكست بشكل إيجابي على الخصائص الميكانيكية للوصلة الملحومة.

الكلمات المفتاحية: التسخين الابتدائي، لحام أنابيب نقل الغاز، API-5LX42، البنية المجهرية.

*أستاذ مدرس في كلية الهندسة التقنية - قسم المعدات والآليات.

**أستاذ في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث - قسم المعادن.

***طالب دراسات عليا (ماجستير - هندسة مواد تطبيقية).

Study of Preheating Temperature Effect on microstructure during Welding gas pipeline API-5L X42

Dr. Mayssa Ali Shash*

Dr. Mohammad Kamal Karfoul**

GhaythZohairKarfoul***

(Received 21 /6 / 2021 . Accepted 4/ 8 / 2021)

□ ABSTRACT □

This research includes an experimental study of the effect of the preheating temperature (PH) on the microstructure in welding gas pipelines API-5L X42, one of the types used in the Syrian Arab Republic, which are pipes made of high strength low alloy steel (HSLA), with a diameter of (10mm) and wall thicknesses (7mm) with carbon content (0.269%) and manganese percentage (0.72%), this study showed through a comparison between welding without preheating and welding with preheating at a temperature (120 °) a clear improvement in the microstructure of the heat effected zone (HAZ) upon preheating by avoiding the formation of the martensitic structure formed when welding without preheating, and that the manganese ratio in the heat effected zone improved by (11.4%), which reflected positively on the mechanical properties of the welded joint.

Keys words: preheating temperature, welding gas pipelines , API-5L X42, microstructure.

* Instructor Professor at the College of Technical Engineering - Department of Equipment and Machinery.

** Professor at the Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Al-Baath University - Metallurgy Department.

*** Postgraduate Student (Masters - Applied Materials Engineering).

مقدمة (introduction) :

تعتبر أنابيب نقل النفط و الغاز شرياناً حيوياً للاقتصاد العالمي، وينفذ معظمها باستخدام عمليات اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي (Manual Metal Arc Welding) (MMAW)، كما طورت بعض الشركات العالمية أنظمة لحام مؤتمتة تستعمل طريقة لحام القوس الكهربائي في وسط من الغازات الواقية (Gas metal arc welding) (GMAW).

وفي الوقت الحاضر تستخدم أنابيب نقل النفط والغاز الطبيعي في عمليات النقل لمسافات طويلة جداً نظراً لبعدها المسافة بين منطقة الإنتاج ومناطق الاستخدام، مما يؤدي إلى ارتفاع كبير في تكلفة النقل، ومن هنا بدأت المنافسة في مجال إنتاج وتصنيع أنابيب نقل النفط والغاز وفقاً للشروط والمقاييس العالمية وتحقيق متطلبات الاستخدام [1]، وتعتبر الـ API (American Petroleum Institute) إحدى أهم المؤسسات المصنعة لأنابيب نقل الغاز والنفط على مستوى العالم إذ تم التركيز في هذا البحث على أهمية درجة حرارة التسخين الابتدائية في لحام أنابيب نقل الغاز من نوع API-5LX42 وهي أنابيب مستخدمة في الجمهورية العربية السورية.

من خلال دراسة تغير القساوة في منطقة التأثير الحراري (heat affected zone) (HAZ) وجد أن هناك علاقة بين درجة حرارة التحول المارتزيتي (Martensite Transformation Temperature) وبين درجة حرارة التسخين الابتدائية (Preheat Temperature) (PH) للفولاذ الكربوني المنخفض السبائكية، وكذلك وجود علاقة بين المكافئ الكربوني (Carbon equivalent) (CE) وبين درجة حرارة التحول المارتزيتي [2].

وعند لحام الفولاذ عالي المتانة منخفض السبائكية (High-strength low-alloy steel) (HSLA) تمت دراسة العلاقة بين الإجهادات المتبقية وتغير قساوة فيكرز وتغير البنية المجهرية فوجد أنه عند لحام الجذر (الطبقة الأولى من اللحام) (root bass) تكون قيمة الإجهادات المتبقية في اللحام (residual stress) عالية ومتغيرة القيمة بين إجهاد شد بالاتجاه X (الموازي لمحور المشغولة) وإجهاد ضغط بالاتجاه Y (العمودي على محور المشغولة)، وعند لحام طبقة ثانية تتخفف قيمة الإجهادات بالاتجاهين السابقين، وأن الصلابة تتخفف مع زيادة حجم حبيبات الفريت المتشكلة [3].

