استخدام تقنية الموجات فوق الصوتية لتقييم بعض المواصفات الميكانيكية (الثوابت الميكانيكية) لسبائك حديدية وغير حديدية[+]

USING ULTRASONIC TECHNIQUE TO EVALUATE SOME MECHANICAL PROPERTIES OF FERROUS AND NON FERROUS ALLOYS

حسين جاسم العلكاوي[*] فاتن نعمان[**] يسرى توما العمران[***]

المستخلص

في هذا البحث تم إيجاد بعض المواصفات الميكانيكية (الثوابت الميكانيكية) والتي هي معامل المرونة (E) ومعامل الجساءة (G) ونسبة بواسون باستخدام تقنية الأمواج فوق الصوتية لسبيكتين هما سبيكة الألمنيوم 2024وسبيكة الفولاذ متوسط الكاربون 1540 وحسب المواصفةAISI الامريكية وتمت المقارنة بين نتائج هذه التقنية ونتائج فحص الشد وكانت المقارنة متطابقة إلى حد كبير .البحث الحالي يوصي باستخدام هذه التقنية بدلا من فحص الشد .

ABSTRACT

In this study, the mechanical constants namely modulus of elasticity, modulus of rigidity and *possions* ratio, are determined using the ultrasound waves technique for two alloys, the first is 2024 Aluminum alloy and the second is carbon steel 1540. Comparison between the results of the above technique with the results obtained by the tensile test was made. The results are in good agreement. The present work recommends using the ultrasound waves technique instead of the tensile test.

المقدمة

أن أستخدام المواد وبالأخص المعادن في أي تصميم ميكانيكي يعتمد أساسا على أستخراج المواصفات الميكانيكية الستاتيكية من خلال تجربة الشد للعينات ويمكن أستخراج المواصفات الداينميكية أعتمادا على هذه المواصفات ومن المفضل أستخراج المواصفات الداينميكيةعمليا ومثال ذلك فحص عمر العينات بأستخراج منحني العمر للكلال وحسب نوع الحمل الداينميكي وأسلوب تسليطه وأن أستخراج المواصفات الستاتيكية يعتمد على فحص تدميري ولكي نفهم أهمية هذه المواصفات في مجال التصميم يفضل أن نعطي نبذة عن مفاهيم هذه المواصفات .

[+] تاريخ استلام البحث :٢٠٠٥/٩/٢١، تاريخ قبول النشر : ٢٠٠٦/٧/٢٤

[*] استاذ/قسم التعليم التكنولوجي/ الجامعة التكنولوجية/بغداد/العراق.

[**] مدرس مساعد/قسم التعليم التكنولوجي/ الجامعة التكنولوجية/بغداد/العراق.

[***] مدرس مساعد/قسم الإنتاج والمعادن/ الجامعة التكنولوجية/بغداد/العراق.

الشكل رقم (١) يعطي أيضاحاً لنتائج اختبار الشد للمعادن الحديدية واللاّحديدية والمواصفات مؤشرة على المنحني في الشكل رقم (١) .

١- **مقاومة الشد(Su)ultimate tensile strength** .

وهي أعلىنقطة في المنحني وتسمى أحيانا tensile strength بعد هذه النقطة يحدث نقصان في قطر العينة أو أبعادها اذا كانت غير دائرية إذ أن هذه القيمة تمثل أعلى أجهاد يتحمله المعدن .

٢- **مقاومة الخضوع(δy) Yield strength**

تمثل هذه القيمة أو النقطة على المنحني زيادة كبيرة في الانفعال (Є) مع زيادة طفيفة جدا في الإجهاد وقد لاتكون هذه الزيادة في الإجهاد إطلاقا وتمثل هذه النقطة الخضوع أو الاستطالة اللدنة إذا كانت هذه النقطة واضحة كما في الشكل (1-a) فأنها تسمى yield point وإذا لم تكن واضحة تسمى yield strength كما في الشكل(1-b) .غالبا لا تظهر هذه النقطة بشكل واضح وخاصة في المعادن غير الحديدية شكل (1-b) فيمكن استخدام طريقة offset method والتي تعتمد على قياس 0.20% من الانفعال أي 0.002 ومن هذه النقطة يرسم إجهاد الخضوع ويسمى Yield strength.

