

تأثير التمدد الحراري في لحام زجاج- معدن في منظومة
ليزر ايون الاركون البصرية

م.م.مازن كريم مصطفى م.اسعد احمد كامل م.م.سميرة محمد عارف
كلية العلوم - جامعة ديالى كلية العلوم - جامعة ديالى وزارة العلوم والتكنولوجيا - مركز الفيزياء

الخلاصة: (Abstract)

إن تقنية الحصول على لحام محكم بين الزجاج والمعادن تطورت بشكل واسع ومتزامن مع قفزات الصناعة الالكترونية بعد الحرب العالمية الثانية في مجالات كثيرة في الصناعة , كذلك برزت أهميتها في مجال الاتصالات ومنظومات الليزر والإنذار المبكر وأنظمة التشويش.

يناقش هذا البحث التمدد الحراري لمنطقة لحام زجاج- معدن عندما يكون المعدن بشكل أسلاك وأقطاب مختلفة الأنواع والأقطار - التتستن (W) والفولاذ (st. الحديد (Fe) والنحاس (Cu) أما الزجاج فقد استخدم زجاج الكوارتز و البوروسليكات. واستندت التقنية المستخدمة إلى تحضير خلطة كيميائية (عجينة Paste) لتكون وسط بيني بين السطح الزجاجي والسطح المعدني , وجرى فحص النماذج المصنعة بمنظومة التفريغ العالي والتسخين الحراري. وأثبتت الفحوصات نجاح عملية اللحام بكفاءة.

1- مقدمة Introduction :

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

يمكن الوصول إلى لحام الزجاج - معدن بعدة طرائق (1,2,5,7), اغلبها تعتمد الاستفادة من حالة التلين للزجاج عند التسخين. ويمكن تقسيم أنواع اللحام إلى أربعة أنواع رئيسية (3) :

(أ) **لحام الاتصال المباشر (Direct Sealing)** : اللحام بين السطحين مباشرة , ويؤدي ذلك إلى تكوّن اجهادات كثيرة في منطقة اللحام والمناطق المجاورة لها. ويمكن التغلب على هذه المشكلة بانتقاء متناسب للزجاج والمعدن عندما تكون معاملات التمدد الحراري لكل منهما قريبة نسبياً في القيمة , مما يجعل الاجهادات الحاصلة ضمن منطقة الأمان.

(ب) **لحام الاتصال الغير مباشر (Indirect Sealing)** : حيث تختلف معاملات التمدد الحراري لكل من الزجاج والمعدن مما يؤدي إلى حدوث اجهادات قوية وكثيرة وخطرة في منطقة اللحام والمناطق المجاورة لها , ينتج بالتالي فشل العملية. ويمكن علاج هذه الحالة باستخدام أما : (1) طبقة زجاجية سطحية , أو طبقات متعددة تعمل كلحام متدرج حتى تصل إلى المنطقة الأخيرة التي تتصل بالسطح المعدني لتحقيق الاتصال المباشر. أو (2) باستخدام معادن مطلية (Ductile) لها القابلية على الامتزاج بالزجاج وامتصاص الاجهادات الموضعية والخطية الحاصلة.

(ج) **اللحام بقطعة زجاجية (Soldered Sealing)** : يجري استخدام معادن مناسبة يتم ترسيبها على سطح المعدن المراد لحامه , أما بفترة سابقة حيث يتعرض لعدد من عمليات المعاملة الحرارية (Heat Treatment) , أو يكون الترسيب أثناء عملية اللحام, على أن تكون القطعة المعدنية الخارجية ذات معامل تمدد حراري مناسب للزجاج المستخدم.

(د) **اللحام الميكانيكي (Mechanical Sealing)** : يمكن استخدام عملية الكبس (Compression) أو الشد

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

(Tension) لمنطقة اللحام مع درجة حرارة مناسبة ومعدل تبريد مناسب للحصول على لحام زجاج - معدن وان كان هذا النوع من اللحام ضعيف وغير كفوء ويحوي على الكثير من الاجهادات.

ربما نفهم اصل التمدد الحراري عندما نأخذ بنظر الاعتبار المتذبذب الكلاسيكي عندما ندرس تأثير الحدود اللاتوافقية في معادلة الطاقة الكامنة في ترابط ذرتين عند درجة حرارة (T) . عندما تكون هناك ذرتين بينهما المسافة (X) والتي تعتبر الإزاحة عن موضع استقرارهما , وفي درجة حرارة الصفر المطلق , فان :

$$U(X) = cx^2 + gx^3 + fx^4 \dots\dots\dots (1)$$

إذ أن :

