PENGARUH Mg TERHADAP KEKERASAN KOMPOSIT MATRIKS KERAMIK Al_2O_3/Al

G.N. Anastasia Sahari[1,2*)], Anne Zulfia[1], dan Eddy S. Siradj[1]

1. Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia
2. Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Paulus (UKIP) Makasar, Makasar 90242, Indonesia

[*)]*E-mail: tashya_sahari@yahoo.com; anne@metal.ui.ac.id*

Abstrak

Komposit merupakan material alternatif dengan properties yang memuaskan yang bisa disesuaikan untuk aplikasi tertentu. Salah satu jenis komposit yang banyak menarik perhatian untuk material temperatur tinggi adalah komposit matriks keramik. Dalam penelitian ini diteliti bagaimana pengaruh dari Mg terhadap kekerasan komposit matrik keramik Al_2O_3/Al hasil proses *directed metal oxidation (Dimox)*. Material CMCs dihasilkan dengan cara menempatkan Al ingot di bawah campuran serbuk alumina dengan 5, 8, 10 dan 12% wt magnesium dalam *tray*. Temperatur proses 1100°C dan ditahan selama 24 jam, selanjutnya didinginkan sampai temperatur kamar dalam dapur. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan infiltrasi Al, awalnya terjadi peningkatan kekerasan CMC Al_2O_3/Al dan pada akhirnya menurun, kekerasan optimum sebesar 1221 VHN dicapai pada penambahan 8%wt Mg.

Abstract

Magnesium Effect to the Hardness of Al_2O_3/Al Ceramic Matrix Composites. Composite is an alternative material which has satisfying properties and can be accommodated for certain applications. Ceramic Matrix Composites (CMCs) is one of the composite types that are very interesting in terms of high temperature applications material. In this paper, we investigate the effects of Mg addition on the hardness of Al_2O_3 Ceramic Matrix Composites which was produced by directed metal oxidation (Dimox) method. The CMCs material is made by placing Al ingot under mixture alumina and percentage of Mg 5, 8, 10, and 12% wt. The processing temperature was 1100°C for 24 hours followed by cooling to room temperature in the furnace. The results show that increasing of infiltration, the hardness increased to 1221 VHN maximum at 8% wt Mg and then decrease again as the increment amount of Mg.

Keywords: dimox, Al infiltration, wettability, interfacial reaction

1. Pandahuluan

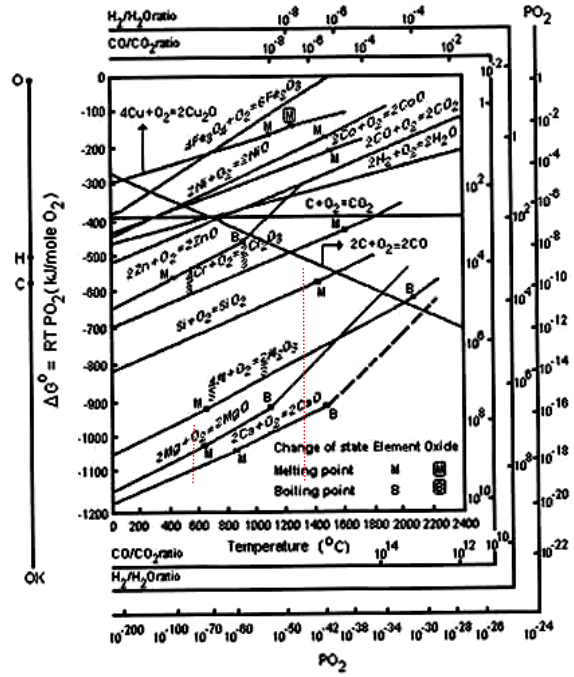
Komposit adalah material hasil kombinasi makroskopik dari dua atau lebih komponen yang berbeda, memiliki *interface* diantaranya dengan tujuan mendapatkan sifat-sifat fisik dan mekanis tertentu yang lebih baik daripada sifat masing-masing komponen penyusunnya [1].

