

# Pengaruh Kecepatan *Milling* Terhadap Perubahan Struktur Mikro Komposit Mg/Al<sub>3</sub>Ti

Budi Amin Simanjuntak<sup>1</sup> dan Hariyati Purwaningsih<sup>2</sup>

Teknik Material dan Metalurgi<sup>1</sup>, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: hariyati@jurusan.its.ac.id

**Abstrak**—Material yang ringan dan kuat menjadi syarat utama sebagai komponen-komponen otomotif, persenjataan, bahkan peralatan ruang angkasa. Oleh karena itu penelitian tentang material ringan terus-menerus dilakukan oleh masyarakat. Salah satu material yang menjanjikan adalah Metal Matrix composite (MMC) yang berbasis magnesium (Mg) dan diperkuat oleh partikulat Al<sub>3</sub>Ti. Pada penelitian kali ini dilakukan mechanical alloying menggunakan mesin HEM E3D untuk mensintesis Al<sub>3</sub>Ti yang tersebar pada matriks Mg. Kemudian di komaksi 4 ton selanjutnya disintering 700°C selama 1 jam untuk membentuk komposit Mg/Al<sub>3</sub>Ti dengan memvariasikan kecepatan milling mulai dari 700rpm, dan 933rpm dan dengan 20% Al<sub>3</sub>Ti untuk mencapai fisik terbaik dari komposit tersebut. Setelah proses pemaduan selesai, dihasilkan pelet yang kemudian diuji struktur mikronya menggunakan Mikroskop elektron, analisa fasa dengan difraksi sinar-X dan pengujian massa jenis serta porositas menggunakan prinsip Archimedes

**Kata Kunci**—Mg/Al<sub>3</sub>Ti, Komposisi berat, MMC, kecepatan millin

## I. PENDAHULUAN

Magnesium (Mg) merupakan logam yang banyak digunakan saat ini sebagai matriks bagi *metal matrix composite* (MMC) karena massa jenis yang kecil, kekuatan spesifik yang tinggi, kekakuan yang baik, ketahanan aus yang tinggi dan kestabilan ukuran yang baik. Pada penelitian kali ini penguat yang digunakan adalah Al<sub>3</sub>Ti yang disintesis melalui proses *mechanical alloying* (MA) menggunakan HEM (*High Energy Milling*) yang kemudian di komaksi dan selanjutnya di sintering. Namun pada saat *milling* serbuk Mg juga disertakan, maka diharapkan terbentuknya Al<sub>3</sub>Ti yang tersebar merata diantara serbuk Mg

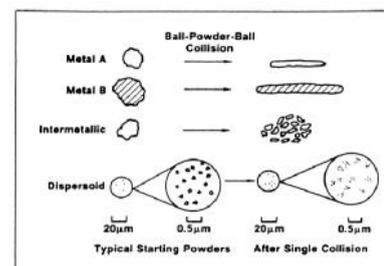
Variabel yang digunakan pada penelitian kali ini adalah kecepatan yang optimum untuk milling Komposit Mg/Al<sub>3</sub>Ti. Diharapkan dari penelitian ini akan dihasilkan Komposit Mg/Al<sub>3</sub>Ti dengan penguat partikulat Al<sub>3</sub>Ti yang tersebar pada matriks Mg.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

*Mechanical alloying* (MA) adalah proses solid-state serbuk dengan teknik menyertakan pengulangan penggabungan, penghancuran, dan penggabungan

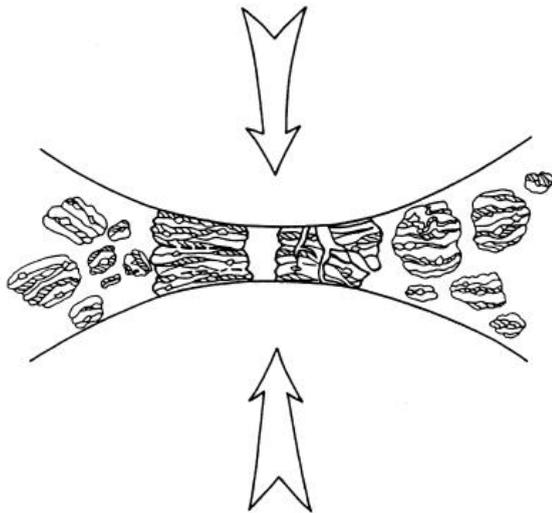
kembali (*rewelding*) untuk butiran serbuk pada high energy ball mill [1]. Mechanical Alloying dapat digunakan untuk sintesis larutan padatan, nano partikel, paduan amorf, intermetalik, dan komposisi kimia. (MA), biasanya dilakukan di bawah atmosfer inert dalam ball mill. Proses MA sebagian besar dipengaruhi oleh thermodynamic dan sifat kinetic pada system serbuk, intensitas milling dan temperature .

