



# Industria y Comercio

SUPERINTENDENCIA

Delegatura de Propiedad Industrial

Division de Nuevas Creaciones

PCT  
SOLICITUD

## PATENTE DE INVENCION

21 EXPEDIENTE No

04-96492

54 TITULO

ALEACIÓN DE ALUMINIO DE RESISTENCIA ALTA PARA APLICACIONES

DE TEMPERATURAS ALTAS

51 CLASIFICACION INTERNACIONAL

C22C 21/02

71 SOLICITANTE

THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE ADMINISTRATOR  
OF THE NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA)

DOMICILIO

Washington D C Estados Unidos de América

74 APODERADO

EMILIO FERRERO

22 BOGOTA, D C ,

C C 430 019 de Usaqué-

28/09/2004



**Industria y Comercio**  
SUPERINTENDENCIA

# PETITORIO

SUPERINDUSTRIA Y COMERCIO

Indicación : 04056492 00000000. . . . . Folios: 48  
Fecha (AMB): 2004-09-28 17:12:18  
Trámite : 011 PCT-PATENT 379 FASE NACI 411 PRESENTA  
Dependencia: 2020 DIVISION DE NUEVAS CREACIONES

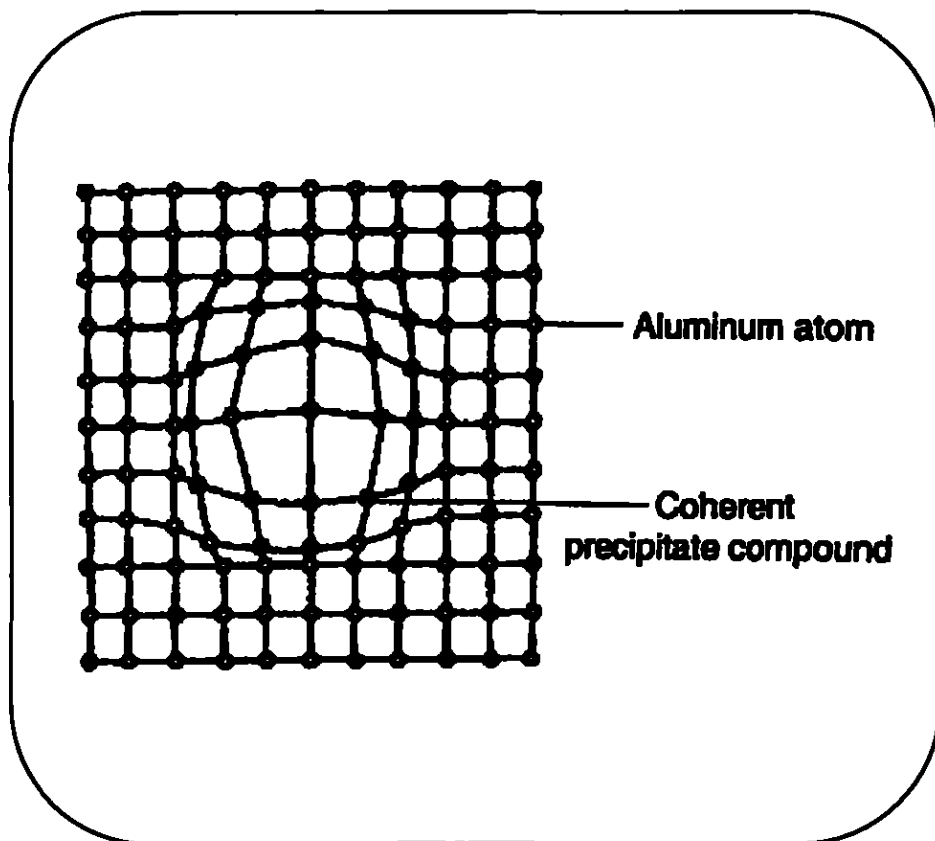
## FORMULARIO UNICO DE SOLICITUD DE PATENTE PCT ENTRADA EN FASE NACIONAL

|                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b> SOLICITUD DE:                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Patente de Invención. <input type="checkbox"/> Patente de Modelo de Utilidad. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Capítulo I. <input type="checkbox"/> Capítulo II.                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>2</b><br>SOLICITANTE<br>(71)                                                                                   | Nombre: THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE ADMINISTRATOR OF THE NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA)<br>constituida y existentes bajo las leyes de Estados Unidos de América<br><br>Dirección: 300 E Street SW, Washington, DC 20546 Estados Unidos de América<br><br>Domicilio: Washington, DC, Estados Unidos de América | <b>IDENTIFICACION</b><br><br>C.C. <input type="checkbox"/> NIT <input type="checkbox"/><br>C.E. <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/><br>Cual _____<br><br>Número: _____                                        |
| <b>3</b><br>REPRESENTANTE<br>O APODERADO                                                                          | Nombre: EMILIO FERRERO<br><br>Dirección: Carrera 4ª. No. 72-35<br>Teléfono: 347 38 11<br>Fax:: 217 92 11<br>E-mail: <a href="mailto:clientes@camvo.com">clientes@camvo.com</a><br>Domicilio: Bogotá, Colombia.                                                                                                                                             | <b>IDENTIFICACION</b><br><br>C.C. <input checked="" type="checkbox"/> NIT <input type="checkbox"/><br>C.E. <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/><br>Cual _____<br><br>Número: <u>438.019</u> T.P. <u>31.929</u> |
| <b>4</b><br>INVENTOR (ES)<br>(72)                                                                                 | 1- Jonathan A. LEE<br>532 Brenda Drive,<br>Madison, AL 35758,<br>Estados Unidos de América.<br><br>2- Po-Shou CHEN<br>9421 O'Jay Drive.<br>Huntsville, AL 35803,<br>Estados Unidos de América.                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>5</b> PCT (86)                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                  |
| Solicitud Internacional No. <u>PCT/US03/10372</u><br>Publicación Internacional No. <u>WO 03/087417 A1</u>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Fecha: <u>3 de abril de 2003</u><br>Fecha: <u>23 de octubre de 2003</u>                                                                                                                                                          |

|                                     |                                                                                                                                                                                                               |                     |                                               |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------|
| 6                                   | Título (54) <u>ALEACIÓN DE ALUMINIO DE RESISTENCIA ALTA PARA APLICACIONES DE TEMPERATURAS ALTAS</u>                                                                                                           |                     |                                               |
| 7                                   | Clasificación Internacional (51) <u>C22C 21/02</u>                                                                                                                                                            |                     |                                               |
| 8                                   | Prioridad                                                                                                                                                                                                     | (33) País de Origen | (32) Fecha                                    |
|                                     | SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>                                                                                                                                            | <u>US</u>           | <u>10 de abril de 2002</u>                    |
|                                     |                                                                                                                                                                                                               |                     | (31) Número de Solicitud<br><u>10/120.226</u> |
