



تأثير المعاملة الحرارية السطحية بالليزر على الخواص الفيزيائية لمادة متراكبة (Al-B₄C)

خنساء داود سلمان، صباح نوري محمود و قمر قاسم محمد*

قسم الهندسة الكهروميكانيكية وهندسة الليزر والالكترونيات البصرية، الجامعة التكنولوجية، بغداد، العراق

الخلاصة:

في هذا البحث تمت دراسة تأثير المعاملة الحرارية السطحية بالليزر على الخواص الفيزيائية (الكثافة الخضراء، الكثافة بعد التلييد، الكثافة النظرية والمسامية) لمادة متراكبة من مسحوق الالمنيوم كمادة اساس مع نسب مختلفة من مسحوق رابع كاربيد البورون (B₄C) كمادة مضافة. تم اجراء البحث على مرحلتين: المرحلة الاولى: انتاج المادة المتراكبة المتكونة من مسحوق الالمنيوم بحجم حبيبي 24µm كمادة اساس مع مسحوق (B₄C) بحجم حبيبي 50µm كمادة مضافة وينسب وزنية (5%)، 10%، 15%، 20%، 25%، 30%)، ومن ثم تمت عملية خلط المساحيق لمدة 15min بعد ذلك اجريت عملية التدميج بكبس الخليط بضغط 2 ton والتلييد عند درجة حرارة 550C^o. المرحلة الثانية: اجريت المعاملة الحرارية السطحية بالليزر للمادة المتراكبة المنتجة بعد عملية التلييد باستخدام ليزر نيديموم - ياك النبضي بطاقة مقدارها [1] بطول موجة 1064nm وزمن نبضة 100ns. وقد اجريت المعاملة السطحية بالليزر بنبضة واحدة وبنبضتين على التوالي. تم حساب الصلادة الماكروية للمادة المتراكبة بعد التلييد وكذلك بعد المعاملة السطحية بالليزر لنبضة واحدة وبنبضتين، كذلك تم تصوير العينات باستخدام المجهر الضوئي الاعتيادي للعينات بعد كل من عملية التلييد والمعاملة السطحية بالليزر. اظهرت النتائج تحسن في الخواص الفيزيائية المذكورة في اعلاه وكذلك الصلادة الماكروية بعد المعاملة السطحية بالليزر بنبضتين اكثر مما هو عليه للنبضة الواحدة.

Effect of Laser Surface Treatment on Physical Properties of Composite Material (Al-B₄C)

Khansaa D. Selman, Sabah N. Mahmood and Qamar Q. Mohameed*

Department of Electromechanical and Laser Engineering, University of Technology, Baghdad, Iraq

Abstract

This work study the effect of laser surface heat treatment on physical properties (green density, density after sintering, theoretical density and porosity) of a composite material of an Al powder as a matrix with different percentage of B₄C powder as additive material. This work was done by two stages: First stage: Production the main composite material which is contain Al powder with grain size 24µm as a matrix and B₄C powder with grain size 50µm as additive with different weight percentage (5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%), and the powders Maxined for suitable time 15min, after that the mixture compacted with 2ton and sintered at

*Email: qamar_laser@yahoo.com

550C⁰. Second stage: Laser surface treatment was done for the productive composite material after sintering by using pulse Nd: YAG laser with 1J energy, wave length 1064nm and pulse duration 100ns. Laser surface heat treatment was carried out with one pulse and two pulses respectively. Macrohardness of the composite material was measured after the sintering process and after the laser surface heat treatment with one pulse and two pulses, also photo-micrographies were taken for the specimens by using ordinary microscopic after each of sintering process and laser surface heat treatment. The results show that improvement of physical properties mentioned above and macrohardness after laser surface treatment with two pulses more than one pulse.

Keywords: Surface heat treatment, Laser, Density, Macrohardness.

