

دراسة مقاومة الكسر لسيراميك الالومينا (Al_2O_3) باستخدام اختباري الانحناء الثلاثي والانحناء العمودي

مزر طه محمد

قسم الهندسة الميكانيكية- كلية الهندسة - جامعة ديالى

الخلاصة

يتناول هذا البحث دراسة مقاومة الكسر لسيراميك الالومينا من نوع الفا (α) باستخدام اختباري الانحناء الثلاثي والعمودي. من خلال الدراسة الحالية تم التوصل الى ان اختبار الانحناء الثلاثي اعطى افضل نتائج لمقاومة الكسر مقارنة مع اختبار الانحناء المحوري، وان استخدام ضغط قليل عند كبس الالومينا قد ادى الى الحصول على خصائص ميكانيكية واطنة بالرغم من درجة حرارة التلييد العالية ($1500^{\circ}C$).

الكلمات المفتاحية: مقاومة الكسر، سيراميك الالومينا، اختبار الانحناء الثلاثي والعمودي

Study of the Fracture Strength of Alumina (Al_2O_3) Ceramic Using 3-Point Bend and Uniaxial Compressive Test

Muzher T. Mohamed

Mechanical Engineering Department - Diyala University

drmuzher@yahoo.com

Received: 15 November 2016 Accepted: 7 August 2017

Abstract

The present work is studied the fracture strength of alfa- alumina using 3-point bend test and uniaxial compressive test. This work showed the fracture strength results of 3-point bend test better than uniaxial compressive test. Using low compressive stress at sintering of alumina leading to obtain low mechanical properties in spite of high sintering temperature.

Key-words: alumina ceramic; fracture strength; bending test

المقدمة

كان أول استعمال للألومينا كعوازل شمعات قذح (Spark plug) والتجهيزات المختبرية تبعها توسع وتنوع في الاستخدامات حتى شمل الصناعات الإلكترونية [1] وليس للألومينا أهمية صناعية فحسب بل حتى المخلفات الناتجة من استخلاصها حيث استخدم الباحث Toussef وجماعته [2] مخلفات الطين الأحمر red mud والناتجة من استخلاص الألومينا من البوكسايت وهيدروكسيد الألمنيوم . وتستخدم الألومينا أيضاً في تحسين خواص الزجاج المتراكب Composite glass ضمن نظام $MgO- B_2O_3 - Al_2O_3$ (بأستخدام مسحوق الألومينا) معدل قطر(1.1 μm) كمادة حشوية (filler) [3] . وقد اجريت دراسات عديدة على الخواص العامة للألومينا ، إذ درس الباحث Ting و Li [4] البنية المجهرية للألومينا الملبدة بدرجة حرارة (1524 C°) ومدا تأثيرها بأضافات من أكسيد المغنيسيوم MgO وتوزيع الحجم الحبيبي (particle size distribution) ونسبة شوائب Na_2O المصاحبة للألومينا . كذلك درس Evan و Stevens [5] سلوك التليد لنماذج محضرة من بيتا ألومينا $\beta-Al_2O_3$ والملبدة عند درجات حرارة ($1400 - 1700$) C° لدراسة البنية المجهرية والخصائص الميكانيكية . كما درس Says و Yeh [6] تأثير توزيع الحجم الحبيبي على سلوك التليد والكثافة والبنية المجهرية للألومينا المحضرة عند درجات حرارة تليد مختلفة ($1180 - 1430$) C° . ودرس [7] Hrmer تأثير إضافات من محلول جامد من MgO على سلوك تليد الألومينا النقية αAl_2O_3 الملبدة بدرجة حرارة (1600 C°) من خلال دراسة البنية المجهرية ، إذ ان إضافة MgO تزيد من النمو الحبيبي ومعدل التليد (densification rate) وقد درس الباحث Promdej وجماعته [8] طريقة الصب Slip casting لتحضير نماذج سيرامكية شفافة من الألومينا (Translucent Alumina) من مسحوق الألومينا النانوي (Nano powder) ذات معدل قطر حبيبي (170 nm) إذ أجريت عملية التليد بدرجات حرارة ($1250-1450\text{ C}^\circ$) . ودرسوا عدة خواص منها البنية المجهرية والكثافة النسبية والتقلص الخطي للحرق ، بحيث تناولت الدراسة الخواص المذكورة أعلاه الى تشخيص دقيق لتأثير زيادة نسبة الكوارتز والتي كانت (5% , 10% , 20% , 30%) في خواص الألومينا الفيزيائية والكهربائية .

