مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (26) العدد (2)2004
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol (26) No (2) 2004

تحديد الخواص الميكانيكية للصلب الكربوني(الصلادة، قوة الشد، الاستطالة) لا إتلافياً(Non-Destructive) باستخدام تقنية الأمواج فوق الصوتية(Ultrasonic)

الدكتور محمد أحمد محمد*

(قبل للنشر في 2004/5/11)

□ الملخّص □

إن تقنية الأمواج فوق الصوتية للتأكد من سلامة المسبوكات والمنتجات المصنعة بالحدادة واللحام وخلوها من العيوب الداخلية، مستخدمة على نطاق واسع كأسلوب فحص لا إتلافي يعتمد عليه [2] [1].

ونظرا للإمكانيات غير المحدودة لهذه التقنية فقد أخذت استخداماتها بالتزايد وخاصة في دراسة خواص المواد الهندسية لا إتلافيا في السنوات الأخيرة [3].

وقد تم في هذا البحث دراسة إمكانية إيجاد العلاقة بين سعة إشارة الصدى للأمواج فوق الصوتية المنعكسة عن الجدار المقابل لسطح العينة وبعض الصفات الميكانيكية الشائعة والهامة كالصلادة، وقوة الشد، ونسبة الاستطالة لعينات من الصلب الكربوني بسماكات مختلفة وبنى ميكروسكوبية متنوعة. حيث تبين أنه بزيادة السماكة تقل سعة إشارة الصدى للأمواج المنعكسة مع ثبات التردد. بالإضافة إلى ذلك لوحظ أن إشارة الصدى تخضع لمتغيرات يمكن قياسها عندما تتفاعل مع بنية المادة المتغيرة تبعاً للمعالجة الحرارية المتبعة، وهكذا نستطيع الربط بين الخصائص الميكانيكية والخصائص فوق الصوتية بشكل بياني أو بمعادلات تجريبية.

على الرغم من أن هذه الطريقة تعتبر من الطرق التقريبية إلا أنها تمتاز بدقة عالية للأغراض الهندسية.

*مدرس في قسم التصميم والإنتاج في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية . جامعة تشرين–اللاذقية–سوريا.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (26) العدد (2)2004
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol (26) No (2) 2004

Non- Destructive Estimation of Hardness and Tensile Properties of Heat-Treated Steel Using Ultrasonic Waves

Dr. Mohammad Ahmad Mohammad *

(Accepted 11/5/2004)

□ ABSTRACT □

The use of ultrasonic as a non-destructive method is usually understood to be an inspection of castings, forging and welds, for internal defects. However, ultrasonic, can be used for other kinds of qualitative evaluations, for example assessment of physical, mechanical and structural properties.

In this paper, pulse echo amplitude attenuation method with respect to sound traveling distance have been used as one technique of microstructure and mechanical properties of metals. The technique involves measurements of either ultrasonic velocity or attenuation through the metals. In this article an attempt has been made to correlate echo amplitude response of both amplitude height and amplitude attenuation with selected common mechanical properties such as hardness, tensile strength and elongation of different heat- treated conditions of high carbon steel.

The ultrasonic approach is based on how waves are influenced when they are propagated within the material being tested. These waves undergo changes which can be measured and the material can be evaluated accordingly. The evaluation of properties of the material can then follow indirectly, by means of graphical or empirical correlation. Hence on can interpret certain changes in the ultrasonic signal as a change in the structure of the material.

***Prof, Faculty Of Mechanical And Electrical Engineering -Tishreen University- Lattakia-Syria.**

مقدمة:

تعتبر طرق حساب الخواص الميكانيكية للمادة ضرورية في التطبيقات الهندسية سواء في التصميم الهندسي أو عند الاستثمار وقد دفع التقدم التكنولوجي إلى العمل على تطوير طرق جديدة لحساب الخواص الميكانيكية للمادة بدون إتلافها (تحطيمها) .

وتمثل هذه الدراسة باستخدام الأمواج فوق الصوتية لتحديد الخواص الميكانيكية مساهمة فعالة في هذا المجال.

