

## الكشف عن العيوب الداخلية في بيليتات الفولاذ بالأمواج فوق الصوتية

الدكتور علي هترة\*

الدكتور رامي منصور\*\*

(تاريخ الإيداع 8 / 5 / 2013. قُبِلَ للنشر في 27 / 6 / 2013)

### ▽ ملخص ▽

يهدف البحث إلى فحص عدد كبير من بيليتات الفولاذ المستوردة التي تسبب توقفاً وانقطاعاً في خطوط الإنتاج بطريقة الأمواج فوق الصوتية. أجري الفحص بجهاز الأمواج فوق الصوتية ( طريقة الصدى النبضي ) وباستخدام مسبر مباشر الذي يستخدم كمرسل ومستقبل بأن واحد. أظهرت نتائج الفحوصات إمكانية تحديد العيوب بدقة في البيليتات الفولاذية، كما أظهرت وجود تطابق جيد بين نتائج الاختبارات وعدد مرات الإيقافات والانقطاعات بالإنتاج في المعمل. أظهرت الفحوصات أيضاً ضرورة استخدام طريقة الفحص هذه على البيليتات المستوردة التي تسبب إيقافات مستمرة في خطوط الإنتاج.

الكلمات المفتاحية: الأمواج فوق الصوتية - العيوب الداخلية - عيوب البيليت الفولاذي

\* أستاذ مساعد - قسم التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\* أستاذ - قسم التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Detection of Internal Defects in Steel Billets by Ultrasonic Detector

Dr. Ali Hatra\*  
Dr. Rami Mansour\*\*

(Received 8 / 5 / 2013. Accepted 27 / 6 / 2013)

### ▽ ABSTRACT ▽

The present work, aims to inspect by ultrasonic method numbers of imported steel billets, which cause stopping and breaking in the production – lines.

The inspection was done by using ultrasonic detector,(echo – pulse method), a straight – beam probe was used as a transducer and receiver, at the same time.

The results of inspection showed the possibility of accurate defect determination in steel billets, and also showed a good agreement between the experimental results and the number of stopping and breaking in production in factory, and also the necessity to use that inspection method in the imported billets which cause the continuous breaking in the production – lines.

**Key words:** ultrasonic, internal defect – steel billet defects

---

\*Associate professor , Mechanical and Electrical faculty , Design and Production Department, Tishreen University , Latakia, Syria.

\*\*Professor, Mechanical and Electrical faculty, Design and Production Department, Tishreen University , Latakia, Syria.

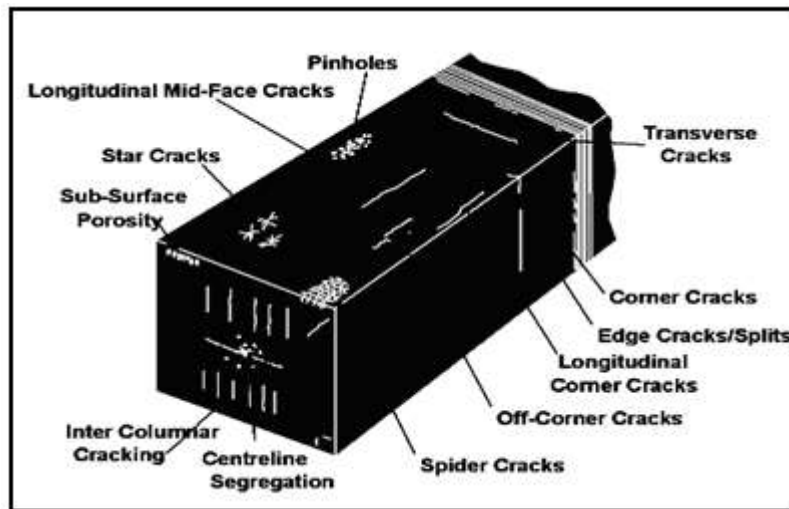
**مقدمة:**

تعتبر طريقة الصب المستمر إحدى الطرائق المستخدمة في إنتاج البيليت الخاص بمعامل درفلة الحديد لإنتاج حديد التسليح، ويعتبر العمل للحصول على بيليت خال من العيوب هدفاً أساسياً تسعى له كافة المعامل المختصة في تحضير البيليت، كما وتتعدد وسائل التحكم المزودة بأجهزة المراقبة بهدف الكشف المبكر عن الأسباب المؤدية لأي نوع من العيوب أثناء الإنتاج، ويتربع على رأس القائمة طرائق الاختبارات اللا اتلافية.

**أهمية البحث وأهدافه:**

تسعى معامل إنتاج البيليت الخاص بحديد التسليح إلى طرح منتجاتها في الأسواق العالمية بما يتناسب مع المواصفات القياسية الخاصة بمثل هذه المنتجات لأن وجود العيوب على اختلاف طبيعتها، السطحية أو الداخلية، تسبب مشاكل عديدة خلال مراحل درفلة البيليت وتحويله إلى منتج نهائي. وتتمثل هذه المشاكل بالإيقاف المتقطع لخطوط الإنتاج عن العمل، ووجود أخطار عديدة على العاملين وعلى آلات خطوط الإنتاج، واستناداً لهذا فإن معامل إنتاج البيليت تزود خطوط إنتاجها بأجهزة مراقبة حساسة بهدف تجنب وجود عيوب قد تتسبب بحوادث أليمة في معامل الدرفلة.

تظهر الدراسات [1] أن العيوب المحتملة الوجود في بيليت إنتاج حديد التسليح قد تكون سطحية أو داخلية ويبين الشكل (1) أنواع العيوب التي تحدث عادة أثناء عملية سباكة البيليتات.



الشكل (1) - أنواع العيوب السطحية والداخلية في البيليت

يمكن تصنيف هذه العيوب على الشكل التالي:

1 - الانقطاعات Discontinuities وتعرف بأنها عدم استمرار أو عدم تجانس البنية والخواص الفيزيائية الناشئ عن احتواء المادة على الكسور أو الفقاعات الهوائية أو الخبث أو بسبب عدم تجانس الخلط في مختلف أجزاء المادة عند احتوائها على أكثر من معدن (خليطة)

2 - العيوب Defects وهي انقطاعات ذات طبيعة وأبعاد وتوضعات تؤثر على المتانة الميكانيكية للقطعة بحيث لا تسمح باستثمار القطعة أو المادة في المكان المحدد لها وتعتبر كافة العيوب انقطاعات ولا تعتبر كافة الانقطاعات عيوب

يمكن أن نميز نوعين من الانقطاعات [2].