أهمية البحث وأهدافه (research importance and Objective) :

تستعمل أنابيب مصنعة من الفولاذ الكربوني في عمليات نقل الغاز وفق معايير نظام API-5L والتي تتراوح فيها نسب الكربون (0.19 - 0.3) % و تتراوح فيها نسب المنغنيز (0.9 - 1.9) % وحسب متانة كل نوع وفق التصنيف الصادر عن API [4,1].

أظهرت الكثير من الدراسات والبحوث أن تصدع الوصلات اللحامية في أنابيب نقل الغاز وانهارها ناتج عن تشكل بنى قاسية في مناطق التأثير الحراري (HAZ) للوصلات اللحامية المنفذة بخطوط نقل الغاز، وتبين من خلال العمل والدراسات المنفذة على الوصلات اللحامية أنه في منطقة التأثير الحراري تشكل نسبة واضحة من المارتزيت، إضافة إلى زيادة في نسبة الهيدروجين المنحل في الوصلة اللحامية أثناء عملية اللحام مما يؤدي

إلى انخفاض كبير في خواص منطقة التأثير الحراري والتي تسبب انهيار الوصلات نتيجة تأثير الإجهادات المتبقية الناتجة عن اللحام [5].

بناءً على ما سبق، فإن البحث يهدف إلى تحديد درجة حرارة التسخين الابتدائية (PH) أثناء لحام أنابيب نقل الغاز من نوع API-5L x42 والحصول على وصلة لحامية ذات بنية متجانسة وبالأخص في منطقة التأثير الحراري (HAZ) وبأفضل مواصفات ممكنة .

طرائق وأدوات البحث (Research methods and tools):

تضمنت الدراسة العملية تأمين عينات أنابيب نقل الغاز من نوع API-5L X42 من معمل غاز الجنوب التابع للشركة السورية للغاز، وبعدها تم تجهيز العينات للحام وتأمين الكترودات للحام المطلوبة، ومن ثم إجراء الاختبارات (التحليل الطيفي- بنية مجهرية) وتحليل النتائج ومناقشتها من خلال المقارنة بين بنية العينات الملحومة بدون تسخين ابتدائي والعينات الملحومة مع تسخين ابتدائي.

• أنابيب نقل الغاز X42API-5L بقطر (10mm) وبسماكة جدران (7mm).

• الكترودات للحام المستخدمة هي الكترودات لحام من نوع Helco – E 6010 الشكل (1)، ذات

طبقة تكسية سيللويزية يستخدم في جميع أوضاع اللحام، يتميز بالاختراق الشديد وسهولة إزالة الخبث، وله

التركيب الكيميائي الموضحة في الجدول (1) والخصائص الميكانيكية المبينة في الجدول (2) .



الشكل (1) قضبان اللحام المستخدمة

الجدول (1) التركيب الكيميائي لقضبان اللحام E6010

C%	Mn%	Si%	S%	P%
0.14	0.55	0.18	≤0.03	≤0.03

الجدول (2) الخصائص الميكانيكية لقضبان اللحام E6010

Yield strength Mpa	Tensile strength MPa	Elongation Lo=5d - %
≥410	≥510	≥22

• تم إجراء عمليات اللحام باستخدام مكنة اللحام الموجودة في مخبر مقاومة المواد - كلية الهندسة

التقنية وهي من نوع (999) والتي تعمل بالتيار المستمر الشكل (2).



الشكل (2) مكنة اللحام المستخدمة

تجهيز العينات (Sample processing):

• إجراء شنفرة على طرفي الوصلة اللحامية لضمان التغلغل على كامل السماكة كما في الشكل

(3-a).