٣-**حد التناسب proportional limit**.

هذا الحد أو النقطة تحتها يمكن تطبيق قانون Hook وبعدها لايمكن تطبيق هذا القانون وغالبا ما يكون في موقع نقطة الخضوع .

٤-**معامل المرونة (E) Modulus of elasticity .**

هي خاصية المادة لمقاومة التشوه وهي قيمة ثابتة ويمكن أستخراجها من ميل الخط المستقيم (منطقة المرونة) أو استخدام قانون Hook .

$$E = \frac{stress}{strain} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \qquad \text{.....(١)}$$

٥-**المطيلية Ductility**

وتسمى أحيانا نسبة الأستطالة والشكل رقم (٢) يوضح كيفية قياس هذه الخاصية بأستخدام المعادلة التالية:

$$ductility = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\,\% \qquad \text{..... (٢)}$$

للمواد المطيلية تتراوح قيمة خاصية المطيلية Ductility لها أكثر من 5% إذ أن هذه المواد تقاوم الأحمال المتكررة اما المواد الهشةBrittle material فأن قيمة المطيلية لها أقل من 5% ولكي تكون المواد قادرة على ان تتحمل الأحمال المتكررة بشكل كبير فأن خاصية المطيلية يجب أن تكون أكثر من 12% [1] .

٦-**مقاومة القص shear strength (Sus) و ومقاومة الخضوع في القص (Sys) .**

يمكن استخراج هذه القيم من المواصفات الميكانيكية أعلاه وكالأتي[1] :

$$S_{YS} = \frac{S_Y}{2} = 0.5S_Y \ldots\ldots yield.strength.in.shear \qquad \ldots\ldots(٣)$$

$$S_{uS} = 0.75S_u = \ldots\ldots ultimate.strength.in.shear \qquad \ldots\ldots (٤)$$

٧-<u>نسبة بواسون(ν) Poisson ratio</u>

يمكن حساب قيمة نسبة بواسون في المعادلات التالية ، لاحظ الشكل (٣).

الانفعال الطولي (Axial Strain) =

$$\in_{linear} = \frac{L_f - L_o}{L_o}$$

الانفعال الجانبي (Lateral Strain) =

$$\in_{lateral} = \frac{h_f - h_o}{h_o} \quad \text{---------- (5)}$$

$$\nu = \frac{- \in_{lateral}}{\in_{axial}} \quad \text{---------- (6)}$$

ويمكن اعطاء قيم نموذجية لهذه الخاصية كما في الجدول التالي

جدول رقم (١): قيم نسب بواسون لبعض المعادن [2] .

Aluminm and Titanium	Cast iron	للفولاذ steel
0.3-0.33	0.27-0.3	0.25-0.27

٨-<u>٨- معامل الجساءة أو معامل المرونة في القص</u>

يمكن حساب هذه القيمة من خلال معرفة معامل المرونة (E)ونسبة بواسون (ν) من خلال المعادلة التالية :

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(٧)$$

أو يمكن أستخراجها عمليا من تجربة الألتواء إذ تمثل ميل الخط المستقيم للعلاقة بين اجهاد القــص (τ) وأنفعــال القص (γ) من خلال المعادلة التالية:

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(٨)$$

٩- ٩- معادلة الثني Flexural modulus

هي العلاقة بين نسبة الإجهاد إلى الانفعال في تجربة الانحناء أو الثني (bending) وهذه القيمة تختلف عن معامل المرونة في الشد ولغرض معرفة التفاصيل بعمق عن هذه الخاصية يمكن الرجوع إلى ASTM Standard D790 .

١٠- ١٠-الصلادة

من خلال معرفة الأجهاد الأقصى من تجربة الشد (Su) يمكن الحصول على الصلادة بشكل تقريبي للمواد الحديدية من خلال المعادلة التالية[1] :

$$0.5[HB] = approximate \cdot tensile \cdot strength(S_u) \quad \text{.....(٩)}$$

وهذه العلاقة مبينة في الشكل رقم (٤).