| 9                                   | Comprobante de pago No.: <u>04 – 74.340</u> Fecha: <u>20 de septiembre de 2004</u>                                                                                                                            |                     |                                               |
| 10                                  | Anexos:                                                                                                                                                                                                       |                     |                                               |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Comprobante de pago de la tasa de presentación de la solicitud por \$ 422.000                                                                                                                                 |                     |                                               |
| <input type="checkbox"/>            | Comprobante de pago por reivindicación de prioridad.                                                                                                                                                          |                     |                                               |
| <input type="checkbox"/>            | Documento que acredita la existencia y representación legal cuando el solicitante sea persona jurídica.                                                                                                       |                     |                                               |
| <input type="checkbox"/>            | Poderes, si fuere el caso.                                                                                                                                                                                    |                     |                                               |
| <input type="checkbox"/>            | Documento de cesión del inventor al solicitante o a su causante.                                                                                                                                              |                     |                                               |
| <input type="checkbox"/>            | Declaraciones.                                                                                                                                                                                                |                     |                                               |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Copia de la solicitud internacional. (Resumen, descripción, reivindicaciones, dibujos)                                                                                                                        |                     |                                               |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Traducción de la solicitud internacional al castellano. (Resumen, descripción, reivindicaciones, dibujos)                                                                                                     |                     |                                               |
| <input type="checkbox"/>            | Copia del examen preliminar efectuado por la IPEA.                                                                                                                                                            |                     |                                               |
| <input type="checkbox"/>            | Traducción del examen preliminar efectuado por la IPEA.                                                                                                                                                       |                     |                                               |
| <input type="checkbox"/>            | De ser el caso, copia del contrato de acceso.                                                                                                                                                                 |                     |                                               |
| <input type="checkbox"/>            | De ser el caso, documento que acredite la licencia o autorización de uso de conocimientos tradicionales de las comunidades indígenas.                                                                         |                     |                                               |
| <input type="checkbox"/>            | De ser el caso, certificado de depósito del material biológico.                                                                                                                                               |                     |                                               |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Arte final 12x12                                                                                                                                                                                              |                     |                                               |
| <input type="checkbox"/>            | De ser el caso, información sobre otras solicitudes de patente o títulos obtenidos en el extranjero por el mismo titular o su causante, relacionadas parcial o totalmente con la invención de esta solicitud. |                     |                                               |
| <input type="checkbox"/>            | Otros                                                                                                                                                                                                         |                     |                                               |