$U(x)$: الطاقة الكامنة كدالة للإزاحة عن موضع الاستقرار

C, g, f : ثوابت موجبة

الحد (x^3) يمثل التنافر المتبادل للذرات

والحد (x^4) يمثل الاهتزازات ذات السعات الكبيرة للذرات

يمكن استخدام العلاقة الإحصائية , دالة توزيع بولتزمان لحساب معدل الإزاحة للذرات , حيث أن ($\langle x \rangle$) تمثل القيمة المتوقعة لمعدل الإزاحة طبقا للاحتماليات الترموداينمكية :

$$\langle X \rangle = \frac{\int xe^{-BU(x)}dx}{\int e^{-BU(x)}dx} \dots\dots\dots (2)$$

إذ إن $B =$ ثابت الاستقرار stability constant

$K_B =$ ثابت بولترمان Boltzmann constant

when $B = 1/ K_B T$

$T =$ درجة الحرارة K

وتعطي معاملات التمدد الحراري α , A , V بالعلاقات الآتية :

حيث أن α هي معامل التمدد الخطي

A التغير في التمدد السطحي

V التغير في التمدد الحجمي

$$\alpha = dL / LdT \dots\dots\dots(3)$$

$$\alpha = (1 / L) (\Delta / \Delta T) \dots\dots\dots(4)$$

وهناك أيضا التمدد الحراري للمساحة (Area Expansion) ويرمز له (2α)
أي ضعف معامل التمدد الخطي , ويتبع العلاقة الرياضية:

$$\Delta A = 2\alpha A \Delta T \dots\dots\dots(5)$$

وهناك أيضا التمدد الحراري الحجمي (Volume Expansion) ويرمز له (β) ,
ويتبع العلاقة الرياضية :

$$\Delta V = V\beta\Delta T \dots\dots\dots(6)$$

واستخدمت عملية التلدين (Annealing) التي تعقب عملية اللحام , كثيرا
في عملية إزالة الاجهاد الحاصلة , وزيادة متانة اللحام وتسوية المسامات وقوة

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

الارتباط بين طبقة اللحام والزجاج من جهة وطبقة اللحام والمعدن من جهة أخرى , حيث يرفع كل ذلك كفاءة اللحام , بل أن عملية التلدين تدخل كمرحلة أساسية في حالة استخدام معادن مختلفة أو معدن ذو معامل تمدد حراري يختلف بشكل بعيد نسبياً عن قيمته للزجاج [8,4] .

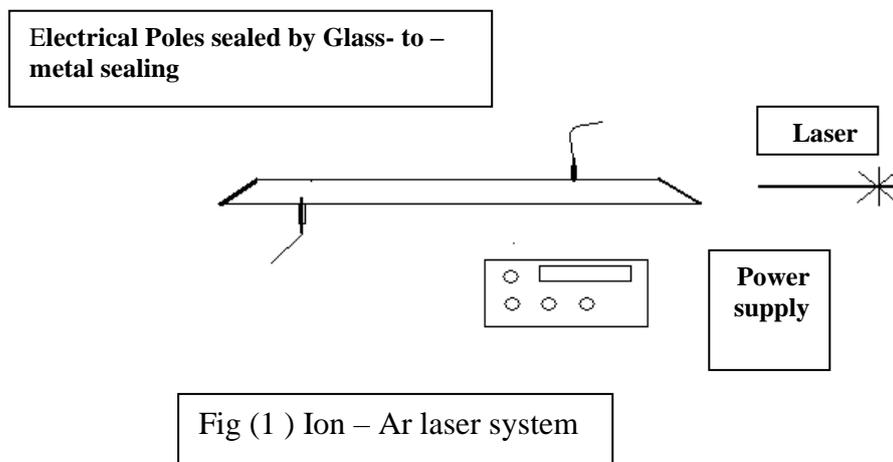
يوضح الشكل (1) المنظومة البصرية التي كانت محلاً عملياً في لحام الأقطاب المعدنية بطريقة لحام زجاج - معدن (Glass - to - metal sealing) فهي منظومة ليزر ايون الاركون (Ar ion Laser) . منظومة ليزر ايون الاركون لها تطبيقات عديدة في كثير من حقول البحث العلمي والصناعة مثل : الطباعة عالية الدقة (very high performance printing) , الاستساخ (copying) , المسح الضوئي (scanning) , التتقيط الصوري وصور عالية الدقة (photoploting) معالجة وتوليد الصور (image processing) , التشخيص الطبي (medical diagnosis) , الجراحة (surgery) , التصوير المجسم (holography) , وغيرها كثير . ويمكن استخدام طريقة اللحام المشار إليها في هذا البحث في العديد من المنظومات البصرية الأخرى مثل مقياس الطيف (Spectra photo meter) والمصابيح الوميضية (Flash lamps) .

وظهرت الحاجة إلى لحام الأقطاب (الانود والكاثود) المعدنية بالأنبوب الزجاجي دون الإخلال بنظام التفريغ (vacuum system) ونظام التفريغ الكهربائي (electrical discharge) . فجرى لحام الأقطاب المعدنية بطريقة لحام

زجاج - معدن وباستخدام عجينة اللحام موضوعة البحث .

