

SINTESIS PADUAN INTERMETALIK γ -TiAl DENGAN TEKNIK CASTING

Sulistioso G. S.¹, Abdul Latief² dan Dedi Raharsetyadi³

¹Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) - BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang

²Pusbang Teknik Bahan Bakar dan Daur Ulang (P2TBDU) - BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang

³Jurusan Mesin, FT - ITENAS

Jl. Penghulu, KH Hasan Mustafa No. 23, Bandung 40124

ABSTRAK

SINTESIS PADUAN INTERMETALIK γ -TiAl DENGAN TEKNIK CASTING. Telah dibuat paduan intermetalik TiAl dengan fasa tunggal γ (gamma) pada komposisi Ti -36%wt Al. Paduan intermetalik tersebut dicor dengan alat *arc melting furnace*. Untuk mereduksi terjadinya ketidak meratanya komposisi (*segregasi*) pada sampel, sebelum dicor serbuk Ti dan Al murni dicampur dan diaduk dengan *ball mill* selama 48 jam dengan frekuensi putar 900 rpm. Pada saat pengecoran, dilakukan pengulangan pengecoran sehingga didapat hasil yang optimal. Hasil analisis fasa dengan XRD, menunjukkan bahwa sampel terbaik telah terbentuk dengan dominasi fasa γ -TiAl yaitu setelah terjadi pengulangan 5 kali pengecoran.

Kata kunci : Fasa γ -TiAl, pengecoran , *arc melting furnace*

ABSTRACT

SYNTHESIS OF γ – TiAl INTERMETALLIC ALLOYS BY USING CASTING TECHNIQUE.

A γ -single phase intermetallic alloy of TiAl has been made with a composition of Ti-36% wt Al. The Alloy was cast by using an arc melting furnace. To avoid inhomogeneity in the composition of the sample prior to casting pure Ti and Al powder were mixed and stirred by using ball mill for 48 hour at a frequency of 900 rpm. Casting was repeated in order to obtain an optimal result. The XRD result shows that the best sample which is dominated by γ -TiAl, was obtained after 5 times casting.

Key word : γ -TiAl phase , casting , arc melting furnace

PENDAHULUAN

Industri pesawat terbang, otomotif, dan pembangkit tenaga listrik membutuhkan material dengan sifat-sifat fisik dan mekanik yang tangguh (*toughness*), menjadi faktor utama penemuan-penemuan di bidang material selama beberapa dekade terakhir ini [1]. Sifat-sifat mekanik utama yang dibutuhkan adalah kekuatan (dengan rasio kekuatan spesifik yang tinggi terhadap rasio beratnya), serta kemampuan operasi pada suhu tinggi. Salah satu contohnya, adalah material baru untuk aplikasi pada komponen turbin jet menggantikan *superalloy* berbasis nikel yang masih banyak digunakan saat ini [2]. Salah satu alternatifnya adalah penggunaan paduan titanium fasa gamma atau γ -Titanium Aluminida (γ -TiAl).

Dewasa ini *prototipe* dari komponen-komponen tersebut telah mengalami serangkaian pengujian untuk kelayakan strukturnya, baik yang dibuat dengan cara pengecoran (*casting*) ataupun metode lain seperti metalurgi serbuk.

Titanium murni mempunyai kekuatan yang kurang baik, sehingga titanium perlu ditingkatkan kekuatannya dengan jalan memadukan dengan unsur lain. Titanium merupakan logam *non magnetic* dan mempunyai perpindahan panas yang baik dengan suhu lebur yang tinggi (1678°C). Titanium mempunyai densitas yang cukup rendah (ρ Ti murni = 4,5 g/cm³) [3], mempunyai kekuatan yang tinggi pada suhu tinggi serta ketahanan terhadap korosi yang baik pada lingkungan yang korosif dan pada suhu tinggi menjadikannya sebagai material pilihan untuk aplikasi pada komponen yang bekerja pada suhu tinggi [4].

Nilai densitas TiAl adalah 3,8 g/cm³ dan kisaran 3,7g/cm³ sampai dengan 3,9 g/cm³ untuk paduan yang berbasis TiAl. Densitas TiAl yang cukup rendah tersebut menyebabkan nilai rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi sehingga TiAl menarik untuk diteliti. Pemaduan logam titanium dengan aluminium telah banyak dilakukan terutama untuk aplikasi komponen

mesin-mesin jet, turbin, dan pembangkit daya. Dalam aplikasi manufaktur ini banyak dibutuhkan material dengan ketahanan yang baik pada suhu operasi antara 550 - 750°C [5].