لقد تزايد الطلب مؤخراً لسيراميك الألومينا في العديد من التطبيقات الهندسية والصناعية منها تطبيقاتها في صناعة الأسنان ، وذلك نظراً لما تتمتع به من مقاومة تآكل عالية في الأوساط السائلة الى خصائصها الميكانيكية الفائقة كالمقاومة ومتانة الكسر الجيدة مما يجعلها تستخدم كذلك في أنظمة نقل الموائع كالمضخات (Pumps) وخطوط الأنابيب (Pipe lines) (بالإضافة الى ذلك تستخدم كعازل حراري جيد في طلاءات الريش التوربينية احدى مكونات أنظمة العزل الحراري (Thermal Barrier System) في التوربينات الغازية المتقدمة (Advanced Gas Turbines) لما تتمتع به من خصائص عزل حرارية وميكانيكية راقية وكما تستخدم في زيادة متانة الكسر لبعض المواد السيرامكية المتقدمة وفي تصنيع بعض الطلاءات السيرامكية المركبة حيث تدخل كمكون رئيسي لهذه الطلاءات [9-11] .

الاجراءات المختبرية

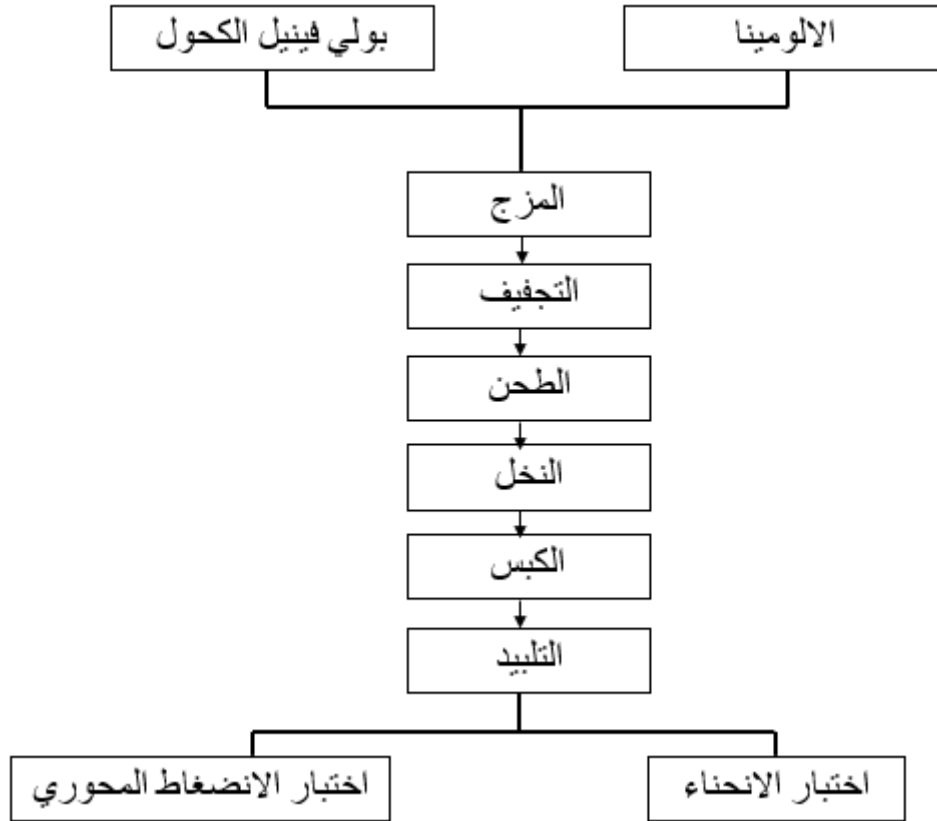
تم استخدام أوكسيد الالمنيوم الذي هو عبارة عن مسحوق الالومينا Al_2O_3 من نوع α وذات نقاوة (99.97%) وبحجم ($0.64 \mu m$). يبين جدول (1) التركيب الكيماوي لمسحوق الالومينا حيث ان الجدول (2) يبين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لسيراميك الالومينا . تم اضافة البولي فينيل الكحول (PVA) كمادة رابطة وبنسبة (2%) لتقليل الاحتكاك أثناء الكبس والحصول على مقاومة رطبة بعد الكبس للنماذج . وتم استخدام تقنية الكبس الجاف لتحضير النماذج وعند ضغط كبس (138 MPa) لنماذج اختبار الانحناء ذو الثلاث نقاط و (40 MPa) لنماذج الانحناء الثلاثي ($1200 C^\circ$ ،) $1650 C^\circ$ لنماذج الانضغاط المحوري (الخطي). شكل (1) يوضح المسلك التكنولوجي للجزء العملي .