ومن أهم خصائص الأمواج فوق الصوتية أنها تستطيع النفاذ عبر الأجسام الصلبة حسب خطوط مستقيمة نسبيا غير أن شدتها تتناقص أثناء مرورها في هذه الأجسام بسبب انعكاسها عند حدود الفصل بين مادتين مختلفتين أو عند مصادفة بنيات غير متجانسة في المادة.

يتم حساب شدة الإشارة بعد عبورها جسم ما من العلاقة التالية [2] :

$$I=I_o\exp(-\alpha d)$$

حيث :

I– شدة الإشارة المنعكسة بعد عبورها جسم ما سماكته d . Bt/m^2

I_o–شدة الإشارة المرسلة قبل مرورها في جسم ما . Bt/m^2

a–معامل التخميد . dB/m

d–سماكة الجسم . m

من الأسهل للتعبير عن مستوى تخميد الإشارة استخدام وحدة التضخيم dB (ديسيبل) حيث تحدد هذه الوحدة من العلاقة التالية :

$$D= 10 \log (I_o /I)$$

فإذا كانت النسبة I_o/I أقل من الواحد تعتبر موجبة وهذا يدل على أنه تم تضخيم الإشارة، أما إذا كانت هذه النسبة أكبر من الواحد فتعتبر سالبة وتدل على أنه تم تخميد الإشارة.

وعند استخدام طريقة الصدى النبضي لاختبار العينات بالأمواج فوق الصوتية فان شدة إشارة الصدى تتناسب مع شدة إشارة الأمواج المرسلة والمنعكسة :

$$\frac{I_0}{I} = \frac{H_0}{H}$$

أهمية البحث وأهدافه:

تهدف هذه الدراسة إلى:

– تحديد الخواص الميكانيكية للصلب الكربوني بطريقة لا إتلافية.

– إيجاد العلاقة بين سعة إشارة الصدى للأمواج فوق الصوتية والخواص الميكانيكية .

مواد وطرق البحث:

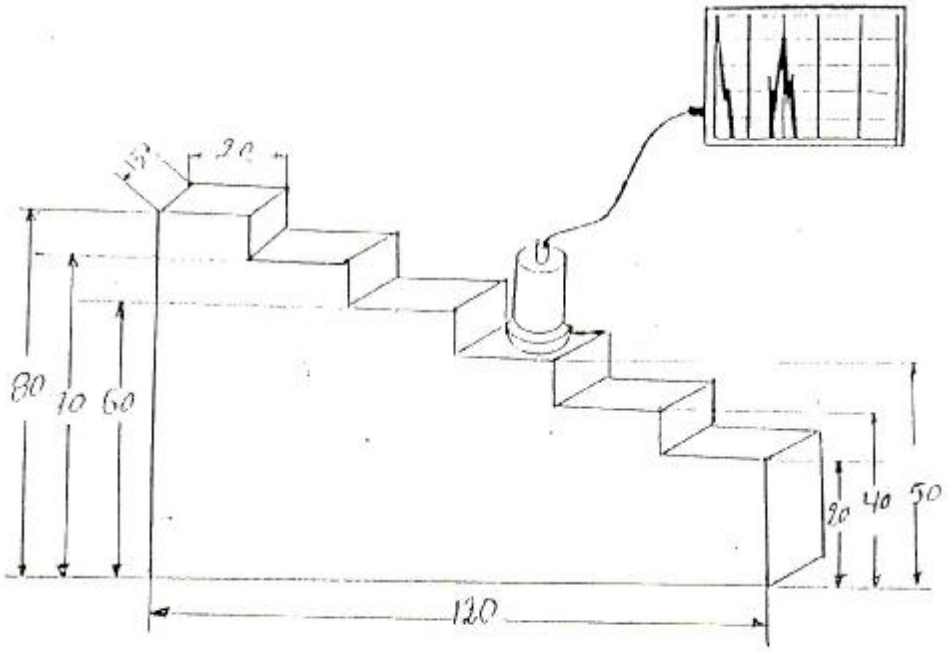
المواد المستخدمة:

المادة المستخدمة في هذا البحث الصلب الكربوني، ويبين الجدول (1-3) التركيب الكيميائي للصلب المستخدم