Salah satu jenis metode pembuatan komposit matriks keramik (CMCs) adalah melalui proses oksidasi langsung (*directed oxidation process*), atau proses DIMOX. Komposit matriks keramik yang diproduksi dengan *directed melt oxidation* (DIMOX^{TM}, Lanxide Corporation, Newark, Delaware USA) dengan oksidasi suhu tinggi ($T \geq 1200$ K) dari aluminium leburan. Prinsip dasar dari metode ini adalah melalui reaksi langsung antara leburan logam (*molten metal*) dengan suatu oksidan, misalnya udara sehingga leburan logam akan menginfiltrasi prabentuk (*preform*) secara spontan yang akan menghasilkan komposit matriks keramik dengan sedikit logam sisa [2]. Proses ini memiliki keunggulan baik dari segi biaya yang relatif lebih rendah, bentuk produk yang dihasilkan akan memiliki bentuk yang hampir sama dengan yang diinginkan (*near-net shape*), sifat mekanis dari komposit yang dihasilkan juga baik [3] dan dapat mengurangi permasalahan *shrinkage* yang dapat ditemui pada proses komposit lainnya seperti *sol-gel* dan s*lurry infiltration* [4].

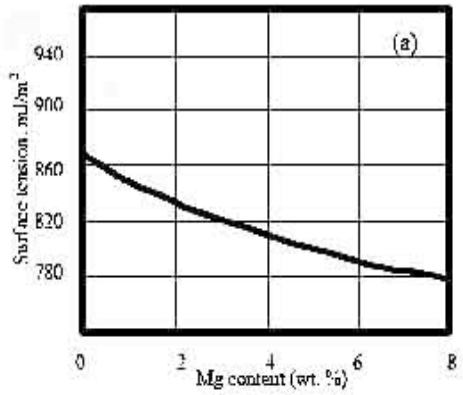
Pada awal oksidasi, aluminium membentuk lapisan tipis yang terjadi di permukaan. Walaupun tebalnya mendekati 2 nanometer [5], lapisan tipis ini sulit ditembus, sangat stabil dan lapisan oksidanya yang koheren, berkemampuan menahan laju oksidasi lebih oleh tekanan oksigen.

Lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium tersebut, melalui proses *Dimox* menjadi tidak protektif lagi dengan cara menambahkan *dopant* sebagai *wettability*.

Rendahnya pembasahan dalam sistem logam dengan keramik lebih ditingkatkan dengan adanya *dopant* eksternal. Untuk sistem Al_2O_3/Al, *dopant* yang banyak digunakan adalah Mg dan Si. Gambar 1 menunjukkan Mg memiliki reaktivitas yang lebih tinggi dari Si dalam proses oksidasi. *Dopant* dapat menaikkan penetrasi kapilaritas pada lapisan oksida dan mempermudah terbentuknya *interface* logam/keramik juga mempengaruhi tegangan permukaan. Penambahan *dopant* juga dapat menurunkan sudut kontak, mencegah pertumbuhan butir dan mendispersikan fasa keramik dengan merata [7-9]. Gambar 2 memperlihatkan pengaruh magnesium terhadap tegangan permukaan antara logam/keramik.



Gambar 1. Standar Energi Bebas dari Bentuk Oksida Sebagai Fungsi dari Temperatur [6]



Gambar 2. Pengaruh Magnesium terhadap Tegangan Permukaan [1]

2. Metode Penelitian

Bahan-bahan komposit keramik yang digunakan terdiri dari aluminium ingot dari PT. Alumindo Perkasa sebagai *filler*, Al_2O_3 dari E-Merck, Germany dengan kemurnian 99,9% sebagai matriks. Mg dari E-Merck, Germany sebagai *dopant*. Komposisi Al dan Mg yang digunakan disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

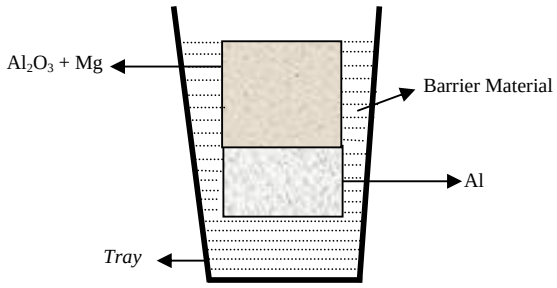
Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh penambahan Mg terhadap kekerasan komposit keramik Al_2O_3/Al hasil proses *dimox*. Gambar 3 memperlihatkan skema pembuatan proses pembuatan komposit. Pada penelitian ini menggunakan variabel 5, 8, 10 dan 12% berat Mg dengan temperatur *sintering* 1100°C dalam *furnace carbolite* dan ditahan selama 24 jam kemudian didinginkan dalam dapur.

