

## Pengaruh Temperatur Terhadap Kekerasan Dan *Fracture Toughness* Komposit Matriks Keramik Produk *Directed Melt Oxidation (Dimox)*

G.N. Anastasia Sahari

Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar  
Jl. Perintis Kemerdekaan Km.13 Daya-Makassar-Sulawesi Selatan 90243  
E-mail: tasya\_metalUI@yahoo.com

### Abstrak

Perkembangan ilmu pengetahuan yang telah dicapai, mendorong terciptanya suatu teknologi yang maju untuk menghasilkan suatu material yang berguna dan bermanfaat bagi kehidupan manusia. Untuk memenuhi kebutuhan teknologi modern akan material maka komposit merupakan salah satunya. Komposit adalah material hasil kombinasi makroskopik dari dua atau lebih komponen yang berbeda, memiliki antarmuka diantaranya dan dengan tujuan mendapatkan sifat-sifat fisik dan mekanis tertentu yang lebih baik daripada sifat masing-masing komponen penyusunnya. Komposit matriks keramik (KMK) adalah material yang terdiri atas dua atau lebih material yang berbeda dimana salah satu unsurnya adalah keramik dan bertindak sebagai matriks. Komposit matriks keramik terus menerus dikembangkan dan disempurnakan sifat-sifatnya sebagai bahan alternatif pengganti logam yang potensial. Alasan utama untuk mengembangkan komposit matriks keramik adalah kemampuannya untuk memberikan sifat yang dapat diaplikasikan pada temperatur tinggi karena memiliki sifat yang superior seperti kekakuan, kekuatan yang tinggi dan densitas yang rendah, namun juga memiliki ketangguhan retak yang tinggi dibandingkan dengan keramik monolitik. Dalam penelitian ini diteliti bagaimana pengaruh temperatur terhadap kekerasan dan nilai *fracture toughness* komposit keramik  $Al_2O_3/Al$  hasil proses dimox Temperatur proses yang digunakan  $1100^{\circ}C$ ,  $1200^{\circ}C$  dan  $1300^{\circ}C$  dengan persentase 5 % Mg sebagai *dopant* atau *wetting agent* dan lamanya pemanasan 24 jam dalam lingkungan atm kemudian didinginkan sampai temperatur kamar dalam dapur. Untuk mengukur *fracture toughness* material komposit matriks keramik  $Al_2O_3/Al$  digunakan metoda indentor vickers. Metoda ini sama halnya seperti mengukur kekerasan Vickers, disertai dengan pengamatan panjang retak mikro yang terjadi pada saat setelah penekanan dengan indentor.

Hasil penelitian menunjukkan kedalaman infiltrasi maksimum dicapai pada temperatur  $1300^{\circ}C$  sebesar 24,368 mm, kekerasan mikro optimum dicapai pada temperatur  $1100^{\circ}C$  sebesar 938 VHN, nilai *fracture toughness* maksimum pada temperatur  $1300^{\circ}C$  sebesar  $8,25 MPa.m^{1/2}$ .

**Keywords:** Komposit Matriks Keramik, *dimox*, Vickers, *fracture toughness*, *Infiltrasi*

### Pendahuluan

Komposit merupakan material yang terus dikembangkan karena komposit adalah material alternatif dengan *properties* yang memuaskan dan memberikan serangkaian sifat yang bisa disesuaikan untuk aplikasi tertentu. Salah satu jenis komposit yang banyak menarik perhatian adalah komposit matriks keramik (KMK). Tujuan utama dari pembuatan KMK adalah untuk meningkatkan ketangguhan (*thoughness*) karena matriks keramik sangat *brittle* sehingga mudah mengalami perpatahan.<sup>(1)</sup>

Aplikasi keramik terbatas oleh kegetasannya. Berbagai percobaan dilakukan untuk mendapatkan keramik yang mempunyai karakterisasi khusus dan terbukti berat jenis keramik bisa mendekati 50% dari berat jenis logam<sup>(2)</sup> Jika ketangguhan

merupakan tujuan utama maka penambahan *reinforcement*, seperti logam ulet, akan menghilangkan kekuatan dan kekakuan keramik saat temperatur *intermediate*.<sup>(1)</sup> Alasan kedua yaitu adanya perbedaan koefisien termal ekspansi antara matriks dengan *reinforcement* yang mengakibatkan *thermal stress* selama pendinginan dan kemungkinan terjadi *crack* sangat besar. Hal dapat dihindari dengan adanya *wetting* yang baik antara keduanya.