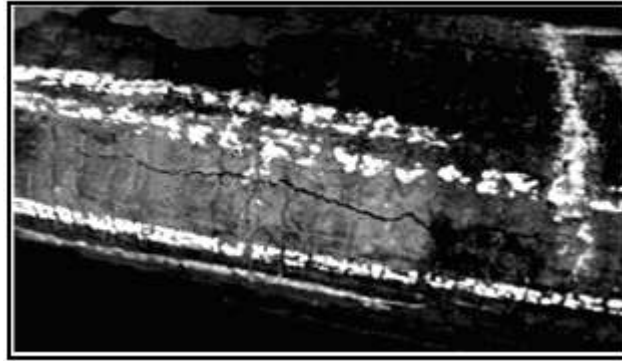
1 - انقطاع خطي Linear Discontinuities كاحتواء جسم القطعة على الكسور أو الشروخ أو نقص في الانصهار وتعتبر هذه الانقطاعات خطرة

2 - الانقطاع الحجمي Volumetric Discontinuities كاحتواء جسم القطعة على خبث أو فقاعات هوائية ولا يمكن معرفة مدى خطورة هذه الفقاعات إلا بعد دراسة توزيعها ضمن جسم القطعة

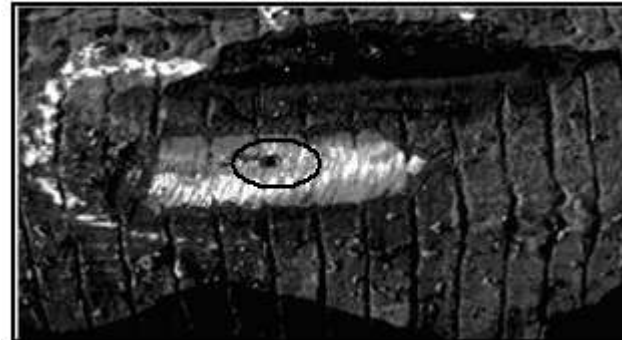
تمثل الانقطاعات الناتجة عن العمليات التعدينية أحد أهم الأسباب التي يمكن أن تسبب توقف خطوط الإنتاج في معمل الدرفلة وهذا النوع من الانقطاعات يحدث في طور تصلب المعادن بعد الصب Casting في أفران صناعة الحديد والفولاذ ونذكر منها: [2,6,8]

المسامات (Porosity) - الفقاعات الهوائية (Blow Holes) - متضمنات خبثية أو معدنية (Inclusion) - كسور (crack) - انكماشات النقلص (Shrinkage) - انفصال في مكونات الخليطة (Segregation) وكذلك الانقطاعات الناتجة في عملية درفلة المعادن كالعرق (Seam) - الانقطاعات الناتجة في عملية التطريق (Forging) والانقطاعات الناتجة أثناء تنفيذ الوصلات اللحامية (Welding).

توضح الأشكال (2,3) بعض أنواع العيوب الممكن ملاحظتها في البيليتات المستخدمة في معام الدرفلة الخاصة بقضبان التسليح [3]



الشكل ( 2 ) - بيليت ذات شق طولي

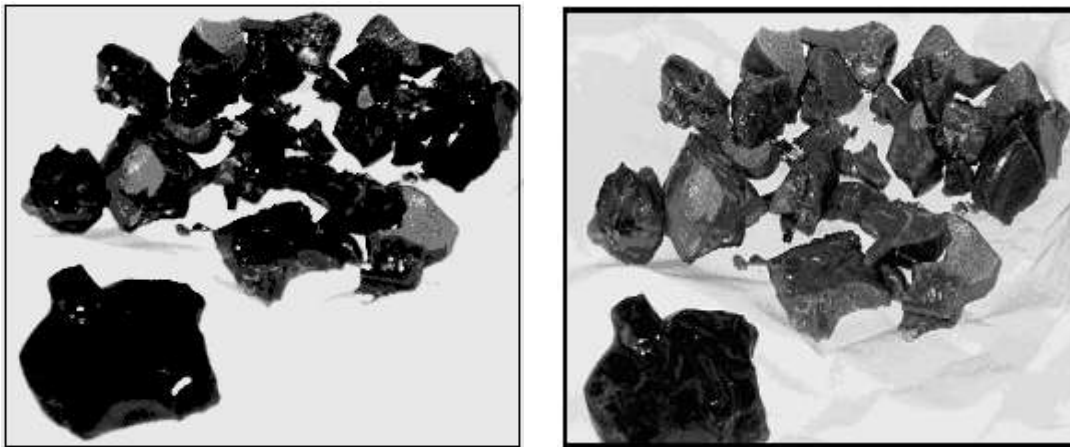


الشكل ( 3 ) - بيليت حاوي على ثقب هوائية

على الرغم من تزويد خطوط الإنتاج بأجهزة فحص متطورة في مراحل مختلفة من عملية تحضير البيليت أو في مراحل عملية الدرفلة [4,5] إلا أن ذلك لا ينفي أبداً وجود عيوب مختلفة في البيليتات المطروحة في الأسواق على شكل نصف جاهز تسبب في حدوث مشاكل خلال عملية الإنتاج مثل الإيقافات المتكررة لخطوط الدرفلة أو حدوث تحطّات في بعض أجزاء خطوط الإنتاج وهذه المشاكل بالمحصلة تسبب أضراراً جمة اقتصادية وبشرية.