الأساس النظري

تعتبر المواد المترابكة من المواد الهندسية المهمة نظراً لما تمتلكه من خواص تناسب العديد من التطبيقات الصناعية ويمكن تعريف المادة المترابكة على أنها مادة تتكون من مادتين مختلفتين على الأقل، شرط أن لا يتم ذوبان أحدهما بالآخر وأن تكون قابلية التداخل بينهما عالية و أن لا تختلف اختلافاً كبيراً في الخصائص الفيزيائية أو الكيميائية. وتعرف المادة الأولى على أنها مادة التقوية وتمثل الجزء الذي يتحمل القوى الميكانيكية. و يكون في عدة أشكال: ألياف قصيرة أو ألياف طويلة مسترسلة وذلك حسب الاستخدام. أما المادة الثانية فهي المادة الأساس فتعرف على أنها المادة التي تقوم بإيصال المجهود الميكانيكي إلى مادة التقوية. وهي تضمن حماية مادة التقوية من العوامل الخارجية [1-3]. ومن المواد المترابكة والتي لها دور مهم في هذا المجال هي المترابكات ذات الأساس من الالمنيوم والمقواة بدقائق من كاربيد البورون. وهو واحد من اصلد المواد المعروفة ويحتل المرتبة الثالثة بعد الماس. اكتشف كاربيد البورون عام 1919 وقد تم التعرف عليه بصورة مفصلة والتحري عنه عام 1930 وينتج مسحوق كاربيد البورون بشكل رئيسي عن طريق تفاعل الكاربون مع البورون في فرن القوس الكهربائي أو بواسطة تفاعلات المرحلة الغازية ولصلايته ودرجة التحمل العالية له جعلته مهماً في قائمة المواد المستخدمة في صناعة المواد المترابكة [4]. تمتلك هذه المترابكات مجموعة من المميزات والخصائص الميكانيكية الجيدة منها خفة الوزن، كثافة قليلة ومقاومة اجهاد وتاكل عاليتين وكلفة قليلة، متانة أكبر بكثير من متانة المواد الإنشائية التقليدية وسهولة تشكيل الأشكال المعقدة وبأحجام وأبعاد كبيرة خفيفة الوزن بشكل كبير بدون التأثير على خواص المتانة [5,6]. انخفاض معدلات الكلال والزحف إلى مرحلة بحيث يمكن اعتبارها غير موجودة نهائياً مع مقاومة حرارية عالية. مقاومة أكبر للاوساط أو للمحاليل الكيميائية والعوامل الجوية (لا تصدأ) وممانعة هائلة لعدم

انتشار الشقوق التي قد تحدث نتيجة للاهتزاز، وبالتالي فهي ممتازة كمحاور دورانية هذه الأسباب جعلتها المادة المفضلة في صناعة الطائرات. وكذلك تستعمل في صناعة السيارات العسكرية وفي معامل انتاج الطاقة النووية [7-9].

الجانب العملي

في هذا البحث تم استخدام مسحوق الالمنيوم بحجم دقائق $24\mu m$ كمادة معدنية اساس ومسحوق كاربيد البورون كمادة مدعمة وبحجم دقائق $50\mu m$ وينسب وزنية (5%، 10%، 15%، 20%، 25%، 30%) بعدها تم وزن المواد حسب النسب المثبتة وباستخدام ميزان حساس بدقة اربع مراتب. تم بعدها خلط المسحوق باستخدام الخلاط الميكانيكي ولمدة 15 دقيقة وذلك للحصول على التوزيع المتجانس لدقائق المسحوق. اجريت عملية الكبس للمسحوق باستخدام مكبس ذو تقنية كبس باتجاه واحد (Uniaxial)، حيث يوضع المزيج داخل قالب من الصلب بعد اجراء عملية التزيت له ثم تسليط ضغط مقداره 2ton للحصول على نماذج اسطوانية مختلفة. يتم حرق المكبوسات في فرن من نوع (Carbolite) وفي جو مكربن لتجنب الاكسدة وفي درجة حرارة 550°C ولمدة ثلاث ساعات وبعدها تم تبريد العينات بصورة بطيئة لمنع حصول التشققات داخل المكبوسة. تمت عملية التتعيم والصلل للحصول على سطح افقي صقيل حيث ان حصول اي ميلان في السطح الخارجي سوف يؤثر سلباً على دقة الفحوصات وايضا لتجنب تشتت طاقة الليزر المسلطة الناتجة عن الانعكاس في حال كون سطح العينات مائل بدرجة معينة. تمت المعاملة الحرارية السطحية بالليزر للعينات باستخدام ليزر نوع (نيديميوم-ياك) النبضي بتردد 3Hz وطول موجي 1064nm وطاقة $E = 1\text{J}$ ومقدار عرض النبضة 100nm . اجريت عملية التصليد بالليزر بنبضة واحدة وكذلك بنبضتين.