Salah satu proses manufaktur komposit yang sedang berkembang adalah proses DIMOX (*Directed Meld Oxidation*).<sup>(3-5)</sup> DIMOX merupakan teknik untuk memproduksi KMK dengan cara peleburan *in situ*, yaitu melebur logam dalam lingkungan atm<sup>(3)</sup> sehingga leburan logam akan menginfiltrasi prabentuk (*preform*) menghasilkan paduan keramik dengan sedikit logam sisa.<sup>(4)</sup> Keunggulan proses ini adalah kemudahan untuk mengatur sifat-sifat komposit sesuai dengan kebutuhan

dengan aplikasi yang luas<sup>(6)</sup>. Awalnya produk yang dihasilkan untuk aplikasi tahan aus dan senjata, sampai saat ini mengalami perkembangan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan temperatur tinggi yang baik, seperti mesin turbin, roket, piston, *heat exchanger* dan aplikasi lain. Selain itu proses ini cukup murah dan dapat digunakan untuk menghasilkan produk akhir dengan rentang ukuran yang lebar dalam bentuk yang kompleks<sup>(7-8)</sup>.

Kekuatan dan ketangguhan memiliki keterkaitan. Suatu material dikatakan kuat dan tangguh jika pecah (*ruptures*) pada kekuatan yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa material tersebut memiliki regangan yang tinggi, sementara material yang rapuh memiliki kekuatan tetapi dengan nilai regangan yang terbatas sehingga material tersebut tidak tangguh. Umumnya kekuatan material menunjukkan seberapa banyak material dapat menahan beban atau tegangan sementara ketangguhan material menunjukkan seberapa besar dapat menyerap energi sebelum material tersebut pecah (*rupturing*).

Nilai fracture toughness  $K_{IC}$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1<sup>(9)</sup> :

$$K_{IC} = 0.016 (\sqrt{E/Hv}) (P/C^{1.5}) \dots \dots \dots (1)$$

**Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan**

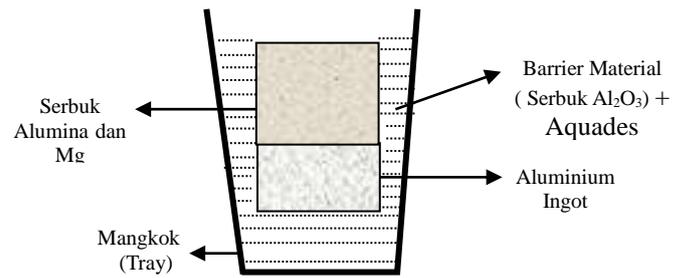
Bahan – bahan KMK yang digunakan terdiri dari aluminium ingot, alumina sebagai matrik dan serbuk Mg sebagai dopant untuk menurunkan sudut kontak antara  $Al_2O_3/Al$ . Bahan – bahan KMK yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Bahan – bahan KMK

No	Bahan	Ukuran	Keterangan
1	Al Ingot	3 x 3 x 1	Ingot Al dari PT. Alumindo Perkasa
2	Mg	0.06 – 0.3 mm	Serbuk Mg disuplai dari E-Merck Germany
3	Alumina	325 mesh	Oripax Oriental Chemical Ltd. Korea

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh temperatur terhadap kekerasan dan *fracture toughness* komposit keramik  $Al_2O_3/Al$  hasil proses dimox. Proses pembuatan komposit matrik keramik dilakukan dalam *furnace* dengan temperatur proses 1100°C, 1200°C dan 1300°C dengan waktu tahan proses 24 jam dan kenaikan temperatur 200°C/ jam dan pendinginan dilakukan dengan lambat dalam dapur.

Penempatan bahan-bahan KMK dalam proses DIMOX seperti pada Gambar 1.