Semakin cepat perputaran ball mill, maka energi yang dihasilkan juga semakin besar dan menghasilkan temperatur yang semakin tinggi. Temperatur yang tinggi menguntungkan di beberapa kasus yang memerlukan proses difusi untuk menunjang proses pemaduan pada serbuk, dan internal stressnya berkurang atau bahkan hilang sama sekali. Tapi di beberapa kasus peningkatan temperatur sangat merugikan karena dapat menghasilkan fasa yang tidak stabil selama proses milling berlangsung, dan ukuran serbuk dapat menjadi lebih besar. Tapi jika kecepatan melebihi kecepatan kritis maka terjadi *pinned* pada dinding bagian dalam sehingga bola-bola tidak jatuh sehingga tidak menghasilkan gaya impact. Jadi sebaiknya menggunakan kecepatan di bawah kecepatan kritisnya sehingga bola dapat jatuh dan menghasilkan tenaga *impact* yang optimal. Hal ini berpengaruh ke waktu yang dibutuhkan untuk mencapai hasil yang diinginkan. [1]. Gambar1 berikut mengilustrasikan karakteristik deformasi pada tiap tipe partikel serbuk pada saat proses *milling*.



Gambar 1 Karakteristik deformasi pada tiap tipe partikel serbuk.

Saat dua bola bertumbukan ada serbuk dalam jumlah kecil yang terjebak di antara kedua bola tersebut, dan hal tersebut terjadi berulang ulang, ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar2.



Gambar 2 Mekanisme Terjadinya Tumbukan

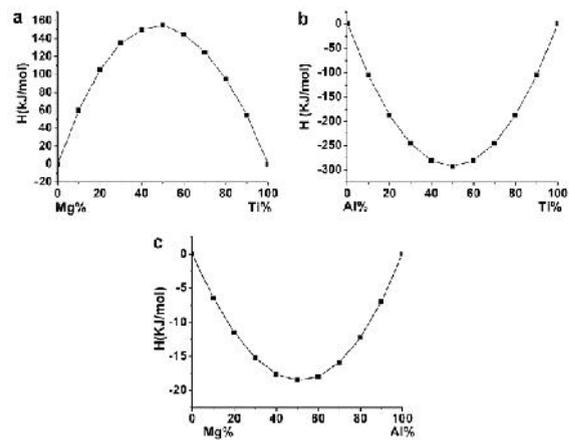
Selama proses *mechanical alloying*, partikel campuran serbuk akan mengalami proses pengelasan dingin dan penghancuran berulang ulang. Ketika bola saling bertumbukan

sejumlah serbuk akan terjebak di antara kedua bola tersebut. Beban impact yang di berikan oleh bola tersebut akan membuat serbuk terdeformasi dan akhirnya hancur. Permukaan partikel serbuk campuran yang baru terbentuk memungkinkan terjadinya proses pengelasan dingin kembali antara sesama partikel sehingga membentuk partikel baru yang ukurannya lebih besar dari ukuran semula. Kemudian partikel tersebut akan kembali mengalami tumbukan dan akhirnya kembali hancur, begitu seterusnya hingga mencapai ukuran yang nano. Dalam proses *Mechanical Alloying/ Mechanical Milling* sifat bahan juga berpengaruh terhadap hasil akhir[1].

**Thermodynamic analysis of Mg–Al–Ti system**

Model Miedema mampu menghitung entalpi pembentukan untuk paduan biner tidak termasuk unsur-unsur O, S, Se dan Te dengan menggunakan karakter basal komponen. Entalpi-entalpi pembentukan lebih dari 500 paduan biner telah berhasil diprediksi dengan kurang dari 8 kJ / mol. Disini, entalpi pembentukan untuk Mg-Al, Mg-Ti dan Al-Ti dihitung oleh program komputer menurut rumus model Miedema dan parameter dasar dari Mg, Al dan Ti[2].