Permasalahan yang dihadapi oleh industri adalah pembuatan paduan γ -TiAl relatif sulit, sehingga aplikasi dari material ini masih sangat terbatas. Dengan terus dilakukannya penelitian terhadap pembuatan paduan TiAl fasa γ , diharapkan didapat metode terbaik untuk menghasilkan paduan tersebut [6,7].

METODE PERCOBAAN

Alat dan Bahan

Pada penelitian ini digunakan serbuk Ti dengan kemurnian 98% dan serbuk Al dengan kemurnian 99,5%, sebagai bahan dasar untuk pembuatan sampel γ -TiAl, dan bahan-bahan kimia 5mL HNO₃ pekat, 10mL HF dan 85mL H₂O (air suling), sebagai lautan *etsa*. Alat yang digunakan untuk mengaduk serbuk Ti dan Al adalah Ball Mill, dan alat untuk melebur adalah *Single arc melting furnace*. Untuk preparasi sampel digunakan mesin poles dan *grinding paper* mulai *grit* 300, 500, 1000, 1200, 1500, hingga 2000, Alumina *suspension* 0,3 μ m, resin dan katalis.

Cara kerja

Persiapan sampel dimulai dengan menghitung komposisi yang tepat hingga diperoleh sampel berupa pelet yang siap dilebur. Urutan proses pemuatan sampel adalah sebagai berikut :

Pertama dilakukan perhitungan komposisi atom antara serbuk Al murni dengan serbuk Ti murni dimana fasa γ -TiAl kemungkinan bisa diperoleh. Disini digunakan perbandingan berat Ti dan Al sebagai 64 % dan 36 % .

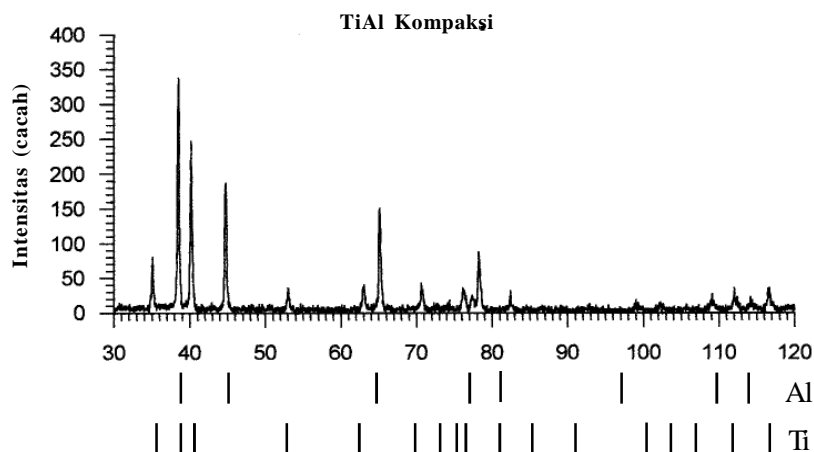
Selanjutnya kedua jenis serbuk logam tersebut dicampur secara seksama. Alat yang digunakan untuk

mencampur adalah *Ball Mill*. Alat ini mencampur dan menggiling material serbuk dengan tumbukan antar bola-bola baja dan keramik didalamnya. *Milling* dilakukan selama 48 jam dengan putaran 900 rpm dengan jumlah bola 10 buah yang ukuran diameternya sama. Bila pengadukan dilakukan dalam waktu yang terlalu lama, dampaknya adalah bahwa serbuk bisa melekat pada permukaan bola-bola pengaduk dan menyebabkan komposisinya tidak sesuai dengan perbandingan yang diharapkan.