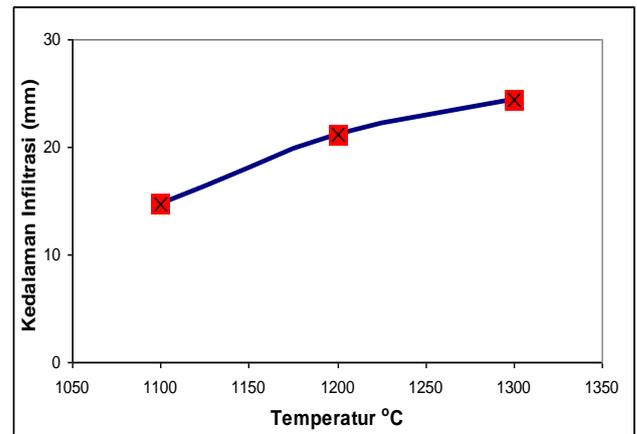


Gambar 1. Penempatan bahan-bahan proses DIMOX

**Hasil dan Pembahasan**

*Pengaruh Temperatur terhadap Kedalaman Infiltrasi*

Kedalaman infiltrasi diukur setelah KMK dikeluarkan dari tray, Pengukuran dilakukan dengan jangka sorong digital. Infiltrasi penuh (100%), bila leburan aluminium mampu membasahi seluruh partikel alumina ( $Al_2O_3$ ). Terlihat bahwa kedalaman infiltrasi meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur. Kedalam infiltrasi yang diperoleh, disajikan pada Gambar 2.

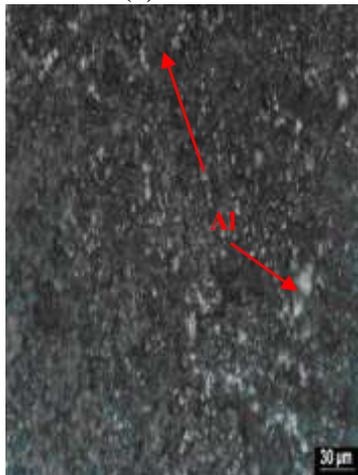


Gambar 2. Pengaruh Temperatur terhadap Kedalaman Infiltrasi.

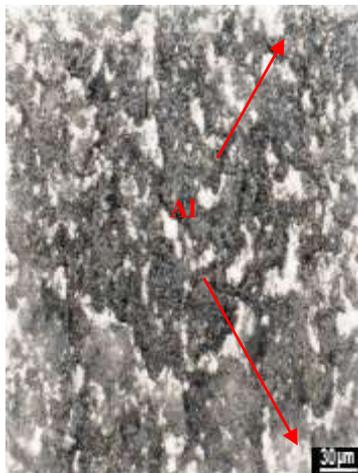
Semakin tinggi temperatur proses maka infiltrasi aluminium leburan ke dalam partikel alumina semakin besar akibat adanya gaya kapilaritas, karena viskositas aluminium yang rendah menyebabkan turunnya energi permukaan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Mc.Coy<sup>(10)</sup> bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin jauh kedalaman infiltrasi sebab temperatur yang semakin tinggi membuat energi bebas dan tegangan permukaan antara keramik dan logam semakin rendah sehingga infiltrasi akan menjadi lebih mudah,



(a) 1100°C



(b) 1200°C



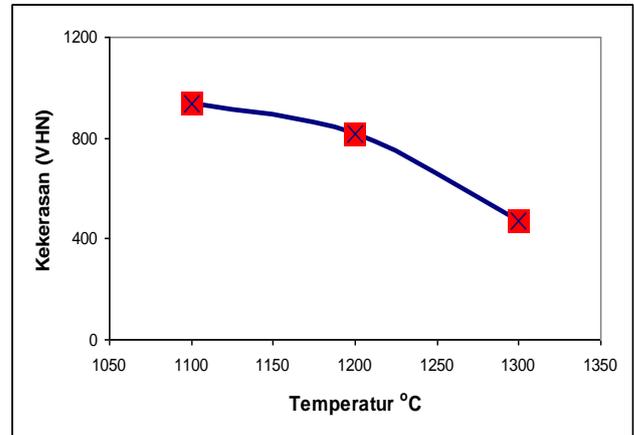
(c) 1300°C

**Gambar 3.** Distribusi Al leburan yang berinfiltrasi akibat perubahan temperatur

### Pengaruh Temperatur terhadap Kekerasan

Nilai kekerasan komposit hasil proses dimox dipengaruhi oleh interface antara partikel keramik alumina dengan aluminium<sup>(11)</sup>, dan temperatur akan mempengaruhi proses pembasahan antara keramik dan logam yang berdifusi<sup>(12)</sup> sehingga

