

## PENGARUH PERLAKUAN PANAS TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT-SIFAT MEKANIK PADA PADUAN Ti-48Al

**Oknovia Susanti**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Andalas  
Kampus Limau Manis, Kecamatan Pauh  
Padang 25163  
E-mail : [ok\\_yanti@ft.unand.ac.id](mailto:ok_yanti@ft.unand.ac.id)

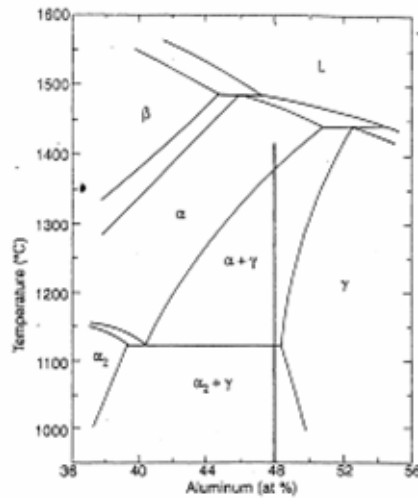
*Penelitian ini mengkaji tentang sifat-sifat mekanik dan struktur mikro dari intermetallik paduan Ti-48Al (non-HIPed), dalam kondisi awal dan setelah perlakuan panas. Dalam kondisi awal struktur mikro nearly fully lamella. Struktur mikro ini terdiri dari lapisan  $\alpha_2$  dan  $\gamma$  dan fasa tunggal  $\gamma$ -TiAl diantaranya. Ukuran koloni kira-kira mempunyai diameter 238  $\mu\text{m}$  dan butiran fasa tunggal-  $\gamma$  dengan diameter 115  $\mu\text{m}$ . Salah satu perlakuan panas adalah dengan pemanasan 1200  $^{\circ}\text{C}$  selama 120 menit selanjutnya dilakukan pendinginan dengan quenching, dimana menghasilkan struktur mikro duplek. Struktur mikro terdiri dari koloni lamella dengan diameter 439  $\mu\text{m}$  dan butiran-  $\gamma$  memiliki diameter 219  $\mu\text{m}$ . Perlakuan panas yang lain dengan memberikan temperatur di 1400  $^{\circ}\text{C}$  selama 240 menit dengan pendinginan lambat dalam tungku, dimana menghasilkan struktur mikro fully lamella. Struktur mikro tersebut memiliki ukuran koloni lamella yang besar dengan diameter dapat mencapai lebih dari 1000  $\mu\text{m}$ . Ukuran kekerasan dengan menggunakan Microvicker. untuk fasa  $\alpha_2$  dan  $\gamma$  dalam nearly fully lamella adalah 256 Hv dan 213 Hv. Fasa  $\gamma$  dan koloni lamella dalam struktur mikro duplek memiliki kekerasan 224 Hv dan 285 Hv. Struktur mikro nearly fully lamella mempunyai tegangan tarik 631,8 MPa dan regangan 1,07%. Sedangkan struktur mikro duplek mempunyai tegangan tarik 630,8 MPa dan regangan 1,1%. Modulus kekakuan nearly fully lamella lebih rendah dari struktur duplek yaitu 163,6 GPa untuk nearly fully lamella dan 186,6 GPa untuk struktur mikro duplek.*

### Pendahuluan

Susunan “ Intermetallic compound” menjadi perhatian sangat besar sebagai struktur material. Diantara intermetallic adalah gamma titanium ( $\gamma$ - TiAl) dimana paling banyak intensif dipelajari dalam perkembangan material. Ada dua alasan, pertama sangat ringan, kekuatan yang tinggi, ketahanan modulus di temperatur yang tinggi dan ketahanan oksidasi. Kedua, paduan TiAl dapat diproses lebih kurang sama dengan paduan logam, dimana melalui proses konvensional seperti pengecoran penempaan dan pemesinan. Hal yang penting sekali paduan dasar TiAl memiliki keuletan yang cukup di temperatur rendah dibanding dengan paduan-paduan tinggi lainnya sehingga dapat dirancang sebagai komponen-komponen mesin tanpa mengalami keretakan awal (*introducing initial crack*)

Pengurangan berat komponen-komponen mesin yang berputar dan bergetar adalah syarat untuk menambah *performance* mesin atomotif dan pesawat terbang. Lebih lanjut harga produksi komponen-komponen  $\gamma$  -TiAl dapat dikurangkan melalui proses *non- Hot Isostatic pressing* dengan menentukan variasi struktur mikro yang dihasilkan dari perbedaan prosedur perlakuan panas. Hasil dari masing-masing struktur mikro tersebut dikaitkan dengan sifat-sifat mekaniknya. Kepentingan dalam penelitian ini adalah penemuan struktur mikro yang optimum merupakan hal yang penting untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik paduan  $\gamma$  -TiAl.