في أي تصميم على المهندس الميكانيكي أن يستخرج هذه المواصفات لغرض معرفة تحمل المادة المراد استخدامها صلاحيتها تحت ظروف العمل المراد إجراء التصميم له لذا يتوجب أن تكون هذه المواصفات معلومة لدى المصمم قبل بدء التصميم ولكي نستحصل هذه المواصفات بطريقة غير أتلافية كما في تجربة الشد سنعمل على استخراج بعض هذه المواصفات بطريقة الموجات فوق الصوتية (Ultrasound wave) إذ أن مبدأ هذه الطريقة يعتمد على ما يلي :

١-المعدل الزمني لانتشار الطاقة خلال وحدة المساحة العمودية على اتجاه انتشار الموجة وتقاس بوحدات (J/m^2s)ويرمز لهذا المعدل بالرمز (I)

٢-. سرعة الصوت في الوسط وتقاس بوحدات (m/s) ويرمز لها (V) .

ويمكن تلخيص العوامل أعلاه بالمعادلة التالية :

$$I = V * \rho \quad \text{..... (10)}$$

هنالك أنواع عدة للموجات فوق الصوتية منها الطولية وتسمى أحيانا التضاغطية إذ تنتشر هذه الموجات في المواد الصلبة والسائلة والغازية ويمكن حساب سرعة هذه الموجات من خلال المعادلة التالية (موجة طولها قصير)

$$V_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \text{..... (11)}$$

حيث أن :

VL : سرعة الموجة الطولية.

E : معامل المرونة.

إما في حالة الطول الموجي الكبير فيمكن استخدام المعادلة التالية :

$$V_L = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad \text{..... (12)}$$

حيث أن :

V: معامل بواسون. ρ: كثافة المادة

أما الموجات المستعرضة (V_T) فأن سرعتها في الأجسام الصلبة المعقدة تعتمد على معامل القص من خلال المعادلة التالية :

$$V_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

حيث أن

G: معامل الجساءة أو معامل القص.

ونسبة سرعة الموجات الطولية V_L إلى الموجات العرضية V_T هي:

$$\frac{V_L}{V_T} = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{(1-2\nu)}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

البحوث السابقة

أن من البحوث الحديثة في هذا المجال هو البحث الذي قامت بـه الباحثـة (منيـرة) [٣] حيـث اسـتخدمت لأختبارالشد تقنية الموجات فوق الصوتية للفولاذ الكار بوني والمقاوم للصدأ والألمنيوم والنحاس وقد قارنـت النتـائج العملية (معامل المرونة) مع النتائج العملية لفحص الشد وكانت النتائج جيدة ومتقاربة للمعادن المستخدمة في هذا البحث.

قام الباحث الحربي واخرون [٤] باستخدام تقنية الموجات فوق الصوتية لمتراكبات خرسـانية مـع اسـتخدام طريقة التردد الرنيني لقياس معامل المرونة ونسبة بواسون ومعامل الجساءة وكانت النتائج متطابقة إلى حد كبير [٤].

أما الباحث العاني فقد درس تأثير نوعية الألياف والكسر الحجمي علـى الخـواص الميكانيكيـة والداينمكيـة باستخدام طريقة الموجات فوق الصوتية للخرسانة المدعمة بالألياف وقد استخدم ثلأثة انواع من الألياف إذ كـان لهـذه الألياف دور كبير في تحسين الخواص ولأحظ أن هناك تطابق الى حد ما مابين النتائج العملية والنظرية[٥].