جدول (1) يبين التركيب الكيماوي لمسحوق الالومينا المستخدم

التركيب الكيماوي للالومينا Alumina - α	
Elements	Conc.ppm
purity	99.97
Na	22
Si	34
Fe	18
Ca	15
Mg	8
Ti	5<
Ca	5<

جدول (2) الخواص الميكانيكية لسيراميك الالومينا

99.7	95	85	متوسط نسبة الالومينا %
3.90	3.70	3.40	الكثافة (gm/cm^3)
nil	nil	nil	المسامية %
3	8	8	متوسط الحجم الحبيبي ($m\mu$)
350	350	300	مقاومة الكسر عند $20^\circ C$ (Mpa)
350	300	220	معامل المرونة (GPa)
2500	2000	1800	اجهاد الانضغاط عند $20^\circ C$ (Mpa)
0.5	1.2	1.0	الانتهاء السطحي بعد الحرق (C. L. A) ($m\mu$)
0.8	0.8	0.8	الخشونة بعد التشغيل
0.1	0.2	0.5	الخشونة بعد الصقل



شكل (1) يوضح مخطط الجزء العملي

قياس مقاومة الكسر

يمكن قياس مقاومة الكسر للمواد السيراميكية بالطرق الأتية :-

1. مقاومة الشد

لحساب مقاومة الشد يعرض النموذج إلى اجهاد محوري منتظم يزداد تدريجياً إلى ان يحدث الكسر . لا يستخدم اختبار الشد للمواد السيراميكية بصورة فعلية بسبب الصعوبات الناتجة من تحضير النماذج وتركيز العيوب وتأثير عمليات التشغيل على الخواص . وعند الضرورة القصوى يمكن أن يجري اختبار الشد وحسب المواصفات القياسية ASTM المناظرة لاختبار المواد السيراميكية والمركبة .

2. مقاومة الانحناء

يعتبر من أكثر الاختبارات المستخدمة بصورة كبيرة جداً لتقييم الخصائص الميكانيكية للمواد السيراميكية وذلك للسهولة النسبية لتحضير نماذج الاختبار . تستخدم هذه الطريقة لحساب معامل الكسر ومعامل المرونة بطريقة اختبار الانحناء ذي ثلاث نقاط أو أربع نقاط . يحسب معامل الكسر للنماذج ذات مقطع متوازي مستطيلات في اختبار الانحناء ذي الثلاث نقاط من المعادلة التالية :-

$$MOR = \frac{3PL}{2bh^2}$$

حيث MOR إجهاد التمزق MPa .

P ثقل الكسر N .

L المسافة بين مراكز التثبيت mm .

b عرض النموذج mm .

h ارتفاع النموذج mm .

يجب الانتباه إلى استخدام المواصفة القياسية عند الاختبار بصورة دقيقة بما له علاقة بطريقة التثبيت وإبعاد النماذج . أما في حالة اختبار الانحناء ذي أربع نقاط فيحسب معامل الانكسار من المعادلة التالية :

$$MOR = \frac{3P(L-L_0)}{2ph^2}$$

حيث L_0 المسافة بين نقاط تسليط الحمل .