العينة ويحمل مقداره $1000N$ وبعدها تم تطبيق العلاقة الرياضية الخاصة بصلادة برنيل [12].

$$BHN = 2F / [\pi D (D - \sqrt{D^2 - D_i^2})] \dots \dots \dots (5)$$

حيث ان:

F: الحمل المسلط (N).

D: قطر كرة برنيل الفولاذية (mm).

D_i : قطر الاثر المتولد نتيجة الغرز (mm).

5- البنية المجهرية

تم تصوير البنية المجهرية للعينات بعد عملية التليد ولكافة النسب الوزنية للمادة المضافة (5%، 10%، 15%، 20%، 25%، 30%) وذلك باستخدام مجهر (Optical Scanning Microscope) نوع (MEIJI TECHNO) ياباني المنشأ بقوة تكبير (250 X).

النتائج والمناقشة:

1- نتائج اختبار الكثافة للعينات

من خلال الجدول 1- يلاحظ ان الزيادة في نسبة المادة السيراميكية المضافة للمادة الاساس ادت الى تقليل المسامات وبالتالي زيادة الكثافة بعد الكبس وبعد عملية التليد. فعند كبس المسحوق تنتشوه جسيمات المسحوق وتضغط مع بعضها البعض بحيث تصبح اكثر تماسكا وبذلك تكبر نقاط التلامس البدائية لتصبح بعدها مساحات تلامس وعند زيادة مساحات التماس بين الدقائق فان قوى الترابط الذرية سوف تزداد وبالتالي تزداد الكثافة الرطبة.

جدول 1- تغير قيم المسامية قبل وبعد التليد مع تغير نسب الاضافة للعينات.

نسبة اضافة (B ₄ C)	المسامية قبل التليد %	المسامية بعد التليد %
0	33.740	26.037
5	30.989	24.770
10	28.667	22.807
15	26.039	17.720
20	23.120	17.969
25	17.050	14.975
30	16.281	13.290

اما بعد التليد فتزداد الكثافة نتيجة للحرارة العالية المستخدمة في عملية التليد وباللغة $550 C^0$ حيث نقل نسبة

الاختبارات:

1- اختبار الكثافة

تم حساب الكثافة للعينات بعد اجراء عملية الكبس والتليد لتحديد سلوك المادة المكبوسة بعد عملية التليد و تم حساب الكثافة قبل التليد وفق المعادلة الاتية [10].

$$\rho_g = Mg/Vg \dots \dots \dots (1)$$

ρ_g : الكثافة الرطبة (g/cm^3)

Mg: كتلة الانموذج بعد الكبس (g).

Vg: حجم الانموذج (cm^3).

اما حساب الكثافة بعد التليد فقد تم استخدام المعادلة التالية:

$$\rho = M/V \dots \dots \dots (2)$$

ρ : الكثافة بعد التليد (g/cm^3).

M: كتلة الانموذج بعد التليد (g).

V: حجم الانموذج بعد التليد (cm^3).

2- الكثافة النظرية

تم حساب قيمة الكثافة النظرية من خلال معرفة النسب المئوية الوزنية لمزيج المساحيق وكثافتها وكما في العلاقة الاتية والتي تسمى بقانون الخلط [11].

$$\rho_c = \frac{\rho_1 \rho_2}{x_1 \rho_2 + x_2 \rho_1} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

ρ_c : الكثافة النظرية للمزيج (g/cm^3).

ρ_1 : كثافة الالمنيوم (g/cm^3).

ρ_2 : كثافة كاربيد البورون (g/cm^3).

X_1, X_2 : النسبة الوزنية لمسحوق الالمنيوم وكاربيد البورون على التوالي.

3- المسامية

تم حساب المسامية من العلاقة ما بين الكثافة قبل و بعد التليد مع الكثافة النظرية وكما في المعادلة التالية:

$$P = 1 - (\rho/\rho_c) \cdot 100\% \dots \dots \dots (4)$$

حيث ان:

P: المسامية للنماذج (%).

ρ : الكثافة (g/cm^3).