Paduan Titanium *intermetallic compound* dengan berat 40% sampai 55% Al menjadi minat yang besar untuk penggunaan dalam bidang teknik. Hal ini disebabkan karena memiliki sifat-sifat yang menarik ditawarkan seperti sangat ringan, mempunyai kekuatan yang baik di temperatur tinggi, kekakuan yang spesifik dan ketahanan oksidasi dibanding dengan paduan lain yang tahan dengan temperatur tinggi.



**Gambar 1.** Bagian diagram fasa paduan TiAl

Paduan TiAl biasanya memulai pembekuan didaerah  $\alpha$  fasa tunggal dengan  $\alpha \Rightarrow \alpha + \gamma$  and  $\alpha + \gamma \Rightarrow (\alpha_2 + \gamma) + \gamma$ , dimana menghasilkan struktur dua fasa  $(\alpha_2 + \gamma)$ . Dengan demikian, struktur berfasa ganda dapat diperoleh dengan reaksi tranformasi fasa. Dengan bantuan diagram fasa, berbagai variasi struktur mikro dapat diperoleh pada paduan TiAl. Jumlah kandungan alumanium didalam paduan TiAl sangat mempengaruhi sifat fisik dan mekanisnya. Penambahan unsur alumanium kedalam paduan tersebut dapat menghasilkan struktur mikro yang berbeda. Perbandingan sifat mekanis titanium alumanium dengan “nickel-based superalloys “ ditunjukkan pada tabel 1 .

Paduan gamma TiAl mempunyai kepadatan 3.8-4.0 g/cm<sup>3</sup>, sedangkan kepadatan Ti<sub>3</sub>Al adalah 4.1-4.7 g/cm<sup>3</sup>. Kepadatan ini kurang dari satu separuh dibanding dengan Ni<sub>3</sub>Al Superalloy yaitu 7.9 -9.1 g/cm<sup>3</sup>. Dengan kekuatan mekanis dan modulus, paduan TiAl menjadi material sangat menarik untuk menggantikan yang konvensional superalloys sekarang ini digunakan pada aplikasi mesin turbin gas.

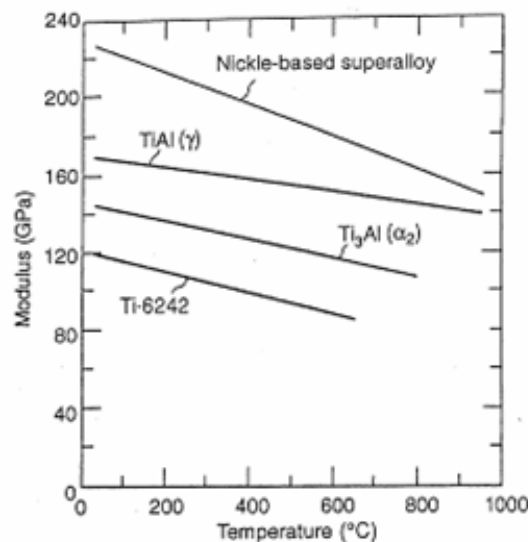
Ketahanan kekakuan pada nickel-based superalloy, paduan TiAl dan paduan Ti-ditunjukkan pada gambar 2.7<sup>3</sup>. Paduan TiAl dapat menahan kekakuan disuhu-kamar sampai 900 °C dan juga menunjukkan stabilitas dimensional paduan TiAl bila temperatur dinaikan. Perbandingan karakteristik kekakuan pada temperatur tinggi juga dipertunjukkan oleh paduan Ti<sub>3</sub>Al Dan Ti-6242 tetapi pada temperature yang lebih rendah. Walaupun modulus Ni-Base superalloy lebih tinggi dibanding TiAl di berbagai temperatur, kemiringan kurva menandai perubahan yang sangat curam sampai di temperature 900 °C.