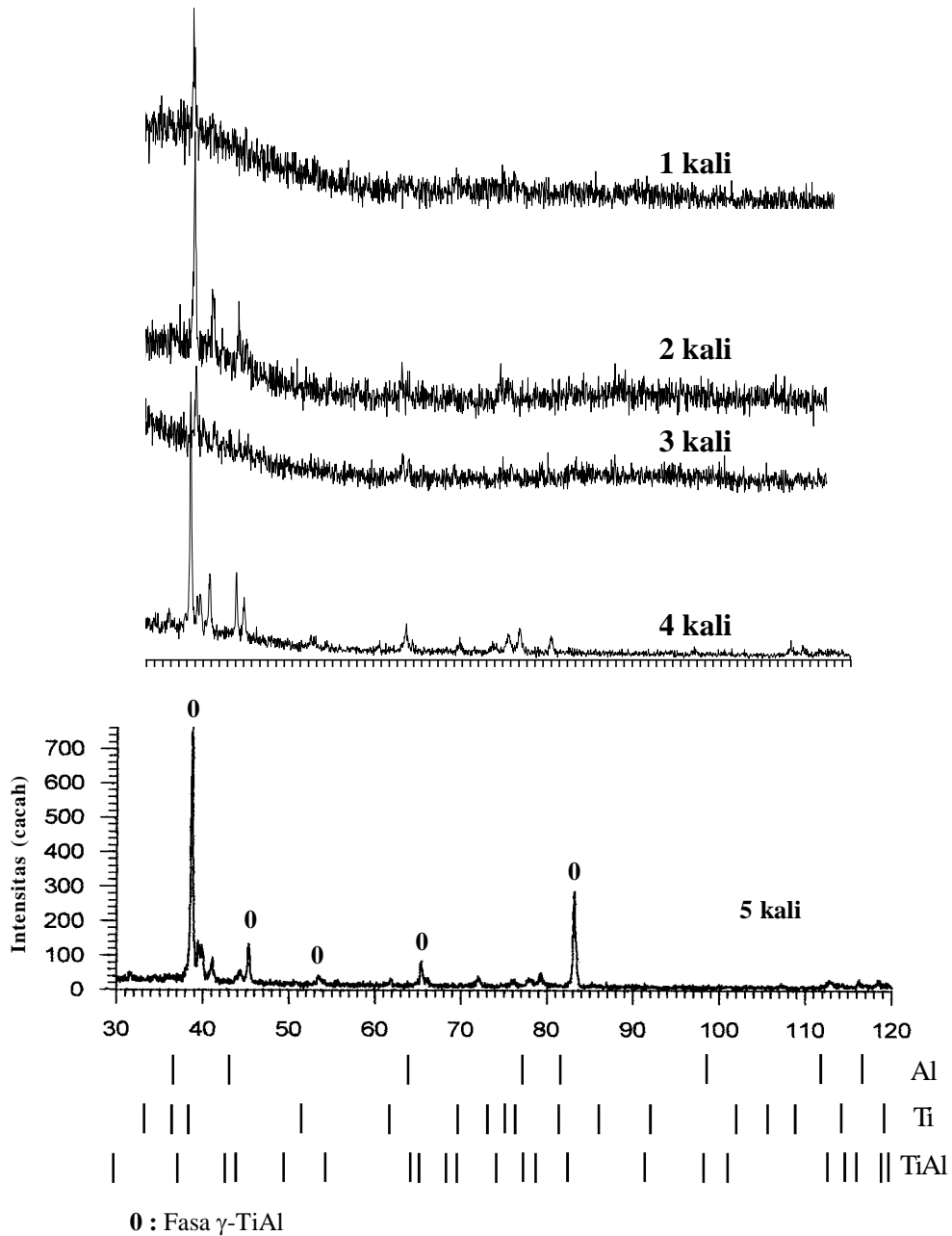
Proses pembuatan pelet dilakukan dengan kompaksi menggunakan mesin *press* Enerpac 10T, dengan besar tekanan sebesar 600 kgf/cm² selama 60 detik untuk semua pelet. Pelet dibuat sebanyak 5 buah dengan berat masing-masing 1,7 gram.

Pelet hasil kompaksi yang telah siap untuk dilebur, diamati fasa-fasanya dengan XRD. Pengecoran untuk 5 buah pellet dilakukan dengan variasi pengulangan pengecoran yaitu antara 1 kali pengecoran sampai dengan 5 kali pengecoran, dengan tujuan untuk homogenisasi. Pengecoran dilakukan dengan menggunakan tungku pengecoran busur tunggal (*single arc melting furnace*) yang dilengkapi dengan gas pelindung argon dengan kemurnian tinggi (*ultra high purity argon*) yang berfungsi agar sampel tidak teroksidasi. Krusibel tempat sampel dilebur terbuat dari tembaga (*brass*), didinginkan dengan memompakan aliran air pendingin agar krusibel tidak mencair. Tungku pengecoran busur tunggal ini buatan Laboraturium Metalurgi, jurusan Teknik Pertambangan ITB Bandung.