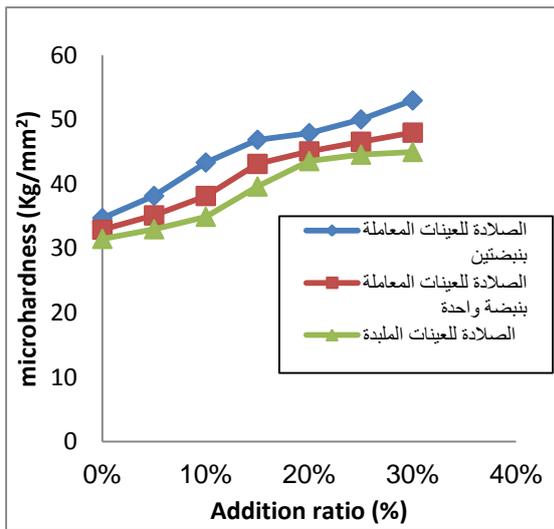
ρ_c : الكثافة النظرية للخليط (g/cm^3).

4 - اختبار الصلادة الماكروية

تم قياس الصلادة الماكروية بطريقة برنيل اذ تم تسليط الكرة الفولاذية ذات القطر 2.5mm ولمدة 15sec على سطح

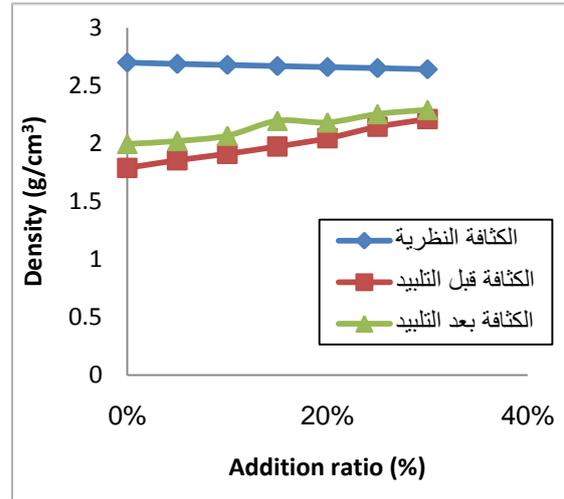
4- نتائج اختبار الصلادة الماكروية للعينات

الشكل (2) يوضح العلاقة ما بين قيم الصلادة الماكروية (صلادة برنيل) للعينات ونسب الاضافة. حيث يلاحظ ان زيادة نسبة المادة السيراميكية المضافة ادت الى زيادة الصلادة بعد التلبيد وذلك لزيادة المساحة التي يشغلها الطور السيراميكي في الطور المعدني للمادة المترابطة وكذلك لطبيعة دقائق (B_4C) التي تعمل كعوائق لتشوه المادة الاساس بسبب الصلادة العالية لهذه الدقائق. وبما ان المادة المضافة (B_4C) ذات صلادة عالية لذا فان توزيع هذه المادة المضافة في الارضية اللينة (مسحوق الالمنيوم) يؤدي الى زيادة صلادة المادة المترابطة المنتجة. اما بالنسبة الى تأثير التلبيد فذلك يعتمد على درجة حرارة وزمن التلبيد وكذلك جو الفرن ودرجة الحرارة التي تم بها تبريد العينات بعد اتمام عملية التلبيد حيث ان التبريد البطيء للعينات يؤدي بدوره الى زيادة التلاحم ما بين دقائق المادة المضافة للمادة الاساس والذي ينتج عنه زيادة في الصلادة الماكروية نتيجة لعملية الرص الجزيئي الناتجة عن عملية التلبيد وكذلك لالتحام جزيئات المادة المترابطة مع بعضها. اما بعد اجراء عملية التصليد السطحي بالليزر فيلاحظ زيادة واضحة لقيم الصلادة الماكروية وخاصة في حالة المعاملة بالنبضتين عما هو عليه للنبضة الواحدة وكما موضح بالشكل 2- وذلك لان المعاملة السطحية بنبضتين تؤدي الى زيادة الترابط ما بين المادة الاساس والمادة المضافة بالاضافة الى حدوث صهر سطحي اكثر مما هو عليه في حالة التصليد بنبضة واحدة.



شكل 2- تغيير قيم الصلادة الماكروية بتغيير نسب الاضافة للعينات قبل وبعد المعاملة بالليزر.

المسامات بارتفاع درجة الحرارة مسببة طرد الغازات الموجودة في المسامات الى الخارج ويزداد الترابط بين دقائق المادة الاساس ومادة التقوية المضافة لالتحام الاعناق ما بين الدقائق وتأخذ المسامات شكل كروي عند التلبيد وبالتالي الانفصال عن بعضها والشكل رقم 1- يوضح تغيير الكثافة مع تغيير نسب الاضافة.