جدول (1) مواصفات منظومة ليزر ايون الاركون

OPERATING FREQUENCIES	1-123 MHZ [SWITCH SELECTABLE]
FREQUENCY RESOLUTION	1 HZ
WARM – UP TIMES	10 MIN
PULSE WIDTH	< 80 nsec
PEWAK POWER	< 15 watts
ENERGY / PULSE	8 mj
REPETITION RATE	150 MHz



Experimental الجزء العملي -2

المواد والأجهزة (Materials & Instrumentation) :

مادة اللحام المكونة من اوكسيد النحاسوز (CuO) وحامض الفسفوريك (H_3PO_4) على شكل عجينة (Paste) , استخدمت في المرحلة الأولى من التجارب ثم جرى تطوير تلك الخلطة بإضافة بعض الاكاسيد الفلزية لزيادة متانتها وتحسين مقاومتها للحرارة. مكونات الخلطة الثانية تتالف إضافة حامض الفسفوريك , من المواد التالية:

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

CUO 40% , PbO 20% , TiO₂ 10% , MgO 10% , SiO₂ 20%

أما الزجاج المستخدم فكان على نوعين : البوروسيليكات (Borosilicate) وزجاج الكوارتز (Quartz) , وبأشكال اسطوانية . بينما استخدمت المعادن التالية: التنكستن (W) , النحاس (Cu) , الحديد (Fe) , الفولاذ (Stainless Steel) , على شكل أسلاك مختلفة الأقطار وبشكل أقطاب بأقطار مختلفة كذلك.

أما الأجهزة , فمنظومة اللحام ذات الشعلة الاوكسي - استلينية , ومنظومة التفريغ العالي والتأثير الحراري والتي تتكون من الأجزاء الرئيسية التالية: المضخة الدوارة , مضخة الزيت الانتشارية , مصيدة النتروجين السائل , خلية التفريغ الزجاجية , الشريط الحراري , مسخن حراري, وحدة سيطرة على درجة الحرارة , متحسس حراري , وحدة كشف النضوح من العينات. كما في الشكل (2)

جدول (2) بعض الخواص الفيزيائية للمواد المستخدمة

No.	Substance	$\alpha \times 10^{-8}$	Melting point(c)
1	Quartz	85	1500
2	Borosilicate	70	620
3	Lead glass	900	520
4	Copper	1700	1083
5	Iron	1100	1527
6	Tungsten	440	3387

اللحام (Sealing) : بعد تهيئة الخلطة الكيميائية (العجينة) الأولى (اوكسيد النحاسوز وحامض الفسفوريك) , جرى استخدامها في لحام زجاج اسطوانات زجاج البوروسيليكات مع أنواع مختلفة من الأسلاك والأقطاب المعدنية وبأقطار مختلفة . كما في الجدول رقم (1) . بعد تعريض منطقة اللحام من سطحي الزجاج والمعدن للشعلة الاوكسي - استلينية لغرض رفع درجة حرارتهما إلى (0.9 Tg) , أي اقل من درجة حرارة الانتقال الزجاجي , وعند تلك الدرجة يجرى نشر مادة اللحام (العجينة) على منطقة اللحام , ثم وضعها في فرن التبريد المتدرج وبعد فترة زمنية

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

كافية يجري تليدين العينة لإزالة الاجهادات والانخلاعات الحاصلة نتيجة عملية اللحام.

جدول (3) المواد المستخدمة في لحام زجاج - معدن الخلطة الكيميائية الأولى (عجينة رقم 1). ظروف الفحص , الضغط (8×10^{-16}) , درجة حرارة الفحص بالمدى ($100 - 280$ °C) وبمعدل (5) درجات كل (30) دقيقة .

المادة المعدنية	القطر	المادة الزجاجية	زمن اللحام	زمن التبريد
سلك التنكستن (W)	0.5 cm	بوروسيليكات	12 min	48 h
سلك التنكستن (W)	1 cm	بوروسيليكات	12 min	48 h
سلك الفولاذ (st.st.)	1 cm	بوروسيليكات	10 min	48 h
سلك النحاس (Cu)	1 cm	بوروسيليكات	5 min	48 h
سلك النحاس (Cu)	2 cm	بوروسيليكات	5 min	48 h

عملية التليدين (Annealing) : عند تعرض المعادن أو الزجاج إلى التسخين وارتفاع درجة الحرارة يؤدي ذلك إلى تشوه لدن (Plastic Deformation) , فتحصل المادة على طاقة إضافية تكون مخزونة في المادة عند زوال التسخين. تساهم هذه الطاقة المخزونة في توليد ونمو الانخلاعات (Dislocations) وبعض العيوب البلورية (Crystal Defects) مما يسبب فشل تلك المواد وخفض العمر التشغيلي لها. يمكن التغلب على تلك المشكلة بواسطة إعادة تسخين تلك المواد لدرجة حرارة مناسبة وزمن مناسب وتدرج مناسب في الارتفاع بدرجات حرارة أو الانخفاض بها بعد ذلك , فيعاد ترتيب الانخلاعات والعيوب وتعمل تلك الطاقة المخزونة على إلغاء أغلبية تلك الانخلاعات والعيوب ويعطي خواص ميكانيكية أفضل للمادة^[6].

