

## دراسة نظرية لايجاد الاجهاد والانفعال الحراري المتولد في زجاجيات السليكا باستخدام أشعة الليزر

غسان سالم عبد الله  
منى مهدي صالح

مؤيد عزيز حسن  
هيفاء علوان عبود

تاريخ قبول النشر ٢٠٠٣/٨/١٠

### الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة نظرية لايجاد الاجهاد والانفعال الحراري في الزجاج نتيجة تعرضها الى نبضات من اشعة ليزر ، فقد تمت الدراسة باستخدام المركبات الثلاثة الرئيسية على اساس نظام المحاور الاسطوانية (r, 0, z). حيث اخذت ثلاث نماذج من زجاج السليكا هي [ (Bk-7) وزجاج صودا لايم (Soda-lime) وزجاج (Fused Silica) ]، وسلط عليها نوعان من اشعة ليزر (DF, CO<sub>2</sub>). حيث اظهرت الدراسة بأن الاجهادات والانفعالات الحرارية للنماذج الزجاجية قيد البحث تكون كبيرة فسي حالة زجاج (Bk-7) وقيم قليلة جدا عند زجاج (Fused Silica) نتيجة التسخين بالليزر (CO<sub>2</sub>). مع ملاحظة ظهور قيم عالية للاجهادات عند المركبة ( $\sigma_{zz}$ ) عند ليزر (DF) وقد تجاوزت مقدار ما تتحمله العينة الزجاجية حيث يؤدي الى حدوث تصدعات في العينة الزجاجية. وقد اظهرت النتائج توافقا جيدا مع النتائج المنشورة والمعتمدة عالميا..

### المقدمة

حيث تتمتع المواد التي يكون تصدعها هشاً، مثل الزجاج بتوصيلية حرارية قليلة لذا فان الاجهادات الحرارية [ التي تعرف بانها مقدار القوة المسلطة على وحدة المساحة في مادة ما وبنوعين داخلي وخارجي ويحدث بسبب الفرق في درجات الحرارة الناجمة من تعرض المادة الى مصادر حرارية بتوزيع معين وتناثر قيمة ونوع الاجهاد بعده عوامل منها قيمة ونوع القوة المسلطة واتجاهها وعددها وقيمة واتجاه مركز درجة الحرارة فضلا عن الفترات الزمنية التي تتعرض فيها المادة [٢]. حيث تظهر بقيم كبيرة في حجم صغير جدا من المادة. كما ان سرعة انتشار الاجهادات في عمق المادة مرتبطة بسرعة انتقال الحرارة. وبما ان قيم التوصيلية الحرارية للزجاج تكون صغيرة لذا فان الاجهادات الحرارية تظهر بقيم كبيرة في حجم صغير جدا

لقد تزايدت استخدامات الليزر بشكل سريع في الآونة الاخيرة وخاصة معاملته مع المواد الاخرى وبزيادة استعمالها. اصبح من الضروري دراسة ومعرفة الكثير عن تأثيراته على الخواص الفيزيائية والميكانيكية والتركيبية لتلك المواد. وفي مجال بحثنا هذا يتم دراسة الاجهادات الحرارية الناجمة عن التأثيرات الحرارية في الزجاج بسبب تعرضها الى نبضة لاشعة ليزر فعند تعرض المواد الهشة (كالزجاج) والخزف وغيرها تظهر داخل العينة اجهادات حرارية مرنة بسبب تدرج درجات الحرارة وتناثر قيمة هذه الاجهادات مع فرق درجة الحرارة ومعامل التمدد الحراري للزجاج وكذلك العوامل التي تؤدي الى زيادة قيمة هذه الاجهادات فاذا فاقت هذه الاجهادات حد المتانة للمادة يلاحظ تصدع المادة [١].

\* أستاذ مساعد-الكلية الهندسية العسكرية-الجامعة التكنولوجية  
\*\* دكتوراه-أستاذ مساعد-قسم الفيزياء-كلية العلوم للبنات-جامعة بغداد  
\*\*\* دكتوراه-مدرس-قسم الفيزياء-كلية العلوم للبنات-جامعة بغداد  
\*\*\*\* ماجستير-مدرس مساعد-قسم الفيزياء-كلية العلوم للبنات-جامعة بغداد

كذلك يمكن حساب الانفعال المتولد في المادة تحت الشروط السابقة نفسها كما في المعادلة التالية [4]:

$$\sigma_{\max} = (1 + \nu) \bar{\alpha} T_{\max} \dots (3)$$

حيث  $\nu$  : نسبة بوزان في الحسابات السابقة تم فرض كل من

$E$ ,  $\bar{\alpha}$ ,  $k$ ,  $R_0$  ثابتة ولا تعتمد على درجة الحرارة.