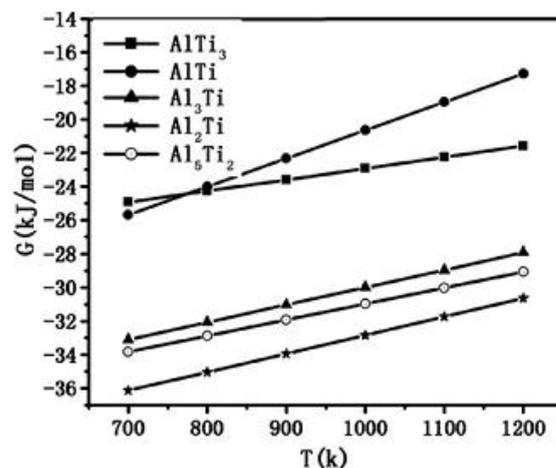
Dalam Mg-Al-Ti sistem, senyawa antara Mg dan Al, Mg dan Ti, serta Al dan Ti mungkin ada. *Appetency* Al dan Ti dapat dibandingkan dengan Mg dan Ti atau Mg dan Al. Entalpi-entalpi pembentukan untuk Mg-Ti, Al-Ti dan Mg-Al komponen ditunjukkan pada gambar di bawah :



Gambar 3. Hubungan antara entalpi pembentukan dan komponen (a) system Mg-Ti (b) system Al-Ti (c) system Mg-Al

Seperti ditunjukkan dalam Gambar 3a reaksi tidak terjadi antara Mg dan Ti, yang sesuai dengan teori bahwa Ti dan unsur-unsur alkali tanah tidak bereaksi. Hal ini jelas bahwa Al dan Ti lebih cenderung membentuk intermetalik yang diperoleh dalam kondisi yang sama apabila dibandingkan dengan entalpi pembentukan Al-Ti dan Mg-Al , seperti ditunjukkan pada Gambar 3b dan c.

Model Miedema telah memperkirakan bahwa intermetalik Al-Ti adalah fasa yang lebih dominan dan setimbang dalam sistem Mg-Al-Ti. Hal ini diketahui bahwa ada  $Ti_3Al$ ,  $AlTi$ ,  $TiAl_2$  dan  $Al_3Ti$  di Al-Ti diagram fase. Kattner dkk baru-baru ini membuat estimasi termodinamika untuk membedakan senyawa intermetalik lain Al-Ti pada sistem Al-Ti. Energi bebas Gibbs dari  $Ti_3Al$ ,  $AlTi$ ,  $TiAl_2$ ,  $Ti_2Al_5$ [3] dan  $Al_3Ti$  dalam kisaran temperatur 273-1474 K disajikan pada Gambar berikut:

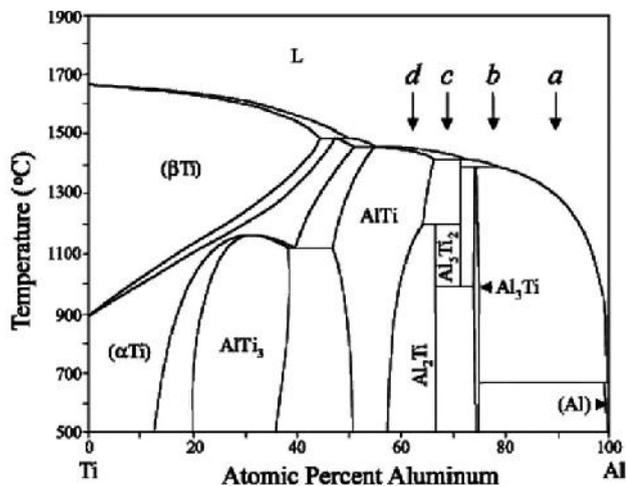


Gambar 4 Energi bebas dari pembentuka intermetalik Al-Ti pada Al-Ti system.