الجانب العملي

تم استخدام نوعين من المعادن إحدهما حديدي والأخر لاحديدي ،المواصفات الكيمياوية مبينة في الجدول رقم (٢)

جدول (٢) :التركيب الكيمياوي للسبائك المستخدمة (الأوزان بنسب مئوية)

نوع المعدن	**العناصر wt%**							
سبيكةالألمنيوم 2024	Ni	Fe	Si	Zn	Mn	**Mg**	**Cu**	**AL**
عملي	0.1	0.28	0.12	0.43	0.43	0.244	4.0	الباقي
قياسي	0.09-0.15	0.2-0.3	0.1-0.15	0.4-0.5	0.4-0.5	0.2-0.3	3-5	الباقي
فولاذكاربوني 1540	C	Si	Mn	P	S	**Fe**		
عملي	0.4	0.2	0.6	0.035	0.035	الباقي		
قياسي	0.45	0.15-0.25	0.5-0.7	0.035	0.035	الباقي		

تحضير عينات الشد

تم تحضير عينات الشد بأسلوب التشغيل الميكانيكي وبعدد(٣) عينات لكل سبيكة مستخدمة حسب المواصفة (DIN 50114) وتم أجراء الفحص باستخدام جهاز فحص الشد المبرمج تفاصيل هذا الجهاز مبينة في المصدر[٦] شكل رقم (٥) يمثل أبعاد عينة الشد حسب المواصفة أعلاه .

النتائج والمناقشة

١-فحص الشد

تم أجراء فحوصات لكل سبيكة وأخذت متوسط القراءات والجدول التالي يمثل متوسط القراءات والمتمثلة بالمواصفات الميكانيكية.

جدول رقم (٣): متوسط نتائج فحص الشد والمتمثلة بالمواصفات الميكانيكية لنوعين من المعادن .

نوع السبيكة	المواصفات الميكانيكية							
سبيكة الألمنيوم 2024	E(GPa)	σ_y	σ a(MPa)	المطيلية %	RA %	G(GPa)	HB	V
	70	235	490	15.4	19	31	117	0.3
سبيكة فولاذ كاربون1540	218	472	663	19.3	9.4	80	130	0.31

٢- نتائج فحص المواصفات الميكانيكية (الثوابت الميكانيكية) باستخدام تقنية الموجات فوق الصوتية

جدول رقم (٤)يمثل نتائج الفحوصات المستخدمة بواسطة تقنية الموجات فوق الصوتية وتفاصيل استخراج القيم أدناه موضحة في الملحق (أ) إما تفاصيل جهاز الفحص بالموجات فوق الصوتية مشروح بشكل مفصل في المصدر [٣].

جدول (٤): البيانات المستحصلة لأسخراج المواصفات الميكانيكية

نوع السبيكة	سمك المعدن mm	الكثافة (ρ) kg/m^3	نسبة بواسون	السرعة الطولية V_L m/sec	السرعةالمستعرضة V_T m/sec
ألمنيوم2024	10	2732	0.343	6410	3130
فولاذ كاربوني	10	7680	0.268	5780	3250

إما الجدول رقم (٥)يمثل الثوابت الميكانيكية الرئيسية للسبائك المستخدمة باستخدام تقنية الموجات فوق الصوتية [ملحق ب يوضح تفاصيل استخراج هذه القيم]

جدول رقم (٥) :الثوابت الميكانيكية الرئيسية باستخدام تقنية الأمواج فوق الصوتية.

سبيكة الألمنيوم 2024			فولاذ كار بوني		
V	G(GPa)	E(GPa)	V	G(GPa)	E(GPa)
0.343	26.76	72	0.268	81.12	206

مناقشة النتائج

مناقشة النتائج لفحص الشد

من خلال مقارنة النتائج لفحص الشد مع النتائج القياسية كانت قريبة منها والجدول رقم (٦) يمثل النتائج العملية والقياسية.

جدول (٦):مقارنة نتائج فحص الشد مع القياسية.

	سبيكة فولاذ كاربوني			سبيكة الألمنيوم 2024		
التسمية	E(GPa)	G(GPa)	υ	E(GPa)	G(GPa)	υ
النتائج العملية	218	80	0.38	70	31	0.3
النتائج القياسية	210	79	0.33	73	27.65	0.32

وهذا الاختلاف ناتج عن المقياس المعياري إذ معظم المصادر الخاصة بالمواصفات تعطي مدى لهذه القيم ومثال ذلك ما ذكره المصدر [1] حيث يعطي قيم معامل المرونة لسبائك الألمنيوم ما بين Gpa (69-73).