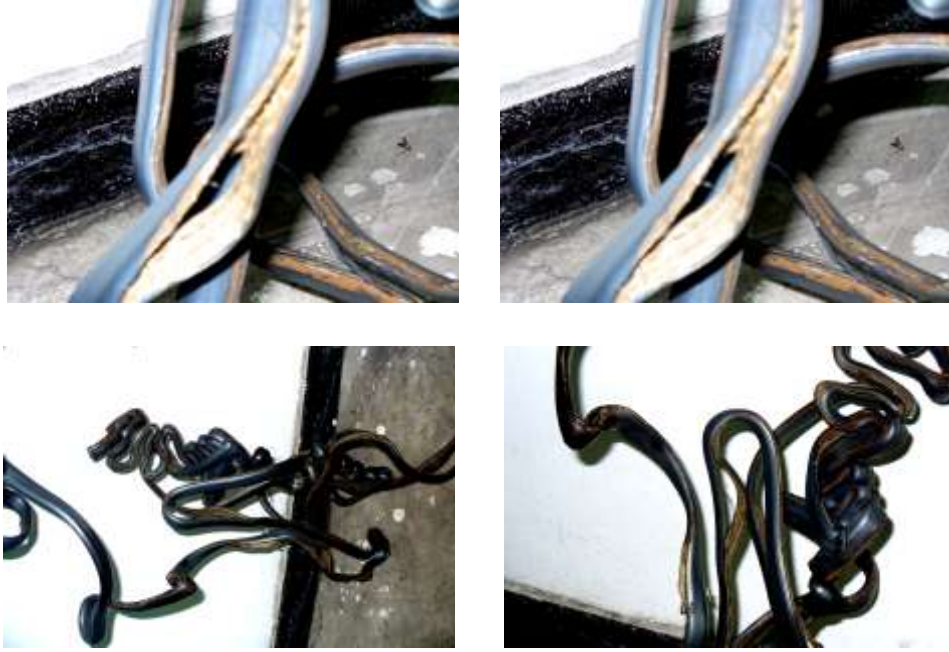
تشير بعض الدراسات إلى إمكانية استخدام الفحص بالأشعة فوق الصوتية يدوياً في بيليت الألمنيوم بعد عملية السباكة بهدف التأكد من خلو المنتجات من أية عيوب داخلية [5,7]. يعتبر الفحص اليدوي بالأشعة فوق الصوتية لبيليت حديد التسليح من الطرائق غير المجدية بسبب الزمن الطويل الذي تتطلبه هذه العملية في فحص عدد كبير من البيليتات الذي تتطلبه العملية الإنتاجية في معاملة الدرفلة، غير أن استخدام الفحص بالأشعة فوق الصوتية من الطرائق المعتمدة وبشكل واسع في العديد من المجالات الصناعية المختلفة ولاسيما في فحص الدرزات اللحامية حيث تعتبر هذه الطريقة إضافة لطرائق أخرى مثل الفحص بالسائل النافذ والأشعة السينية (X - Rays) والفحص بالأشعة الكهرومغناطيسية... الخ من الطرائق المعتمدة من قبل هيئات الفحص والمراقبة المعتمدة.

تتلخص الفكرة الأساسية لهذا البحث باعتبارها مشكلة صادفت أحد معاملي درفلة الحديد، وتتلخص في وجود إيقافات كثيرة ومتتالية وحوادث العديد من الأعطال في مواقع مختلفة بخطوط الإنتاج وبتواترات زمنية مختلفة وليست متكررة ، ويظهر الشكل (4) بعض أنواع المتضمنات التي وجدت في البيليتات أثناء عملية الدرفلة إضافة إلى بعض الصور المبينة بالشكل (5) والتي توضح الفصل أو الانسلاخ الحاصل في بيليت حديد التسليح، وكما هو واضح من الشكل أن عملية الانسلاخ يمكن أن تحدث خلال مراحل مختلفة من عملية الدرفلة.



الشكل (4) - بعض المتضمنات اللامعدنية التي وجدت ضمن بيليت حديد التسليح وسببت إيقاف خطوط الإنتاج عن العمل





الشكل (5) - يظهر الأشكال المختلفة للانسلاخات التي تعرض لها البيليت عند مراحل مختلفة من عملية الدرفلة

استناداً لما سبق ذكره فإن الهدف الرئيسي لبحثنا هو إجراء التقييم الأولي للبيليتات المستوردة التي سببت إيقاف خطوط الإنتاج في أحد معامل درفلة الحديد وذلك من خلال البحث في أسباب التوقفات، وتحديد العيوب وأماكن تواجدها في البيليتات باستخدام الفحص بالأمواج فوق الصوتية.

### طرائق البحث ومواده:

اجريت الدراسة على عدد كبير من بيليتات الحديد المستورة (حوالي 100 بيليت) - البيليتات المستوردة ذات منشأ بيلاروسي لها التركيب الكيميائي التالي:

العنصر (%)	V	Mo	Ni	Cr	S	P	Mn	Si	C
النسبة المئوية	0,001	0,0069	0,049	0,058	0,018	0,0094	0,606	0,252	0,202

البيليت ذات مقطع عرضي 12 cm x 12 cm - طوله 12 m - وزن البيليت 1200 kg

### الأجهزة المستخدمة بالبحث

- 1 - جهاز الأمواج فوق الصوتية - صيني الصنع - ماركة Time Group Inc
- 2 - المسبر المستخدم مسبر مباشر Straight Beam Probe الذي يمكننا من تحديد موقع العيب في البيليت كما هو موضح بالشكل (7).

3 - المادة الرابطة المستخدمة بالدراسة الغلشرين مع الماء بنسبة 1:1

### تحضير البيليت قبل إجراء الفحص

يعتمد العمل بجهاز الأمواج فوق الصوتية على تحقيق تماس مباشر بين سطحي المسبر والقطعة المراد فحصها ولهذا السبب يجب أن يكون سطح التماس خالياً من العيوب السطحية بحيث يحقق تطابقاً بين مسبر الجهاز والسطح المراد فحصه.

يوضح الشكل (6) عملية التحضير المسبق لسطوح البيليت قبل إجراء الفحص حيث يقوم العامل بإجراء الجلك اليدوي للسطح وتنظيفه بواسطة فرشاة حديد ومسحه بالقماش قبل إضافة المادة الرابطة ( غلسيرين - ماء ) للسطح وذلك لتأمين عدم وجود أي أثر للفقاغات الهوائية أو شوائب بين السطوح المتماسمة.



الشكل ( 6 ) - التحضيرات الأولية للبيليت قبل إجراء الفحص بالأمواج فوق الصوتية

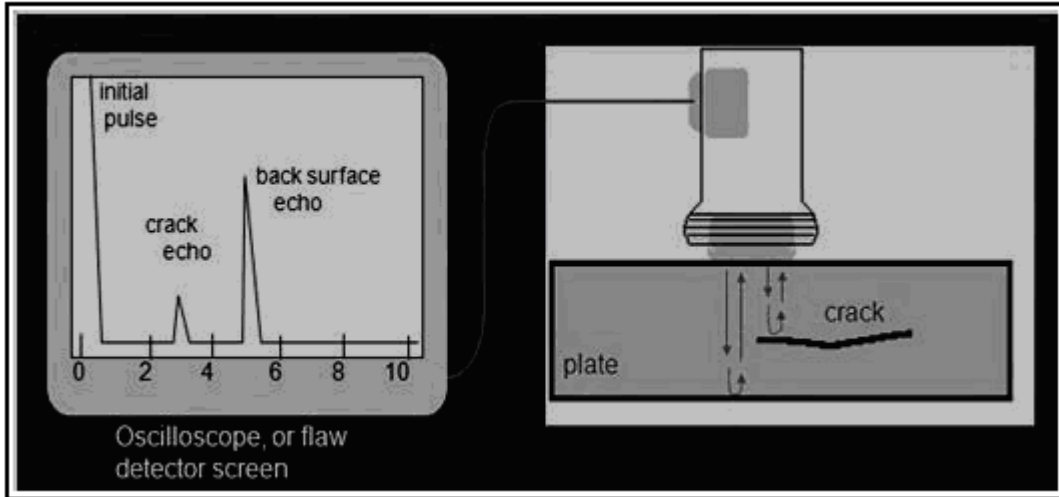
أثناء إجراء الفحوصات على البيليتات ( عدد 100 ) تبين وجود العديد من البيليتات الحاوية على عيوب جوهرية يمكن أن تسبب أثناء عملية التصنيع حدوث الإيقافات بخطوط الإنتاج. أثناء إجراء الاختبارات رقت العينات بدءاً من الرقم 100 حتى الرقم 200 ، وتم ترقيم مواقع العيوب على البيليتات المختبرة ، كما تم فحص بعض البيليتات من السطحين العلوي Up Surface والجانبى Side Surface