11

## FIGURA CARACTERISTICA:



12

Solicito la concesión de la patente,

NOMBRE: EMILIO FERRERO

FIRMA :

C.C. 438.019 de Usaquén T.P. 31.929

JGG/d-4

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau



(43) International Publication Date  
23 October 2003 (23.10.2003)

PCT

(10) International Publication Number  
WO 03/087417 A1

(51) International Patent Classification: C22C 21/02, 21/04

(21) International Application Number: PCT/US03/10372

(22) International Filing Date: 3 April 2003 (03.04.2003)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:  
10/130,226 10 April 2002 (10.04.2002) US

(71) Applicant: THE UNITED STATES OF AMERICA  
AS REPRESENTED BY THE ADMINISTRATOR  
OF THE NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE  
ADMINISTRATION (NASA) [US/US]; 300 E Street  
SW, Washington, DC 20546 (US).

(72) Inventors: LEE, Jonathan, A.; 532 Brenda Drive, Mad-  
ison, AL 35758 (US). CHEN, Pe-Shou; 9421 O'Jay Drive,  
Huntsville, AL 35803 (US).

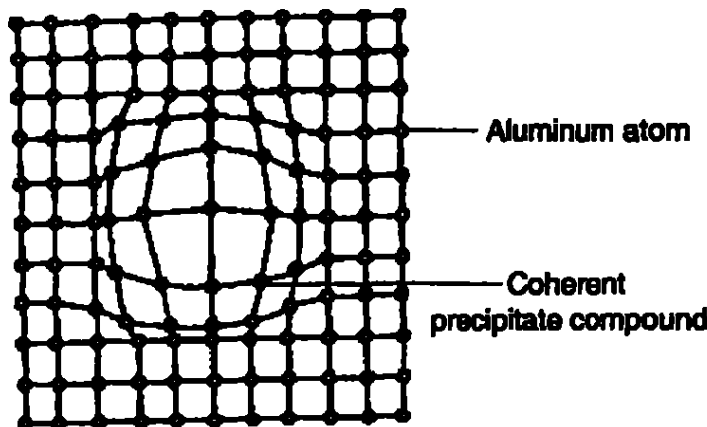
(74) Agent: MCGROARY, James, J.; National Aeronautics  
and Space Administration, Marshall Space Flight Center,  
LS01/Office of Chief Counsel, Marshall Space Flight Cen-  
ter, AL 35812 (US).

(81) Designated States (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU,  
AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU,  
CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GR, GH,  
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,  
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,  
MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,  
SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VC,  
VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States (*regional*): ARIPO patent (GH, GM,  
KI, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW).  
Borussian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM).  
European patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,  
ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO,  
SE, SI, SK, TR). OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,  
GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TO).

[Continued on next page]

(54) Title: HIGH STRENGTH ALUMINUM ALLOY FOR HIGH TEMPERATURE APPLICATIONS



(57) Abstract: A cast article from an aluminum alloy has improved mechanical properties at elevated temperatures. The cast article has the following composition in weight percent: Silicon 6.0 - 25.0, Copper 5.0 - 8.0, Iron 0.05 - 1.2, Magnesium 0.5 - 1.5, Nickel 0.05 - 0.9, Manganese 0.05 - 1.2, Titanium 0.05 - 1.2, Zirconium 0.05 - 1.2, Vanadium 0.05 - 1.2, Zinc 0.05 - 0.9, Strontium 0.001 - 0.1, Phosphorus 0.001 - 0.1, and the balance is Aluminum, wherein the silicon-to-magnesium ratio is 10 - 25, and the copper-to-magnesium ratio is 4 - 15. The aluminum alloy contains a simultaneous dispersion of three types of Al<sub>3</sub>X compound particles (X= Ti, V, Zr) having a L<sub>12</sub> crystal structure, and their lattice parameters are coherent to the aluminum matrix lattice. A process for producing this cast article is also disclosed, as well as a metal matrix composite, which includes the aluminum alloy serving as a matrix containing up to about 60% by volume of a secondary filler material.