جدول (1-3) يبين التركيب الكيميائي للصلب المستخدم

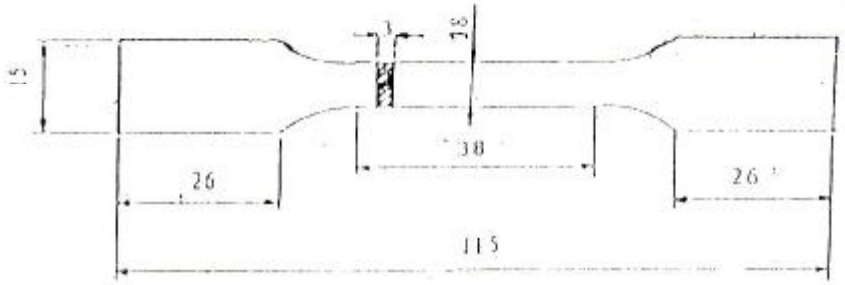
المادة	النسبة المئوية %									
CK-60	**C**	**Si**	**Mn**	**S**	**Mo**	**P**	**Cr**	**Ni**	**Cu**	**Fe**
Steel	0.67	0.20	0.67	0.008	0.01	0.01	0.159	0.07	0.35	Bal.

<u>تحضير عينات الاختبار</u>: تؤثر سماكة العينة على امتصاص المادة للأمواج فوق الصوتية خلال انتقال الموجة من مصدرها خلال مقطع العينة، والعودة ثانية آلي مصدرها، لذلك تم تحضير عينات بسماكات مختلفة كما ميوضح الشكل (1-3).



شكل (1-3) أبعاد عينة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية

يظهر الشكل (2-3) أبعاد عينات اختبار الشد القياسية المستخدمة لتحديد قوة الشد ونسبة الاستطالة والصلادة.



شكل (2-3) أبعاد عينات اختبار الشد والصلادة

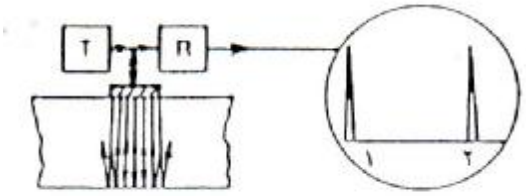
المعالجة الحرارية: تمت معالجة عينات الاختبار حراريا بطرق متعددة للحصول على بنيات متنوعة،وشملت هذه الطرق التنسيق(Normalized) –التقسية (Hardening) – المراجعة عند درجات حرارة مختلفة(Tempering) .

وبعد المعالجة تم صقل العينات بدولاب ناعم من مادة السبيداج من أجل إزالة الطبقة الأكسيدية للحصول على أسطح نظيفة. وفي هذه الحالة تمت معاملة الأسطح المقابلة كعاكسات اصطناعية للأمواج فوق الصوتية .

عملية الاختبار بالأمواج فوق الصوتية: تم القيام بالتجارب في جامعة حلب –كلية الهندسة الميكانيكية مخبر المعادن والمعالجات الحرارية ،باستخدام جهاز كشف العيوب بالأمواج فوق الصوتية من نوع (SITESCAN) مع مسبار صوتي عمودي نوع (Krautkramer). تمت معايرة الجهاز باستخدام نموذج قياسي بحيث تتناسب سعة الصدى للأمواج المنعكسة مع ارتفاع الشاشة الكامل.

ولتحقيق التماس الصوتي بين المسبار والقطعة المراد فحصها، تمت تغطية سطح العينة بطبقة من زيت المحركات.

وفي هذه الدراسة تم استخدام طريقة الصدى النبضي لاختبار العينات، لأنها تنفذ من جانب واحد للقطعة المراد اختبارها. تنحصر هذه الطريقة في تعريض القطعة إلى نبضات فوق صوتية قصيرة بشكل عمودي على العينة من جهاز البث T، وتسجيل إشارة الصدى المنعكسة عن الجدار المقابل والموجهة إلى الجهاز المستقبل R شكل (3-3).