وعندما تحقق كل من  $w, z, r$  الشروط التالية

$$Z \geq w, r \geq w, W = \alpha w \rightarrow \infty$$

فان المعادلات المستخدمة لحساب قيم الاجهادات والانفعالات الكلية تعطي بالصيغ الآتية [4]:

$$\sigma_{rr} = \frac{w}{r^2} (\sqrt{r^2 + z^2} - z) \frac{2\sigma_{\max}}{\sqrt{\pi}} \dots (4)$$

$\sigma_{rr}$  : هي اجهادات الشد

حيث ان  $r$  : هي نصف القطر.

$z$  : عمق الامتصاص.

$$\sigma_{\theta\theta} =$$

$$\frac{z}{\sqrt{r^2 + z^2}} \frac{w}{r^2} (\sqrt{r^2 + z^2} - z) \frac{2\sigma_{\max}}{\sqrt{\pi}} \dots (5)$$

$\sigma_{\theta\theta}$  : اجهادات محيطية

$$\sigma_{zz} = \frac{-3}{1-\nu} \frac{wz^2}{\alpha^2}$$

$$\left( \frac{3}{(r^2 + z^2)^{5/2}} - \frac{5z^2}{(r^2 + z^2)^{7/2}} \right) \frac{2\sigma_{\max}}{\sqrt{\pi}} \dots (6)$$

$\sigma_{zz}$  : اجهادات الضغط.

$\epsilon_{\max}$  : اعظم انفعال حراري.

$\epsilon_{rr}$  : انفعالات الشد.

$$\epsilon_{rr} = \frac{z}{\sqrt{r^2 + z^2}} \frac{w}{r^2}$$

$$(\sqrt{r^2 + z^2} - z) \frac{\epsilon_{\max}}{\sqrt{\pi}} \dots (7)$$

$\epsilon_{\theta\theta}$  : انفعالات المحيطية

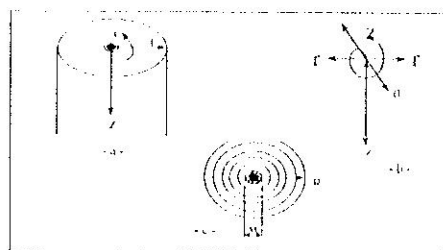
$$\epsilon_{\theta\theta} = \frac{w}{r^2} (\sqrt{r^2 + z^2} - z) \frac{\epsilon_{\max}}{\sqrt{\pi}} \dots (8)$$

$\epsilon_{zz}$  : انفعالات الضغط.

$$\epsilon_{zz} = \frac{w}{\sqrt{r^2 + z^2}} \frac{\epsilon_{\max}}{\sqrt{\pi}} \dots (9)$$

من المادة مقارنة مع سرعة تحركات شعاع الليزر على سطح العينة وهذا يؤدي في نهاية المطاف الى تأخر حدوث تصدع العينة بالسبب لمسار الشعاع الليزري [1].

فعند سقوط شعاع الليزر بشدة وادلثة على سطح الزجاج فان اجهادا حراريا سوف يتولد حيث يعمل هذا الاجهاد على تكوين شقوق على سطح الزجاج ويمكن حساب قيمة الاجهاد المتولد من نظرية الاجهاد المرن (Elastic Stress Theory) اما في حالة الشدات الليزرية العالية فان درجة حرارة السطح ترتفع بصورة تكفي لظهور حالي الاجهاد (Stress) والاسترخاء (Relaxation) خلال فترة التشعيع. ان الطبقة المشععة بالليزر تبرد بعد فترة من انتهاء التشعيع وتتولد اجهادات شد (Tensile Stress) على سطح ويعتمد مقدار اجهاد الشد المتولد بشدة على كل من معامل امتصاص الزجاج والطول الموجي لليزر الساقط وفترة التشعيع [3]. ان اعظم اجهاد حراري ( $\sigma_{\max}$ ) في المادة يظهر عندما تكون ( $Z=0$ ,  $R=0$ ,  $W \rightarrow \infty$ ) حيث  $Z$  تمثل عمق الامتصاص،  $R$ : نصف القطر،  $W$ : عرض الحزمة والذي يمكن حساب قيمته على السطح من المعادلة التالية كما في الشكل (١) [4].