Proses *grinding* dilakukan dengan *grinding paper* mulai *grit* 300, 500, 1000, 1200, 1500, hingga *grit* 2000, dan dilanjutkan dengan *polishing* dengan menggunakan alumina *suspension*, dengan tingkat kehalusan 0,3 μ m yang dilakukan kira-kira 30 sampai 60 menit untuk tiap-tiap sampel. Proses selanjutnya adalah *etching* (pengetsaan) dengan cara dioleskan pada sampel dengan menggunakan *cottonbuds* kira-kira selama 1 menit, kemudian direndam sambil diaduk-aduk didalam



Gambar 1. Pola difraksi dari sampel hasil kompaksi sebelum pengecoran.



Gambar 2. Difraksi dari sampel hasil pengecoran dengan pengulangan 1 kali sampai dengan 5 kali

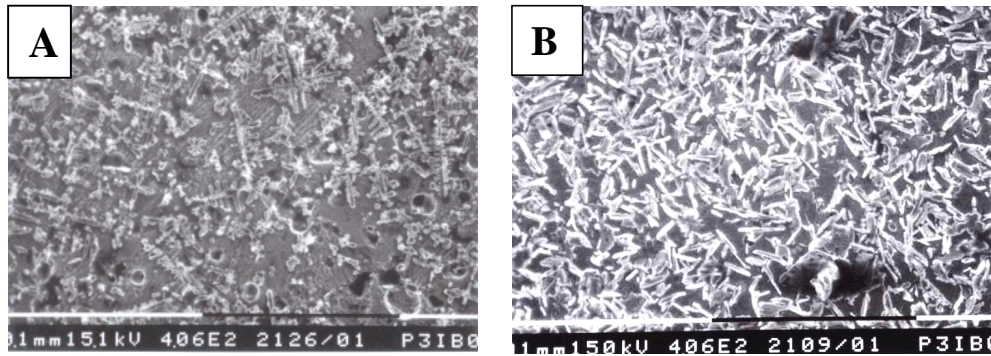
metanol kira-kira selama 1 menit, kemudian dicuci dibawah air mengalir selama 5 menit, dan terakhir dikeringkan.

Proses selanjutnya adalah analisis fasa dengan XRD (X-Ray Diffraction) untuk sampel hasil kompaksi, dan proses pengecoran. Kemudian dilanjutkan dengan pengamatan struktur mikro sampel menggunakan SEM. Pengamatan ini dilakukan untuk mengamati strukturmikro pada permukaan sampel yang telah dietsa karena alat ini memberikan perbesaran dan kedalaman pandangan yang lebih baik, sehingga didapat informasi yang lebih detail tentang morfologi permukaan pada sampel yang telah dietsa. Analisis komposisi unsur dilakukan dengan EDS (Energy dispersive spectroscopy)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah data-data hasil pengamatan dengan XRD , Mikroskop optik , SEM dan EDS. Untuk data XRD hanya ditampilkan pola difraksi dari sampel hasil kompaksi sebelum di lebur dan pola difraksi dari sampel hasil pengecoran dengan pengulangan 5 kali seperti terlihat pada Gambar 1. Karena pola difraksi dari sampel hasil pengecoran 1 kali sampai pengulangan 4 kali, masih mengindikasikan adanya unsur Al dan Ti yang belum memadu menjadi TiAl.

Dari data XRD di atas diambil beberapa puncak dengan intensitas tertinggi, untuk mempermudah



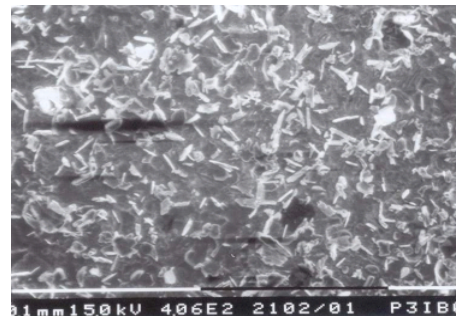
Gambar 3. Struktur mikro fasa γ -TiAl dengan SEM. (A) Pengecoran 1kali, (B) pengecoran 3kali.

identifikasi fasa-fasa yang terjadi dari sampel hasil pengecoran.