شكل (3-3) طريقة الاختبار بالصدى النبضي

الاختبار الميكانيكي:

اختبار الشد: تم استخدام آلة اختبار شد عامة ذات سعة 10T. تقرأ القوة على دينامومتر ذو إطار، وتسجل استطالة العينات بوساطة مقياس بحساسية (1/100mm). تم تمثيل النتائج في الجدول (2-3) .

اختبار الصلادة: في هذه الدراسة تم اختبار الصلادة بجهاز فيكرز (VICKER) والنتائج موضحة بالجدول المذكور سابقاً.

جدول (2-3) المعالجة الحرارية والخصائص الميكانيكية

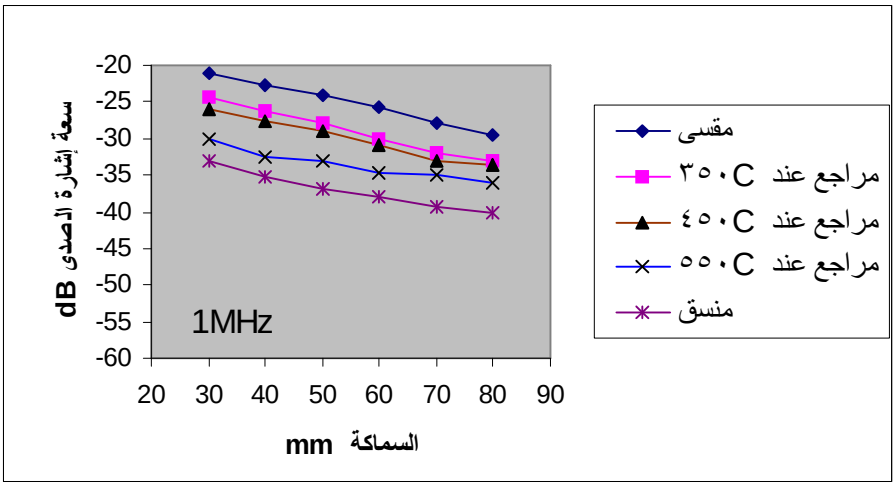
نوع المعالجة الحرارية	درجة حرارة التسخين C°	زمن التسخين min	الخصائص الميكانيكية		
			الصلادة (HV)	إجهاد الشد (MPa)	نسبة الاستطالة(%)
التنسيقNormalized	820	75	248	840	16.5
التقسية Hardened	820	60	685	2240	3.5
المراجعة عند حرارة 350C°	820	40	560	1834	8.5

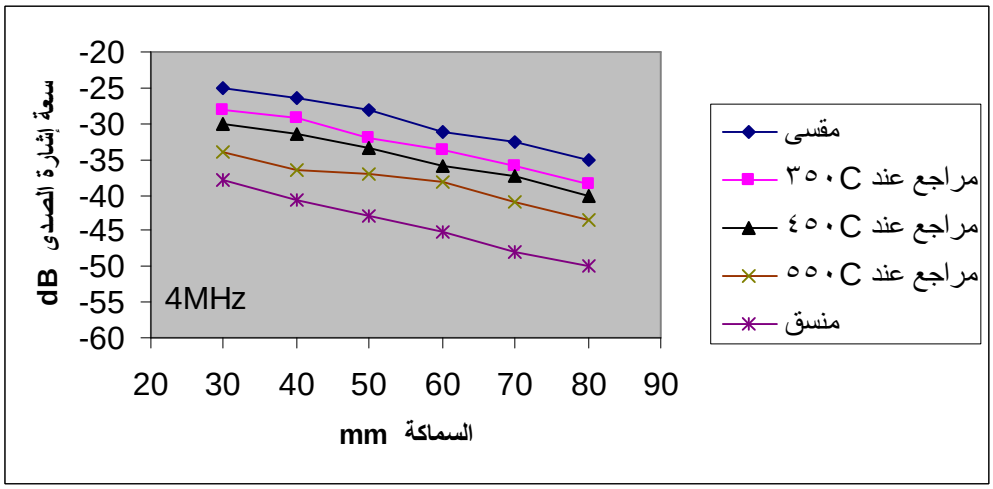
Tempered					
المراجعة عند حرارة 450C°	820	40	447	1422	12.0
المراجعة عند حرارة 550C°	820	40	373	1181	13.0

النتائج والمناقشة :