Paduan gamma TiAl memiliki keuletan dari temperature kamar dimana dapat dilihat pada regangannya dari 0.4-4% disbanding dengan Ni<sub>3</sub>Al superalloy dapat mencapai 50% di temperature tinggi. Disini menjelaskan kekerasan paduan TiAl 230-300 Hv sedangkan Ni<sub>3</sub>Al adalah 95-142 Hv yang mana tergantung pada komposisi paduan. Walaupun kekuatan paduan TiAl adalah paling rendah antara 400-800 MPA, dibandingkan dengan superalloys (600-1620 MPA), kekuatannya cukup untuk aplikasi struktural.

**Table 1 : Sifat-sifat fisik dan mekanik paduan TiAl dan Nikel superalloy**

	Ti <sub>3</sub> Al	TiAl	Ni <sub>3</sub> Al
	( $\alpha_2$ )		Superalloys

	alloys		
Density (g/cm <sup>3</sup> )	4.1-4.7	3.8-4.0	7.9-9.1
Young's modulus (GPa)	100-145	160-175	195-220
Fracture strain (%)	2-26	0.4-4	3-50
Tensile Strength (MPa)	800-1140	400-800	600-1620
Yield Strength (MPa)	700-990	350-650	250-1310



Gambar 2. Perbandingan modulus dan temperature antara paduan Titanium dan nikel

**Bahan dan Metodologi Penelitian:**

Komposisi kimia as-cast material ( material awal) dalam persen diperkenalkan pada tabel. Karbon, Hidrogen, Nitrogen dan oksigen ditemukan sebagai kotoran pada kondisi tersebut.

**Table 2 :** Komposisi kimia paduan Ti-48Al

Element	Al	C	H	N	O	Ti
wt %	34.48	0.006	0.001	0.005	0.08	balan ce
at %	48.3	-	-	-	-	balan ce

Penelitian ini terbagi dalam dua kelompok. Pertama pengkajian terhadap variasi struktur mikro yang dihasilkan dari perlakuan panas yang berbeda. Perlakuan panas yang diberikan pada paduan Ti-48Al pada kondisi awal adalah 1200 °C dan penahana selama 120 menit dilanjutkan dengan pendinginan cepat (quenching). Pemanasan di 1400 °C selama 240 menit dengan pendinginan di dalam furnace.

Pengkajian struktur mikro pada kondisi awal dan perlakuan panas untuk menentukan tipe-tipe struktur mikro, ukuran koloni dan ketebalan lapisan fasa. Bagian yang kedua mengkaji hubungan struktur mikro yang berbeda dengan sifat-sifat mekaniknya. Sifat-sifat mekanik diperiksa melalui uji kekerasan dan uji bending.

## Hasil dan Diskusi

### Struktur Mikro Nearly Fully Lamellar

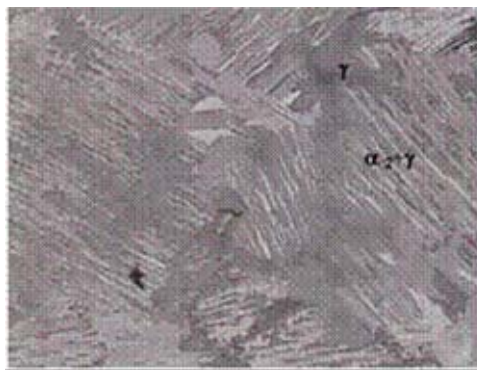
Struktur mikro pada kondisi awal terdiri dari koloni lamella dengan butir gamma fasa tunggal. Tipe struktur ini dikenal sebagai nearly fully lamella (NFL). Arah koloni lamella disebabkan pengaruh arah pendinginan dari permukaan luar billet ke arah pusat. Gambar 3 menunjukkan struktur mikro pada bagian sisi yang tegak lurus ke arah radial pendinginan. Koloni lamella pada struktur mikro NFL terdiri dari  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al dan  $\gamma$ -TiAl dan fasa tunggal  $\gamma$ -TiAl dalam jumlah kecil



Gambar 3. Struktur mikro kondisi awal paduan Ti-48Al (lokasi B, 50x)

Pengukuran koloni lamella dan butiran  $\gamma$  dengan menggunakan *image analyzer*. Pengukuran diambil pada arah koloni yang berbeda. Ukuran koloni berkisar antara 210-270  $\mu\text{m}$  sedangkan butiran  $\gamma$  berkisar 80-140  $\mu\text{m}$ .