وفي هذا البحث جرى استخدام التليدين (Annealing) للقضاء على العيوب البلورية والشقوق المجهرية التي تكونت أثناء عملية اللحام وكذلك التي ظهرت بسبب الاختلاف في معامل التمدد الحراري لكل من القطب المعدني والاسطوانة الزجاجية . والجدول رقم (4) يوضح عملية التليدين التي جرت لمختلف العينات.

جدول رقم (4) بعض الظروف الفيزيائية لعملية التلدين

Samples	Temp. rang °C	Total Annealing Time for (GA1)	Cooling rate			Total Annealing Time for (GB2)	Total Annealing Time for (GC3)	Total Annealing Time for (GD4)
			Temp. rang	Cooling rate	Total Time			
Cu	600-25	60 h	A1	-5 °C/h	20 h	48 h	36 h	24 h
			A2	-10 °C/h	10 h			
			A3	-10 °C/h	10 h			
			A4	-10 °C/h	7 h			
			A5	-10 °C/h	8 h			
Fe	700-25	72 h	B1	-10 °C/h	20 h	60 h	48 h	36 h
			B2	-10 °C/h	20 h			
			B3	-10 °C/h	10 h			
			B4	-10 °C/h	10 h			
			B5	-10 °C/h	12 h			
St. st.	800-25	72 h	C1	-10 °C/h	20 h	60 h	48 h	36 h
			C2	-10 °C/h	20 h			
			C3	-10 °C/h	10 h			
			C4	-10 °C/h	10 h			
			C5	-10 °C/h	12 h			
W	900-25	84 h	D1	-10 °C/h	20 h	72 h	60 h	48 h
			D2	-10 °C/h	20 h			
			D3	-10 °C/h	20 h			
			D4	-10 °C/h	10 h			
			D5	-10 °C/h	14 h			

الفحوصات (Testing) : ومن الجدير بالذكر أن الفحص الحراري للعينات بعد اللحام كان يتدرج ضمن المدى (100 – 280 °C) بالنسبة إلى زجاج البوروسيليكات وضمن المدى (100 – 400 °C) بالنسبة لزجاج الكوارتز ، وبمعدل (10 °C) كل عشر دقائق (10 min). ويجري الفحص بينما العينة متصلة بمنظومة التفريغ العالية ومفرغة إلى ضغوط واطئة.

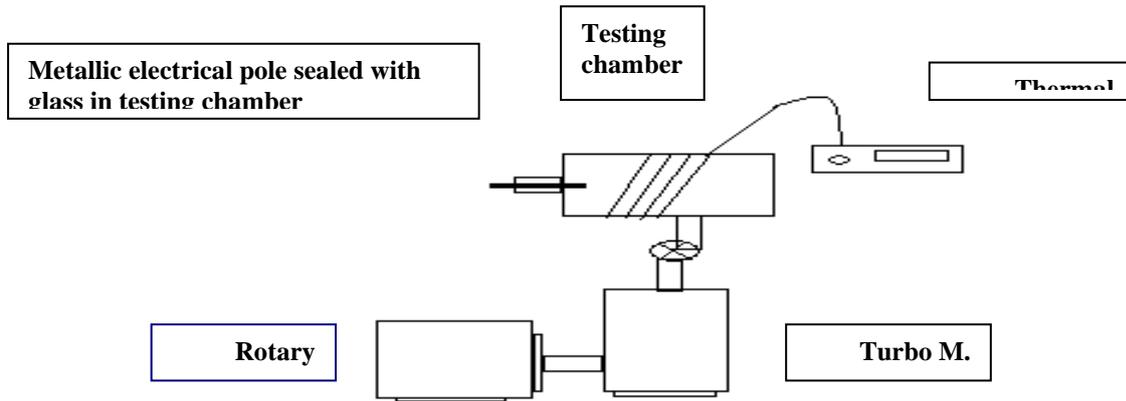


Fig. (2) Vacuum and Thermal

4- النتائج والمناقشة (Results and Discussion):