Tabel 1. Komposisi Al

Komposisi (% berat)						
Al	Si	Fe	V	Ca	Ti	LOI
99,8	0,03	0,15	0,01	0,01	0,001	--

Tabel 2. Komposisi Mg

Komposisi (% berat)				
Mg	Mn	Fe	Cu	LOI
98,50	0,081	0,057	0,085	--



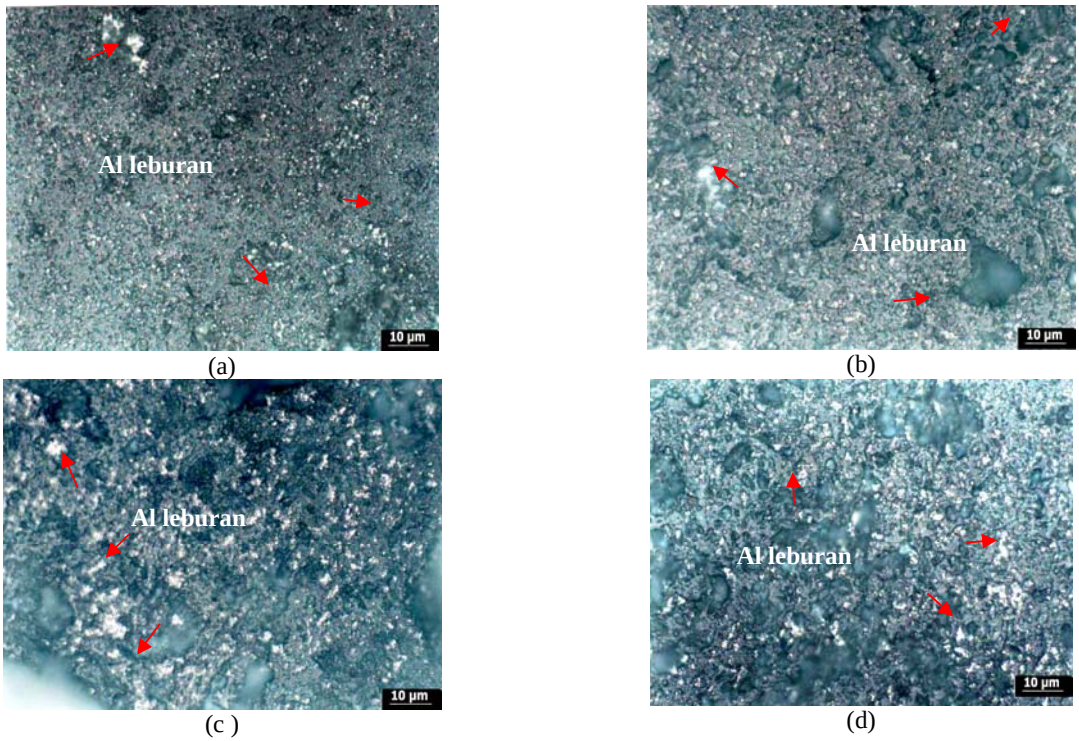
Gambar 3. Skema Pembuatan Komposit Keramik Al_2O_3/Al dengan Proses DIMOX