تأثير المتغيرات فوق الصوتية :

تبين النتائج الموضحة في الشكل (4-1) أن تردد الاختبار المستخدم يؤثر على سعة إشارة الصدى للأمواج المنعكسة ،حيث نلاحظ أنه للحصول على سعة إشارة مرتفعة يلزم استعمال تردد منخفض1MHz .وفيما يتعلق بالسماكة فيكفي أن ننظر إلى الشكل نفسه حيث نلاحظ أنه بزيادة السماكة تقل سعة إشارة الصدى للأمواج المنعكسة مع ثبات التردد،ويعود السبب إلى زيادة الضياعات في طاقة الأمواج فوق الصوتية بسبب انعكاسها وامتصاصها في المستويات الذرية للبلورات ، لذلك يجب الأخذ بعين الاعتبار هذه العوامل عند إيجاد المنحنيات البيانية .





شكل (4-1) سعة إشارة الصدى الأعظمية

الاستجابة للأمواج فوق الصوتية/المعالجة الحرارية:

يبين الشكل (1-4) مقدرة تقنية الأمواج فوق الصوتية لتقدير حالة المعالجة الحرارية للصلب الكربوني، وهذا يرتبط بتنوع البنيات الميكروسكوبية خلال حالات المعالجة الحرارية المختلفة .

من الشكل السابق نلاحظ أن إشارة الصدى تكون كبيرة في حالة الصلب المقسى ، وعند مراجعته تنخفض سعة إشارة الصدى تبعا لدرجة حرارة المراجعة. سعة إشارة الصدى الأصغرية تكون في حالة الصلب المنسق.

وتكون بنية الصلب المنسق مزدوجة الطور: فهي تحتوي على الفريت الناعمFerrite والسمنتيت Cemintite ويدخل هذان الطوران في تركيب البرليت Pearlite ،وبسبب عدم التجانس لهذه البنية يحدث انتشار للموجة فوق الصوتية مما يؤدي إلى خسارة إضافية للطاقة،تؤدي إلى انخفاض سعة إشارة الصدى المسجلة .

أما بنية الصلب المقسى فتنتج عن تبريد الاوستنيت المتجانس(Austenite) الناتج عن تسخين الصلب إلى درجة حرارة التصليد وتبريده تبريداً مفاجئاً إلى الدرجة الحرارة اللازمة فيتحول كلياً إلى مارتنسيت (Martensite) . هذا التحول في البنية يؤدي إلى انعكاس نسبة عالية من الموجة فوق الصوتية .

عند مراجعة المارتنسيت يتحول إلى تروستيت (Troostite) أو سوربيت (Sorpite) كلياً أو جزئياً ،وهذا يعتمد على درجة حرارة التسخين وطول بقاء العينة عند هذه الحرارة. إن بنية التروستيت والسوربيت أيضا مزدوجة الطور ولكنها مختلفة في التشتت للفريت والسمنتيت لذلك تزداد قدرة الامتصاص للطاقة وتقل سعة الإشارة المنعكسة .

وقد أظهرت الأعمال [4,5] أن طريقة الصدى يمكن استخدامها كوسيلة للتحقق من التبدلات الناتجة في بنية الصلب المنسق (Normalized steel) والملدن(Annealed steel) ، وبينت النتائج بوضوح تأثير البنية على سعة الصدى في كلا الحالتين .

<u>الاستجابة للأمواج فوق الصوتية/الخصائص الميكانيكية :</u>

هي محاولة للربط بين شدة إشارة الصدى مع الخصائص الميكانيكية مثل الصلابة، قوة الشد، نسبة الاستطالة للصلب الكربوني المعالج حراريا.الشكل (2-4) تم إنشائه لتوضيح إمكانية تقدير كل من الخصائص الميكانيكية بطريقة لا إتلافية . يظهر الشكل (2-4) بشكل واضح استجابة مدى الصدى وخاصة عند استخدام تردد منخفض 1MHz . عامل آخر مهم هو عمق التغلغل الذي يجب أخذه بعين الاعتبار إذا ما أريد الحصول على علاقة يمكن الاعتماد عليها.