من الواضح من خلال تجارب هذا البحث أن التمدد الحراري لكلا مادتي اللحام يعتبر محور أساسي في عملية لحام زجاج - معدن . وتبين أيضا أن درجة حرارة اللحام (Sealing Temperature) تتأثر بخواص المعدن بنسبة كبيرة أكثر من تأثرها بخواص الزجاج. وكان لعجينة اللحام دوراً مهماً في تكوين الوسط البيني بين الزجاج والمعدن حيث تتغلغل في سطح المعدن التي تحول إلى حالة ليونة مناسبة (في درجة حرارة اللحام) تسمح بتغلغل أجزاء دقيقة من مادة العجينة داخل السطح. ومن جهة أخرى فإن نسبة كبيرة من مادة العجينة تكون قد تداخلت وتغلغلت بعمق مناسب في السطح الزجاجي (في درجة حرارة اللحام). ويزداد سمك الوسط البيني مع زيادة درجة الحرارة في مدى محدود. تشكل أي زيادة جديدة في درجة الحرارة بعد هذا المدى زيادة تغلغل وانتشار مادة العجينة داخل السطح الزجاجي , فتقل نسبة وجودها في الوسط البيني وتزداد في الوسط الزجاجي , فيسمح ذلك بظهور مناطق ونقاط

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

اتصال بين الوسط الزجاجي والوسط المعدني واختفاء الوسط البيني. تلك المناطق والنقاط تكون مصادر لتوليد الانخلاعات الخطية ومن ثم ظهور الشقوق المجهرية عند عملية تبريد العينات.

تأثير تنظيف العينات (Samples Cleaning Effect):

وجد أن هناك تأثيراً لتنظيف وصقل العينات قبل عملية اللحام ولو كان بسيطاً إلا في حالة العينات التي تحتوي سطوحها على جسيمات الغبار (Dust particals) ولم تنظف فأظهرت فشلاً واضحاً لأكثر من (90%) منها , وكما هو معلوم فإن العينات الملوثة بالدهون أو الماء يجري التخلص من تلك الملوثات عند عملية اللحام التي تجري في مدى حراري (55C – 200C) بينما لا تتأثر جسيمات الغبار بذلك المدى الحراري , فيكون وسط بيني بين الزجاج والمعدن في نقاط معينة تكون مصدراً فعالاً لتوليد الانخلاعات (Dislocations). التي تسهم في إحداث الشقوق المجهرية (Micro cracks) وفي بعض الأحيان الشقوق العيانية (Macro cracks). أما بالنسبة إلى مجموعة العينات التي خضعت للتنظيف والصقل فأظهرت كفاءة في فحص اللحام (Sealing) نتيجة تكون وسط بيني نظيف يتغلغل في كلا السطحين سطح المعدن وسطح الزجاج كما في الشكل (4).

عملية اللحام (Sealing) : لعجينة اللحام (Sealing Past) دوراً مهماً في عملية التوافق (Matching) بين معاملي التمدد الحراري للزجاج والمعدن أثناء وبعد اللحام (Sealing) , فتكون الوسط البيني (Interface) بين السطحين ذو معامل تمدد حراري قريب من معامل التمدد الحراري للمعدن وكذلك هو قريب من معامل التمدد الحراري للزجاج. أن أجزاء الوسط البيني القريبة من السطح المعدني تحوي نسبة كبيرة من الذرات المعدنية وجزيئات اوكسيد المعدن المتكون أثناء عملية اللحام إضافة إلى احتوائها على نسبة عالية من مادة العجينة. وتقل نسبة وجود الذرات المعدنية وجزيئات اوكسيد المعدن كلما اتجهنا نحو السطح الزجاجي بينما تزداد نسبة وجود جزيئات الزجاج في الوسط البيني وصولاً إلى السطح الزجاجي ,

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

الذي يتغلغل فيه الوسط البيئي أكثر من تغلغله في السطح المعدني. وفي الشكل (3) بيان توضيح لمتانة منطقة اللحام في العينات كدالة لحالة التشوه (Deformation) التي تظهر في أثناء عملية اللحام وبعدها والتي يمكن الاستدلال عليها ببعض الاختبارات الميكانيكية (كاختبار الانحناء ذو النقاط الثلاثة مثلاً (Three point bending Test) وبدرجات حرارة مختلفة.

وتزداد كفاءة اللحام كلما زادت درجة حرارة اللحام (Sealing Temperature) إلى حد معين يعتمد على مادتي اللحام الزجاجية والمعدنية وعلى عجينة اللحام (Sealing paste) وزمن اللحام (Sealing Time) , ولكن عند تجاوزها مدى محدد تفشل العينات في الفحص كما في حالة العينات التي يمثلها المنحني (1000 k) التي تعرضت للكسر في مراحل الاختبار الأولى. والشكل (5) الذي يوضح الاستطالة (L/L) الناتجة عن التمدد الحراري للعينة - في منطقة اللحام بالتحديد - فكانت متفاوتة بشكل قليل . وبرزت العوامل المؤثرة على حالة التمدد الحراري هنا , هما عاملين مكونات المادة (Composition) ودرجة الحرارة. ووجود عينة اللحام كوسط بيني سيسمح بظهور تدرج دقيق ومهم للتمدد الحراري في منطقة اللحام والمناطق المحيطة بها وتمنع ظهور الانخلاع والشقوق والتشوهات أثناء اللحام وبعده.