berpengaruh pada kekerasan produk reaksi. Sifat kekerasan pada umumnya merupakan fungsi dari kekuatan ikatan material keramik dan aluminium. Material dengan densitas yang tinggi memiliki kecenderungan kekerasan yang meningkat karena ikatan antar partikel dari proses pembasahan. Kekerasan suatu material juga dipengaruhi oleh senyawa (fasa) pembentuk material tersebut<sup>(13)</sup>.



**Gambar 4.** Pengaruh Temperatur terhadap Kekerasan

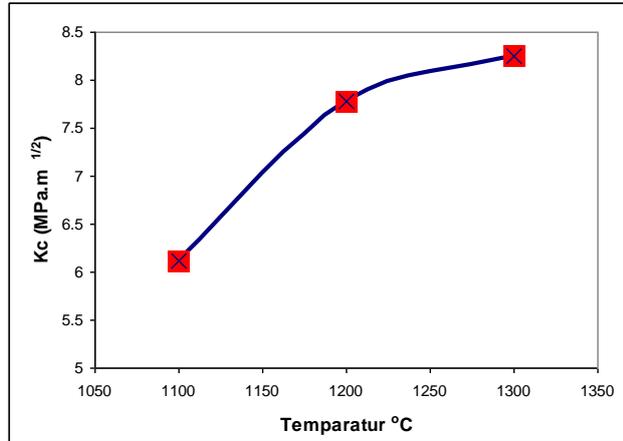
Dari Gambar 4 hasil uji kekerasan memperlihatkan kekerasan CMCs pada temperatur 1100°C lebih besar dibandingkan 1200°C karena kehadiran fasa-fasa dalam komposit memberikan efek terhadap nilai kekerasan. Aluminium, alumina dan spinel merupakan material dengan nilai kekerasan yang berbeda sehingga nilai kekerasan komposit merupakan interaksi dari tiga fasa tersebut. Saat temperatur meningkat maka akan meningkatkan pembasahan sehingga jumlah fasa *spinel* dan alumina akan lebih banyak dan memberikan kontribusi terbesar terhadap kekerasan komposit. Efek yang teramati adalah terjadi penurunan nilai kekerasan, tetapi pada saat temperatur semakin besar maka aluminium leburan yang berinfiltrasi juga semakin bertambah, tersebar pada seluruh bagian komposit yang mana kekerasan aluminium rendah maka penambahan jumlah aluminium leburan dalam komposit akan menurunkan nilai kekerasan.

Pengisian celah antar partikel oleh aluminium memberikan efek pada peningkatan kekerasan walaupun aluminium merupakan fasa dengan kekerasan terendah.<sup>(14)</sup> Porositas dapat terjadi akibat daerah keramik yang tidak terinfiltrasi sehingga seberapa banyak pori atau celah antar partikel yang terisi memberikan kontribusi pada nilai kekerasan.

### Pengaruh Temperatur terhadap Fracture Toughness

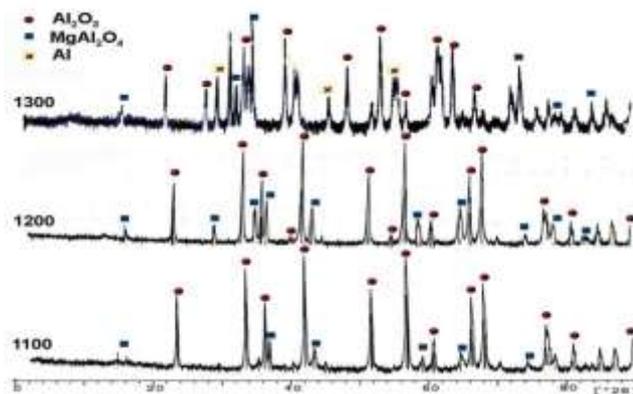
*Fracture Toughness* merupakan kemampuan material untuk menahan beban atau deformasi yang terjadi akibat retak dengan memperhatikan faktor cacat material, geometri material, kondisi pembebanan, dan tentunya sifat material yang digunakan. Pengertian yang lebih

mudah *fracture toughness* bisa disebut sebagai ketangguhan retak suatu material untuk mengevaluasi kemampuan komponen yang mengandung cacat untuk melawan retak.



