التصوير الدائري الشامل بالأشعة السينية في اختبارات جودة اللحام لأنابيب خط الغاز الطبيعي الخمس- طرابلس

د. عياد مفتاح شاحوت*، م. سعد محمد عامر**

1- مقدمة

إن الشروط الصارمة المفروضة على جودة الصناعات الحديثة من حيث المواصفات والجودة التي تتطلب دقة عالية في عمليات إحكام "التغليف" باللحام، كانت السبب الرئيسي في اللجوء إلى استخدام الاختبارات اللاتدميرية في عمليات الكشف عن وصلات اللحام، مثل أنابيب المُبرد في المفاعلات النووية وأنابيب وقود الطائرات وأنابيب ضخ النفط والغاز الطبيعي وذلك بسبب خطورة المواد المتدفقة والضغط الكبير في هذه الأنابيب.

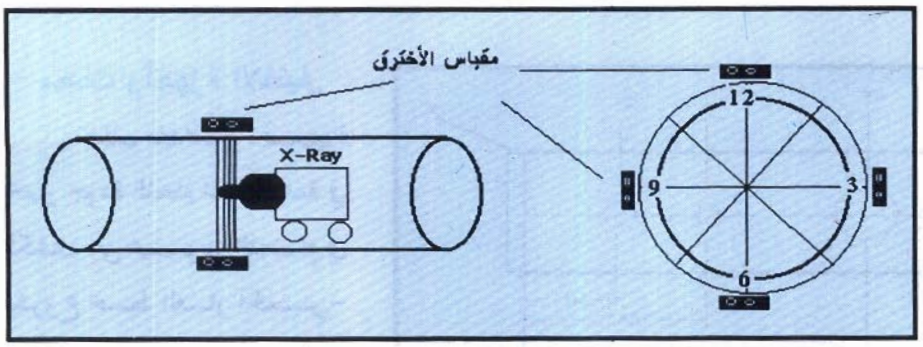
إن خط الغاز الخمس-طرابلس بطول 150.8 Km و الذي يستخدم أنابيب بطول 12 m (بقطر 34 inch وسُمك 9.52-14.27 mm) يتطلب من 83-100 وصلة لحام للكيلومتر الواحد و أكثر من 14 ألف وصلة لحام لكل المشروع، حيث استخدمت عدة طرق للاختبارات اللاتدميرية للكشف عن جميع وصلات اللحام و التي من أهمها طريقة الكشف الدائري الشامل باستخدام الأشعة السينية عند الفولتيات 180-300 kV. إن نفاذية الأشعة في الفراغات هو أكثر من نفاذيتها خلال المعادن، وبذا تظهر على اللوح الحساس (الفيلم) نقاط داكنة و أخرى أكثر وضوحاً تمثل الفجوات، كذلك يعطي الاختلاف في سمك المعدن صورة مختلفة في شدة الإضاءة [1].

2- مبدأ طريقة التصوير الدائري الشامل (Panoramic)

تستخدم هذه الطريقة للكشف الإشعاعي عن وصلات لحام الأنابيب التي يزيد قطرها عن 10 inch حيث يمكن الحصول على صورة شاملة للمحيط الدائري للأنبوب في منطقة اللحام وذلك بوضع أنبوب الأشعة السينية في مركز الأنبوب من الداخل عند التقاء أنبوبين في وصلة اللحام أي عند النقطة F=D/2 حيث D قطر

* كلية الآداب والعلوم - الخمس
** شركة سرت لإنتاج وتصنيع النفط والغاز

الأنبوب بحيث لا تزيد زاوية الانحراف بين اتجاه الأشعة السينية وسطح منطقة اللحام عن 5 درجات وتُلف منطقة اللحام بالكامل من الخارج بشريط فيلم عرضه 70 mm (الشكل-1). كما توضع مع الفيلم 4 شرائح معدنية [2] تسمي بمقاييس الاختراق على 4 أقطاب متقابلة * لقياس اختراق الأشعة لمادة الأنبوب التي تستخدم كمرجع أساسي لاختبار جودة الصورة الإشعاعية بعد تحميضها حسب مواصفات الجودة API-1104.