ب- مقارنة نتائج فحص الشد مع نتائج الموجات فوق الصوتية.

الجدول (٧) يبين مقارنةقيم معامل المرونة ومعامل الجساءة ونسبة بواسون بالطريقتين

جدول (٧) :مقارنة قيم الثوابت الميكانيكية بطريقة الفحص الميكانيكي والأمواج فوق الصوتية .

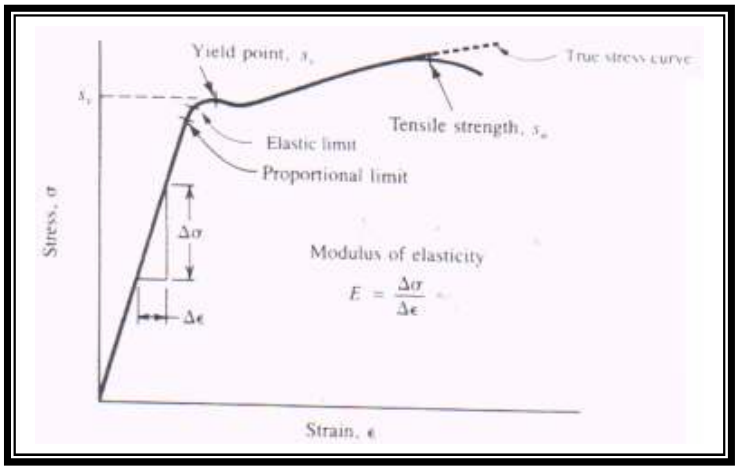
	فولاذ كاربوني			سبيكة الألمنيوم 2024		
	E(GPa)	G(GPa)	υ	E(GPa)	G(GPa)	υ
فحص الشد	218	80	0.38	70	31	0.3
فحص الأمواج فوق الصوتية	206	81.12	0.268	72	26.76	0.343

يتضح من الجدول أعلاه أن أستخراج هذه الثوابت بطريقة الأمواج فوق الصوتية دقيق مقارنة مع الفحص الميكانيكي إذ أن طريقة الأمواج فوق الصوتية تمتاز بسرعة إعطاء النتائج ولا تتلف المعدن لذلك يفضل استخدام هذه الطريقة بدلا من فحص الشد الذي هو فحص تدميري وهذا ما يتفق مع الباحث[5] [3] . إذ أن هذين الباحثين درسوا فقط معامل المرونة وأوصوا باستخدام هذه الطريقة بدلا من طريقة فحص الشد .

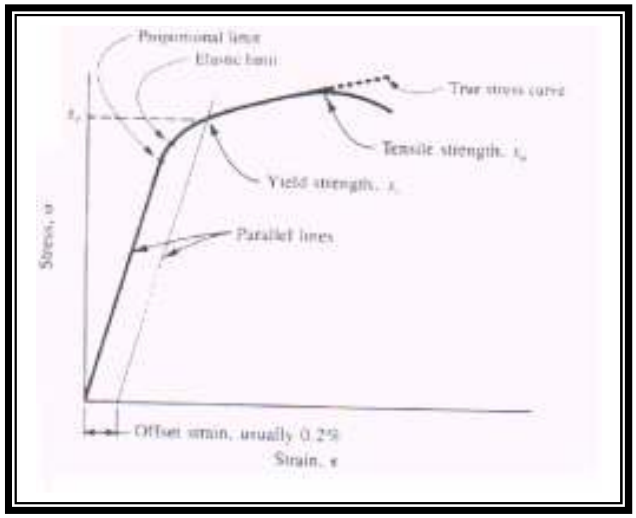
الاستنتاجات

١- يمكن الاستغناء عن الفحص الميكانيكي لأستخرج الثوابت الميكانيكية والتي هي معامل المرونة ومعامل الجساءة و نسبة بواسون من خلال استخدام تقنيةلإمواج فوق الصوتية.