تأثير الأكسدة (Oxidation effect) :

العينات الحديدية تزن (90 - 10 gm) ومساحة سطحية (6 cm²) تؤدي عملية اللحام إلى تكوين غشاء (Thin film) رقيق من اوكسيد الحديد (FeO) بسماك حوالي (5 - 10 μ) , وزمن تكوين الاوكسيد وامتزاجه بالزجاج (15 min) .

العينة الحديدية تتصل بالمعدن في درجة حرارة عملية اللحام (Sealing Temperature) في الفراغ , زاوية الاتصال لها (24°) ثم ترتفع زاوية الاتصال في نهاية عملية اللحام إلى (55°) وتمثل اتصال الزجاج مع الحديد النقي في الفراغ ,

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

العملية تأخذ حوالي (15 min) دقيقة. انتشار اوكسيد الحديد خلال الزجاج أسرع من انتشار الحديد.

الاتصال (Adherence) ضعيف. وكررت العملية بدرجة حرارة (600 C) درجة سيليزية ولمدة (2) ساعة وكان الاتصال ضعيف جداً. في درجة حرارة (900 C) سيليزية بسبب قلة اللزوجة وزيادة قابلية الزجاج على التفاعل يزداد انتشار طبقة الاوكسيد خلال الزجاج ويتغلغل حتى يصل إلى الطبقات التي تلي طبقة الاوكسيد.

إن سلوك (behavior) الزجاج البور وسيليكات مع طبقة الاوكسيد المتكونة أثناء اللحام تتأثر بقابليته على احتواء اكبر كمية من طبقة الاوكسد وبشكل متتابع. بحيث تزداد زاوية الاتصال (Contact angle) من بداية اللحام مع زيادة انتشار طبقة الاوكسيد خلال الزجاج حتى تصل زاوية الاتصال إلى أعلى قيمة عندما يصل منصهر الزجاج إلى المعدن النقي.

إن قوة الالتصاق واللحام بين الزجاج والمعدن يعتمد على معدل انتشار طبقة الاوكسيد المعدني داخل منصهر الزجاج.

تأثير التلدين (Annealing Effect):

كان لعملية التلدين تأثيراً ملحوظاً في أداء العينات وكفاءتها ومطابقتها الميكانيكية (Mechanical strength). والشكل (6) يوضح أداء وسلوك العينات لمختلف المعادن المستخدمة في البحث. إذ يزداد التشوه اللدن (Politic Deformation) مع زيادة متانة الكسر (Breaking strength) مما يؤدي إلى انهيار منطقة اللحام وفشل الفلز في مقاومة الاجهادات. والشكل (7) فيه مقارنة واضحة لعينات التنكستن (W) التي خضعت للتلدين من تلك التي لم تخضع للتلدين. وعند عملية فحص العينات (Samples Tests) نجحت العينات التي خضعت للتلدين ظروف الفحص من ضغط وحرارة وحافظت على الضغوط المنخفضة في منظومة التفريغ العالي ($10^{-5} - 10^{-7}$ mbr) دون حدوث أي تسريب للضغط (Pressure (Lekage

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

وساعدت عملية التلدين في اختفاء الشقوق المجهرية (Micro cracks) التي حدثت في منطقة اللحام أثناء عملية اللحام وأدت كذلك إلى معالجة الانخلاعات الخطية التي غالباً تكون سبباً في حدوث الشقوق المجهرية والعيانية. نستنتج من ذلك أهمية عملية التلدين (Annealing) التي أجريت للعينات ونجحت في رفع كفاءة تلك العينات وتحسين أدائها أثناء عمل منظومة ليزر ايون الاركون ولساعات طويلة.

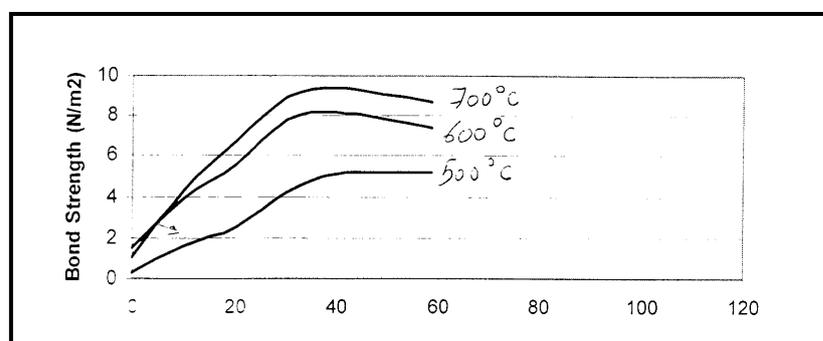
REFERENCES

- 1- Fradworlf, S.N , " Technical Glasses", Spring Press, 5th edition , 1994 , West Germany , P 278.
- 2- George Wallis and Pomerantz. D.I. , J. Appl. Phys. , 40(10) P3916 , 1969.