3. Hasil dan Pembahasan

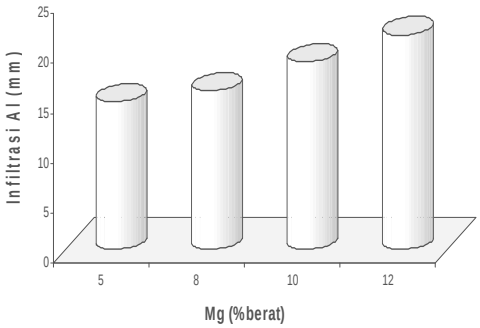
Pengaruh Mg terhadap terhadap infiltrasi Al komposit keramik Al_2O_3/Al. Permasalahan utama dari komposit matrik keramik Al_2O_3/Al adalah sulitnya aluminium berinfiltrasi ke keramik Al_2O_3. Hal ini dikarenakan pada permulaan oksidasi di permukaan aluminium akan terbentuk lapisan tipis yang sangat stabil dan tidak mudah ditembus. Mg ditambahkan karena memiliki reaktifitas yang tinggi dan energi bebas yang kecil untuk terjadinya oksidasi lebih lanjut yang dapat menaikkan penetrasi kapilaritas pada lapisan oksida dan mempermudah terbentuknya *interface* juga mempengaruhi tegangan permukaan dan menurunkan sudut kontak. [7-9]. Gambar 4. menunjukkan foto-foto mikro infiltrasi Al dengan variasi penambahan Mg.

Kedalaman infiltrasi dilakukan dengan mikroskop ukur pada 10 (sepuluh) tempat di setiap sampel. Gambar 5 menunjukkan pengaruh Mg terhadap infiltrasi Al.

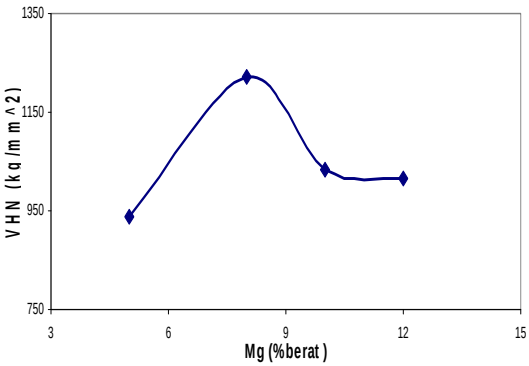
Persentase magnesium yang semakin besar membuat aluminium yang berinfiltrasi semakin banyak sebab pada permulaan oksidasi Mg yang memiliki reaktifitas yang tinggi dan energi bebas yang rendah teroksidasi



Gambar 4. Foto-Foto Mikro Infiltrasi Al (a) 5% Berat Mg, (b) 8% Berat Mg, (c) 10% Berat Mg dan (d) 12% Berat Mg



Gambar 5. Pengaruh Mg terhadap Infiltrasi Al Komposit Keramik Al_2O_3/Al

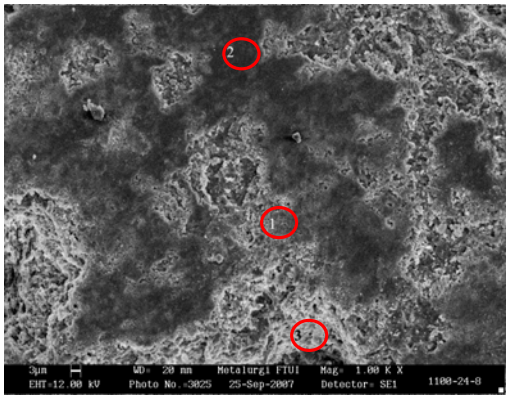


Gambar 6. Pengaruh Mg terhadap Kekerasan Mikro Komposit Keramik Al_2O_3/Al

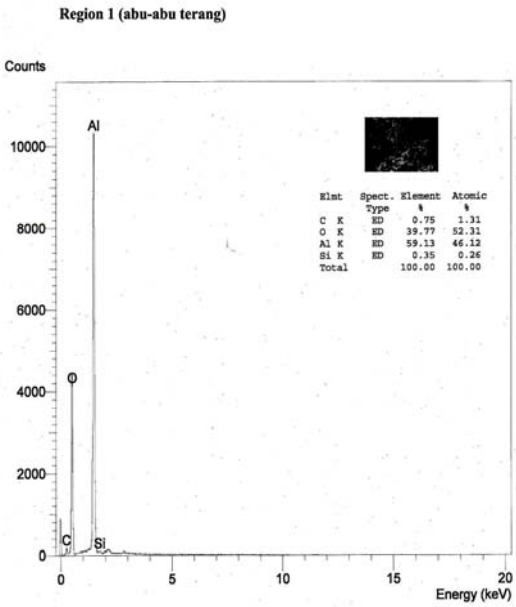
oleh udara membentuk magnesium oksida dan hal ini terjadi pada saat sebelum temperatur leleh Al (Gambar 1) dan reaksi interdifusi antara MgO juga terbentuk dengan lapisan oksida pada permukaan aluminium yang merubah lapisan MgO menjadi spinel ($MgAl_2O_4$). Lapisan spinel tidak protektif sehingga dengan mudah dibasahi oleh aluminium leburan [10, 11].