الشكل (١) يوضح الابعاد الاسطوانية ( $r, \theta, z$ )

$$\sigma_{\max} = \frac{E \bar{\alpha}}{2} T_{\max} \dots (1)$$

حيث ان  $E$  : هي معامل يونك

$\bar{\alpha}$  : معامل التمدد الحراري.

$T_{\max}$  : درجة الحرارة العظمى

$$\sigma_{\max} = \frac{P_0(1 - R_0)}{2\sqrt{\pi}kw} \dots (2)$$

حيث ان  $P_0$  : هي القدرة الساقطة.

$R_0$  : هي الانعكاسية

$k$  : هي التوصيلية الحرارية.

$w$  : هي عرض الحزمة.

## الحسابات

- وكانت النتائج الحالية مطابقة للنتائج التي حصل عليها الباحث (Jad H. Batteh) [3].
- ان مركبة الاجهاد ( $\sigma_{rr}$ ) هي المركبة الأكثر تأثيراً، إذ تحت تأثير هذه المركبة يتم بتجزئة الزجاج على طول اتجاه حركة الشعاع الليزري وذلك لانه في اثناء حركة هذا الشعاع تتجمع المركبات العرضية للاجهادات مشكلة قوة عرضية تقوم بتخطيط الزجاج.
- يلاحظ ان مركبة الاجهاد ( $\sigma_{rr}$ ) تأخذ السلوك ذاته عند مركبة الانفعال ( $\epsilon_{rr}$ ) وكذلك مركبة الاجهاد ( $\epsilon_{rr}$ ) تأخذ السلوك ذاته عند مركبة الانفعال ( $\epsilon_{rr}$ ).
- يمكن الاستفادة من هذا البحث في مجال استخدام الزجاج البصري BK-7 في عملية القطع والتنقيب للزجاج في حالة استخدام ليزر CO<sub>2</sub>.
- اما الزجاج (Fused silica) لا يمكن استخدامه في عملية القطع والتنقيب لانه يتمتع بتمدد حراري ضعيف لا يضمن نشوء اجهادات حرارية كافية لاجراء العملية.

## النتائج والمناقشة

- يمثل الشكل (3،2) مركبة الاجهاد  $\epsilon_{rr}$  التي تم الحصول عليها باستخدام المعادلات الرياضية (1،2،4) وباستخدام برنامج حاسوبي.
- حيث يلاحظ ان الاجهاد في الزجاج (Bk-7) اكثر منه في الزجاج العادي (Soda - lime) . وال الزجاج (Fused silica) عند استخدام ليزر (CO<sub>2</sub>).
- وهذا يعود الى الامتصاصية العالية للزجاج (Bk-7) التي تؤدي الى ارتفاع درجات الحرارة للمادة وتوليد اجهادات حرارية عالية. كذلك معامل التمدد الحراري للمادة حيث يلاحظ من الاشكال (3،2) بأن الاجهادات الحرارية عند زجاج (Fused silica) منخفضة جدا لان معامل التمدد الحراري له صغير جدا وبذلك يمكنه من تحمل الصدمات والتصدعات الناتجة من الاجهادات الحرارية التي يتعرض لها.
- اما الاشكال (5،4) فتوضح مركبة الاجهاد  $\sigma_{rr}$  كدالة للمسافة حيث تظهر اجهادات