شكل (1): التصوير الدائري الشامل باستخدام مصدر آلي متحرك للأشعة السينية

يتلاءم مع سُمك الأنبوب و فولتية المدخل للأشعة السينية (الشكل- 2)، حيث نلاحظ العلاقة الخطية بين سُمك الأنبوب و زمن التشعيع عند فولتيات مختلفة لجهد مصدر الأشعة السينية، لأن مدى جودة ووضوح الصورة الإشعاعية في اختبارات الجودة تتوقف على زمن تشعيع وصلة اللحام عند إجراء عملية التصوير الإشعاعي.

3- معايير وشروط الكشف

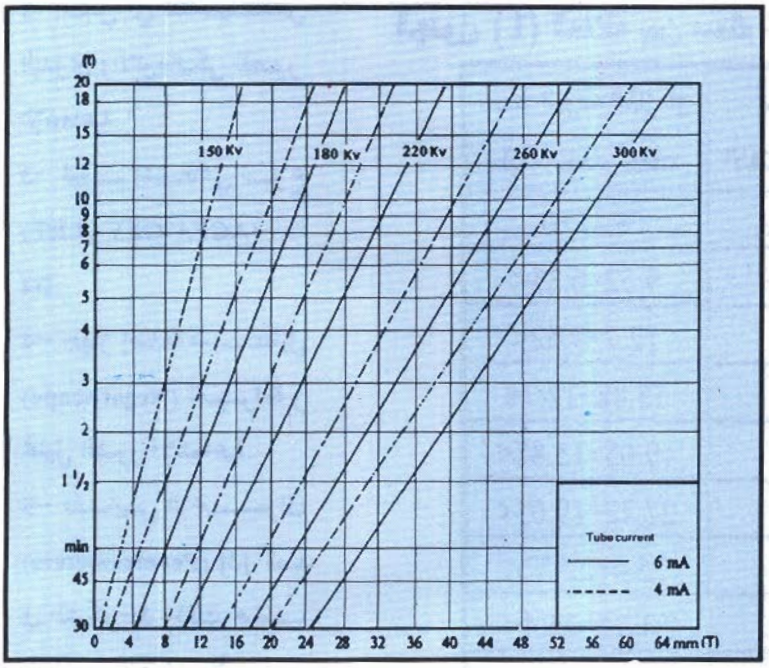
تتطلب عمليات الاختبارات اللاتدميرية لوصلات اللحام لأنابيب الغاز الطبيعي باستخدام الأشعة السينية وضع شروط معينة للحصول على صورة إشعاعية قابلة للتحليل بحيث تعكس كل نقاط الكشف [2]، وهذه الشروط هي:

1- استخدام مصدر الأشعة السينية بجهد 180-300 kV.

2- استخدام فيلم للتصوير الإشعاعي من نوع D5 (AGFA-GEVAERT) أو D4.

3- أن تكون الكثافة الضوئية للصورة الإشعاعية 2-4 وحدة كثافة ضوئية.

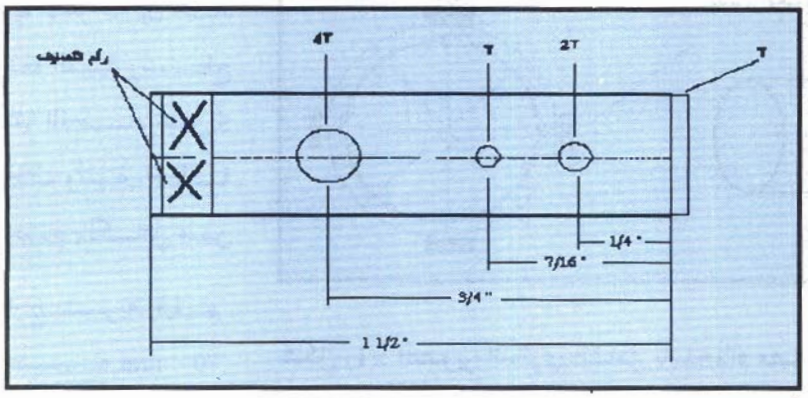
4- أن يكون زمن التشعيع مناسباً، بحيث



شكل (2): العلاقة بين زمن التشعيع وسمك المعدن عند الفولتيات 150-300 kV

* يقسم محيط الانبوب الى عدة اقطاب متماثلة مع موضع ارقام الساعة بحيث يمكن الحصول على عدة اقطاب متقابلة مثل (9-3، 6-12) او (10-4، 7-1) او (11-5، 8-2)