• تمت كافة عمليات اللحام وفق البارامترات الموضحة في الجدول (3) :

الجدول (3) بارامترات عمليات اللحام

سرعة اللحام (cm/min)	وضعية اللحام	القطبية	التيار (A)	نوع التيار	الجهد (volt)	عدد الطبقات (n)	قطر الالكترود (mm)
12	V-down	مباشرة =+	*الطبقة الأولى 110A *الطبقة الثانية 120A	DC	25	2	3.2

• تمت عملية لحام الطبقة الثانية مباشرة بعد الانتهاء من لحام الطبقة الأولى (قبل أن تبرد)

وبعد إزالة طبقة الخبث المتشكل.

تحديد درجة حرارة التسخين الابتدائية (Determination PH):

1. حساب درجة حرارة التسخين الابتدائية حسب طريقة سفريان :

تعتمد طريقة سفريان في حساب درجة حرارة التسخين الابتدائية على حساب المكافئ الكربوني

(CE) [6]والذي يعطى بالعلاقة التالية :

$$T_0 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$$

⇒

$$CE = C\% + \frac{1}{9}(Mn\% + Cr\%) + \frac{1}{18}Ni\% + \frac{1}{13}MO\%$$

2. حساب درجة حرارة التسخين الابتدائية حسب (AWS) :

تعتمد جمعية اللحام الأمريكية (AWS) في حساب درجة حرارة التسخين الابتدائية على معدل

التبريد (CR) والخصائص الفيزيائية الحرارية للمعدن الملحوم [7]، ويعطى معدل التبريد في لحام المعادن

المنخفضة السماكة بالعلاقة:

$$T_0 = 118 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\longrightarrow CR = 2\pi\lambda\rho c\left(\frac{\delta}{q}\right)^2 \cdot (T_c - T_0)^3$$

- تمت عملية التسخين البدائي باستخدام مسخنات كهربائية دائرية باستطاعة 3000 W والشكل (3-)
- (b) يبين أنبوب ملحوم وفق بارامترات اللحام المبينة في الجدول (3) مع تسخين ابتدائي على درجة حرارة (120°) .



b: أنبوب ملحوم.



a: شنف

الشكل (3) تجهيز ولحام الأنابيب

الاختبارات (Tests):

1. التحليل الطيفي (التركيب الكيميائي) (chemical composition) :

تم إخضاع العينات للتحليل الكيميائي باستخدام جهاز التحليل الطيفي الموجود في مخبر مقاومة المواد- كلية الهندسة التقنية الشكل (4)، وهو من نوع FOUNDRY-MASTER UV للتأكد من مطابقتها للمواصفات القياسية حسب API .



الشكل (4) جهاز التحليل الطيفي

فكانت نتيجة التحليل لمعدن الأنابيب كما هي موضحة في الجدول (4):

الجدول (4) التركيب الكيميائي لمعدن الأنابيب

C%	Mn%	Si%	Cr%	Mo%	Ni%	Cu%	V%
0.269	0.72	0.17	0.0387	0.01	0.0329	0.0708	0.101

2. دراسة البنية المجهرية (Study of the microstructure) :

- تمت عملية تجليخ وتلميع العينات وتجهيزها لتصوير البنية المجهرية باستخدام جهاز الجليخ والتلميع (البولشة) المتواجد في قسم المخابر - مرفأ طرطوس وهو من نوع Metco والمبين في الشكل (5-a) والشكل (5-b) يوضح العينة بعد البولشة .



ولشة



يسحق (٧) جهاز تلميع وصن اسصح (٨) عينات البنية المجهرية

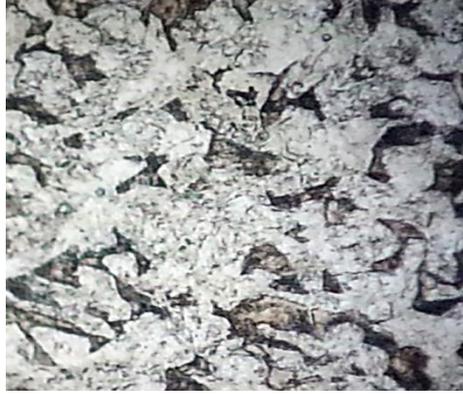
- استخدام المجهر الضوئي نوع (OLYMPUS BX41) المبين في الشكل (6) مع عدسة بقوة تكبير (200X) بهدف دراسة البنية المجهرية، وتمييز التغيرات البنيوية ضمن حوض اللحام بين منطقة التأثر الحراري (HAZ) وخط اللحام والمعدن الأم .