وبالمقارنة بين حالات المعالجة الحرارية المختلفة فأن التخميد الصوتي يكون أكبر ما يمكن عند الصلب المنسق،حيث تتميز بنية هذا الصلب بصلادة منخفضة وليونة عالية ،لذلك تكون قادرة على امتصاص طاقة أكبر

ويكون الهيكل الشبكي للمارتنسيت مكعبا وسطيا التمركز، أجبر على إذابة نسبة من الكربون أكبر من النسبة التي يستطيع استيعابها في الحالة التوازنية، لهذا فان ذرات الكربون هذه سوف تسبب تشوها في الهيكل الشبكي وتضعه في حالة إجهادية تجعل البلورة تتمتع بقساوة عالية وليونة منخفضة ،مما يسبب تخميداً صوتياً أقل.

وتتغير القساوة في المراجعة بسبب التغيرات في البنية ، وبزيادة درجة حرارة المراجعة تتناقص القساوة بسبب خشونة جزيئات السمنتيت وانتزاع الكربون من المحلول الصلب ،ويترافق ذلك مع ازدياد الليونة.

ولأن أية زيادة في الليونة تقابلها زيادة قدرة التخميد ويصبح المعدن قادراً على امتصاص طاقة أكبر .

وكنتيجة فان التخميد في حالة الصلب المقسى يكون أقل من حالة الصلب المراجع ، ويقل مع زيادة درجة حرارة المراجعة.

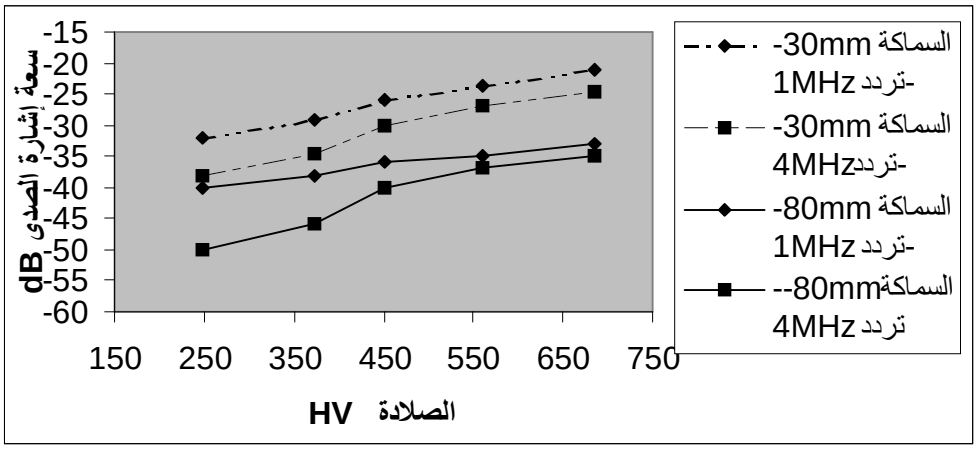
وقد تم القيام بنفس العمل المشابه من قبل لي(Lee)وسين (Suen) بدراسة عينات من حديد الزهر (cast iron) ووجدوا أنه توجد علاقة طولية بين شدة إشارة الصدى والخصائص الميكانيكية [6].وكذلك بالعودة إلى المواقع [7,8] تم التأكد من إمكانية استخدام الأمواج فوق الصوتية كطريقة سهلة وبسيطة وغير مكلفة لتحديد الخواص الميكانيكية للمواد المعدنية وغير المعدنية.