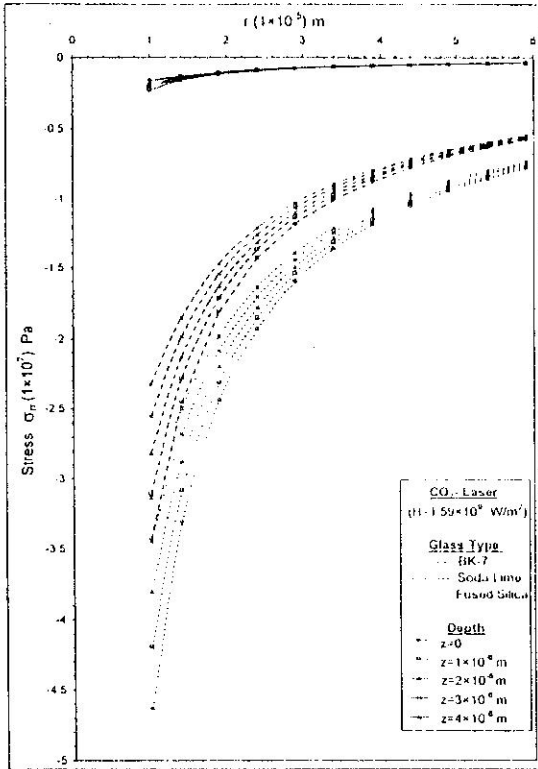
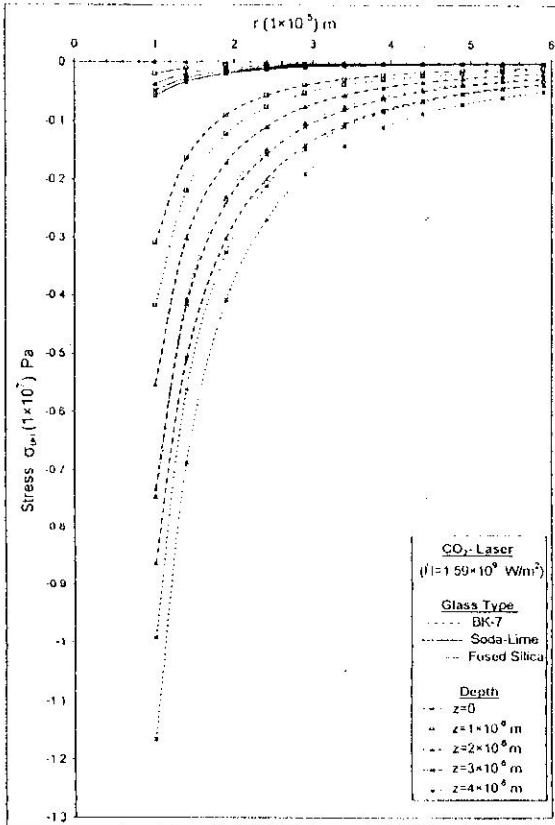
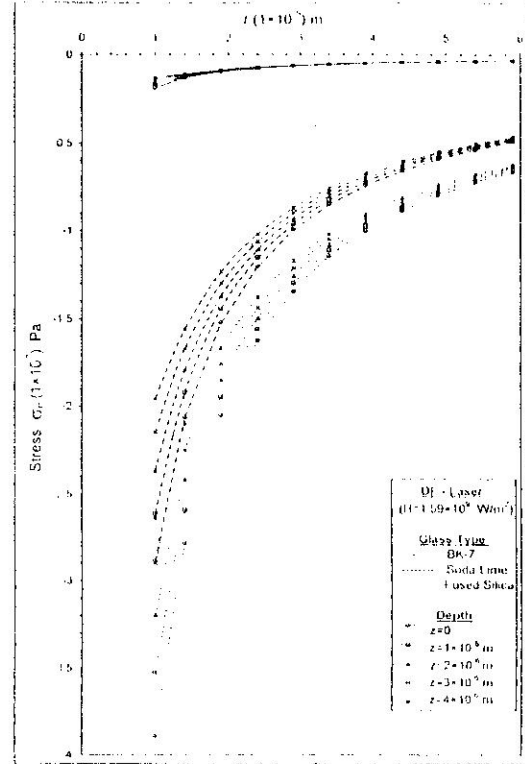
- تم بناء نموذج رياضي لحساب مركبات الاجهاد والانفعال الحراري باتجاه مركبات الاجهاد ( $r, 0, Z$ ) كاحداثيات اسطوانية.
- ايجاد اعظم درجة حرارة ( $T_{max}$ ) عند تطبيق المعادلة (2).
- حساب اعظم اجهاد وانفعال حراري بتطبيق المعادلة (1)، (3).
- تم تطبيق المعادلة (4)، (5)، (6)، (7)، (8)، (9) لحساب مركبات الاجهاد والانفعال باتجاه المركبة ( $r, 0, Z$ ) وباستخدام الشروط الخاصة بمعلمات المادة وتشمل [معامل التمدد الحراري، التوصيلية الحرارية، والانتشارية الحرارية] والمعلمات الخاصة بالليزر وتشمل [كثافة القدرة، زمن النبضة] [6،5].
- ايجاد مركبة الاجهاد والانفعال الحراري عند ليزر CO<sub>2</sub> وليزر DF.
- تمت مقارنة مركبة الاجهاد والانفعال الحراري عند السطح والاعماق أي عند ( $Z=4 \mu m, Z=0$ )
- ايجاد مركبات الاجهاد والانفعال باتجاه ( $r, 0, Z$ ) وبكثافة قدره

$$(H = 1.59 \times 10^3 \frac{W}{m^2})$$

- ايجاد مركبات الاجهاد والانفعال عند الزجاج البصري (Bk7) والزجاج العادي (Soda-lime) و زجاج Fused silica.