Merujuk pada Gambar 2 di atas untuk sampel dengan 1x pengecoran, didapat bahwa fasa TiAl belum terbentuk, walaupun jika dilihat dari pola difraksinya menunjukkan adanya puncak difraksi milik fasa γ -TiAl tapi sebenarnya puncak difraksi tersebut berimpit dengan puncak difraksi Ti dan Al, sehingga puncak difraksi tersebut belum bisa dipastikan sebagai puncak difraksi fasa γ -TiAl sesuai dengan tabel JCPDS. Terdapat sedikit perbedaan angka pada hasil pengamatan dengan tabel JCPDS karena faktor kalibrasi alat.

Pada sampel dengan 2 kali pengulangan pengecoran, bila melihat puncak difraksi dari pola difraksinya masih terdapat fasa lain yang bukan fasa TiAl. Hal ini disebabkan karena proses pengecoran yang tidak sempurna (logam tidak mencair secara merata) atau unsur Al yang berkurang akibat penguapan. Pada sampel ini tidak dilakukan analisis SEM-EDX karena fasa TiAl belum terbentuk. Pada hasil 3 kali pengulangan proses pengecoran masih muncul matriks fasa lain yang kemungkinan disebabkan oleh *impurities*. Tapi fasa TiAl sudah dominan, hal ini juga diperkuat dengan pengamatan strukturmikro dengan SEM yang memperlihatkan munculnya *dendrit* pada permukaan sampel yang menunjukkan adanya fasa baru (γ -TiAl) (Gambar 3B). Pada sampel dengan 4 kali pengulangan muncul puncak difraksi yang diidentifikasi merupakan milik Ti. Penyebab ketidakhomogenan ini antara lain dikarenakan pengecoran yang tidak merata atau karena unsur Al ada yang sudah menguap karena

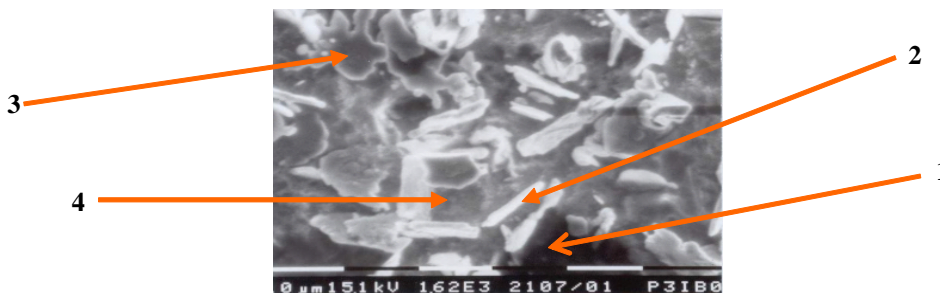
perbedaan titik leleh yang sangat besar antara Ti dan Al dan juga akibat pengecoran yang berulang, tapi keberadaan fasa γ -TiAl lebih signifikan dibandingkan pengecoran dengan pengulangan 3 kali. Pada sampel dengan 5 kali pengulangan tampak bahwa puncak difraksi untuk fasa γ -TiAl lebih dominan.



Gambar 4. Foto SEM dari sampel hasil pengecoran dengan pengulangan 5 kali

Untuk memperkuat hasil analisis fasa dengan XRD, dilakukan juga analisis strukturmikro dan komposisi mikro dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS). Gambar 3 berikut ini adalah foto strukturmikro yang dibuat dengan SEM. Dari sampel hasil pengecoran dengan pengulangan 1kali dan 3 kali.

Pengamatan komposisi mikro permukaan sampel dengan SEM hanya diambil pada tiga sampel hasil pengecoran (1kali, 3 kali dan 5 kali) tapi pada makalah ini hanya ditampilkan hasil komposisi mikro hasil pengecoran 5 kali, karena hasil analisis dengan XRD



Gambar 5. Analisis komposisi mikro dengan EDS hasil pengulangan pengecoran 5 kali

untuk sampel hasil pengecoran 1kali belum memberikan gambaran adanya fasa γ -TiAl, sedangkan foto strukturmikro dan analisis XRD hasil pengulangan 3 kali dan 4 kali, memberikan gambaran yang sama dengan foto hasil pengulangan 5 kali. Tapi karena hasil yang terbaik dari analisis fasa dengan XRD adalah hasil pengecoran dengan pengulangan 5 kali, maka analisis komposisi dengan EDS diambil dari sampel hasil pengulangan 5 kali yang berbentuk seperti jerami, merata di seluruh sampel. Gambar tersebut merupakan struktur dari fasa γ -TiAl.