Struktur mikro duplek dihasilkan melalui proses perlakuan panas, HT1. Struktur ini terdiri dari campuran butiran  $\gamma$  fasa tunggal dan koloni lamella seperti yang ditunjukkan dalam gambar 4. Paduan TiAl dalam daerah  $\alpha + \gamma$  di temperatur 1150 °C juga menghasilkan struktur mikro duplek (Yamaguchi, 2000).

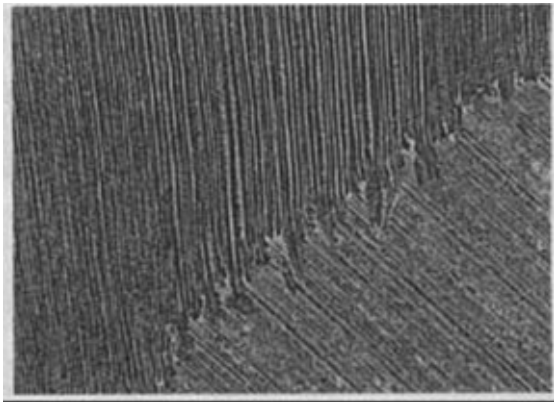


Gambar 4 Struktur duplek paduan Ti-48Al. (50x).

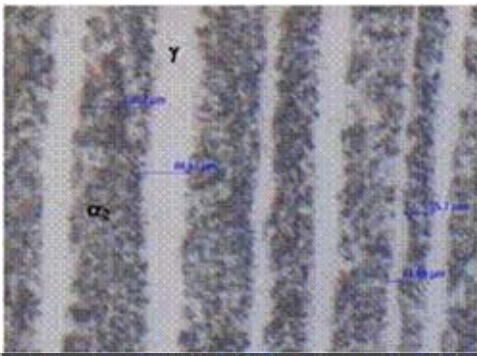
Ukuran koloni pada struktur duplex adalah  $439 \pm 30 \mu\text{m}$  sedangkan butiran fasa adalah  $25 \mu\text{m}$ . Ukuran koloni dalam struktur duplek ( $439 \mu\text{m}$ ) hampir dua kali besarnya dibanding dengan koloni pada kondisi awal ( $238 \mu\text{m}$ ). Ini kemungkinan disebabkan pertumbuhan koloni-koloni selama waktu penahanan pada waktu perlakuan panas

### Struktur Mikro Fully Lamellar

Struktur mikro fully lamella mempunyai koloni yang paling besar dibanding dengan struktur mikro NFL dan duplek. Ukuran koloni adalah  $1500 \pm 500 \mu\text{m}$ . Pengukuran ketebalan lapisan  $\alpha_2$  dan  $\gamma$  diambil searah dari pembesaran yang paling tinggi seperti yang ditunjukkan pada gambar. Hasil menunjukkan bahwa ketebalan lapisan  $\alpha_2$  adalah  $123 \pm 27 \mu\text{m}$  dan ketebalan lapisan  $\gamma$  adalah  $46 \pm 25 \mu\text{m}$



**Gambar 5** Struktur mikro Fully lamellar paduan Ti-48Al (50x)



**Gambar 6** Struktur mikro Fully Lamellar pada Ti-48Al (1000x)

### Sifat-sifat Mekanik

#### Kekerasan

Pengukuran Kekerasan pada masing-masing struktur mikro dilakukan dengan menggunakan uji kekerasan mikro Vickers (Hv). Data diambil sebanyak 15 pengukuran pada masing-masing struktur mikro.

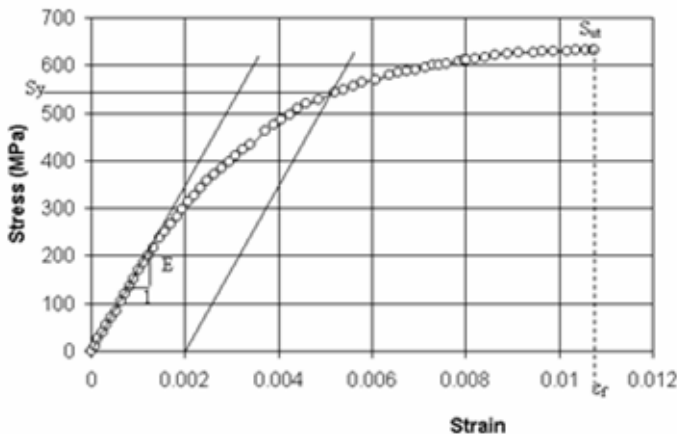
**Table 3:** Perbandingan ukuran koloni lamella dengan kekerasan pada setiap struktur mikro paduan Ti-48Al