Diala, Jour, Volume, 37, 2009

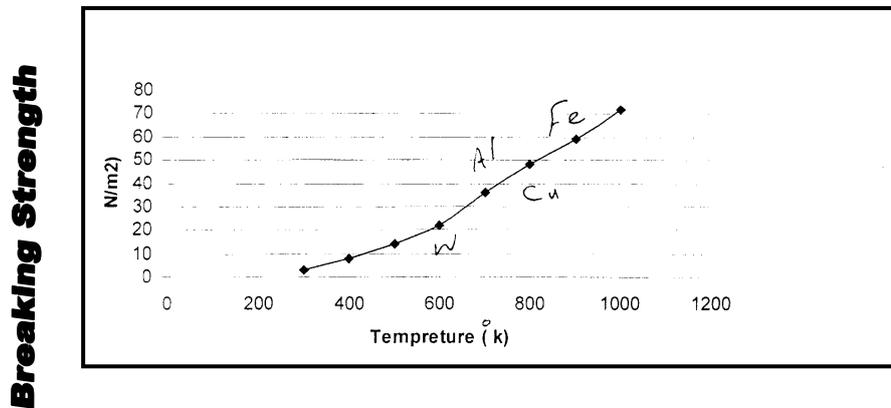
- 3- Lan,C.W and Rahman , A. ,"Interfasial Mechanics of Seals" , Technology of glass and ceramic conference , Boston , USA , 1987.
- 4- Laurent Hodges , " Environmental pollution ". 2nd edition , Holtpress. New York, 1977.
- 5- Notte , H.S. , and Sparck, R.F. , Television Eng. , Vol. 29(11) P 14 , 1980.
- 6- Pulker,"Coating on Glass" MIGraw-Hill press, 5th edition , 1985 , USA , P 97.
- 7- Pask,.J.A. , American ceramic Sociy Bulletin , Vol. 66(11) P 1587 , Nov. 1987.
- 8- Smith, A. J. , "Glassblowing for laboratory Technicians" Addison – Wesley Publishing Co. , 4th edition , 1982 , P122.

Fig.(3) Bond Strength of Sealants as a function of Seal Deformation



Deformation (%)

Fig.(4) Breaking Strength of glass-to-metal bond as a function of melting of some metals



Fig(5) Thermal Expansion of the Sealants

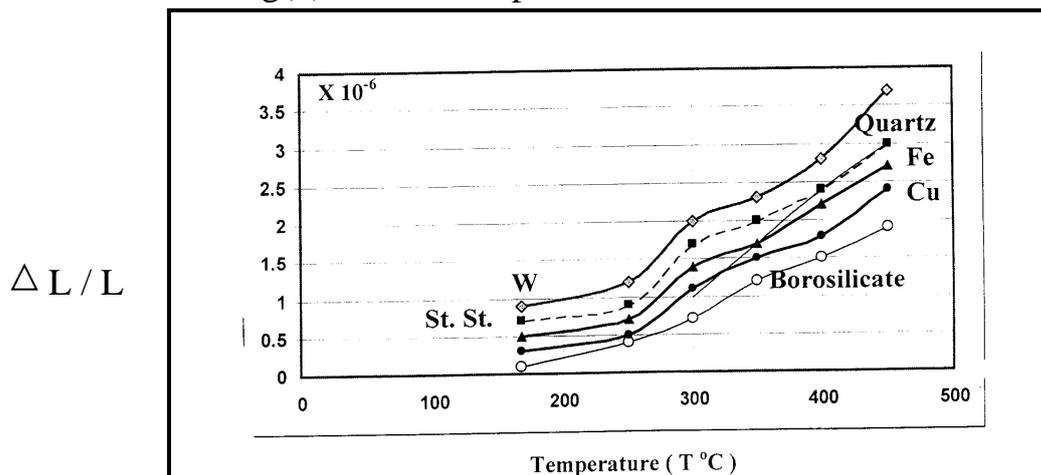


Fig.(6) Breaking Strength of the Sealing region as a function of the Plastic Deformation for the usage metals