4- معدات وأجهزة الاختبار



شكل (3) : شكل تخطيطي لمقياس الاختراق Penetrameter

تختلف معدات و أجهزة اختبار جودة اللحام المستخدمة في الكشف عن عيوب اللحام في مشروع خط الغاز الخمس- طرابلس وذلك حسب نوعية الكشف الذي يعتمد بالدرجة الأولى على قطر الأنبوب. لذلك سوف نتطرق للأجهزة و المعدات التي تستخدم في طريقة الكشف الدائري الشامل و الذي هو موضوع هذا البحث، حيث استخدمت المعدات و الأجهزة التالية:

1- جهاز الحركة الآلية "Crawler" داخل أنبوب الغاز (انظر الشكل-1) مزود بمصدر للأشعة السينية تعمل في مجال الفولتية 180-300 kV.

2- معمل آلي للتحميض اليدوي والاتوماتيكي للصور الإشعاعية.

3- فيلم إشعاعي نوع (AGFA-GEVAERT) D4.

4- جهاز إضاءة مستطيل (Negatiscope) لقراءة و تحليل الصور الإشعاعية.

5- مقاييس الاختراق (Penetrameters) [3] كما في الشكل-3 وذلك حسب سُمك طبقة معدن الأنبوب (الجدول-1) لمعايرة الصور الإشعاعية حسب مقياس الجودة API-1104، حيث يتكون مقياس الاختراق من شريحة معدنية رقيقة يرمز لسُمكها بالرمز T ويقاس بالمليمتر و فيها 3 ثقوب دائرية صغيرة أقطارها 1T و 2T و 4T، وظهور هذه الثقوب أو بعضها

الجدول (1) العلاقة بين سُمك الأنبوب و سُمك مقياس الاختراق

رقم التصنيف	سُمك مقياس الاختراق (T) mm	سُمك أنبوب الغاز أو طبقة اللحام mm
5	0.127	6.35-0
7	0.19	9.52-6.35<
10	0.254	12.7-9.52<
12	0.317	15.88-12.7<
15	0.381	19.05-15.88<
17	0.444	22.22-19.05<
20	0.508	25.4-22.22<
25	0.635	31.75-25.4<
30	0.762	38.10-31.75<
35	0.889	50.80-38.10<

في الصورة الإشعاعية يحدد مدى حساسية عملية التصوير الإشعاعي. فظهور الثقب 1T بوضوح في الصورة الإشعاعية يدل على مستوى حساسية عال و 2T مستوى حساسية جيد و 4T مستوى حساسية غير مقبول (قد يعتبر مقبولا في بعض المشاريع التي لا تتطلب مستوى جودة عاليا).

كما يمكن أيضا ظهور الثقبين 1T و 2T معا للدلالة على مستوى حساسية جيد جدا، وكذلك ظهور الثقبين 2T و 4T معا للدلالة على مستوى حساسية متوسط.

6- جهاز تعيين الكثافة الضوئية للصور الإشعاعية (Densitometer) نوع Radix-D.

7- علامات لترقيم الصور الإشعاعية، تتكون من أرقام و حروف من مادة الرصاص أو الجرافيت و ذلك لتصنيف الصورة الإشعاعية بعد تحميضها حسب موقعها و رقمها في الكيلومتر تحت الاختبار و تاريخها.... الخ [4]. لذلك أثناء ترقيم الصور الإشعاعية يجب إدراج البيانات من اليسار إلى اليمين حسب الترتيب التالي:

1- الرمز الخاص بالشركة الممولة للمشروع SC (شركة سرت لانتاج وتصنيع النفط والغاز)*

2- تاريخ الكشف الإشعاعي dd/mm/yy.

3- قطر أنبوب الغاز بالبوصة.

4- سمك أنبوب الغاز بالمليمتر.

5- رقم نوع فولاذ أنبوب الغاز.

6- رمز الخط الرئيسي EKT (خط الخمس – طرابلس).

7- موقع نقطة اللحام في الكيلومتر تحت الاختبار.

8- رمز إتمام عملية اللحام و رقم وصلة اللحام في الكيلومتر.

9- رقم الارتباط إذا كان إعادة لحام R أو قطع N1.