Microstructure	Colony size $\mu\text{m}$	Hv

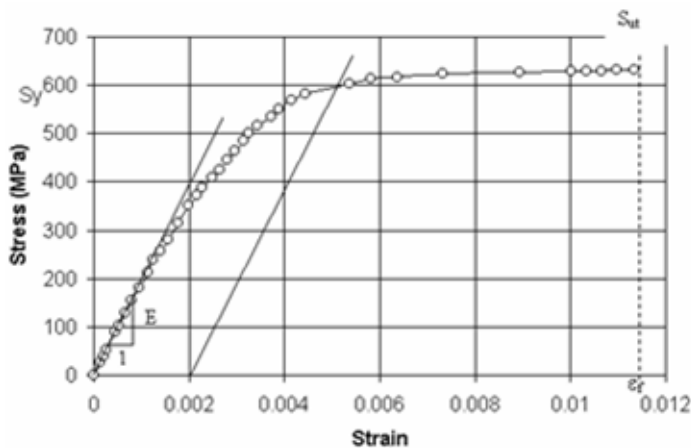
Nearly fully lamellar(As-cast)	238 ± 30	256
Duplex	439 ± 30	285
Fully lamellar	1500 ± 500	290

### Tegangan Tarik

Stress-Strain untuk NFL dan struktur mikro duplek ditunjukkan pada gambar 7 dan 8, kedua kurva menunjukkan disposisi elastis linear. Sifat-sifat mekanis ditentukan oleh kurva ini meliputi kekuatan tegangan, kekuatan luluh, modulus elastisitas dan regangan sampai patah, dimana ditunjukkan pada table 3 untuk kondisi awal dan struktur duplek. Kekuatan tarik paduan Ti-48Al untuk kedua struktur mikro awal dan duplek adalah di 630 MPa.



**Gambar 7.** Kurva stress-strain struktur mikro NFL pada paduan Ti-48Al



**Gambar 8.** Kurva stress-strain struktur mikro duplex structure pada paduan Ti-48Al

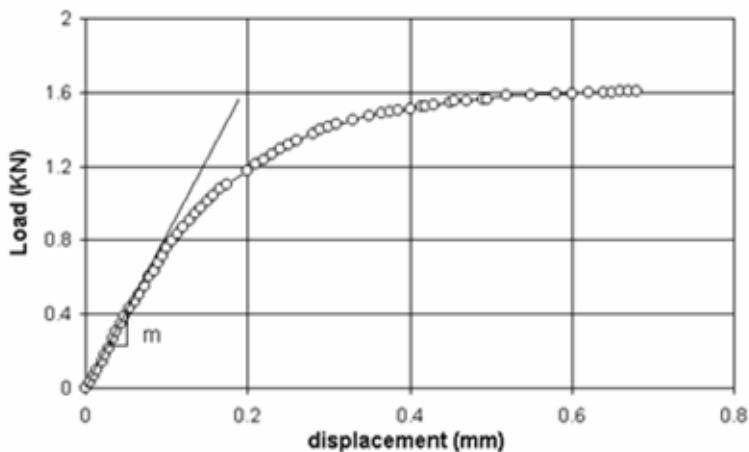
**Table 4 :** Mechanical properties of each microstructure of the Ti-48Al alloy

	As-cast	Duplex
Tensile strength (MPa)	631.8	630.8
Plastic elongation (%)	1.07	1.1

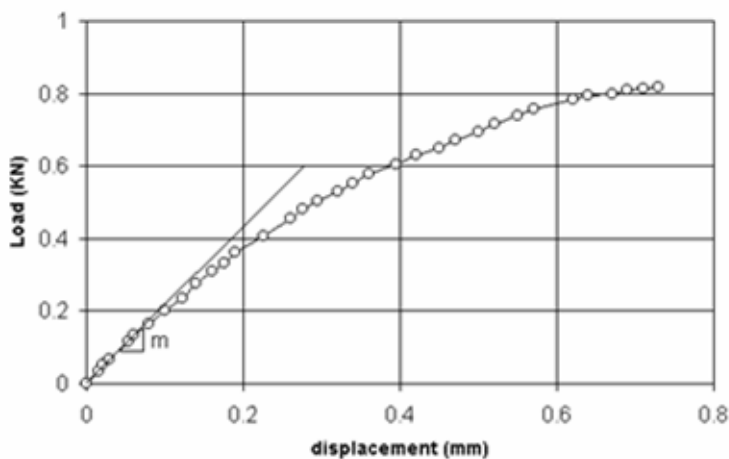
Young's Modulus (GPa)	163.6	186.6
0.2% offset yield strength (MPa)	545	590

Tingkat stress maksimum menggambarkan bahwa material adalah *brittle*. Keuletan paduan ini ditunjukkan oleh strain yaitu 1.07% untuk NFL dan 1.1% untuk duplek.