WO 03/087417 A1

**HIGH STRENGTH ALUMINUM ALLOY FOR HIGH TEMPERATURE APPLICATIONS****ORIGIN OF THE INVENTION**

[0001] The invention described herein was made in the performance of work under a NASA contract and by an employee of the United States Government. It is subject to the provisions of Public Law 96-517 (35 U.S.C. § 202), and may be manufactured and used by or for the Government for governmental purposes without the payment of any royalties thereon or therefor.

**BACKGROUND OF THE INVENTION****1. Field of The Invention**

[0002] This invention relates generally to aluminum-silicon (Al-Si) alloys. It relates particularly to a high strength Al-Si based alloy suitable for high temperature applications for cast components such as pistons, cylinder heads, cylinder liners, connecting rods, turbochargers, impellers, actuators, brake calipers and brake rotors.

**2. Description of the Related Art**

[0003] Al-Si alloys are most versatile materials, comprising 85% to 90% of the total aluminum cast parts produced for the automotive industry. Depending on the Si concentration in weight percent (wt.%), the Al-Si alloy systems fall into three major categories: hypoeutectic (<12% Si), eutectic (12-13% Si) and hypereutectic (14-25% Si). However, most prior alloys are not suitable for high temperature applications because their mechanical properties, such as tensile strength and fatigue strength, are not as high as desired in the temperature range of 500 °F - 700 °F. To date, many of the Al-Si cast alloys are intended for applications at temperatures of no higher than about 450 °F. Above this temperature, the major alloy strengthening phases such as the  $\theta'$  ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ) and  $S'$  ( $\text{Al}_2\text{CuMg}$ ) phase will become unstable, rapidly coarsen and dissolve, resulting in an alloy having an undesirable microstructure for high temperature applications. Such an alloy has little or no practical application at elevated temperatures because, when the  $\theta'$  and  $S'$  become unstable, the alloy lacks the lattice coherency between the aluminum solid solution lattice and the strengthening particles lattice

parameters. A large mismatch in lattice coherency contributes to an undesirable microstructure that can not maintain excellent mechanical properties at elevated temperatures.

[0004] One approach taken by the prior art is to use fiber or particulate reinforcements to increase the strength of Al-Si alloys. This approach is known as the aluminum Metal Matrix Composites (MMC) technology. For example, U.S. Patent No. 5,620,791 relates to an MMC comprising an Al-Si based alloy with an embedded a ceramic filler material to form a brake rotor for high temperature applications. An attempt to improve the high temperature strengths of Al-Si alloys was also carried out by R. Bowles, who has used ceramic fibers to improve tensile strength of an Al-Si 332.0 alloy, in a paper entitled, "Metal Matrix Composites Aid Piston Manufacture," Manufacturing Engineering, May 1987. Another attempt suggested by A. Shakesheff was to use ceramic particulate for reinforcing Al-Si alloy, as described in "Elevated Temperature Performance of Particulate Reinforced Aluminum Alloys," Materials Science Forum, Vol. 217-222, pp. 1133-1138 (1996). Cast aluminum MMC for pistons has been described by P. Rohatgi in a paper entitled, "Cast Aluminum Matrix Composites for Automotive Applications," Journal of Metals, April 1991. It is noted that the strength for most particulate reinforced MMC materials, manufactured from an Al-Si alloy, are still inferior for high temperature applications because the major  $\theta'$  and  $S'$  strengthening phases are unstable, rapidly coarsen and dissolve at high temperatures.

[0005] Another approach taken by the prior art is the use of the Ceramic Matrix Composites (CMC) technology. For example, W. Kowbel has described the use of non-metallic carbon-carbon material for making pistons to operate at high temperatures in a paper titled, "Application of Net-Shape Molded Carbon-Carbon Composites in IC engines," Journal of Advanced Materials, July 1996. Unfortunately, manufacturing costs employing these MMC and CMC technologies are substantially higher than those using conventional Al-Si casting, which has hampered their ability to be priced competitively with Al-Si alloys in mass production for high temperature internal combustion engine parts and brake applications.