## الاستنتاجات

- من خلال دراسة الاجهادات والانفعالات الحرارية لنماذج زجاج البصري قيد البحث لوحظ بان الاجهادات والانفعالات الحرارية تكون كبيرة في حالة زجاج البصري (Bk-7) وقيم قنينة جدا عن زجاج (Fused silica) نتيجة التسخين بالليزر (CO<sub>2</sub>).
- يلاحظ بأن منحنى الاجهاد باستخدام ليزر (DF) يتجاوز مقدار ما تتحمله العينة الزجاجية من الاجهاد الحراري وبذلك ينتج تهيئتها بينما منحنى الاجهاد باستخدام ليزر (CO<sub>2</sub>)، فلا يتجاوز اقصى اجهاد شد للعينة الزجاجية وهذا يؤدي الى حدوث بعض التشققات والتصدعات في السطح المعرض دون حدوث تهيئتها الزجاجية باستخدام الزجاج البصري قيد البحث.

شكل (3) مركبة الاجهاد ( $\sigma_r$ ) كدالة للمسافة (r)شكل (4) مركبة الاجهاد ( $\sigma_r$ ) كدالة للمسافة (r)شكل (2) مركبة الاجهاد ( $\sigma_r$ ) كدالة للمسافة (r)

حرارية عند الزجاج البصري (BK-7) بقيم عالية.

- اما الاشكال (7،6) تبيين مركبة الاجهاد

( $\sigma_{rr}$ ) حيث يلاحظ ان منحنى الاجهاد

( $\sigma_{rr}$ ) . يظهر اجهادات شد على السطح

وذلك بسبب الزيادات الايجابية وظهور قيم

عالية للاجهادات عند المركبة ( $\sigma_{rr}$ ) . عند

استخدام ليزر (DI) تجاوزت مقدار ما

تتحمل العينة الزجاجية من الاجهاد الحراري.

- كما ذكرنا في الاجهاد فانه تم دراسة الانفعال

المرافق له وبموجب المعادلات (9،8،7)

حيث تم استخدام مركبات الانفعالات

( $\epsilon_{rr}$  ،  $\epsilon_{\theta\theta}$  ،  $\epsilon_{zz}$ ) ورسمت بيانيا لتوضيح

التاثيرات وكما موضح في الاشكال

(13،12،11،10،9،8).