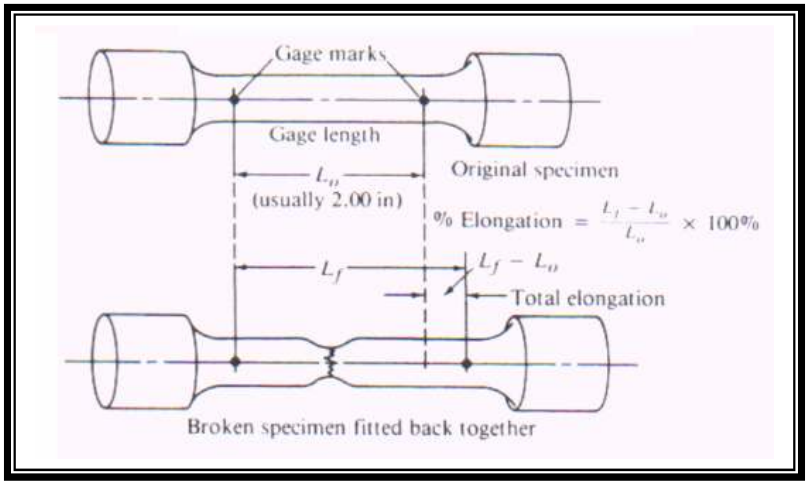
٢- نتائج فحوصات تقنية الأمواج فوق الصوتية كانت متوافقة مع نتائج فحص الشد بدرجة كبيرة جداً.



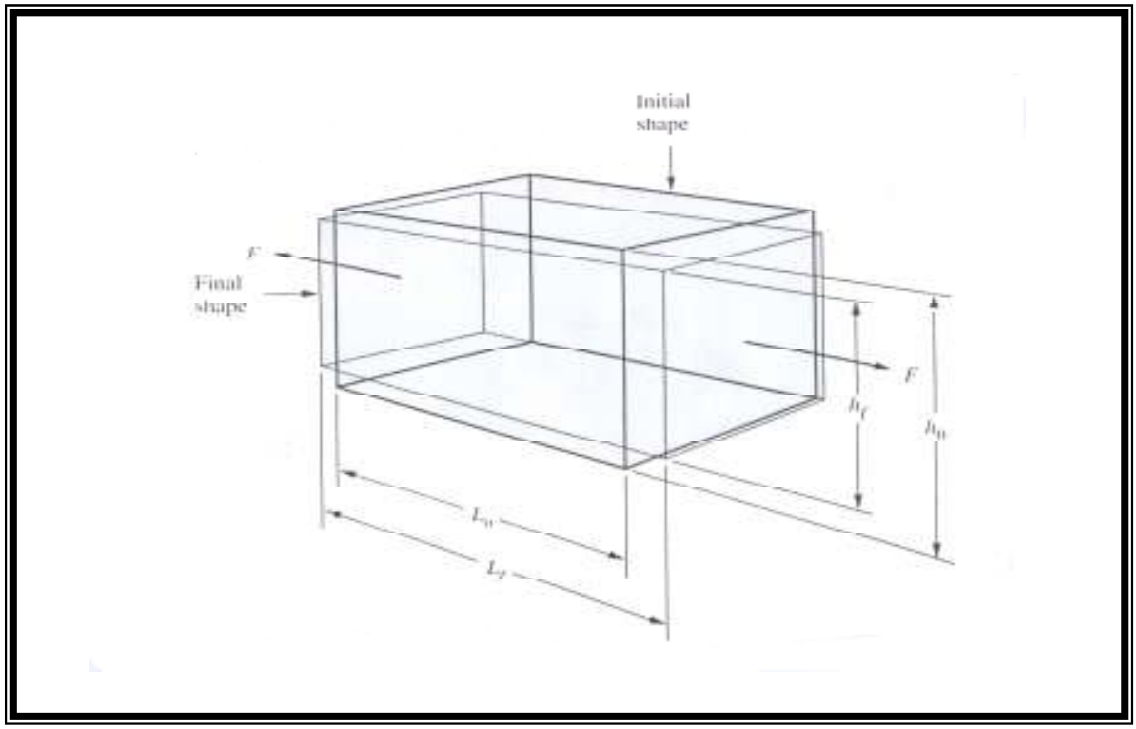
الشكل رقم (a−١): تمثل الخواص الميكانيكية للمعادن الحديدية وغير الحديدية