Pengaruh Mg terhadap kekerasan komposit keramik Al_2O_3/Al. Kekerasan pada komposit Al_2O_3/Al merupakan sifat yang signifikan dan berhubungan dengan kemampuan material untuk menahan penetrasi permukaan. Gambar 6 menunjukkan pengaruh magnesium terhadap kekerasan mikro komposit Al_2O_3/Al.

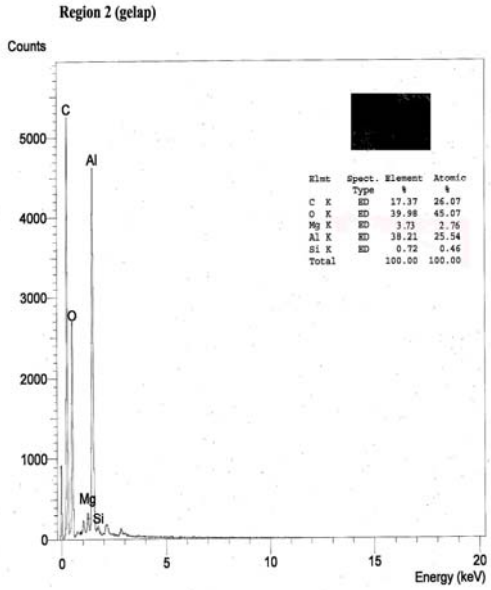
Berdasarkan hasil pengujian kekerasan mikro, nilai optimum dari kekerasan produk komposit keramik Al_2O_3/Al dicapai pada 8% Mg sebesar 1221 VHN. Meningkatnya nilai kekerasan mikro produk komposit keramik Al_2O_3/Al merupakan hasil reaksi antarmuka yang banyak terbentuk adalah Al_2O_3 dan spinel seperti yang ditunjukkan oleh hasil XRD (Gambar 8). Hal ini



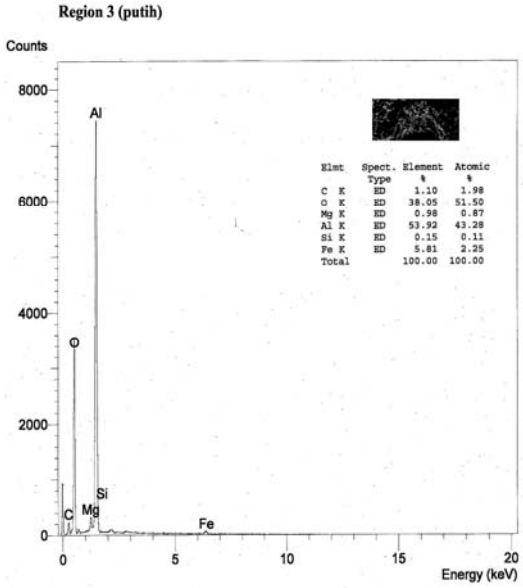
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 7. (a) Mikrostruktur Permukaan Hasil SEM dan Analisa Kualitatif Komposisi Kimia Hasil EDS, (b) Daerah 1, (c) Daerah 2, (d) Daerah 3 Sampel dengan 8% Berat Mg

didukung pula dengan hasil dari mikrostruktur permukaan dengan SEM dan analisa kualitatif komposisi kimia EDX seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 .