تم ترقيم مواقع العيوب على البيليتات بشكل مطابق لصور الفحص بالأمواج فوق الصوتية مع الإشارة إلى الرقم التسلسلي للبيليت حسب وروده من معمل الإنتاج.

### النتائج والمناقشة:

أجري الفحص بطريقة الصدى النبضي باستخدام مسبر واحد يقوم بدور المرسل والمستقبل في آن واحد. قبل البدء بإجراء الفحص أجري معايرة للجهاز باستخدام كتل معايرة خاصة، ثم بعد ذلك حددت بارامترات الجهاز المناسبة لفحص البيليت الفولاذي.

تعتمد طريقة الصدى النبضي على إرسال الإشارة عبر جسم البيليت واستقبال المنعكس منها الذي يتم عادة ،في حال عدم وجود شوائب، من سطح البيليت المقابل للسطح المراد فحصه، وفي حال وجود عيوب او عدم تجانس بالبنية (شق - فراغ هوائي - شوائب خبثية ... الخ ) فإن الإشارة المرسله ترتد من هذه العيوب باعتبارها أوساط فاصلة، كما هو موضح بالشكل (7). تظهر شاشة الجهاز المستخدم إشارتي الإرسال والانعكاس، وهذه الأخيرة تكون عادة بسعة أصغر من سعة الإشارة المرسله بسبب ضياع جزء من طاقة الإشارة ضمن الجسم.

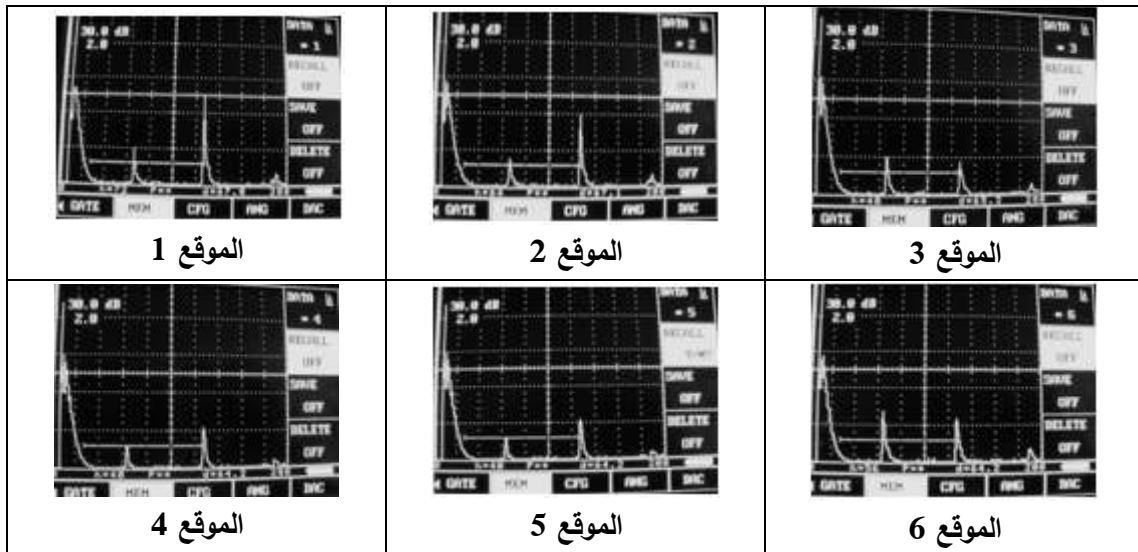
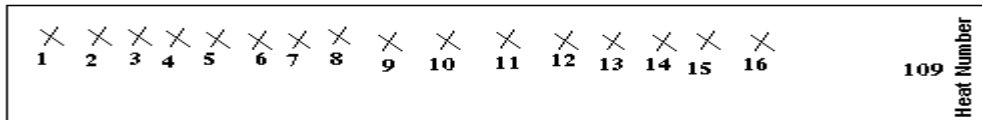