Ditemukan bahwa  $Al_3Ti$  memiliki energi Gibbs bebas pembentukan yang lebih rendah dari  $Ti_3Al$  dan  $AlTi$ . Meskipun  $TiAl_2$  dan  $Ti_2Al_5$  juga memiliki energi bebas yang lebih rendah dari pada pembentukan  $Al_3Ti$ . Kemunculannya dianggap sebagai fase transisi hanya ketika ada  $TiAl$  stabil[3]. Selanjutnya, karena rasio molar Al:Ti sama dengan 3 atau lebih, senyawa Ti-kaya,  $Ti_3Al$

dan AlTi tidak mudah terbentuk. Jadi Al<sub>3</sub>Ti dapat diharapkan ada dalam proses sintering reaktif[4].

**Diagram fasa Al<sub>3</sub>Ti**

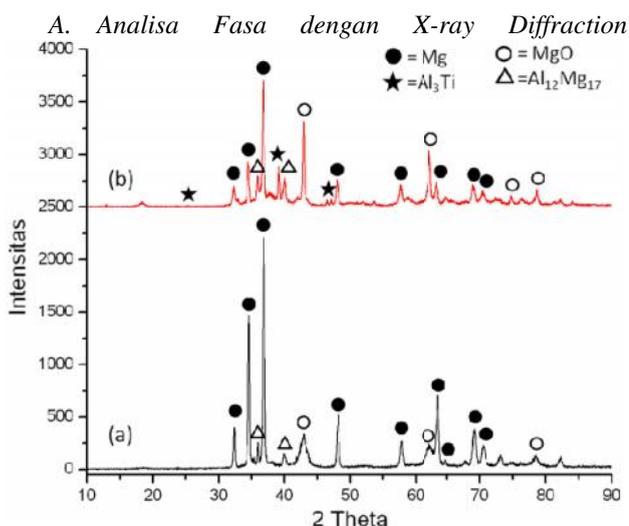


Gambar 5 Diagram Fasa Al<sub>3</sub>Ti

**III. METODOLOGI**

Bahan yang digunakan adalah serbuk Mg (kemurnian > 99,7%) dan serbuk Al (kemurnian > 99,8%) dan serbuk Titanium dengan kemurnian 99,9 %, serta gas Argon untuk pencegahan terjadinya proses oksidasi. komposisi berat *reinforce* yang digunakan adalah 20% Al<sub>3</sub>Ti, yang selanjutnya akan dimilling dengan kecepatan 700 dan 933rpm selama 3 jam. Perbandingan bola dengan serbuk (BPR) yang digunakan adalah 10:1. Serbuk yang sudah selesai dimilling di kompaksi seberat 4ton kemudian di sinter pada 700°C selama 1 jam. Kemudian sampel diuji dengan difraksi sinar X, SEM dan Uji densitas dan porositas dengan prinsip Archimedes

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**



Gambar 6 Hasil pengujian difraksi sinar X (a) kecepatan 700rpm (b)kecepatan 933rpm

Gambar3 merupakan hasil pengujian difraksi sinar X dengan penambahan komposisi Al<sub>3</sub>Ti 20%. Pada kecepatan 700rpm terlihat tidak terdapat puncak dari fasa

intermetalik Al<sub>3</sub>Ti yang menunjukkan bahwa kecepatan 700rpm belum mampu membentuk fasa Al<sub>3</sub>Ti. Sementara pada gambar 3(b) sudah terbentuk Al<sub>3</sub>Ti pada 3 puncak yang berbeda. Hal ini di sebabkan terbentuknya fasa lain seperti yang terlihat pada grafik diatas, misalnya Al<sub>12</sub>Mg<sub>17</sub>. Terbentuknya fasa-fasa ini sangat mempengaruhi pembentukan Al<sub>3</sub>Ti, sebab menurut diagram kesetimbangan fasa Al-Ti, intermetalik Al<sub>3</sub>Ti akan terbentuk apabila fraksi atomik Al dan Ti berbanding 3:1 yang bahkan tidak memiliki daerah interval sama sekali. Jadi karena sebahagian Al telah berikatan dengan Mg maka tentunya fraksi atomik Al telah berubah terhadap Ti. Perubahan fraksi atomik ini akan menyebabkan gagalnya pembentukan Al<sub>3</sub>Ti. Satu-satunya yang menjadi harapan adalah distribusi Al dan Ti yang tepat untuk membentuk fraksi atomik Al dan Ti 3:1 yang masih murni hingga membentuk Al<sub>3</sub>Ti .