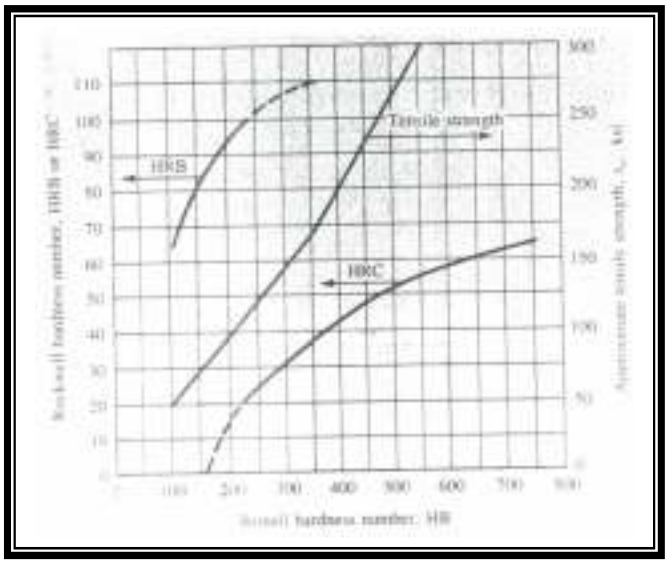
الشكل رقم (b−١) :يمثل خاصية المطيلية أو الاستطالة كنسبة مئوية وكيفية حسابها عمليا .



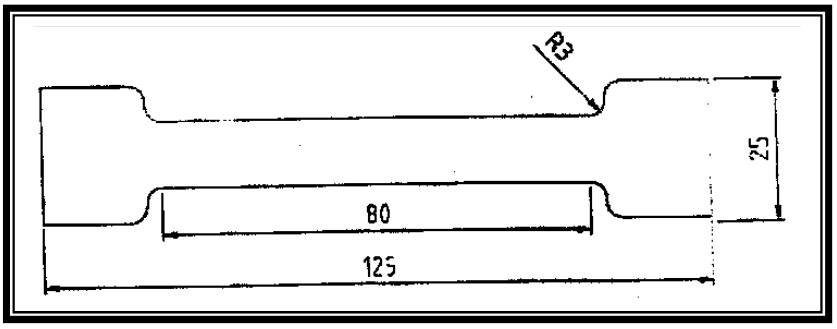
الشكل رقم (2): يمثل حساب نسبة بواسون الثابتة من خلال الإبعاد أعلاه .



شكل رقم (٣): حساب نسبة بواسون الثابتة من خلال الأبعاد اعلاه



شكل رقم(٤): علاقة الاجهاد الاقصى مع الصلادة



الشكل رقم (٥) :يمثل أبعاد العينة المستخدمة في فحص الشد حسب المواصفة(DIN 50114) الأبعاد بالمليمترات

الملحق (أ)

قياس السرع الطولية (الانضغاطية)

تم استخدام عينة قياسية من الفولاذ بسمك ثابت وبسرعة طولية ثابتة لغرض استخراج زمن مـــرور الموجـــة والتي ستؤخذ معيارا لاستخراج السرع الطولية لبقية السبائك باستخدام العلاقة التالية :

$$V_L = \frac{L}{t} \qquad \text{.... (1-أ)}$$

حيث أن :

VL: السرعة الطولية m/sec

L: المسافة بين الوجهين التي تنعكس بها الموجة المتقابلة أي سمك العينة (m)

t: زمن مرور الموجة (sec).