الشكل (7) - يوضح مبدأ الصدى النبضي المستخدم بالفحص بالأمواج فوق الصوتية

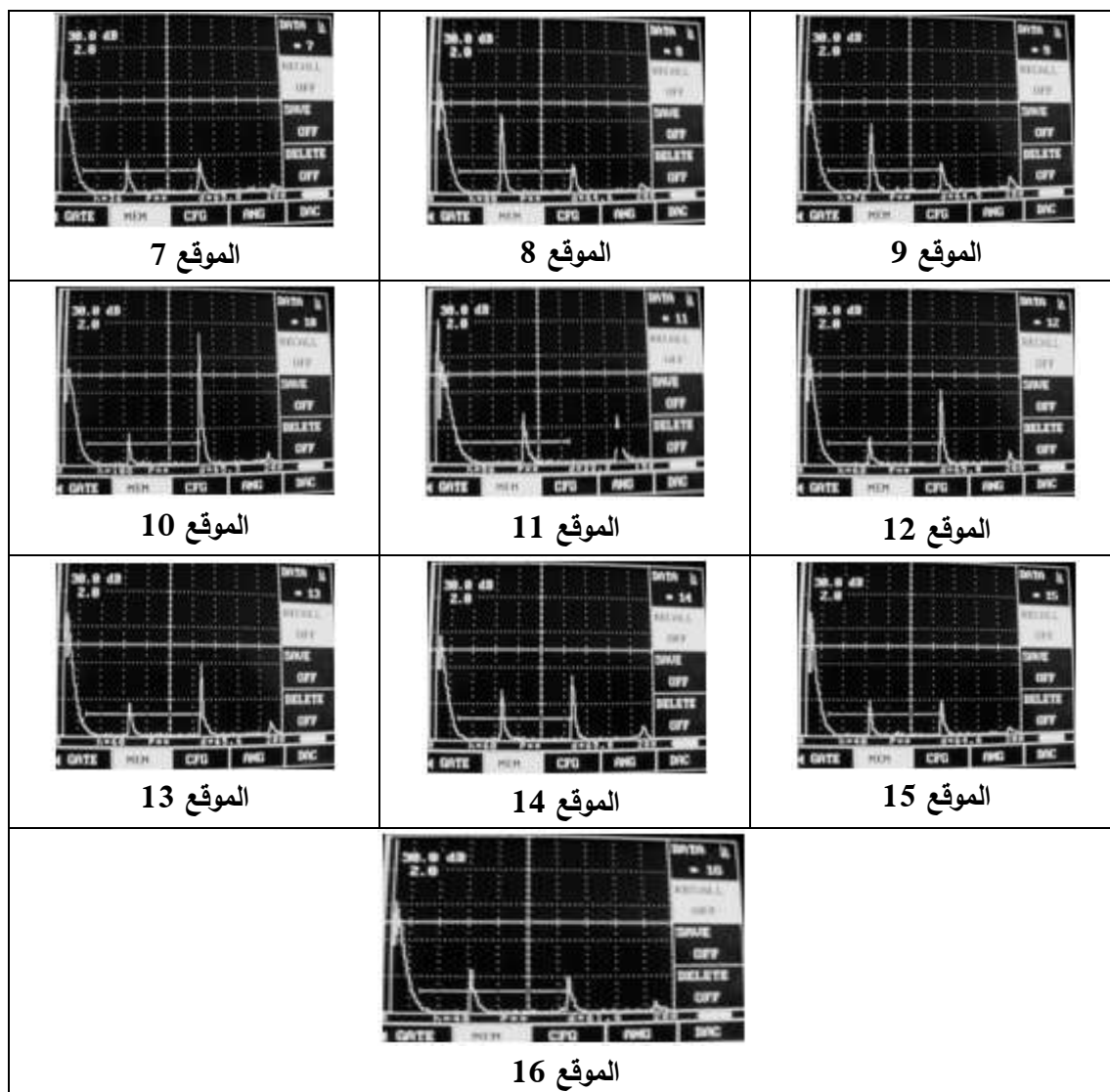
من خلال الصور المبينة بالشكل (8) العائد للبيليت رقم 109 نجد من خلال تسلسل أرقام الصور بيليت مليء بالعيوب يلاحظ فيه ظهور العيب من الموقع 1 حتى 7 حيث تشير الإشارات المنعكسة إلى وجود انعكاس جزئي للإشارة المرسله في منتصف البيليت تقريباً في حين نلاحظ أن الجزء الآخر من الإشارة ينعكس عن سطح البيليت المقابل للسطح المراد فحصه. عند الصورتين 8 و 9 يلاحظ ظهور انعكاس كامل تقريباً للإشارة عن العيب الداخلي الواقع في منتصف مسار الإشارة مما يدل على أن حجم وأبعاد العيب قد أصبح كبيراً بالمقدار الذي يعيق معه، وبشكل كامل تقريباً، استمرار مسار الإشارة المرسله حتى السطح المقابل.

Heat Number: 182373/125

Sample N: 109 – Up Surface







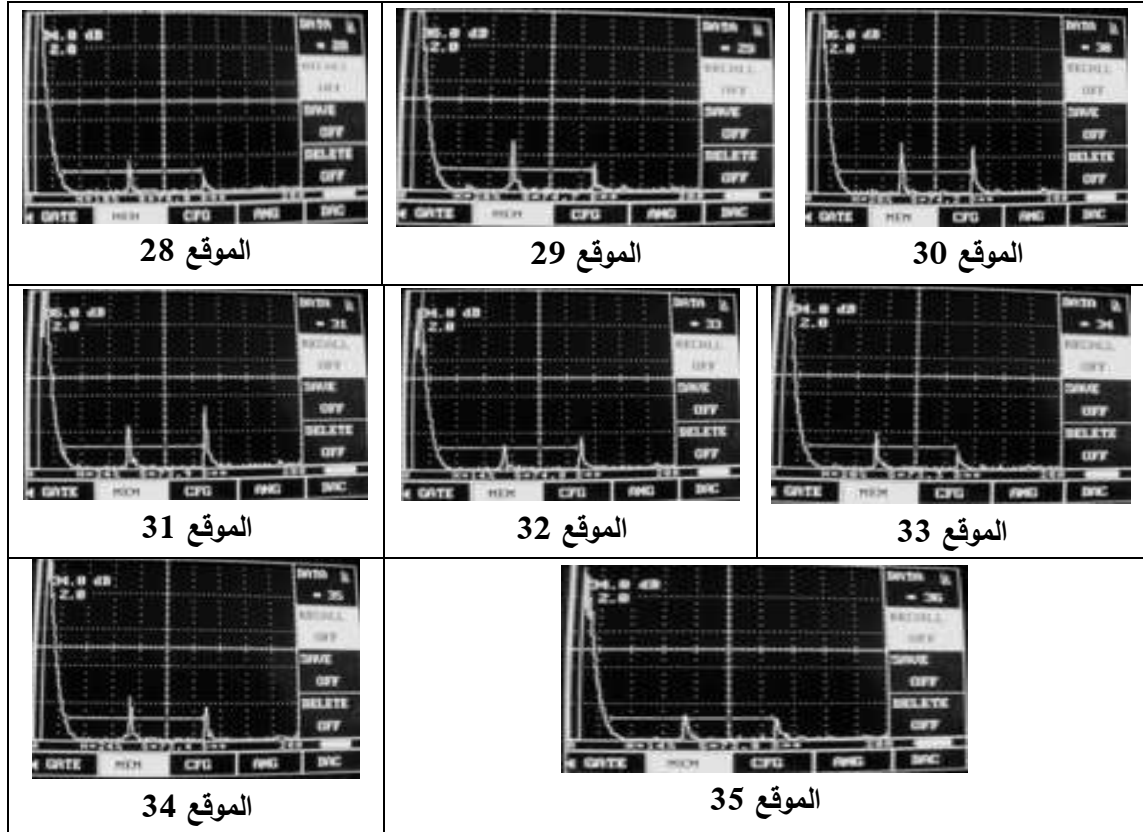
الشكل (8) - صور بالأمواج فوق الصوتية بمواقع مختلفة من البيليت  
الصور مرقمة من 1 حتى 16 بشكل مطابق لمواقع توضع مسبر الجهاز أثناء الفحص

من الشكل (9) يلاحظ وجود عيب طويل وكبير في البيليت وتشير الأرقام المبينة على البيليت (من 28 حتى 35) إلى أن العيب الموجود في البيليت واحد ومستمر، فالصور تظهر وجود انعكاس للإشارة المرسلية في نفس العمق من سطح البيليت وأن العيب كبير ويجب أن يؤخذ بعين الاعتبار نظراً للاستمرارية التي يبديها هذا العيب. من المفيد ذكره هنا أن هذا الفحص أجري من جهة واحدة للبيليت ( سطح واحد ) لأن الهدف الأساس من هذا البحث هو تحديد البيليتات الحاوية على عيوب كبيرة يمكن أن تسبب إيقاف خطوط الإنتاج عن العمل.