Kelenturan pada struktur mikro NFL dan duplek pada paduan Ti-48Al di tunjukan pada gambar 9 dan 10, dimana dalam bentuk *load* versus *displacement* melewati uji bending. Pada kedua kurva menunjukkan adanya garis linear di daerah plastis



**Gambar 9** Kurva Load-displacement Struktur mikro NFL pada paduan Ti-48Al didapat dari uji bending



**Gambar 10** Kurva Load-displacement Struktur mikro duplek pada paduan Ti-48Al didapat dari uji bending

## KESIMPULAN

Kesimpulan utama memperoleh dari penelitian ini adalah

1. Paduan Intermetallik Ti-48Al dapat diproses untuk menghasilkan struktur mikro yang berbeda
  - (a). Dalam kondisi awal (as-cast) struktur mikro adalah nearly fulluy lamella (NFL).

(b).Perlakuan panas HT1(1200 °C/ 2hours / water-quenched) menghasilkan struktur mikro duplex dan di HT2( 1400 °C/ 4 jam/ furnace-cooled) menghasilkan struktur mikro fully lamella.

2. Variasi struktur mikro sangat mempengaruhi sifat mekanis material.

( a). lamella lebih keras ( Hv= 285) dibanding dengan  $\gamma$ - fasa-tunggal ( Hv= 224). Dengan begitu struktur mikro fully lamella lebih keras dari struktur mikro duplex.

( b). Kedua struktur mikro memiliki kekuatan dan keuletan untuk struktur mikro lamella adalah  $S_{ut}= 631.8$  MPA,  $\epsilon_f= 1.07\%$  sedangkan struktur mikro duplex adalah  $S_{ut}= 630.8$  MPA,  $\epsilon_f= 1.1\%$ ).

(c). Kekuatan struktur mikro lamella bertambah dengan semakin besarnya ukuran koloni sampai mencapai 1400  $\mu\text{m}$ .

3. Kekuatan, modulus dan keuletan paduan Ti-48Al dikaji dalam kondisi awal dan setelah perlakuan panas tanpa penambahan unsur paduan.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Lembaga Penelitian Unand yang telah menyediakan dana untuk pelaksanaan penelitian. Kepada staff Laboratorium Universiti Teknologi Malaysia yang telah menyediakan tempat untuk lanjutan penelitian. Penghargaan yang tidak terkecil kepada rekan-rekan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas atas dukungan moral sehingga makalah ini bisa diselesaikan.

### Daftar Pustaka

- [1]. Hu, D., Botten, R.R.(2002). Phase Transformation in some TiAl-based Alloys. *Intermetallic* **10** : 701-715
- [2]. Huang, SC and Chessnutt, J.C.(1994). Intermetallic Compound. **2<sup>th</sup> ed** : 73-88
- [3]. Hamada, S., Nozue, A., Tamin, M.N.(1991). Fatigue Crack Growth Mechanism of Cast Ti-48Al ( at %) alloys. *Damage and Fracture Mechanic*. **VI**: 203-211
- [4]. Hu, D., Botten, R.R.(2002). Phase Transformation in some TiAl-based Alloys. *Intermetallic* **10** : 701-715
- [5]. Kim, Y.W., Dimiduk, D.M.(1991). Progress in the Understanding of Gamma Titanium Aluminides. *Journal of the Minerals, Metal & Material Society*. **43**
- [6]. Kim, Y.W. (1991). Microstructural Evolution and Mechanical Properties of a Forged Gamma Titanium Aluminide Alloy. Mercut Metrials Research Group : 1121-11338.
- [7]. Kuang, J.P., Harding, R.A., Campbell, J.(2002). Microstructure and Properties of Investment Casting of  $\gamma$ -Titanium Aluminide. *Material Science and Engeneering* **A. 329-331** : 31-37
- [8]. Yamaguchi, *et al* (2000). High Temperature Structural Intermetallics. *Acta Materialia*. **48** : 307-322.