- وبما ان الاجهادات التي وضحت هي

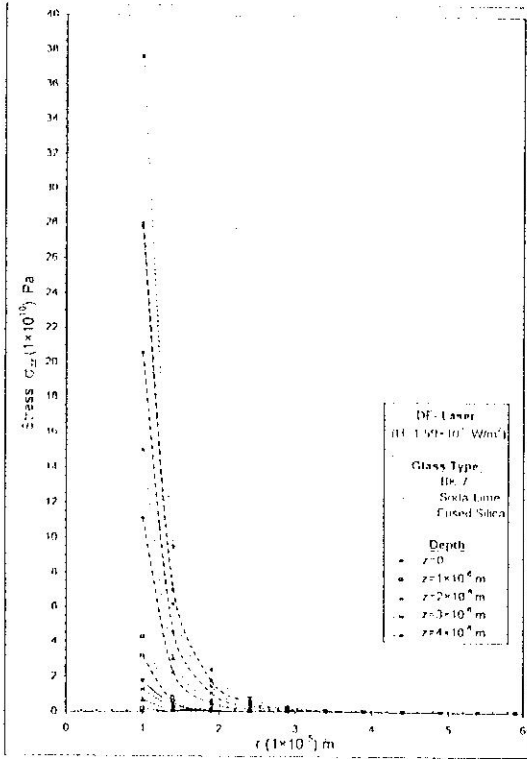
اجهادات حرارية لذلك سوف يظهر تاثير

اخر هو تاثير الانفعالات الحرارية والتي

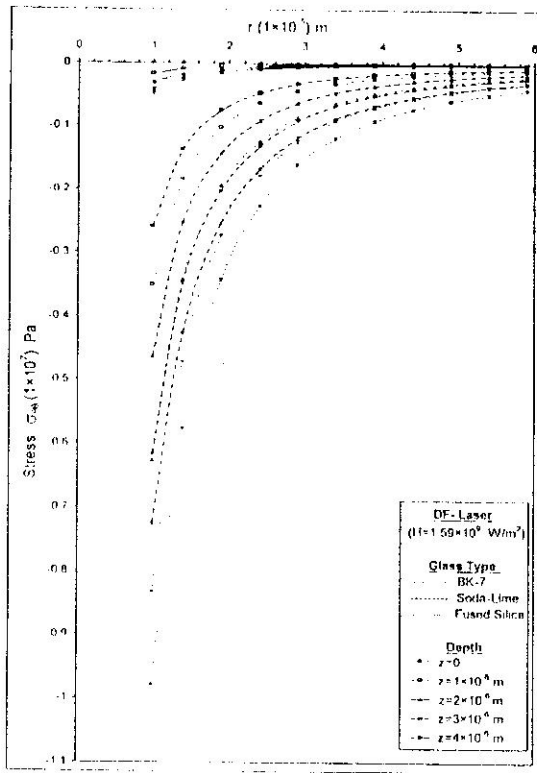
تظهر بسبب امتصاص الزجاج للاشعاع

والذي يتحول الى حرارة داخل الشبكة

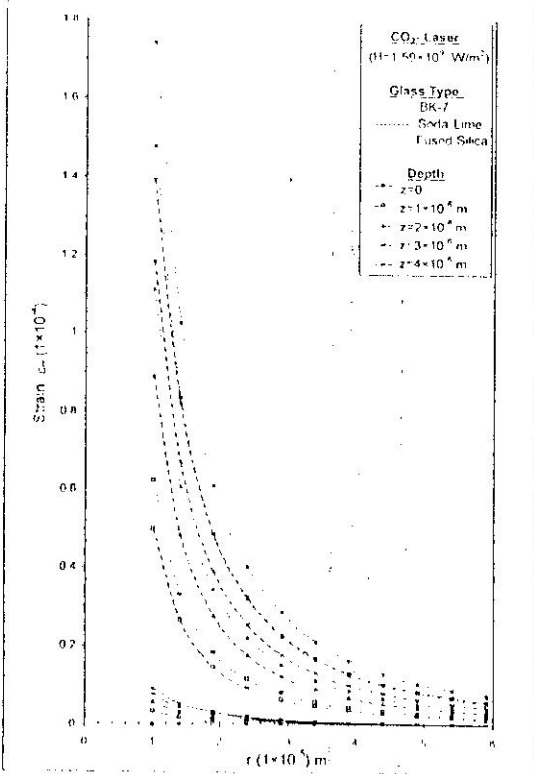
الزجاجية والتي تزول بزوال التسخين.



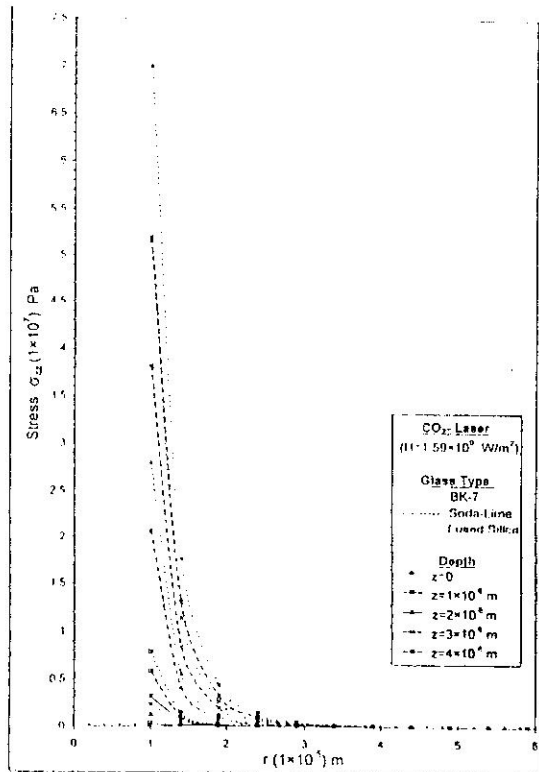
شكل (7) مركبة الاجهاد ( $\sigma_{rr}$ ) كدالة للمسافة (r)



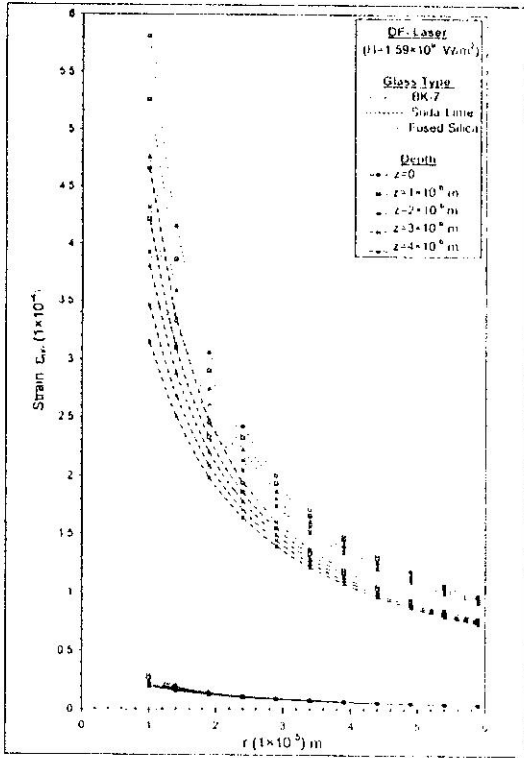
شكل (5) مركبة الاجهاد ( $\sigma_{\theta\theta}$ ) كدالة للمسافة (r)