**Gambar 5.** Pengaruh temperatur terhadap nilai *farcture toughness*

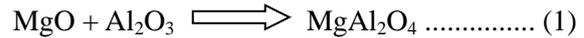
Kenaikan temperatur proses berpengaruh terhadap viskositas leburan Al sehingga lebih mudah untuk berinfiltrasi<sup>(15)</sup>. Temperatur yang tinggi menyebabkan viskositas leburan Al menjadi lebih rendah dan penurunan energi permukaan sehingga reaksi antarmuka menjadi lebih cepat memacu terbentuknya fasa spinel MgO dan MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> pada daerah antarmuka. Reaksi-reaksi antarmuka menjadi lebih cepat pada temperatur yang lebih tinggi menyebabkan leburan Al akan semakin banyak mengisi preform matriks alumina.



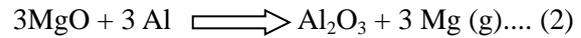
**Gambar 6.** Reaksi antarmuka komposit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al hasil XRD

Pada proses infiltrasi, awal periode oksidasi yang cepat dimana teroksidasinya Mg oleh oksigen dalam udara menghasilkan MgO yang semakin banyak sampai Al mencapai titik leburnya. Oksidasi berlanjut dengan konsentrasi tinggi Mg, dalam bentuk MgO dan MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Untuk kehadiran MgO pada permukaan antarmuka, ada dua kemungkinan reaksi<sup>(16)</sup>: (i) ketika MgO kontak dengan lapisan alumina yang terbentuk

pada permukaan luar Al cair, reaksinya



Kemungkinan (ii) ketika MgO kontak dengan liquid Al.



Kehadiran lapisan tipis spinel hasil reaksi antarmuka pada *interface* logam-keramik memiliki implikasi penting untuk mengikat/menggabungkan antara keramik-logam. Guillard<sup>(17)</sup> dalam penelitiannya menyatakan Awal terjadinya oksidasi diyakini dengan pembentukan spinel MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, kemudian diikuti dengan evolusi MgO pada bagian atas interface secara berkesinambungan. Sindel mengemukakan bahwa spinel (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) pada permukaan dapat memulai oksidasi terarah<sup>(18)</sup>.

Dari puncak-puncak hasil XRD memperlihatkan reaksi antarmuka didominasi oleh terbentuknya Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> untuk temperatur sinter 1100 dan 1200°C sedangkan pada temperatur sinter 1300°C lebih sedikit bahkan masih terdapat Al. Hal ini yang menyebabkan nilai *fracture toughness* yang lebih besar pada temperatur 1300°C.

**Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- Semakin tinggi temperatur sintering maka infiltrasi aluminium leburan akan lebih banyak, karena viskositas aluminium yang rendah menyebabkan turunnya energi permukaan.
- Semakin meningkatnya temperatur proses menyebabkan kekerasan KMK menurun, hal ini menandakan bahwa KMK Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al memiliki keuletan yang lebih besar.
- Semakin meningkatnya temperatur proses juga menyebabkan *fracture toughness* KMK Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al meningkat, menunjukkan bahwa KMK memiliki regangan yang lebih tinggi.

**Ucapan Terima kasih**

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Prof. Dr. Pasolang Pasapan SH, MH yang memberikan kesempatan untuk studi lanjut, Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia, M.Sc dan Prof Dr. Ir Eddy Siradj, M. Eng Guru Besar Departemen Metalurgi dan Material Fak. Teknik Universitas Indonesia yang telah membimbing selama studi, Bapak Ali Utomo selaku Direktur Utama dan Bapak Ir. CH. Kument selaku Manager Representative PT. Arezda Purnama Loka yang telah memberikan kelonggaran waktu kerja dalam penyelesaian penelitian ini dan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada suami tercinta Yogi Sugiharto,

S.Kom atas dukungan dan doanya.