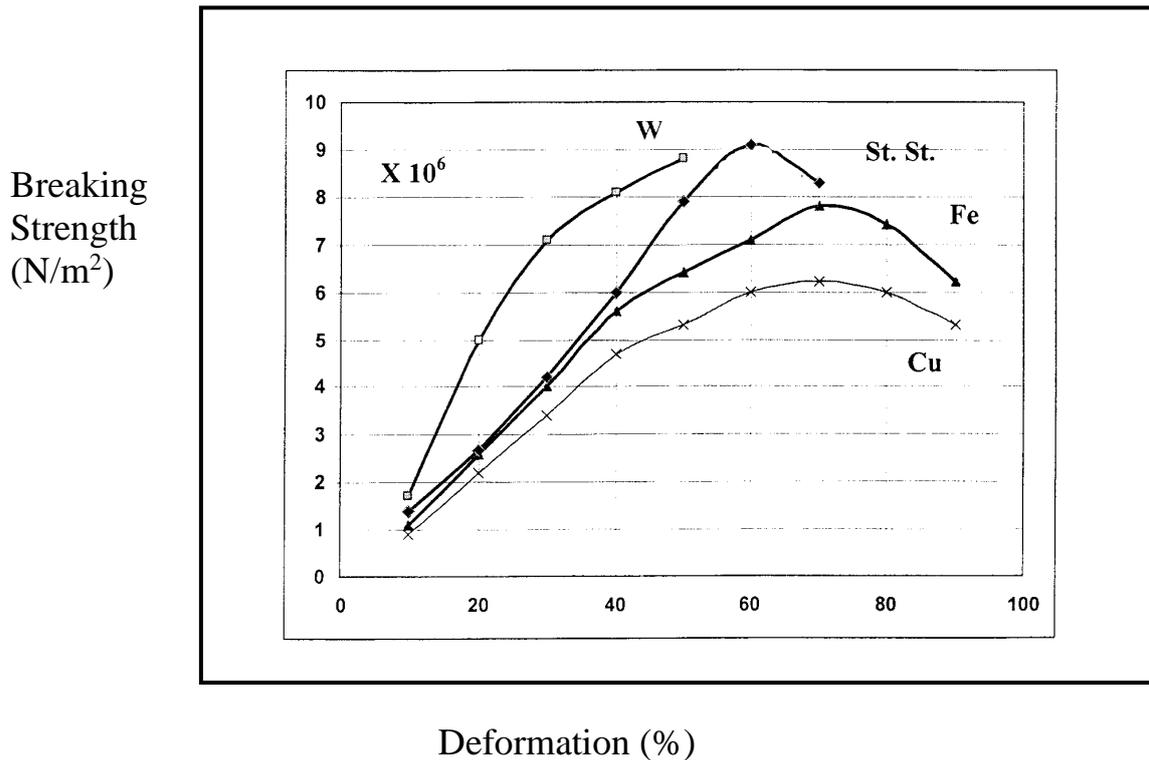
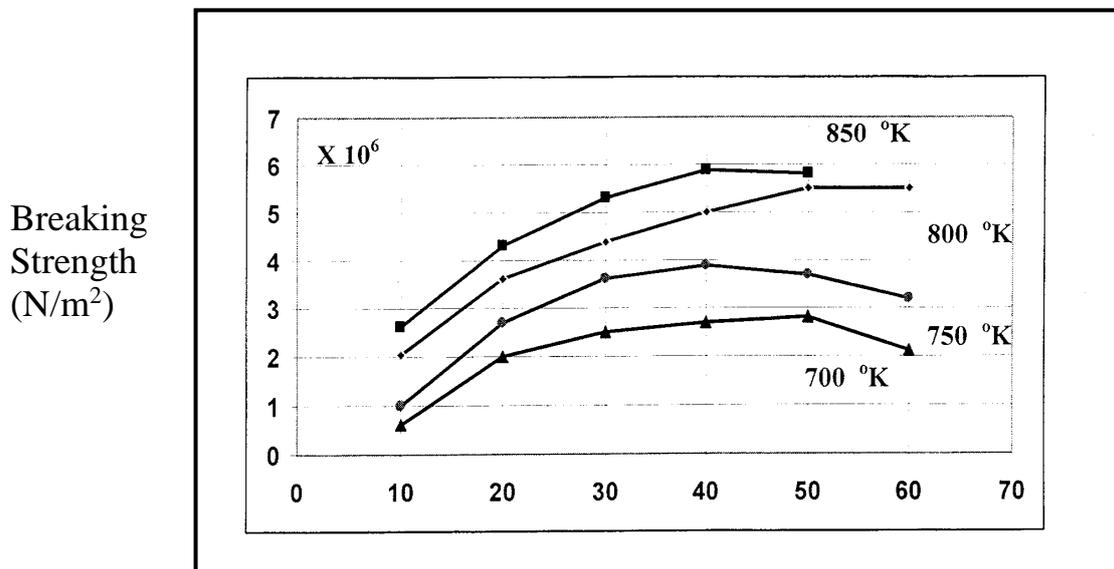


Fig.(7) Breaking Strength of the Sealing region as a function of the Plastic Deformation for the Ferrous (Fe) metal in many Sealing .



Diala, Jour, Volume, 37, 2009

Deformation %