Tipe Mikrostruktur komposit Al_2O_3/Al mengisyaratkan jaringan campuran *inter-connected* Al_2O_3 dan Al. *Dopant* menghasilkan reaksi antarmuka yang berpengaruh terhadap mikrostruktur yang dihasilkan. Gambar 7. (a) menunjukkan mikrostruktur permukaan hasil SEM komposit dengan afinitas oksigen yang sangat tinggi dari aluminium menyebabkan pembentukan oksida pada Al cair tidak dapat dihindari dan masih terjadi *agglomerate* dari matriks.

Selama proses infiltrasi Al murni, awal periode oksidasi yang mana teroksidasinya Mg oleh oksigen dalam udara menghasilkan magnesium oksida yang yang semakin banyak sampai Al mencapai titik lelehnya. Oksidasi berlanjut dengan konsentrasi tinggi Mg, dalam bentuk MgO dan $MgAl_2O_4$.

Untuk kehadiran MgO pada permukaan *interface*, ada dua kemungkinan reaksi [12]: (i) ketika MgO kontak dengan lapisan alumina yang terbentuk pada permukaan luar Al *liquid*, reaksinya :

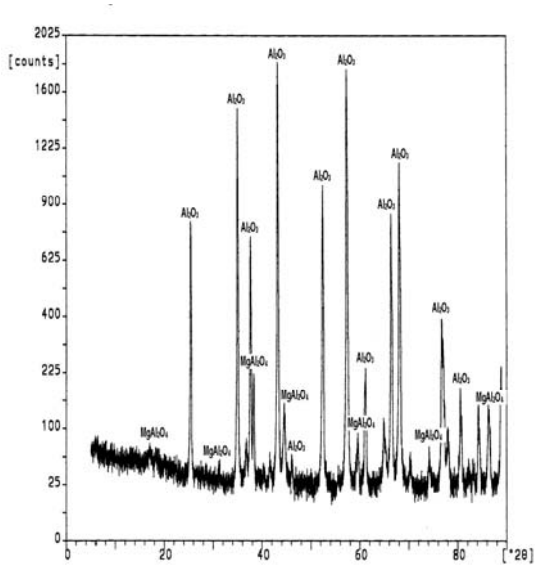
$$MgO + Al_2O_3 \Longleftrightarrow MgAl_2O_4 \qquad (1)$$

Kemungkinan (ii) ketika MgO kontak dengan liquid Al, reaksi yang mungkin terjadi

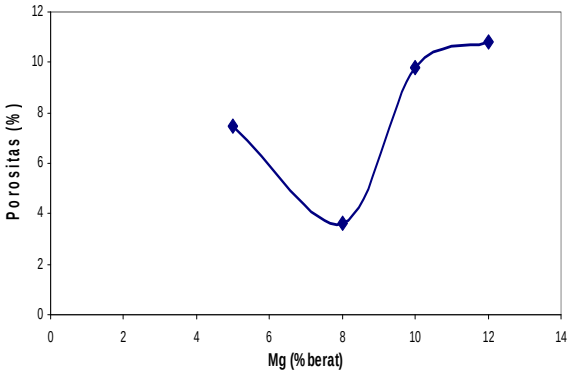
$$3MgO + 3\,Al \Longleftrightarrow Al_2O_3 + 3Mg\ (g) \qquad (2)$$

Kehadiran lapisan tipis spinel hasil reaksi antarmuka yang intergranular pada *interface* logam-keramik memiliki implikasi penting untuk mengikat/ menggabungkan antara keramik-logam yang sangat berperan dalam perkembangan mikrostruktur juga mempengaruhi kekerasan akhir dari komposit yang terbentuk. Gambar 8 memperlihatkan reaksi antarmuka yang terbentuk pada komposit Al_2O_3/Al hasil XRD.

Dengan semakin meningkatnya persentase Mg maka infiltrasi Al leburan akan semakin dalam yang menyebabkan terjadi pembasahan antara leburan aluminium dengan partikel Al_2O_3 yang diakibatkan oleh reaksi antarmuka antara keduanya. Hal ini juga mempengaruhi kekerasan dari komposit Al_2O_3/Al karena akan semakin banyak $MgAl_2O_4$ yang terbentuk juga terbentuknya cacat void atau porositas. Hal ini sesuai dengan penelitian Manor, dkk [13] bahwa pertumbuhan matriks yang didahului dengan pembentukan spinel $MgAl_2O_4$, tidak akan mampu menutup jarak antar partikel prabentuk yang pada akhirnya akan membentuk cacat *void* (porositas). Gambar 9 menunjukkan pengaruh Mg terhadap porositas pada komposit Al_2O_3/Al.