Heat Number: 382384/125

Sample N: 100 – Up Surface

Heat Number	100	×	×	×	×	×	×	×
		28	29	30	31	32	33	34

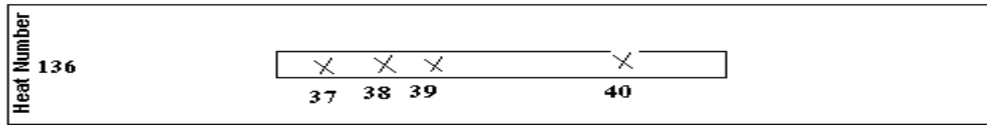


الشكل (9) - صور بالأمواج فوق الصوتية بمواقع مختلفة من البيليت الصور مرقمة من 28 حتى 35 بشكل مطابق لمواقع توضع مسير الجهاز أثناء الفحص

من خلال تحليل الصور السابقة وجدنا أن معظم العيوب المسجلة في البيليتات المفحوصة تقع في مناطق قريبة من محور البيليت حيث نلاحظ أن الإشارات المنعكسة تقع في وسط مجال القياس المحدد بعمق أو سماكة البيليت، ولهذا السبب قمنا بإجراء الفحص للبيليت من سطحين متعامدين بهدف تحديد الموقع التقريبي لمكان وجود العيب. يظهر الشكل (10) صور بجهاز الأمواج فوق الصوتية بطريقة الصدى النبضي لبيليت. أجري الفحص من سطحين متعامدين للبيليت بهدف تحديد الموقع التقريبي للعيب.

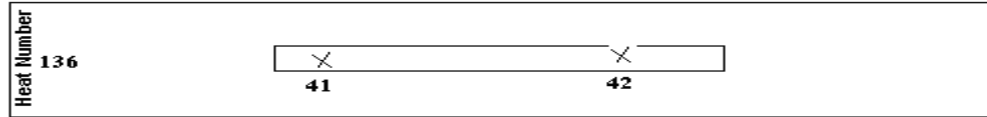
Heat Number: 384181/125

Sample N: 136 – Up Surface

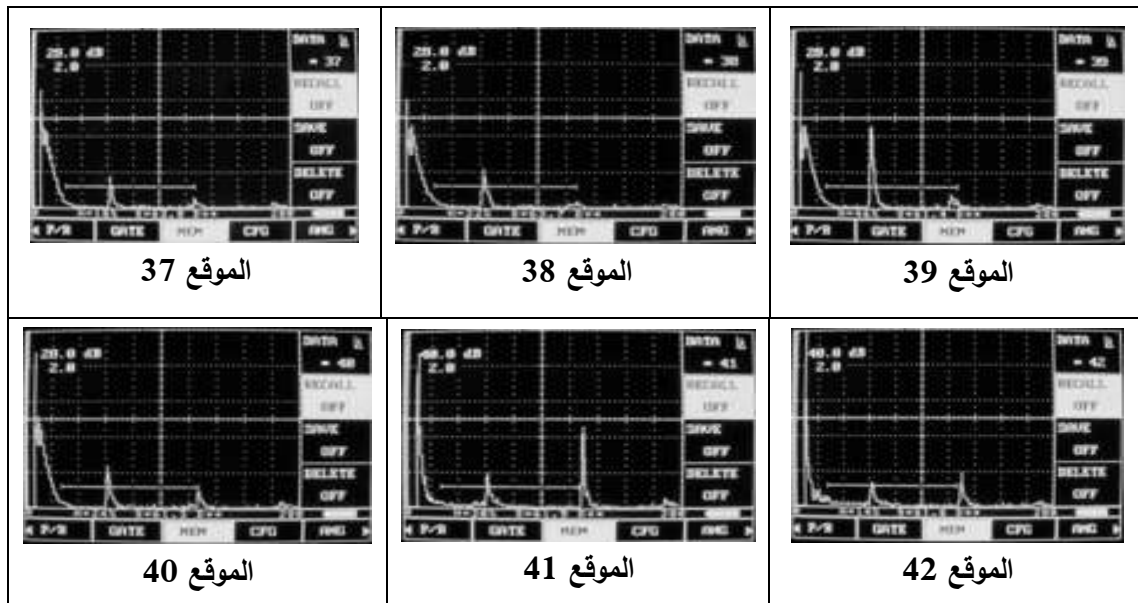


طول العيب 20 cm – العمق 62 mm – عرض العيب 2 cm

Side Surface



عمق العيب 62 mm



الشكل (10) – صور بالأمواج فوق الصوتية بمواقع مختلفة من البيليت

الصور مرقمة من 37 حتى 42 بشكل مطابق لمواقع توضع مسير الجهاز أثناء الفحص

من الشكل (10) نرى أن العيب واضح في المواقع التي تم فحصها ولاسيما في الصور من 37 حتى 40 حيث نلاحظ أن العيب يسبب غياباً واضحاً للإشارة المنعكسة من السطح المقابل لسطح الفحص. تم قياس المسافة التي سجلت فيها العيوب فوجد أن طول العيب يبلغ تقريباً 20 cm. من الضروري ذكره هنا أن هذا العيب تم تحديده أيضاً من السطح الجانبي للبيليت فوجد تطابق لنتائج طول العيب مع ذلك المسجل من السطح العلوي.

من خلال قراءة الصور المبينة بالشكل (10) نلاحظ أن العيب يقع في محور البيليت تقريباً حيث تبين أن موقع العيب من خلال فحص السطحين العلوي والجانبي يقعان على مسافة واحدة قدرها 62 mm. أظهرت الفحوصات التي أجريت على بيليتات أخرى (رقم 100 ورقم 109) وجود عيوب شعرية لم نتمكن حقيقة من تحديد أبعادها بشكل دقيق بالفحص وإنما اكتفينا بالإشارة إلى مكان وجودها مع التأكيد على تطابق نتائج

الفحوصات التي أجريناها مع عدد مرات الإيقافات التي تعرض لها المعمل خلال عمله، فقد أظهرت النتائج وجود عدد يتراوح من 2 إلى 4 مرات خلال مرحلة درفلة لعدد يقارب حوالي 100 بيليت، وهذا ما يجعل نتائج الفحص التي أجريت تؤكد صحة النتائج التي توصلنا إليها.