Tabel 1. Komposisi mikro menggunakan EDS hasil pengulangan pengecoran 5 kali

Perlakuan	Posisi	% berat		% atom	
		Ti	Al	Ti	Al
Pengecoran dengan 5x pengulangan	1	75.03	24.97	62.86	37.14
	2	71.03	28.97	58.00	42.00
	3	76.27	23.73	64.42	35.58
	4	61.85	38.15	47.73	52.27

Hasil analisis komposisi mikro dengan EDS dari sampel hasil pengulangan pengecoran 5 kali, ditabelkan pada Tabel 1 berikut.

Hasil pengamatan komposisi mikro dengan EDS menunjukkan sebaran komposisi yang dominan adalah 52,27% atom Al dan 47,73% atom Ti yang diindikasikan sebagai fasa γ -TiAl tetapi pengamatan dengan EDS menunjukkan bahwa masih ada fasa lain yang terbentuk. Fasa lain yang juga muncul adalah Ti_3Al (64,42 % at.Ti dan 35,58 % at.Al). Pada pengamatan strukturmikro SEM terlihat bahwa *dendrit* sudah terpisah dari cabang-cabangnya dan membentuk morfologi batang jerami, strukturmikro tersebut merupakan gambaran morfologi dari fasa TiAl, walaupun fasaa lain juga ada, tapi dengan kandungan yang kecil (< 5%) sehingga tidak tampak pada pola difraksi XRD.

KESIMPULAN

Paduan intermetalik γ -TiAl dengan fasa tunggal, telah terbentuk pada pengulangan pengecoran 3 kali, tapi fasa γ -TiAl belum terbentuk homogen untuk keseluruhan sampel, fasa lain yang juga muncul adalah Ti_3Al . Pada pengulangan yang ke 5 kali fasa γ -TiAl merupakan fasa yang paling dominan. Walaupun dari data EDS masih tampak komposisi mikro yang bukan fasa γ -TiAl, tapi dengan kandungan yang sangat kecil (< 5%), sehingga tidak tampak pada pola difraksi XRD.

DAFTARACUAN

[1]. EDWARD ALORIA, *Gamma-Titanium alumides as Prospective Structural Material*, Elsevier Science Ltd, NY, (2000)

[2]. Metal Handbook, 9th Edition, 7, *Powder Metallurgy*.
 [3]. R. T FORTNUM, and D. E. MIKKOLA, *Light Alloy-Metallurgy of Light Metals*, Departement of Metalurgical Engineering, Michigan Teknological University, (1986)
 [4]. THADDEUS B. MASSALSKI, Metal Handbook, *Binary Alloy Phase Diagrams 2nd Edition*, ASM International, The Materials Information Society.
 [5]. J.C.F MILLET, N.K.BOURNE, *Journal American Institute of Physics*, (2001)
 [6]. <http://www.metal-powder.net/nov01feat3.html>.
 [7]. K. TOKAJI et al. *Materials Science and Engineering A268* (1999) 63-69
 [8]. CLAUS G. GOETZEL, Ph.D, *Treatise on Powder Metallurgy*, Interscien Publisher, NY, (1949)
 [9]. ASM Handbook, 9, *Metallography and Microstructures*.
 [10]. ASM Handbook, 10, *Material Characterization*.
 [11]. B. D. CULLITY, *Elements of X-Ray Diffraction 2nd Edition*, Addison-Wesley Publishing Company Inc., (1978)
 [12]. SM Handbook, 1, *Properties and Selection: Iron, Steels, and High-Performance Alloy*.
 [13]. ASM Handbook, 3, *Alloy Phase Diagram*.
 [14]. ASM International, 2, *Atlas of Crystal Structure Types*, The Materials Information Society.
 [15]. <http://www.ankersmid.com/China/PhysicalCharacterisation/Product/Rubotherm>.