### Nomenklatur

- E : modulus young (GPa)  
Hv : nilai kekerasan Vickers (GPa)  
P : nilai beban yang digunakan (N)  
C : panjang retak mikro (m)  
K<sub>C</sub> : *fracture toughness*, (MPa.m<sup>1/2</sup>)

### Referensi

1. Matthews, F.L and Rawlings R.D, "Composite Materials: Engineering and Science", London: Chapman and Hall. (1994)
2. Zhong W. M, G. Lesperance, and M. Suery, "Interfacial Reactions in Al-Mg/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composite During Fabrication and Remelting" Metallurgical and Material Transaction. Volume 26A, pp. 2637-2649 (1988)
3. ASM Handbook Volume 21, *Composites* (USA: ASM International®, pp.1,387-389,1356-1357, (2001)
4. Jing Li dkk., "Microstructure and Mechanical Properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiC 4 Volume % Co Composites Prepared from Cobalt Coated Powders", Surface and Coating Technology 200, hal. 3705-3712, (2006).
5. Becher, P. F., "Microstructural design of toughened ceramics", *J. Am. Ceram. Soc.*, 74(2), hal. 255-269, (1991).
6. Deng Jianxin, Cao Tongkun, Ding Zeliang, Liu Jianhua, Sun Junlong, Zhao Jinlong, "Tribological behaviors of hot-pressed Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiC ceramic composites with the additions of CaF<sub>2</sub> solid lubricants" Journal of the European Ceramic Society 26 , pp, 1317-1323, (2006)
7. Gu, X and Hard, R.J, " The Production of Reinforced Aluminium/Alumina Bodies by Directed Metal Oxidation" Journal of The European Ceramics Society, pp. 823-831 (1995)
8. Uygur, E.M, "Production Of Metal Matruix Alumina-Ceramic Composite. International Journal of Machine Tolls Manufacture", Vol. 37, No. 10 pp. 1539-1553, (1997)
9. Kamal E,"Toughness, Hardness and Wear",Engineered Materials Handbook Vol.4, pp. 599-609, (1991)
10. J.W. McCoy, C.Jones and F.E. Warner. 34<sup>th</sup>, "International SAMPE Symposium", pp. 37-46. (1988)
11. Ali Sangghaleh & mohammad Halali," Effect of magnesium addition on the wetting of alumina by aluminum", Surface Science, Vol. 255, Issue 19, hal. 8202-8206, (2009)
12. Pat. L.. Mangonon, 1987, " The Principle of Material Selection fo Eneineering Design" International Edition, Printice-Hall International, pp. 721-787 (1987)
13. H. Chang, R. L. Higginson & J. G. P. Binner, "Interface Study by Dual Beam FIB-TEM in a pressureless infiltrated Al(Mg) / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Interpenetrating Composite", Journal of Microscopy, Volume 233, Issue 1, hal. 132-139, (2009)
14. Andersson C.A, Barron-Antolin P., Schiroky G.H and Fareed A.S, "Properties of Fiber-Reinforced Lanxide "Alumina Matrix Composites, ASM Conference Proceedings, ASM International, Materials Park, hal. 209, (1988)
15. Carlos A. Leon-Patino,"Role of Metal interlayers in the infiltration of metal-ceramic composites", Current Opinion in Solid State and materials Science 9, pp. 211-218, (2005)
16. T.B. Sercombe, G.B. Schaffer,"On the role of magnesium and nitrogen in the Infiltration of aluminium by aluminium for rapid prototyping applications, Acta Materialia 52, pp. 3019-3025, 2004
17. F.J.A.H. Guillard, R.J. Hand & W.E. Lee,'Growth of an Alumina particulate Reinforced Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composite by Directed Melt Oxidation", Bristih Ceramic Transactions Vol. 93 No. 4, pp. 129-136, (1994)
18. Sindel, Manfred, Nahum A. Travitzky and Nils Claussen, Influence of Magnesium-Aluminum Spinel on the Directed Melt Oxidation of Molten Metal Alloys, Journal of the American Ceramic Sociaty Vol. 73, No. 9, pp. 2615-2618, 1990