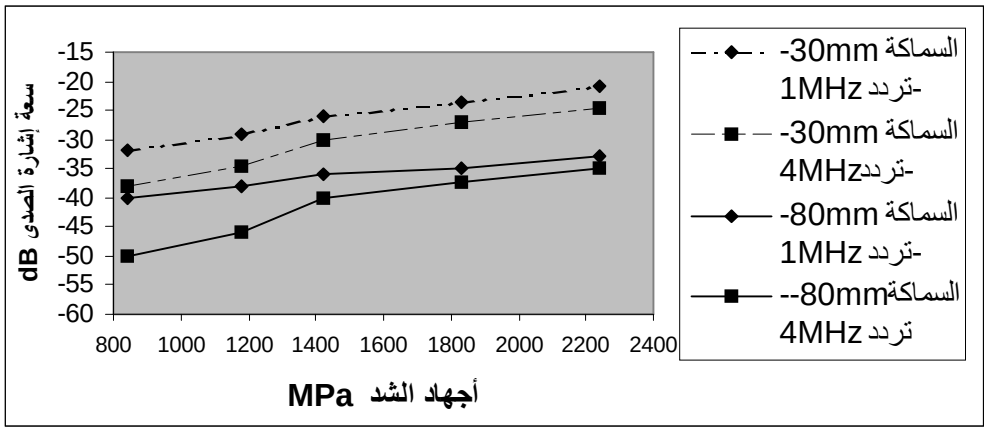
الاستنتاجات:

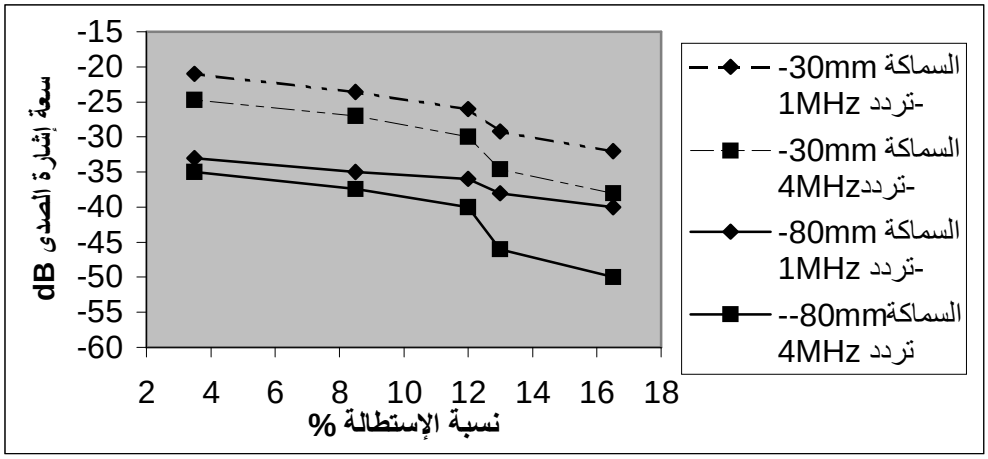
1-ينصح باستخدام تردد منخفض 1MHz للحصول على سعة إشارة صدى عالية.

2-يلاحظ أنه يوجد علاقة طولية بين سعة الصدى والخصائص الميكانيكية والذي يتأثر بعمق التغلغل وتردد الاختبار.

3-إن معرفة كل من محتوى الكربون وحالة المعالجة الحرارية جوهري،لتقدير الخصائص الميكانيكية بطريقة لا إتلافية يعتمد عليها.







شكل(2-4) العلاقة بين سعة إشارة الصدى والصلادة وإجهاد الشد ونسبة الاستطالة عند استخدام الترددات 1MHz&4MHz للسماكات 30mm&80mm

المراجع:

.....

1-Выборнов Б.И.,Ультразвоковая дефектскопия, Москва, Металлургия,1984

2- Гудков А.А.,Словский Ю.И., Методи измерения твердости металлов и сплавов,Москва, Металлургия,1982

3-Sharpe ,R ,S. " Research Techniques in Non- Destructive Testing " Vol .4 Academic Press London (1980) pp .150-220 .

4-Prasad, R, & Kumer, S ." All Investigation into the Ultrasonic Behaviour of Cast and Heat-Treated Structures in Steel " British Journal of NDT ,Vol.33 No. 10 ,OCT.1991 pp.506- 509 .

5- V.F. Byzov, V.S. Morkun .Ultrasonic Testing of the Milled Material Characteristics. Krivoy Rog Technical University, Ukraine 2003

6 - Lee ,s & Suen, J. " Ultrasonic Non- Destructive Evaluation of Matrix Structure and Nodularity in Cast Irons " Journal of metallurgical transaction Vol .20A.1989, pp 2399-2405 .

7- http://www.ndt.net/article/wcndt00/index.htm

8- http:// www.ndt.net/article/wcndt00/papers