ثم يمكن استخدام المعادلة التالية لاستخراج معامل المرونة (E)

$$V_L = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \qquad \text{... (2-ب)}$$

تم الحصول على قيم (ρ) للسبائك المستخدمة في هذا البحث من المعادلة (أ–٣) وكانت كالتالي 2732Kg/m3 لسبيكة الألمنيوم 2024وللفولاذ الكار بوني 7680Kg/m3.

الكثافة الوزنية=الوزن في الهواء/الوزن في الهواء–الوزن في الماء $= \rho_{alloy}$

اما نسبة بواسون فقد تم حسابها من معرفة V_L و V_T من خلال المعادلة التالية :

$$\frac{V_L}{V_T} = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{(1-2\nu)}} \qquad \text{.....(أ–٤)}$$

تم الحصول على قيم V_T لهذه السبائك من المصدر [7] . وكانت كالأتي :

جدول(أ–١): قيم السرعة المستعرضة المصدر [7] .

	V_T m/sec
الفولاذ	3250
الألمنيوم	3130

من خلال تطبيق المعادلة (أ–٤) تم الحصول على قيم (ν) للسبائك المستخدمة وكالأتي :

قيم نسبة بواسون من خلال معرفة السرع الطولية والمستعرضة.

سبيكة الفولاذ الكار بوني	سبيكة الألمنيوم 2024
0.268	0.343

ملحق(ب)

من خلال معرفة نسبة بواسون والسرع الطولية من ملحق (أ) يمكن أستخراج المواصفات الميكانيكية مستخدمين تقنيـــة الأمواج فوق الصوتية ومن خلال تطبيق المعادلات التالية:

سبيكة الألمنيوم 2024

$$V_L = \sqrt{\frac{E\ (1 - \nu\ )}{\rho\ (1 + \nu\ )(\ 1 - 2\nu\ )}}$$

$$6410 = \sqrt{\frac{E\,(1 - 0.343\ )}{2732\ \ (1 + 0.343\ )(1 - 2(0.343\ ))}}$$

$$41088100 = \frac{0.657\ E}{152\ .089}$$

$$E = 7.2 \times 10^{10}\ N\ /\ m^2$$

$$E = 72 \times 10^{9}\ N\ /\ m^2 = 72\ GPa$$

سبيكة الفولاذ الكاربوني

$$5780 = \sqrt{\frac{E(1 - 0.268)}{7680(1 + 0.268)(1 - 2(0.268))}}$$

$$33408400 = \frac{0.732\ \ E}{4518\ \ .5}$$

$$E = 2.06 \times 10^{11}\ N / m^2$$

$$E = 206\ \ GPa$$

معامل الجساءة G

سبيكة الألمنيوم

$$V_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

$$3130 = \sqrt{\frac{G}{2732}}$$

$$G = 26 . 76 \quad GPa$$

سبيكة الفولاذ الكاربوني .

$$G = 10562500 \times 7680$$

$$G = 81 . 12 \; GPa$$

المصادر

1 -Robert L. Mott *"Machine design"* in mechanical design Pearson Education International-Prentice Hall 2004.

٢ - ASM International. ASM hand book; Vol.10 *"Material selection and design"* 1997.

٣–حميد، منير ڤاظم*"دراسةقياس معامل المرونة للمعادن باستخدام الموجات فوق الصوتية والفحوصات الأتلافية"*،رسالة ماجستير،كلية الرشيد،الجامعة التكنولوجية،٢٠٠٤

4-Harbie .M.J.Abdel ulnoor and Aine, Y.K.A*"Interaction of elastic waves with concrete composities"*challenges of concrete U.K.(2000)

5-Aine, Y.K.A*"Static and dynamicbehaviour of fiber concrete composities* "ph.D.Thesis, university of Baghdad-Iraq (2001).

٦–يوسف علي رحيم*"معالجة الأجهادات المتبقية الناتجة من عمليات الحني للفولاذ"*رسالة ماجستير–كلية الرشيد– الجامعة التكنولوجية،٢٠٠٣.

7-J.Krautkrameand,H.Krautkramer" *Ultrasoni of materials*" ,newyork(1983).