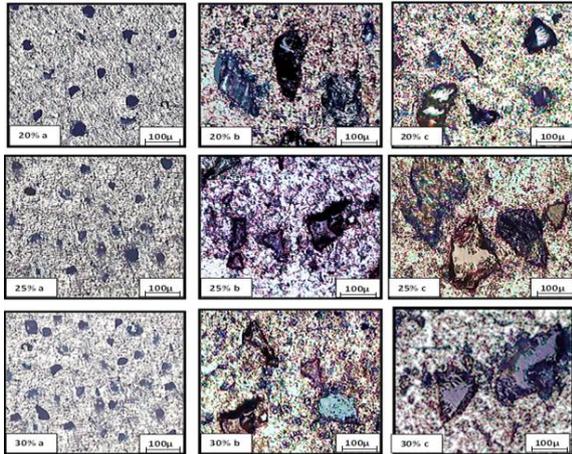
شكل 1- تغيير قيم الكثافة والكثافة النظرية للعينات قبل وبعد التلبيد مع نسب الاضافة.

2- نتائج الكثافة النظرية

من ملاحظة نتائج الكثافة النظرية تبين ان قيم الكثافة تقل بزيادة نسبة المادة السيراميكية المضافة ولكن بنسبة قليلة وذلك لتقارب كثافة الالمنيوم من كثافة كاربيد البورون.

3- نتائج المسامية

نجد ان قيمة المسامية قد انخفضت بزيادة نسبة كاربيد البورون المضافة، وانخفضت بنسبة اكبر بعد عملية التلبيد عما هي عليه قبل التلبيد. وان زيادة المسامية يؤدي الى ظاهرة التشر (هشاشة وتفتت العينة)، لذلك فان عمليتي زيادة نسبة اضافة مادة التقوية والتلبيد له اثر واضح في تقليل نسبة المسامية وتحسين الخواص الميكانيكية والفيزيائية وخاصة عند نسبة الاضافة 30%. ان سبب انخفاض المسامية هو ان الغازات المتواجدة (الفراغات) ما بين دقائق المسحوق سوف تتلاشى جزئياً خلال عملية التلبيد وذلك بأخذ المسامات شكل كروي عند التلبيد وانفصال المسامات عن بعضها البعض واغلاق جزء من المسامات ويبقى الجزء الآخر محصوراً ما بين الدقائق. جدول (1) يوضح تغيير المسامية بتغيير نسبة الأضافة قبل وبعد التلبيد.



الشكل 3- الصورالمجهرية للعينات الملبدة والعيّنات المعاملة بالليزر للنبضة والنبضتين ونسب الاضافة في الصورة اعلاه وبقوة تكبير 250X. a- العينة الملبدة b- العينة المعاملة بالليزر لنبضة واحدة c- العينة المعاملة بالليزر لنبضتين

المصادر:

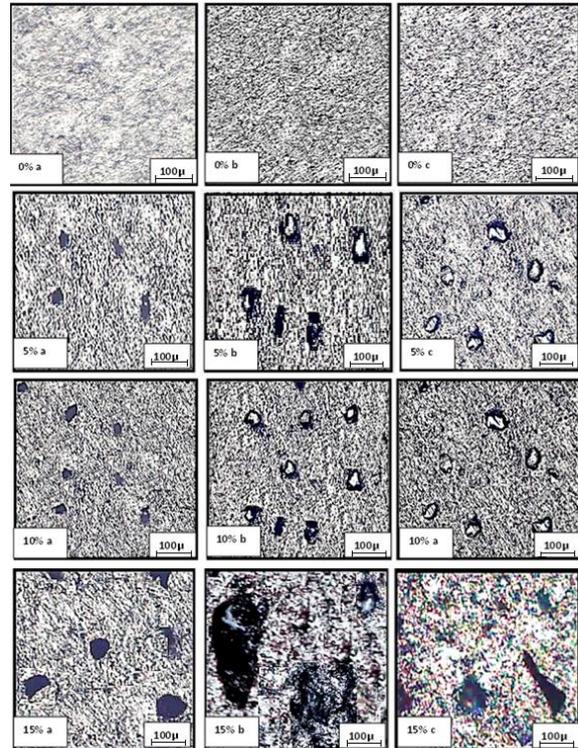
1. Karl U. K. "Basics of metal matrix composites". Custom- made materials for Automotive and Aerospace Engineering. 2006 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA Weinheim ISBN: 3-527-31360-5.
2. Nikhilesh Ch., Yu-Lin Shen, "Mechanical Behavior of Particle Reinforced Metal Matrix Composites", Advanced Engineering Materials 2001, 3, No. 6 pp. 358-370.
3. Włodarczyk A. F., Dobrzański L.A., Kremzer M., Adamiak M., "Manufacturing of aluminium matrix composite materials reinforced by Al₂O₃ particles", 2008, Journal of Achievement in materials and Manufacturing, Engineering, 27(1), pp:99-102.
4. M. Com. the A to Z materials and AZojomo, "Boron- carbide (B₄C) properties and information about Boron-carbide", the AZo Journal of Materials online, February 17, 2012.
5. Metal matrix composite (MMC)-"structural composite components", CPS Technologies – Reliability with smart composite products – 508-222-0614, 2012.
6. Micromeritics M., 2012 "materials characterization instrumentation", AZom The A to Z materials and AZojomo-The "AZo Journal of materials online", AZom compty..
7. Najem S. H., "Machinability of Al-2024 reinforced with Al₂O₃ and / or B₄C", 2012,