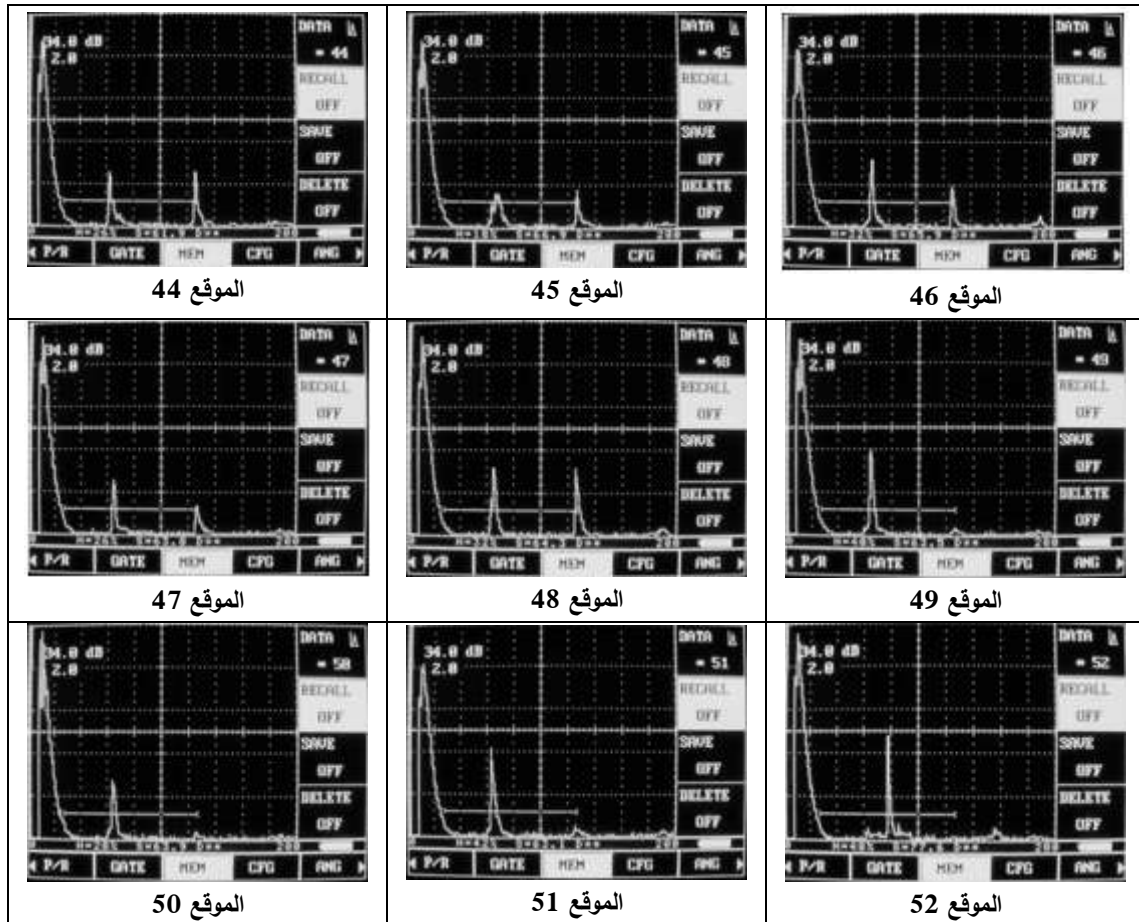
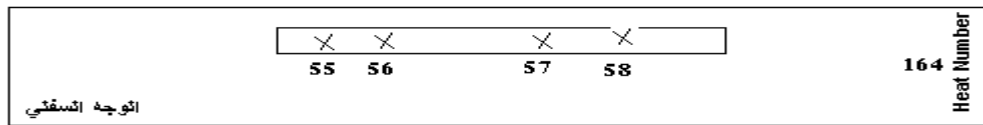
أظهرت نتائج الفحوصات وجود عيوب ذات حواف وأشكال هندسية خاصة بها يمكن أن تمثل متضمنات لا معدنية موجودة ضمن بعض البيليتات وقد تم تحديد وجود هذه المتضمنات اللا معدنية من خلال الشكل الخاص للإشارات المنعكسة. يوضح الشكل (11) الصور الخاصة بأحد البيليتات التي احتوت مثل هذه العيوب حيث بينت نتائج الفحوص وجود عيب بطول 130 cm وعمق 46 mm.