5- المواصفات المقبولة لجودة اللحام بالمعيار API-1104

تأتي عملية الرجوع إلى مواصفات الجودة لتحليل الصور الإشعاعية حسب المعيار API-1104 لوصلات اللحام، بعد عملية تحميض الفيلم و التأكد من كثافته الضوئية التي يجب أن لا تقل عن 1.8 و لا تزيد عن 4 وحدات كثافة ضوئية و كذلك حساسية الفيلم لمقياس الاختراق و التي يجب أن تساوي 1T أو 2T على الأقل. فإذا لم يتحقق كلا الشرطين على الصورة الإشعاعية لا يمكن الشروع في عملية تحليل و فك شفرة الصورة الإشعاعية و ملاحظة مدي مطابقتها للمواصفات المقبولة لجودة اللحام [5]، و في هذه الحالة يجب أن تعاد عملية التصوير الإشعاعي لهذا المقطع مرة أخرى للحصول على صورة إشعاعية واضحة و قابلة للتحليل لمعايرتها بمواصفات الجودة API-1104.

الجدول (–2) يتضمن كل العيوب المقبولة (Acceptable) للحكم عن اللحام بالجودة، وذلك باعتبار وجود هذه العيوب بأبعادها و مواصفاتها و أشكالها الموضحة بالجدول في وصلات اللحام أمرا مقبولا و لا يسمح بوجود عيوب ذات أبعاد أكبر منها.

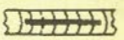
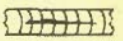
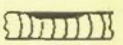
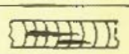
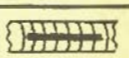
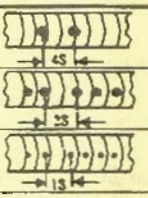
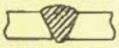
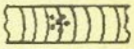
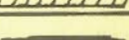
6- النتائج والمناقشة

لقد استخدمت طريقة التصوير الدائري الشامل في اختبارات جودة اللحام لعينات متتالية من وصلات اللحام لمنطقتي الكيلومتر 42 والكيلومتر 60 لنوعين من الوصلات *NA و **DNA، فبعد تحميض الفيلم الخاص بكل وصلة لحام وقياس كثافته الضوئية وتحديد مدى حساسيته لمقياس الاختراق، تمت عملية تحليل كل صورة حسب

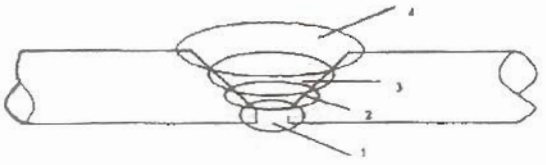
* رمز يشير الى ان عملية لحام الوصلة قد تمت يدويا بالقرب من خندق خط الغاز

** رمز يشير الى ان عملية لحام الوصلة قد تمت اوتوماتيكيا بالورشة الفنية التابعة للشركة.

(الجدول -2) الموصفات المقبولة لجودة اللحام (Standards of Welds Acceptability)(*)

Type of defects		Designation Group	Schematic defect description		Acceptable Sizes			Additional requirements
			On weld	On film	Isolated Defects		Total For 304.8 mm	
					Length mm	Width or Diameter mm	Length mm	
Inadequate penetration	Inadequate penetration of weld root	IP			25.4	N/A	25.4	N/A
	Inadequate penetration due to high-low	IPD			50.8	N/A	76.2	N/A
	Incomplete fusion at root or at top of joint between weld metal and base metal	IF			25.4	N/A	25.4	N/A
	Incomplete fusion due to cold lap	IFD			50.8	N/A	50.8	N/A
	Internal concavity	IC			N/A	N/A	N/A	Not darker than base metal/all weld perimeter
Internal concavity Burn-through	Burn-through for pipe over 60 mm O.D.	BT			6.35	N/A	12.7	N/A
	Burn-through for pipe below 60 mm O.D.				6.35	N/A	N/A	Not more than one
Slag Inclusions	Elongated slag inclusions for pipe over 60 mm O.D.	ESI			50.8	1.59	50.8	N/A
	Elongated slag inclusions for pipe below 60 mm O.D.				3S	1.59	N/A	Parallel slag lines to considered as separate if the width of either of them exceeds 0.79 mm
	Isolated slag inclusions for pipe over 60 mm O.D.	ISI			N/A	3.17	12.7	The aggregate length of ESI and ISI incications exceeds of not less than 5% of the weld length
	Isolated slag inclusions for pipe below 60 mm O.D.				N/A	1/2S	2S	
Gas Cavity	Spherical porosity	SP			N/A	ϕ2-3	N/A	25% S ; max 3.17
					N/A	ϕ1.6-2	N/A	
					N/A	ϕ0.6-1	N/A	
	Cluster porosity in finish pass	CP			N/A	12.7	12.7	Max pore size : 59 mm
	Hollow bead	HB			12.7	N/A	50.8	N/A
Cracks	Crater cracks	CC			3.96	N/A	N/A	Other not allowed
Under Cuts	External Under Cuts Internal Under Cuts	EU IU			50.8	N/A	50.8	Depth : 0.4 mm Max
					Depth < 0.4 mm – acceptable regard less of length			