[0006] It is accordingly a primary object of the present invention to obviate the disadvantages of the prior art technologies.

#### SUMMARY OF THE INVENTION

[0007] According to the present invention, an Al-Si alloy containing dispersion of particles having  $L1_2$  crystal structure in the aluminum matrix is presented. The alloy is processed using low cost casting techniques such as permanent mold, sand casting or die casting.

[0008] The alloy of the present invention maintains a much higher strength at elevated temperatures (500 °F and above) than prior art alloys, due to a unique chemistry and microstructure formulation. The methods for strengthening the alloy in the present invention include: 1) Maximizing the formation of major strengthening  $\theta'$  and  $S'$  phase in the alloy, with chemical composition given as  $Al_2Cu$ ,  $Al_2CuMg$ , respectively. 2) Stabilizing the strengthening phases at elevated temperatures by controlling the Cu/Mg ratio and by the simultaneous addition of Titanium (Ti), Vanadium (V) and Zirconium (Zr) elements. 3) Forming  $Al_3X$  ( $X= Ti, V, Zr$ ) compounds with  $L1_2$  crystal structures for additional strengthening mechanisms at elevated temperatures.

[0009] In the present invention, key alloying elements of Ti, V and Zr are added to the Al-Si alloy to modify the lattice parameter of the aluminum matrix by forming compounds of the type  $Al_3X$  having  $L1_2$  crystal structures ( $X= Ti, V$  and  $Zr$ ). In order to maintain high degrees of strength at high temperatures, both the aluminum solid solution matrix and the particles of  $Al_3X$  compounds should have similar face-centered-cubic (FCC) crystal structures, and will be coherent because their respective lattice parameters and dimensions are closely matched. When the condition of substantial coherency for the lattice is obtained, these dispersion particles are highly stable, which results in high mechanical properties for the alloy during long exposures at elevated temperatures.

[0010] In addition to the alloy composition and microstructure, a unique heat treatment schedule is provided in order to optimize the performance for the alloy strengthening mechanisms and phases formation within the alloy. The advantages of the present invention will become apparent as the description thereof proceeds.

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[0011] FIG. 1 is a diagram illustrating a coherent particle that has similar lattice parameters and crystal structure relationship with the surrounding aluminum matrix atoms.

[0012] FIG. 2 is a diagram illustrating a non-coherent particle having no crystal structural relationship with the surrounding aluminum matrix atoms. Such an alloy has little or no practical application at elevated temperatures.

[0013] FIG. 3 is an electron micrograph showing the size and shape of the alloy  $\theta'$  and  $S'$  coherent phases for prior art alloys as observed at room temperature.

5 [0014] FIG. 4 is an electron micrograph showing the size, shape and the amount of the alloy strengthening  $\theta'$  and  $S'$  coherent phases for the alloy of this invention as observed at room temperature.

10 [0015] FIG. 5 is an electron micrograph showing the transformation of  $\theta'$  and  $S'$  coherent phase, as observed in FIG 3, into the undesirable  $\theta$  and  $S$  noncoherent phases for the prior art alloys after they have been exposed to 600 °F for 100 hours. The  $\theta$  and  $S$  phases are noncoherent because they become unstable rapidly coarsen and dissolve, resulting in an alloy which has an undesirable microstructure for high temperature applications.

15 [0016] FIG. 6 is an electron micrograph showing the highly stable  $\theta'$  and  $S'$  coherent phases for the alloy of this invention after it has been exposed to 600 °F for 100 hours. Unlike the prior art, the alloy of this invention still retains the  $\theta'$  and  $S'$  coherent phases, which are a desirable microstructure for high temperature applications.

20 [0017] FIG. 7 is a chart showing a comparison of an alloy according to the present invention with three well-known prior art alloys (332, 390 and 413). The chart compares the ultimate tensile strengths (tested at 500 °F, 600 °F and 700 °F), after exposure of all test specimens to a temperature of 500 °F, 600 °F, 700 °F for 100 hours, respectively.