أما في حالة النماذج الأسطوانية فالإجهاد يساوي :

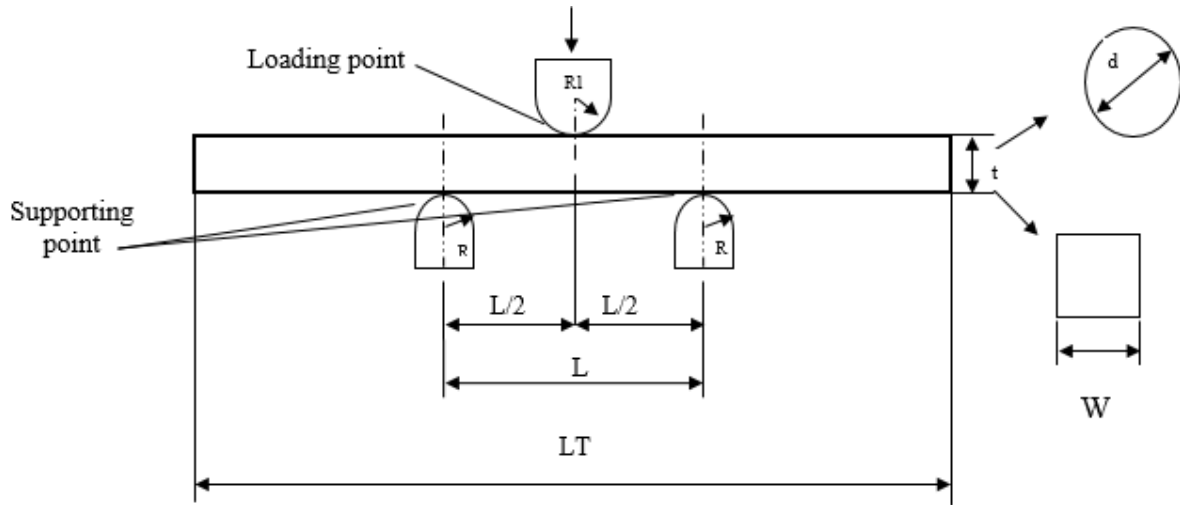
$$MOR = \frac{PL}{\pi R^3}$$

(اختبار الانحناء ذي ثلاث نقاط)

$$MOR = \frac{PL(L-L_0)}{\pi R^3}$$

(اختبار الانحناء ذي أربع نقاط)

يوضح شكل (2) طرق اختبار الانحناء ذي الثلاث نقاط.



شكل (2) يوضح طريقة اختبار الانحناء ذو الثلاث نقاط المستخدمة في البحث

النتائج والمناقشة

من خلال ملاحظة نتائج مقاومة الكسر الناتجة من اختبار الانحناء الثلاثي عند درجة تلييد ($1500\text{ }^{\circ}\text{C}$) وزمن تلييد مختلف والمبيئة في الجدول (3). يلاحظ ان القيمة الناتجة لمقاومة الكسر واطئة نوعاً ما بغض النظر عن زمن التلييد. أن سبب هذا يعزى بالدرجة الأساس الى كمية المسامية العالية الناتجة، حيث تجاوز الكسر الحجمي للمسامية لكل النماذج اكثر من (10%). أن الزيادة في قيمة مقاومة الكسر عند زمن التلييد (120) دقيقة ناتجة من كمية المسامية الاقل مقاومة مع الزمن القليل. يدل التدرج في زيادة مقاومة الكسر مع التغيير بنسبة المسامية الى التكرارية العالية بالاعتماد على القيم الناتجة من اختبار الانحناء الثلاثي لتقييم الخواص الميكانيكية للمواد السيراميكية مقارنة مع الطرق الاخرى. قيم مقاومة الكسر الناتجة من اختبار الانضغاط المحوري امتازت بالقيم الواطئة والتي تعزى الى متغيرات تكنولوجيا المساحيق المستخدمة وكذلك الى الدقة المطلوبة للاختبار مقارنة مع الانحناء الثلاثي. ان القيم الناتجة واطئة جداً ولا يمكن الاعتماد عليها. تتأثر هذه القيم الواطئة بصورة كبيرة بقيمة الضغط المستخدم للكبس والتي لم تتجاوز (40 MPa). أن هذه القيمة غير كافية للحصول على كثافة رطبة عالية وكذلك كثافة نهائية عالية (مسامية اقل) هذا ما اكدته الدراسة [12]. التلييد عند درجة حرارة عالية لغاية ($1650\text{ }^{\circ}\text{C}$) لم يؤدي الى تحسين في الخواص ملحوظة وهذه النتيجة جاءت مطابقة لما في الدراسة [13]. من هذا يستنتج ان هنالك الكثير من المتغيرات عند التعامل مع المواد السيراميكية والتي تعيق من انتشاره بصورة واسعة وبالأخص للتطبيقات التي تتطلب تكرارية عالية. أن من اهم النقاط في ذلك هي المعولية والتكرارية على النتائج من الاختبارات وبالأخص الميكانيكية ذات العلاقة بالمقاومة والتي تؤدي الى الفشل الموضعي.