1. Root Pass -RP
2. Hot Pass -HP
3. Filled Pass -FP
4. Cap Pass -CP



(*) نفضل التعامل مع مواصفات الجودة باللغة الإنجليزية نتيجة لوجود اختصارات مرتبطة بها و لها علاقة بعملية تحليل الصور الإشعاعية.

مواصفات الجودة API-1104 (الجـــدول-2)، و بمـــا أن عمليات اللحام لا تخلو من عيوب و لكن الهـــدف هـــو التعرف عليها و تصنيفها إلى عيوب مقبولة و غير مقبولة و ذلك بالرجوع إلى مواصفات الجودة API-1104 لذا تُقسم العيوب إلى فئتين:

أولا: عيوب مقبولة:

وهي كل أنواع العيوب التي لا تتجاوز أبعادهـــا تلك الأبعاد المسموح بها في مواصفات الجـودة API-1104 سواء كانت عيوب منفردة أو متكررة أو مختلطة، بحيث لا تزيد نسبة ظهورها أو مجموع ما تشكله من أبعاد في طـول محدد (304.8 mm) عن الحد الأقصـى المقبـول لجـودة اللحام، لذلك تم اعتبار أنها مقبولة (Acceptable).

ثانياً: عيوب غير مقبولة:

وهي كل أنواع العيوب التي تتجاوز أبعادها تلـك المسموح بها في مواصفات الجودة API-1104 سواء كـانت عيوب منفردة أو متكررة أو مختلطة، بحيث تكون نســـبة

الجدول (3) – تقرير الكشف الإشعاعي لعينات من منطقة الكيلومتر 42.

Steel Grade: X-60	Inspection Technique :PANORAMIC			Source: X-RAY		Equipment: CRWLER	
Weld Joint No.	Pipe		Film Type	Sensitivity	Density	Description and Location of Defect	Final Conclusion
	Dia. (inch)	W.T. (mm)				OK R RX CO	Acceptable Repair Re-Shoot Cut Out
DNA 01	34	9.52	D5	2T	3.0	ESI,SP,IU,IC	OK
NA 02	34	9.52	D5	2T	3.5	ESI,SP,IU,EU	OK
DNA 03	34	9.52	D5	2T	2.7	ESI,SP,IU,IC,HB	OK
NA 04	34	9.52	D5	2T	3.4	ESI,SP,IU,EU,IF	OK
DNA 05	34	9.52	D5	2T	2.9	ESI,SP,IU,IC	OK
NA 06	34	9.52	D5	2T	3.5	ESI,SP,IU,EU,IF	OK
DNA 07	34	9.52	D5	2T	2.8	ESI,SP,IU	OK
NA 08	34	9.52	D5	2T	3.5	CP 196-198	R
DNA 09	34	9.52	D5	2T	3.1	ESI,SP,IU	OK
NA 10	34	9.52	D5	2T	3.1	ESI,SP,IU,EU,IF	OK
DNA 11	34	9.52	D5	2T	3.1	SP,ESI,IC,HB,IU	OK
NA 12	34	9.52	D5	2T	3.5	EU 140	R
DNA 13	34	9.52	D5	2T	2.8	SP,ESI,HB,IC,IU	OK
NA 14	34	9.52	D5	2T	3.6	ESI,SP,IU,EU,IC	OK
DNA 15	34	9.52	D5	2T	2.6	SP,ESI,HB,IC,IU	OK
NA 16	34	9.52	D5	2T	3.1	SP 147	R
DNA 17	34	9.52	D5	2T	2.7	ESI,SP,IU,IC,BT	OK
NA 18	34	9.52	D5	2T	3.3	ESI,SP,IU,EU,IC	OK
DNA 19	34	9.52	D5	2T	2.8	ESI,SP,IU	OK
NA 20	34	9.52	D5	2T	3.6	SP 145	R
DNA 21	34	9.52	D5	2T	3.0	ESI,SP,IU,IC,BT	OK
NA 22	34	9.52	D5	2T	3.5	ESI,SP,IU,EU	OK
DNA 23	34	9.52	D5	2T	2.6	SP,ESI,HB,IC,IU	OK
NA 24	34	9.52	D5	2T	3.4	ESI,SP,IU,EU,IF	OK
DAN 25	34	9.52	D5	2T	2.5	SP,ESI,HB,IU	OK
NA 26	34	9.52	D5	2T	3.4	ESI,SP,EU,IU	OK
DNA 27	34	9.52	D5	2T	2.9	SP,ESI,HB,IC,IU	OK
NA 28	34	9.52	D5	2T	3.4	CP 193-195; 230-239;254-255	R
DNA 29	34	9.52	D5	2T	2.7	SP,ESI,IC,BT,IU	OK
NA 30	34	9.52	D5	2T	3.5	CP 185-187;210-213;229-231	R