25 **DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION**

[0018] The present invention includes detailed compositional, microstructure and processing aspects through conventional casting processes. The Al-Si alloy of the present invention is marked by an ability to perform in cast form, which is suitable for elevated temperature applications. It is comprised of the following elements, in weight percent:

30

|           |            |
|-----------|------------|
| Silicon   | 6.0 – 25.0 |
| Copper    | 5.0 – 8.0  |
| Iron      | 0.05 – 1.2 |
| Magnesium | 0.5 – 1.5  |
| 35 Nickel | 0.05 – 0.9 |
| Manganese | 0.05 – 1.2 |

|   |            |             |
|---|------------|-------------|
|   | Titanium   | 0.05 – 1.2  |
|   | Zirconium  | 0.05 – 1.2  |
|   | Vanadium   | 0.05 – 1.2  |
|   | Zinc       | 0.05 – 0.9  |
| 5 | Strontium  | 0.001 – 0.1 |
|   | Phosphorus | 0.001 – 0.1 |
|   | Aluminum   | Balance     |

10 [0019] Silicon gives the alloy a high elastic modulus and low thermal coefficient of expansion. The addition of silicon is essential in order to improve the fluidity of the molten aluminum to enhance the castability of the Al-Si alloy according to the present invention. At high silicon levels, the alloy exhibits excellent surface hardness and wear resistance properties.

15 [0020] Copper co-exists with magnesium and forms a solid solution in the aluminum matrix to give the alloy age-hardening properties, thereby improving the high temperature strength. Copper also forms the  $\theta'$  phase compound ( $Al_2Cu$ ), and is the most potent strengthening element in this new alloy. The enhanced high strength at high temperatures is affected if the copper wt% level is not adhered to. Moreover, the alloy strength can only be maximized effectively by the simultaneous formation for both of the  $\theta'$  ( $Al_2Cu$ ) and  $S'$  ( $Al_2CuMg$ ) metallic compounds, using proper addition of magnesium  
20 into the alloy relative to the elements of copper and silicon. Experimentally, it is found that an alloy with a significantly higher level of magnesium will form mostly  $S'$  phase with insufficient amount of  $\theta'$  phase. On the other hand, an alloy with a lower level of magnesium contains mostly  $\theta'$  phase with insufficient amount of  $S'$  phase.

25 [0021] To maximize the formation of both the  $\theta'$  and  $S'$  phases, the alloy composition was specifically formulated with copper-to-magnesium (Cu/Mg) ratios ranging from 4 to 15, with a minimum value for magnesium of no less than 0.5 wt%. In addition to the Cu/Mg ratio, the silicon-to-magnesium (Si/Mg) ratio is kept in the range of 10 to 25, preferably 14 to 20, to properly form the  $Mg_2Si$  metallic compound as a minor strengthening phase, in addition to the primary  $\theta'$  and  $S'$  phases.  
30 Moreover, the unique Cu:Mg ratio greatly enhances the chemical reactions among aluminum (Al), copper (Cu) and magnesium (Mg) atoms. Such chemical reactions permit precipitation of a higher volume fraction of the strengthening phases  $\theta'$  and  $S'$  within the alloy. FIG. 4 is an electron micrograph showing the formation, shape, size and amount of the alloy strengthening  $\theta'$  and  $S'$  coherent phases for the alloy of this invention as observed at room temperature. The combination of  
35 high volume fraction and coherent  $\theta'$  of the present invention, as shown in FIG. 4, lead to exceptional tensile strength and microstructure stability at elevated temperatures.

[0022] Titanium, Vanadium and Zirconium are added to the Al-Si alloy to modify the lattice parameter of the aluminum matrix by forming compounds of the type  $Al_3X$  having  $L1_2$  crystal structures ( $X=Ti, V, Zr$ ). In order to maintain high degrees of strength at temperatures very near to their alloy melting point, both the aluminum solid solution matrix and the particles of  $Al_3X$  compounds have similar face-centered-cubic (FCC) crystal structures, and are coherent because their respective lattice parameters and dimensions are closely matched. For example, FIG. 1 is a diagram illustrating a coherent particle that has similar lattice parameters and crystal structure relationship with the surrounding aluminum matrix atoms. The compounds of the type  $Al_3X$  ( $X=Ti, V, Zr$ ) particles also act as nuclei for grain size refinement upon the molten aluminum alloy being solidified from the casting process. Titanium and vanadium also function as dispersion strengthening agents, having the  $L1_2$  lattice structure similar to the aluminum solid solution, in order to improve the high temperature mechanical properties. Zirconium also forms a solid solution in the matrix to a small amount, thus enhancing the formation of GP (Guinier-Preston) zones, which are the Cu-Mg rich regions, and the  $\theta'$  phase in the Al-Cu-Mg system to improve the age-hardening properties. Although the stable  $\theta'$  ( $Al_3Cu$ ) is the primary strengthening phase at elevated temperatures, the importance of having Ti, V, and Zr elements in the alloy cannot be discounted. Upon the molten alloy being solidified from the casting process, these elements react with aluminum to form  $Al_3X$  ( $X=Ti, V, Zr$ ) compounds that precipitate as nucleation sites for effective grain size refinement. Moreover,  $Al_3X$  ( $X=Ti, V, Zr$ ) precipitates also function as dispersion strengthening agents, effectively blocking the movement of dislocations and enhance the high temperature mechanical properties. High temperature strength characteristics of the alloy of this invention are detrimentally affected if Ti, V, and Zr are not used simultaneously in the proper amount for forming  $Al_3(Ti, V, Zr)$  precipitates.