5- البنية المجهرية

الشكل 3- يوضح البنية المجهرية للعينات ذات نسب اضافة مختلفة من B₄C بعد عملية التليد نلاحظ وجود الطور المضاف بوضوح. عند زيادة الاضافة نلاحظ الطور المضاف يشغل مساحة اكبر. بينما في حالة المعاملة بالليزر فنلاحظ من الصور للعينات المصلدة بنبضة واحدة زيادة في مساحة الطور المضاف اكثر من ما هو عليه قبل المعاملة بالليزر. اما المعاملة السطحية بالليزر بنبضتين فنلاحظ بوضوح اكبر مما هو عليه للعينات بعد عملية التليد والعيّنات المصلدة بنبضة واحدة وذلك بسبب زيادة الصلادة الناتجة عن النبضتين اكبر من الصلادة للعينات الملبدة والعيّنات المصلدة بنبضة واحدة.

الاستنتاجات:

- 1- تزداد قيم الكثافة الرطبة بزيادة نسبة اضافة كاربيد البورون بعد عملية الكبس والكثافة بعد اجراء عملية التليد.
- 2- انخفاض في قيم الكثافة النظرية والمسامية بزيادة نسبة اضافة المادة السيراميكية.
- 3- ادت زيادة نسبة اضافة كاربيد البورون الى زيادة قيم الصلادة الماكروية.
- 4- المعاملة الحرارية السطحية بالليزر ادت الى زيادة قيم الصلادة الماكروية وخاصة عند التليد بنبضتين اكثر مما هو عليه في النبضة الواحدة.



<http://www.uobabylon.edu.iq/uobcoleges/filesshare/articles>.

8. Alizadeh A, Taheri-Nassaj E and Bahavandi H R, "Preparation and investigation of Al-4 wt % B₄Cnanocompositepoders using mechanical miling", Bull.Mater.Ssi. Vol.34, No.5., August(2011), PP.1039-1048, Indian Academy of Sciences.
9. Sakar A., Kocafe D., Grant X. Chen, "Effect Of Titanium On The Wetting Of Boron Carbide By Aluminum" Universite du Quebecer Chicoutimi, 555. Boul.delU University, Chicoutimi, Quebec G7H 2B1, Rio Tinto Aclan,. The financial support from CURAL (Centre Universitaire de recherche sur l'aluminium of the University of Quebec at Chicoutimi), NSERC, and RioTinto Alcan is greatly appreciated.
10. Ahmad Kh. R., Lee W. J., Zaki R. M., Mazlee M.N., Fitri M.W.M., Rizam S.S. and Shamsul J.B., 2007 "The Microstructure And Properties Of Aluminium Composite Reinforced With 65 Mm Alumina Particles Via Powder Metallurgy" *School of Materials Engineering, University Malaysia Perlis, 02600 Jejawi, Arau, Perlis, ICOSM 2007*, Paper accepted on 15th May.pdf.
11. Sudipt Kumar & J.Ananda 2008 "The Erthan Metal Matrix Composite Production And Characterisation Of Aluminium-Flyash Composite Using Stir Casting Method" a B.Sc. thesis, department of Metallurgical Materials Engineering, National Institute of Technology, Rourkela.
12. ASTM E10-12, 2012 Standard Test Method for Brinellhardness of Metallic Materials, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive• ASTM.