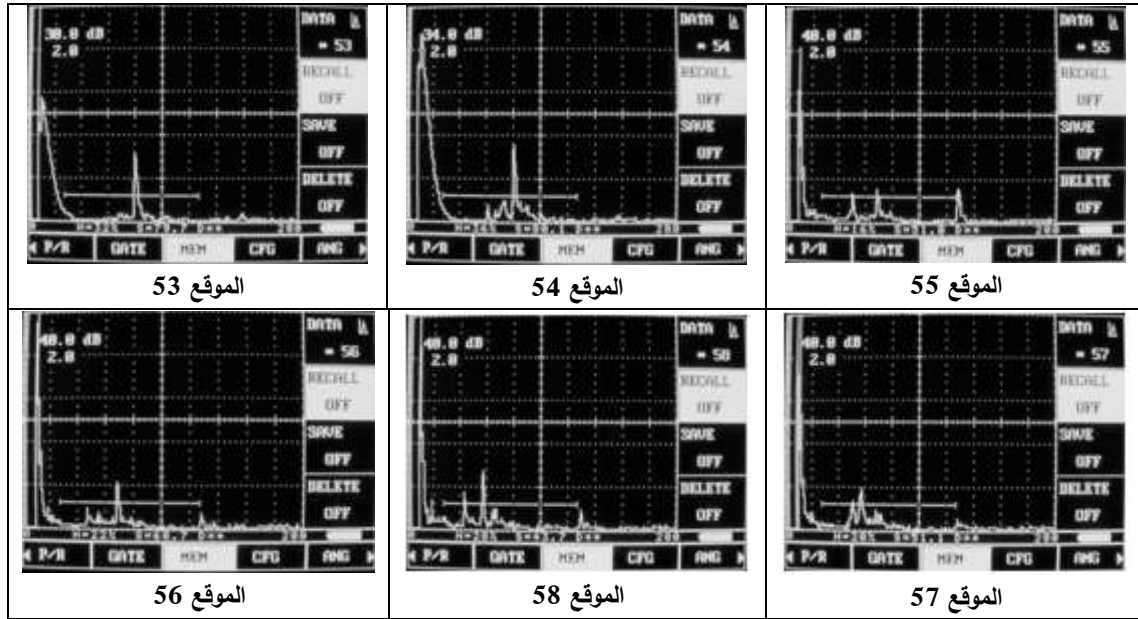
Heat Number: 683752/125

Sample N: 164 – Up Surface



Sample N: 164 – Side Surface





الشكل (11) - صور بالأمواج فوق الصوتية بمواقع مختلفة من البيليت

الصور مرقمة من 49 حتى 58 بشكل مطابق لمواقع توضع مسبر الجهاز أثناء الفحص

من الشكل (11) نلاحظ أن الفحص الذي أجري على هذا البيليت (رقم 164) أن العيب بدأ من الموقع 44 حتى الموقع 48 وأن هذا العيب سبب انعكاساً جزئياً لإشارة الدخول حتى هذا الموقع. من الموقع 49 حتى الموقع رقم 54 يلاحظ حدوث انعكاس كامل لإشارة الدخول من العيب الموجود في البيليت .

في الصورة 54 يظهر بوضوح أن شكل السطح الممثل للموجة المنعكسة متعرج مما يدل على أن سطح العيب الذي ساهم في الانعكاس الكامل لإشارة الدخول عيباً ذا أبعاد هندسية غير منتظمة يرجح بأن يكون متضمناً لا معدنياً. للتحقق من صحة هذه النتيجة أجري فحص بنفس المسبر من السطح الجانبي للبيليت وهذا ما تمثله الصور من 55 حتى 58 حيث تؤكد هذه الصور أن إشارة الدخول القوية تنعكس بالكامل عن العيب الموجود، كما ويلاحظ أن هذا العيب سبب اختفاءً كاملاً لإشارة الصدى وأن الإشارة المنعكسة من العيب ذات سطح متعرج مما يدل على أن هذا العيب ذو سطوح هندسية غير نظامية.

بالحقيقة إن الفحص بالأمواج فوق الصوتية، لعدد كبير من البيليات، أعطى نتائجاً متشابهة فيما بينها اقتصر فيها العيوب بشكل عام على وجود عيوب قريبة من محور البيليت أو على وجود متضمنات لا معدنية تقع أيضاً ضمن مناطق قريبة من محور البيليت. لهذا السبب لم تقدم كافة النتائج التي حصلنا عليها بسبب التشابه فيما بينها.

أظهرت الدراسات المرجعية عدم وجود دراسات حول إمكانية استخدام الفحص اليدوي بالأمواج فوق الصوتية للبيليت الجاهز لعملية درفلة قضبان التسليح وذلك بسبب عدم توافق زمن إجراء مثل هذه الاختبارات مع زمن تحويل البيليت نصف الجاهز إلى منتج نهائي على شكل قضبان التسليح، على العكس فإن الدراسات المرجعية تشير إلى استخدام مثل هذه الطريقة في فحص بيليت الألمنيوم المستخدم لسحب الألواح والصفائح.

**الاستنتاجات والتوصيات:**

- 1 - يمكن بطريقة الفحص بالأمواج فوق الصوتية تحديد مواقع العيوب وأبعادها وطبيعتها مثل العيوب الخبثية أو المتضمنات اللامعدنية
- 2 - يمكن بواسطة طريقة الأمواج فوق الصوتية إجراء التقييم اللازم لطبيعة العيوب المحتمل تواجدها في بيليتات حديد التسليح فيما إذا أظهرت الكمية المشتراة من قبل المنتج احتواءها على عيوب تسبب الإيقافات المتعددة في عملية الإنتاج
- 3 - لا تعتبر طريقة الفحص بالأمواج فوق الصوتية من الطرائق المجدية في فحص كل البيليتات القادمة للمعمل بسبب الزمن الذي تحتاجه هذه الاختبارات مثل التحضير المسبق لسطوح البيليت وإجراء الفحص الذي يجعل مثل هذا العمل غير اقتصادي ويكون مجدياً في حالات ظهور عيوب بالبيليت أثناء التصنيع
- 4 - من التوصيات التي يمكن طرحها ضرورة إجراء مثل هذه الاختبارات على كميات مستوردة سببت إيقافات كثيرة لخطوط الإنتاج في المعمل.

**المراجع:**

- 1- BAILLIE. I , GRIFFITH. P, JIAN. X, DIXON. S – *Implementing an Ultrasonic Inspection System to Find Surface and Internal Defects in Hot , Moving Steel Using EMATs – 2007, Vol 49,N;2- pp87 – 92, NDT. Net – www. ndt. Net*
- 2 – СУВОРОВ. И. К – *Обработка Металлов Давлением – Москва -1985 - 767*
- 3- ERIKA MONICA POPA, IMRE KISS –*Assessment of Surface Defects in the Continuously Cast Steel – ACTA THECNICA CORVINIENSIS, Bulletin of Engineering, 2011, Tom IV, ISSN 2067-3809*
- 4- MANISH. RAJ, RAJESH KUMAR SAINI,KRISHNAN BALSURAMANIAN – *Development of Ultrasonic C-Scan Imaging Technique for Optimization of Electro Magnetic Stirrer to Improve Steel Billet Quality – 18 World Conference on Nondestructive Testing – 2012, pp 10, Durban, South Africa*
- 5 - HERTWICH ENGINEERING SMS GROUP, BRAUNAU,AUSTRIA – *Fully Automation Ultrasonic Inspection of Extrusion Billets- Light Metal Age, 1998*
- 6 – WILBY. A. J, NEALE. D.P – *Defects Introduced into Metals During Fabrication and Service – Material Science and Engineering – Vol: III –pp 11*
- *Encyclopedia of Life Support System ( EOLSS ) – British Energy , UK*
- 7 – YOKO NOROSE, KOICHI MIZUTANI, NAOTO WAKATSUKI – *Nondestructive Inspection for Steel Billet Using Phase – MODULATED Signal by Sequence for Improving Measurement Speed – Japanese Journal of Applied Physics, 2012, 07GB17, pp1-6*
- 8 – LIFENG ZHANG, BRAIN. G. THOMAS – *Inclusion in Continuous Casting of Steel- XXIV National Steelmaking Symposium, Mich, Maxico, Nov 2003, 138 -183*