الشكل (6) المجهر الضوئي

النتائج والمناقشة (results and Discuss):

اعتمدنا في تحليل البنية المجهرية على مقارنة تغير البنية المجهرية بين خط اللحم ومنطقة التأثير الحراري والمعدن الأساس، والشكل (7) يوضح البنية البلورية للمعدن الأساس المكونة من فريت (α) باللون الأبيض، وپرليت (p) باللون الأسود، وتظهر حدود الحبيبات بشكل واضح وبتوزع منتظم.



الشكل (7) البنية المجهرية للمعدن الأساس

أولاً : نتائج اختبار البنية المجهرية لمنطقة التأثير الحراري (HAZ):

1. منطقة الحبيبات الخشنة coarse grain zone (CGHAZ):

وهي منطقة تظهر مباشرة بعد خط اللحم، يلاحظ فيها نمو الحبيبات بشكل واضح ، حيث يحدث نمو لحبيبات الأوستنيت (γ) ويتم التحول من الفريت (α) إلى الأوستنيت بشكل كامل، وتتحل بعض الجزيئات المعدنية والكربيدات المختلفة والنتريدات المترسبة حول حواف حبيبات الأوستنيت، وبما أن الدخول الحراري العالي يتسبب بمعدل تبريد بطيء، فهذا يسمح بنمو الحبيبات بشكل خشن جداً للبنية الميكروية وتعتمد درجة خشونة الأوستنيت على التركيب الكيميائي والطاقة المقدمة من اللحم والتي تؤدي لتشكيل طور مارتنزيت خشن في البيانيت [9].

• يظهر الشكل (8- a) منطقة التأثير الحراري للمعدن الملحوم بدون تسخين ابتدائي، يظهر فيها البنية

المارتنزيتية الخشنة غير المنتظمة ولهذا الطور دور ضار بالمتانة .

• يظهر الشكل (8- b) بنية منطقة التأثير الحراري للمعدن الملحوم مع تسخين ابتدائي، حيث نلاحظ

أن البنية تحولت الى بينيت (B) حجم الحبيبات أصبح أصغر وذو حجم قريب من حجم حبيبات المعدن الأم وتظهر حدود الحبيبات بشكل واضح.



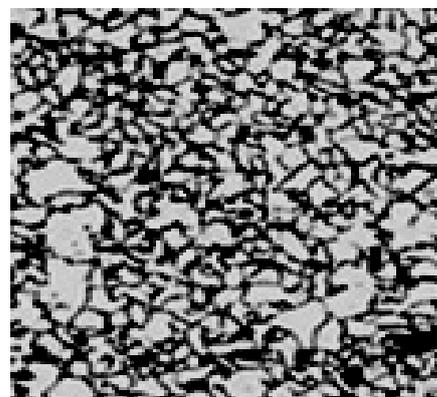
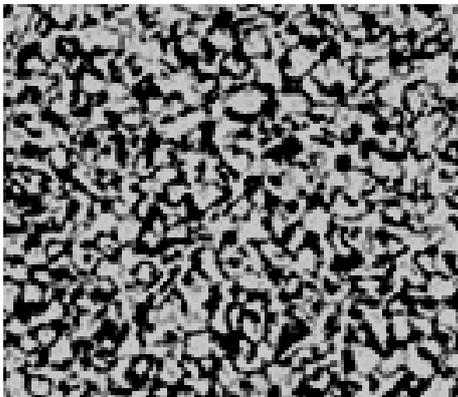
(a) بدون تسخين ابتدائي (b) مع تسخين ابتدائي
الشكل (8) بنية منطقة الحبيبات الخشنة (CGHAZ) ضمن HAZ