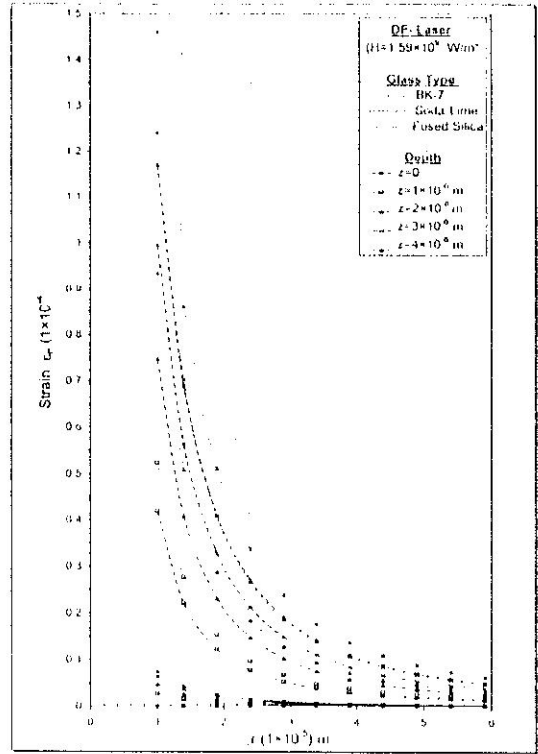
شكل (8) مركبة الانفعال ( $\epsilon_{rr}$ ) كدالة للمسافة (r)



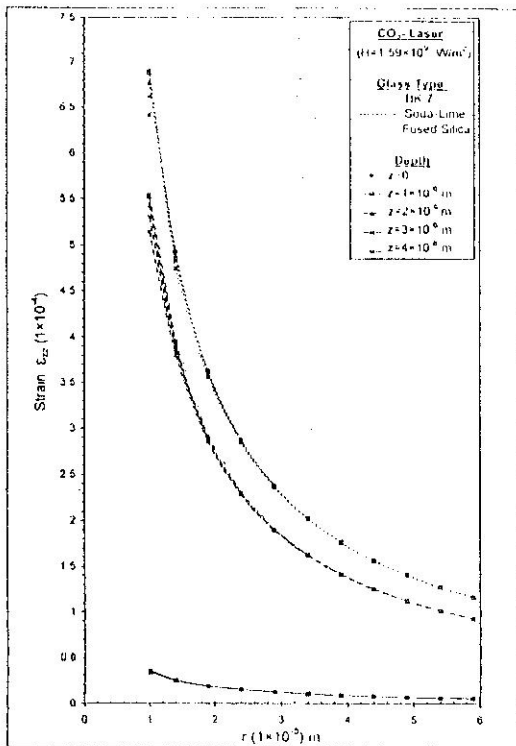
شكل (6) مركبة الاجهاد ( $\sigma_{rr}$ ) كدالة للمسافة (r)



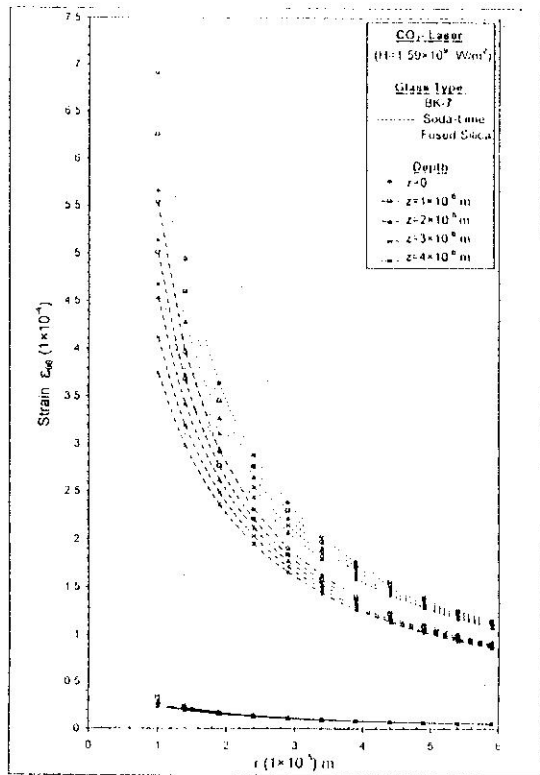
شكل (11) مركبة الانفعال (ε<sub>r</sub>) كدالة للمسافة (r)