Selanjutnya untuk melihat ukuran kristal matriks Mg dan penguat Al<sub>3</sub>Ti dilakukan perhitungan ukuran kristal menggunakan persamaan Debye Scherrer, yaitu:

$$D = \frac{0,9\lambda}{B \cos\theta} \dots\dots (1)$$

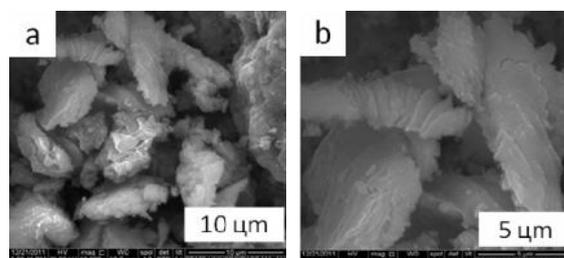
Dimana D adalah ukuran kristal (Å), λ adalah panjang gelombang yang digunakan dalam uji XRD yaitu 1.54056 Å, B adalah lebar setengah puncak (FWHM) dalam radian, dan θ adalah posisi sudut terbentuknya puncak.

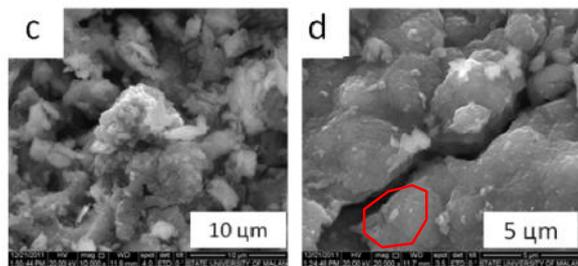
Tabel 1. Ukuran kristal Mg dan Al<sub>3</sub>Ti hasil *milling* dengan penambahan fraksi Al<sub>3</sub>Ti 20%

Spesimen	FWHM	D(nm)
700rpm	0.2813	29.89
933 rpm	0.3205 0.2533	26.25 33.30

Dari tabel di atas dapat di lihat bahwa ukuran kristal Mg pada kecepatan milling 933rpm lebih kecil jika dibandingkan dengan ukuran kristal Mg pada kecepatan 700rpm. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi kecepatan milling menghasilkan ukuran Kristal yang lebih halus.

**B. Analisa Morfologi dengan SEM**



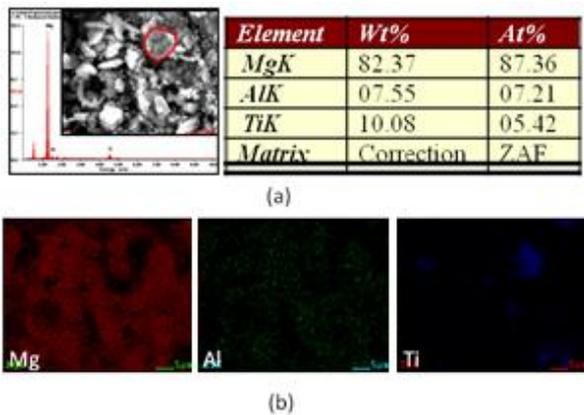


Gambar 7 hasil pengujian SEM (a) kecepatan milling 700 rpm perbesaran 10 000x (b) milling 700 rpm perbesaran 20 000x (c) milling 933rpm perbesaran 10 000x (d) milling 933rpm perbesaran 20 000x

Pada gambar 4a dan 4b tampak partikelnya berbentuk pipih dan lonjong, serta terorientasi bila di badingkan dengan gambar (c) dan (d). Namun pada partikel (a) dan (b) tidak terdapat  $Al_3Ti$  sehingga tidak di temukan bercak putih seperti yang terlihat pada tanda merah gambar (d). Material dengan kecepatan milling 700rpm ini juga menunjukkan porositas yang cukup tinggi, sebab dapat di lihat bahwa parikel-partikel pipih masih memiliki rongga-rongga yang cukup besar bila dibandingkan dengan jarak antar partikel. Hal ini dapat di buktikan pada hasil uji porosity pada table1 di bawah. Terlihat bahawa porositas material dengan kecepatan milling 700rpm lebih tinggi 1.57x dibandingkan dengan material dari kecepatan milling 933rpm dan 20% $Al_3Ti$ .