Legend:

BT-	Burn-through	ESI-	Elongated Slag Inclusion	IFD-	Incomplete Fusion due to Cold Lap
CP-	Cluster Porosity	HB-	Hollow Bead	IP-	Inadequate Penetration of Weld Root
CR-	Crack	IC-	Internal Concavity	IPD-	Inadequate Penetration due to High Low
EU-	External Undercut	IF-	Incomplete Fusion	ISI-	Isolated Slag Inclusion
IU-	Internal undercut	SP-	Spherical Porosity		

ظهورها منفردة أو مجتمعة للوصلة الواحدة اكبر من الحد الأقصى المقبول لجودة اللحام، لذلك تم تصنيف هذه العيوب على أنها غير مقبولة (Unacceptable) و يجب إصلاحها (Repair) إذا كانت محصورة في نطاق ضيق من محيط دائرة اللحام، أما إذا كان انتشارها متكرراً فيجب قطع كل وصلة اللحام (Cutout) و إعادة لحامها والكشف عليها من جديد. الجدول (3) يوضح النتائج التي تم الحصول عليها بمنطقة الكيلومتر 42 لوصلات اللحام من (DNA 01) إلى (NA 30).

أما نتائج الكيلومتر 60 لوصلات اللحام من (NA 46) إلى (NA 57) فقد تم إدراجها في الجدول (4). وسنناقش في الجدول (5) العيوب غير المقبولة فقط، حيث يوضح الجدول أبعاد هذه العيوب وأشكالها و مواقع تواجدها و مقارنتها بمواصفات الجودة API-1104.

الجدول (4) – تقرير الكشف الإشعاعي لعينات من منطقة الكيلومتر 60.

Steel Grade: X-60	Inspection Technique :PANORAMIC					Source: X-RAY	Equipment: CRWLER	
Weld Joint No.	Pipe		Film Type	Sensitivity	Density	Description and Location of Defect	Final Conclusion	
	Dia. (inch)	W.T. (mm)					OK R RX CO	Acceptable Repair Re-Shoot Cut Out
NA 46	34	9.52	D5	2T	2.8	IC 207-208		R
NA 47	34	9.52	D5	2T	2.8	SP,ESI,EU,IU,IC		OK
NA 48	34	9.52	D5	2T	2.8	CP,ESI,EU,IU,IC		OK
NA 49	34	9.52	D5	2T	2.9	SP,ESI,EU,IU,IC		OK
NA 50	34	9.52	D5	2T	2.9	SP,ESI,EU,IU,IC		OK
NA 51	34	9.52	D5	2T	3.0	SP,ESI,EU,IU,IC		OK
NA 52	34	9.52	D5	2T	3.0	ESI,SP,EU,IC,IU		OK
NA 53	34	9.52	D5	2T	2.8	ESI,SP,EU,IC,IU		OK
NA 54	34	9.52	D5	2T	3.1	ESI,SP,EU,IU,IC		OK
NA 55	34	9.52	D5	2T	2.8	ESI,SP,IU,EU,IC		OK
NA 56	34	9.52	D5	2T	3.0	ESI,SP,EU,IU,IC		OK
NA 57	34	9.52	D5	2T	2.9	ESI,SP,EU,IU,IC		OK