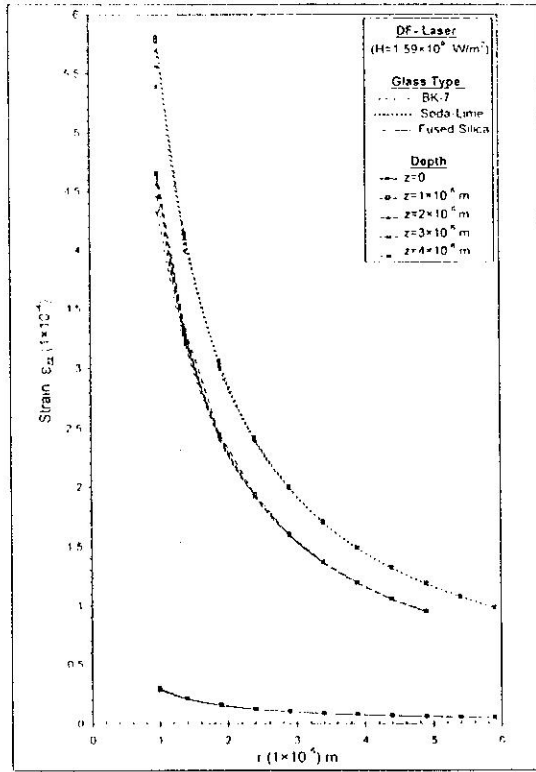
شكل (9) مركبة الانفعال (ε<sub>r</sub>) كدالة للمسافة (r)



شكل (12) مركبة الانفعال (ε<sub>z</sub>) كدالة للمسافة (r)



شكل (10) مركبة الانفعال (ε<sub>θ</sub>) كدالة للمسافة (r)

شكل (13) مركبة الانفعال (ε<sub>θ</sub>) كدالة للمسافة (r)

## المصادر

5. Janos optical material selection Guide, 1999. Janos Technology, Inc.
6. فرانك ب. انكروبير وديفيد ب. دووت ١٩٨٦. "اسس انتقال الحرارة" ترجمة د. صالح اسماعيل نعيم، فائق عبد الوهاب احمد، مأمون فائز الأطرقجي، دار الكتب للطباعة والنشر

١. غريغور بانتس، أ.غ وسلفونوف، ١٩٩٣. معالجة المواد غير المعدنية بالليزر، ترجمة محمد غانم، المركز العربي للتعبير، دمشق
٢. د. صالح امين كركجي، د. وليد محمد صالح، د. طالب حسين ١٩٨٦. "خواص المواد الهندسية" دار الكتب للطباعة والنشر.
3. Batteh, H. J., 1983, "Effect of surface Relaxation on stress Failure in laser Irradiated glass, J. Appl. Phys; Vol (54) No (7), PP (3769-3776).
4. Welsh, P.L. Tuchman, A.J and Hermon. p.1. 1988. The importance of thermal stress and strains Induced in laser processing with focused Gaussian Beams; J. Appl. Phys., Vol (64). No (11), PP (6274-6286).

## Theoretical Studies to Determine Thermal Stress and Strain in silica glass Systems by using pulsed Laser Beams

\*Muayad Aziz Hasan

\*\*Ghassan Salim Abdelle

\*\*Hayfaa Alwan Abood

\*\*Mona Mahdi Shail

\*University of Technology

\*\*Physics Dept.-College of Science for Women-Baghdad University

### Abstract

Theoretical studies have been attended to determine the thermal stress and strain in silica glass systems, Which are due to exposure to pulsed laser beams .For This purpose the three main components were analyzed on the basis of the cylindrical coordinates  $(r, \theta, z)$ . Three silica glass systems (Fused silica ,soda-lime and BK-7) have been chosen to be studied any irradiated with two types of laser beams (DF and CO<sub>2</sub>) in two different density .This study revealed that the thermal stresses and strains for the glass samples under study were high in BK-7 glass and low in fused silica glass when they exposed to CO<sub>2</sub> laser pulse .While with DF laser ,the value of the stress component  $(\sigma_{zz})$  was higher than the glass samples maximum tolerance level which was leading to cracks in the samples .In addition our results showed quite good agreements with the published results on other glass systems.