2. منطقة الحبيبات الناعمة (FGHAZ) fine grain zone:

تظهر بعد منطقة الحبيبات الخشنة باتجاه المعدن الأمامية حبيبات ناعمة وتتكون من حبيبات الفريت (α) الناعمة بعد التبريد حيث يتحول كامل الفريت إلى أوستنيت، وضمن هذا المجال لا تتحلل كامل الكربيدات والنتريدات المترسبة، والتي تستمر في إعاقة حركة حدود الحبيبات، ونتيجة لذلك يمنع نمو حبيبات الأوستنيت وتتشكل حبيبات الفريت الناعمة أثناء التبريد وتكون الخواص الميكانيكية لهذه المنطقة أفضل من خواص بقية المناطق وبنية مكونة من البينيت (B) والمارتنزيت (M) [9].

• يظهر الشكل (a-9) منطقة الحبيبات الناعمة للمعدن الملحوم بدون تسخين ابتدائي ذات البنية المارتنزيتية الغير منتظمة، وذلك بسبب زيادة معدل التبريد فيها مقارنة بمنطقة الحبيبات الخشنة لقربها من المعدن الأساس (BM).

• يظهر الشكل (b-9) منطقة الحبيبات الناعمة للمعدن الملحوم مع تسخين ابتدائي وتصبح البنية منتظمة لتبدو وكأنها مارتنزيت مراجع.



الشكل (9) بنية منطقة الحبيبات الناعمة (FGHAZ) ضمن HAZ

• يوضح الشكل (10) صورة مجهرية تظهر منطقة الفصل بين خط اللحام (FZ) ومنطقة التأثير

الحراري (HAZ) لكلا المعدنين الملحومين .



(a) بدون تسخين ابتدائي (b) مع تسخين ابتدائي

الشكل (10) الخط الفاصل بين خط اللحام (FZ) ومنطقة التأثير الحراري (HAZ)

ومن خلال مقارنة التركيب الكيميائي لمنطقة التأثير الحراري يبين الجدول (5) التركيب الكيميائي لمنطقة التأثير الحراري للمعدن الملحوم بدون تسخين ابتدائي حيث يلاحظ انخفاض نسبة المنغنيز (Mn) نتيجة تشكل كربيد المنغنيز بسبب معدل التبريد العالي، ولتحسن نسبة المنغنيز عند اللحام مع تسخين ابتدائي كما يظهر في الجدول (6) بسبب انخفاض معدل التبريد .

الجدول (5) التركيب الكيميائي لـ HAZ للمعدن الملحوم بدون تسخين ابتدائي

C%	Mn%	Si%	Cr%	Mo%	Ni%	Cu%	V%
0.26	0.498	0.274	0.039	0.0146	0.0365	0.0964	0.002

الجدول (6) التركيب الكيميائي لـ HAZ للمعدن الملحوم مع تسخين ابتدائي

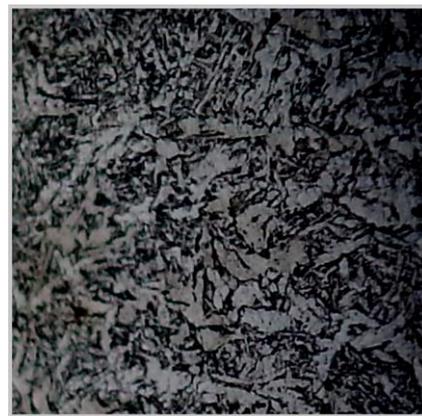
C%	Mn%	Si%	Cr%	Mo%	Ni%	Cu%	V%
0.224	0.562	0.264	0.0392	0.0109	0.0365	0.0999	0.002

ثانياً : نتائج اختبار البنية المجهرية لخط اللحام (fusion zone):

يحدث في منطقة الصهر إعادة تبلور وتتمو الحبيبات بشكل موجه بدءاً من طرفي الوصلة باتجاه مركز خط اللحام، وتكون البنية ناعمة مكونة من الفريت والبرليت ويلاحظ انخفاض نسبة الكربون فيها .