جدول (3) مقاومة الكسر الناتجة من اختبار الانحناء الثلاثي

رقم العينة	Span(mm)	b(mm)	h(mm)	زمن التليد دقيقة	MOR(MPa)
1	19	5.8	4.7	30	140
2	19	5.8	4.7	60	155
3	19	5.8	4.7	120	160

الاستنتاجات

1. تعطي مقاومة الكسر باستخدام اختبار الانحناء الثلاثي نتائج أفضل بكثير مقارنة مع اختبار الانحناء المحوري .
2. درجة حرارة التليد عند $1500^{\circ}C$ وعند استخدام ضغط كبس ملائم كافية للحصول على خواص متوسطة للألومينا النقية .
3. يؤدي استخدام ضغط قليل عند الكبس للألومينا الى الحصول على خواص ميكانيكية واطنة بالرغم من درجة حرارة التليد العالية .

المصادر

1. Doore .E, (1984),"Alumina" USA.
2. Youssef .N.F, Shater. M.O, Abadir. M.F, and Ibrahim . O.A, (2002) Utilization of Red mud in the manufacture of ceramic tiles ,Key Engineering Materials Vols.206-2130 ,p.1775-1778,7 th conference of the European Ceramic Society.
3. Okamoto.M, Kodama.H, and Shinozaki .K, (2008), Effect t – pressed composite of MgO-B₂O₃-Al₂O₃ type-glass and Al₂O₃ filler, J. Ceram. Soc., Japan, Vol.116, No.3, p.475.
4. Ting .J and Lin. R, (1991), Effect of powder characteristics on microstructure and strength of sintered Alumina, Ceramic Bulletin, Vol.70.no.7, p.1167-1172.
5. J.R.G. Evans and R. Stevens,(1984),A study of the sintering of Alumina : microstructure and mechanical properties .,Brit.Ceram.Trans.J.,Vol.83,p.43-49 .
6. Size Distribution on the Sintering of Alumina, J.Am. Ceram. Soc.,Vol.,71,no.12,p.484-487 .
7. K.A.Berry and M.P.Harmer, Effect of MgO solute on microstructure, (development in Al₂O₃, J.Am. Ceram. Soc., Vol. 69, no.2,p.143-149,1986) .
8. C.Promedj,S.Areeraksakul,V.Pavarajarn,S.Wada,T.Wasanaplarnpg and T.Charinpanttkul, (2008), Preparation of translucent alumina ceramic. Specimen using slip casting method Vol.116, no. 3, p.409-314, J.Ceram.Soc., Japan.
9. C.Richrds , Trans and Jon. Brit. Ceram. Soc., Vol.80 (4), (1981), P.p109-146.

دراسة مقاومة الكسر لسيراميك الالومينا (Al_2O_3) باستخدام اختباري الانحناء الثلاثي والانحناء العمودي

مزهر طه محمد

10. W. David Richerson, "Modern Ceramic Engineering" <http://www.Ceram.Indu.>
(2003),P.p.2-10 .
11. Ian .Thompson, Mechanical Properties in liquid Environments And Thermal Shock Resistance of Alumina (Al_2O_3), Ph.D. Thesis, University of London, Imperial College of Science & Technology, (1988).
12. Skinner, L.B.; et al. (2013). "Joint diffraction and modeling approach to the structure of liquid alumina". Phys. Rev. B. 87:
024201. Bibcode:2013PhRvB..87b4201S. doi:10.1103/PhysRevB.87.024201.
13. دراسة تأثير السليكا على الخواص الفيزيائية والكهربائية للالومينا" هاني محمود حسين اطروحة ماجستير مقدمة الى كلية العلوم قسم الفيزياء /جامعة بابل، (2015)