Gambar 8. Reaksi Antarmuka Komposit Al_2O_3/Al Hasil XRD Sampel dengan 8% wt Mg



Gambar 6. Pengaruh Mg terhadap Porositas Komposit Keramik Al_2O_3/Al

Porositas dapat terjadi akibat daerah keramik yang tidak terinfiltrasi sehingga seberapa banyak pori atau celah antar partikel yang terisi memberikan kontribusi pada nilai kekerasan. Aghajanian [14] menyatakan terjadi penurunan nilai kekerasan dengan peningkatan jumlah porositas.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian pengaruh penambahan Mg sebagai *dopant* terhadap kekerasan mikro komposit matriks keramik Al_2O_3/Al dengan proses *dimox* maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu: Infiltrasi Al leburan meningkat dengan bertambahnya persentase Mg. Hal ini disebabkan karena tidak protektifnya lapisan oksida pada permukaan almunium sehingga mempermudah

almunium leburan berinfiltrasi, infiltrasi maksimum pada 12%wt Mg sebesar 21,45 mm. Kekerasan mikro komposit matriks keramik Al_2O_3/Al awalnya meningkat tetapi kemudian menurun dengan bertambahnya persentase Mg. Hal ini disebabkan oleh reaksi antarmuka yang dihasilkan adalah Al_2O_3 dan spinel $MgAl_2O_4$ dan seiring meningkatnya persentase Mg maka spinel $MgAl_2O_4$ yang terbentuk juga semakin banyak sehingga tidak mampu menutup celah prabentuk sehingga memicu terbentuknya porositas. Kekerasan mikro optimum dicapai pada 8% berat Mg sebesar 1221 VHN.

Daftar Acuan

[1] Anon., ASM Handbook Vol. 21, Composites, ASM International, Cleveland-Ohio, 2001, pp. 1, 387-389, 1356-1357.

[2] M. S. Newkirk, A. W. Urquhart, H. R. Zwicker, J. Matter Res. 1 (1986) 81-89.

[3] M.K. Aghajanian, N.H. Macmillan, C.R. Kennedy, S.J. Luszcz, R. Roy, Properties and Microstructures of Lanxide Al_2O_3–Al Ceramic Composite Material, Journal of materials Science 24 (1989) 658-670.

[4] F.J.A.H. Guillard, R.J. Hand, W.E. Lee, British Ceramic Transactions, 93 (4) (1994) 129-136.

[5] P. Xiao, B. Derby, Journals of American Ceramic 77/7 (1994) 1761-1770.

[6] Diagram Ellingham, *http://www.Chem.mtu.edu/skkawan/Ellingham.pdf*, diakses 9 Juni 2006.

[7] K. Konopka, M. Szafran, Journal of Materials Processing Technology 175 (2006) 266–270.

[8] NG H.L. Dickon, Q. Zhao, C. Qin, M.W. Ho, Y. Hong, Journal The European Ceramics Society 21 (2001) 1049-1053.

[9] E. M. Uygur, International Journal of Machine Tolls Manufacture, 37/10 (1997) 1539-1553.

[10] A. A. Nagelberg, J. Matter. Res 7 (1992) 265-268.

[11] X. Gu, R.J. Hand, Journal of the European Ceramic Society, Vol. XX (1995) 823 – 831.

[12] B. Breval, M.K. Aghajanian, J. Biel, A.S. Nagelberg, Journal Of Materials Science Letters 14 (1995) 28-30.

[13] E. Manor, H. Ni, C.G. Levi, Journal of The American Ceramic Society 76/7 (2001) 1777-1787.

[14] S.Y. Oh, J.A. Cornie, K.C. Russel, Metallurgical Transaction 20A (1989) 533-541.