• يبين الشكل (11-a) يوضح بنية خط اللحام للمعدن الملحوم بدون تسخين ابتدائي، والشكل (11-b)

(b) بنية خط اللحام للمعدن الملحوم مع تسخين ابتدائي حيث نلاحظ كيف أصبح حجم الحبيبات أنعم وبنية مؤلفة من فريت (α) وبرليت (P) ، وتكون البنية متقاربة في كلتا الحالتين .



(a) بدون تسخين ابتدائي (b) مع تسخين ابتدائي

الشكل (11) بنية خط اللحام (FZ)

وبمقارنة التركيب الكيميائي لخط اللحام (FZ) نلاحظ عدم وجود فرق كبير بين الحالتين، حيث نلاحظ ازدياد نسبة المنغنيز مقارنة بالمعدن الأساس وانخفاض نسبة الكربون، بسبب إعادة التبلور الذي يحدث في خط اللحام، يبين الجدول (7) التركيب الكيميائي لخط اللحام بدون تسخين ابتدائي ، والجدول (8) التركيب الكيميائي لخط اللحام مع تسخين ابتدائي :

الجدول (7) التركيب الكيميائي لخط اللحام المعدن الملحوم بدون تسخين ابتدائي

C	M	S	Cr	M	Ni	C	V
%	n%	i%	%	o%	%	u%	%
0	0	0	0.	0.	0.	0.	0.
.188	.786	.291	0411	0154	0362	0783	0047

الجدول (8) التركيب الكيميائي لخط اللحام المعدن الملحوم مع تسخين ابتدائي

C	M	S	Cr	M	Ni	C	V
%	n%	i%	%	o%	%	u%	%
0	0	0	0.	0.	0.	0.	0.
.182	.83	.385	0401	0177	0361	0895	0055

الاستنتاجات (conclusions):

1. تحسن بنية حوض اللحام في منطقة التأثير الحراري (HAZ) عند اللحام مع تسخين ابتدائي بسبب تفادي تشكل البنية المارتزيتية.
2. عند اللحام مع تسخين ابتدائي على درجة حرارة (120°) فإن نسبة المنغنيز في منطقة التأثير الحراري ازدادت بنسبة (11.4 %).
3. بنية خط اللحام (FZ) لم يطرأ عليها تغير واضح كونها منطقة انصهار .

التوصيات (Recommendations):

1. تجريب اللحام مع تسخين مسبق عند درجات حرارة مختلفة لأنابيب (API-5LX42) ومقارنتها مع اللحام مع تسخين مسبق على درجة حرارة (120°).
2. دراسة تغير نسبة الهيدروجين ضمن حوض اللحام تحت تأثير اللحام مع تسخين ابتدائي لأنابيب (API-5LX42) .
3. استخدام الكترودات قاعدية في اللحام، أو استخدام الكترودات قاعدية وسيللوزية معاً و مقارنة النتائج مع اللحام باستخدام الكترودات السيللوزية فقط.

المراجع (References)

- [1] Specification For Line Pipe , API Specification 5L – Forty – Third Edition , March 2004.
- [2]R.W.Hinton ; R.K.Wiswesser , 2008 , *Estimating Welding Preheat Requirements for unknown Grads for carbon and low alloy steel* ,SUPPLEMENT TO THE WELDING JOURNAL, VOL 87.
- [3] CH.Zhang ;P.Lu ; X.Hu , 2014, *Residual stress and softening in welded high-strength low-alloy steel with a buffering layer*, Journal of Materials Processing Technology ,214(2), 229–237 .
- [4] American Welding Society (AWS) D1.1/D1.1M:2006, Structural Welding Code Steel. Section 3.
- [5] American Society of Mechanical Engineers,ASME Boiler Code, 2007.
- [6] D.Seferian ,fra 1963 , *The Metallurgy Of Welding* .
- [7] Welding handbook, American Welding Society, 2001, 9th edition, volume 1 & 2, USA,Miami .
- [8] API 1104 Standard For Welding Pipelines And Related Facilities , 2001 .
- [9] GRANJON H., 1995, *Bases métallurgiques du soudage, Publications du soudage et ses applications*, 2nd edition .