Legend:

BT-	Burn-through	ESI-	Elongated Slag Inclusion	IFD-	Incomplete Fusion due to Cold Lap
CP-	Cluster Porosity	HB-	Hollow Bead	IP-	Inadequate Penetration of Weld Root
CR-	Crack	IC-	Internal Concavity	IPD-	Inadequate Penetration due to High Low
EU-	External Undercut	IF-	Incomplete Fusion	ISI-	Isolated Slag Inclusion
IU-	Internal undercut	SP-	Spherical Porosity		

الجدول (5)– العيوب غير المقبولة التي ظهرت في نتائج منطقتي الكيلومتر 42 و الكيلومتر 60.

رقم الوصلة	العيب و موقعه على الفيلم	وصف الحالة
NA 08	CP 196-198	العيب Cluster Porosity في المنطقة mm 198–196 من محيط دائرة اللحام، و هو عبارة عن انتفاخ ناتج عن دخول الهواء أثناء اللحام في منطقة Cap Pass و يلاحظ على الفيلم على شكل دائرة بقطر أكبر من mm 12.7، و هذا غير مسموح به في مواصفات الجودة API-1104.
NA 12	EU 140	العيب External Undercut في المنطقة mm 140 من محيط دائرة اللحام، و هو عبارة عن حالة عدم اتصال معدن الأنبوب مع اللحام من الخارج في منطقة Cap Pass و ظهرت على الفيلم على شكل خط طولي متصل بطول mm 54.6، و هذا يفوق الحد المسموح به mm 50.8
NA 16 And NA 20	SP 147 SP 145	العيب Spherical Porosity في المنطقة mm 147 للوصلة الأولى و المنطقة mm 145 للوصلة الثانية من محيط دائرة اللحام، و هو عبارة عن تشوهات كروية تحدث في العادة داخل منطقتي اللحام Hot Pass و Root Pass و قد ظهرت في الفيلم على شكل دائرة بقطر أكبر من mm 4.
NA 28 And NA 30	CP 193-195; 230-239;254-255 And CP 185-187;210-213;229-231	و هو نفس العيب بالوصلة (NA 08) و لكنه متكرر في عدة مناطق متقاربة و مجموع أبعاده الطولية أكبر من mm 12.7 كحد أقصى في وحدة الطول الكلية (mm 304.8).
NA 46	IC 207-208	العيب Internal Concavity في المنطقة mm 208–207 من محيط دائرة اللحام، و هو عبارة عن تجويف منقعر لأعلى في منطقة Root Pass ناتج عن عدم امتلاء منطقة Root Pass بمادة اللحام و يلاحظ على الفيلم على شكل خط أسود بطول mm 15.7(*)، و لكنه أغمق من معدن مادة الأنبوب (darker than base metal) الذي تحدده الكثافة الضوئية لكلتا النقطتين.

المراجع

1– كاظم عباس الموسوي "التآكل" منشورات ايلقا (509) لسنة 2000.

2- Maximlyuk, Y. V. "Radiographic Inspection of Weld Joints". Quality System Procedures Manual (Moscow, 1999 2nd. ed.) pp. 1-21.

3- "Radiography in Modern Industry", Quinn A. Richard and Sigl C. Clair. (Eds.) (Eastman Kodak Company 1980) 4th. ed.

4- Evseev, V. L. "Welding of Pipeline and Related Facilities" Quality System Procedures Manual (Moscow 1990 17th. ed) pp.1-17.

5- Maximlyuk, Y. V. "Nondestructive Test of Weld Joints" Quality System Procedures Manual (Moscow 1999, 1st. ed) pp. 1-17.

* العيب نوع Internal Concavity لا يحدد بقياس طول الخط الأسود على الفيلم وإنما يحدد بمقارنة الكثافة الضوئية للخط الأسود مع الكثافة الضوئية لمعدن الأنبوب.