Jika di perhatikan pada gambar (a) dan (c), dapat dilihat bahwa partikel pada material 933rpm dan lebih halus di badingkan dengan material dengan kecepatan milling 700rpm, hal ini di sebabkan oleh energi tumbukan yang berulang-ulang pada saat milling yang lebih tinggi hingga frekuensi pemecahan partikel lebih banyak

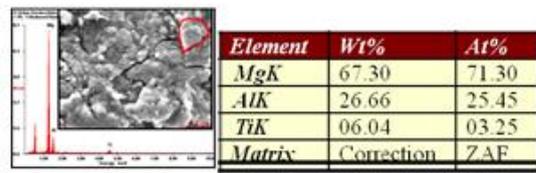
C. Hasil EDX dan Mapping



Gambar 8 (a) Hasil EDX dari sampel hasil milling 700rpm (b) Hasil mapping dari sampel hasil milling 700rpm-20% $Al_3Ti$

Pada gambar (a) dapat dilihat persentase Mg, Al dan Ti yang terdapat pada daerah yang di plot. Pada table terlihat bahwa persentase atomik Ti lebih tinggi dibandingkan dengan perbandingan yang seharusnya dengan Al. hal ini mengakibatkan kurangnya Al yang akan melarutkan Ti untuk membentuk  $Al_3Ti$ .

Sedangkan pada gambar (b) dapat dilihat distribusi Mg, Al dan Ti. Pada kecepatan milling 700rpm Ti belum terdistribusi dengan baik, khususnya pada daerah yang di plot pada EDX terdapat pengumpulan Ti yang cukup banyak.



Gambar 9 (a) Hasil EDX dari sampel hasil milling 933rpm (b) Hasil mapping dari sampel hasil milling 933rpm-20% $Al_3Ti$

Pada tabel hasil EDX dapat dilihat persentase Mg, Al dan Ti yang terdapat pada daerah yang di plot. Pada table terlihat bahwa persentase atomik Ti jauh lebih rendah dibandingkan dengan perbandingan yang seharusnya dengan Al. hal ini mengakibatkan kurangnya Ti yang akan diselubungi oleh Al untuk membentuk  $Al_3Ti$ . Akan tetapi Al yang berlebih masih dapat membentuk  $Al_3Ti$  sesuai dengan persamaan reaksi1.

Sedangkan pada gambar (b) dapat dilihat distribusi Mg, Al dan Ti. Pada kecepatan milling 933rpm Al dan Mg sudah terdistribusi cukup baik. Meskipun Ti belum terdistribusi dengan baik, khususnya pada daerah yang di plot pada EDX masih terdapat ruang-ruang hitam yang menandakan kekosongan atom Ti.

D. Uji Densitas dan Porositas

Setelah di lakukan pengujian densitas dan porositas dengan prinsip Archimedes, maka di peroleh densitas dan porositas masing-masing sampel sebagai berikut:

Tabel 2. Densitas relatif dan porositas komposit Mg/ $Al_3Ti$

Material	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Porosity (%)
700 rpm	1.617	29.441
933 rpm	1.500	18.750

V. KESIMPULAN

Pencapaian struktur mikro komposit Mg/ $Al_3Ti$  yang optimum adalah dengan kecepatan miling 933rpm

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aditya Ilham Thias, "Pengaruh Variasi Komposisi Berat Al Dan Kecepatan Rotasi Milling Pada Mechanical Alloying Mg-Al Terhadap Perubahan Fasa Dan Struktur Mikro", Tugas Akhir. Jurusan Teknik Material dan Metallurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, (2011).
- [2] L.Lu et al., "Diffusion in mechanical Alloying" Singapore: Nayang Technological University, (1997).
- [3] Lorf.R dan Morris D.G, "Mechanical Alloying of Ti-Al Alloys" Switzerland: Institute of Metallurgy, University of Neuchatel, (1990).
- [4] Ridge.C Kent., "Formation of new materials in solite state by mechanical alloying" Singapore Department of Mechanican and Production Engineering, National University of Singapore, (1995).