[0023] FIG. 6 is an electron micrograph showing the highly stable  $\theta'$  and  $S'$  coherent phases for the alloy of this invention after it has been exposed to temperatures of 600 °F for 100 hours. Unlike alloys of the prior art, the alloy of this invention still retains the  $\theta'$  and  $S'$  coherent phases, which are a desirable microstructure for high temperature applications. Because of the unique Cu/Mg ratio for the alloy of this invention,  $\theta'$  still maintains its coherency to the matrix even after it has been soaked at 600 °F for 100 hours. During soaking at 600 °F,  $\theta'$  grew slightly in thickness but it did not coarsen, and still maintained a small diameter and coherency, which is critical for achieving high strength at elevated temperatures. The coherency between Al matrix and  $\theta'$  phase creates a definite relationship between the  $\theta'$  precipitate's and the matrix's crystal structure. As a result, the movement of dislocation is impeded at the interface of  $\theta'$  phase and the matrix, and significant strengthening occurs. FIG. 5 is an electron micrograph showing the transformation of the  $\theta'$  and  $S'$  coherent phases, as observed in FIG 3, into the undesirable  $\theta$  and  $S$  noncoherent phases for the prior art alloys after

they have been exposed to 600 °F for 100 hours. In FIG. 5, the  $\theta'$  phase from other prior art alloys coarsens significantly and loses its coherency at elevated temperatures, thus resulting in a drastic loss in strength for elevated temperature applications. FIG. 2 is a diagram illustrating a non-coherent particle having no crystal structural relationship with the surrounding aluminum matrix atoms. Such an alloy has little or no practical application at elevated temperatures.

[0024] Nickel improves the alloy tensile strength at elevated temperatures by reacting with aluminum to form the  $Al_3Ni_2$  and  $Al_3Ni$  compounds, which are stable metallurgical phases to resist the degradation effects from the long-term exposure to high temperature environments.

[0025] Strontium is used to modify the Al-Si eutectic phase. The strength and ductility of Al-Si alloys having less than or equal to 12 wt% silicon are substantially improved with finer grains by using strontium as an Al-Si modifier. Phosphorus is used to modify the Silicon primary particle size when the silicon concentration is greater than 12 wt%, preferably 14 to 20. Effective modification is achieved at a very low additional level, but the range of recovered strontium and phosphorus of 0.001 to 0.1 wt.% is commonly used.

[0026] In order for these strengthening mechanisms to function properly within the alloy, the casting article must have a unique combination of chemical composition and heat treatment history. The heat treatment is specifically designed to maximize the performance of the unique chemical composition. As discussed above, the exceptional performance of the alloy of the present invention is achieved by the combination of the following strengthening mechanisms through a unique heat treatment schedule. The heat treatment for the alloy of this invention was developed to maximize the formation of  $\theta'$  and  $S'$  phases in the alloy (high volume fraction), to stabilize  $\theta'$  phase at elevated temperature by controlling Cu/Mg ratio, and to maximize the formation of  $Al_3(Ti, V, Zr)$  compounds for additional strengthening with mechanisms simultaneous addition of Ti, V, and Zr.

[0027] Maximum high temperature strength has been attained by the present invention when using a T5 heat treatment consisting of aging at 400 to 500 °F for four to twelve hours. The heat treatment schedule complements the unique alloy composition to form a maximum amount of precipitates with uniform distribution and optimum particle size. Thus, the present alloy has properties that are superior to the prior art alloys, because of a unique combination of chemical composition and heat treatment processing.

[0028] The alloy of the present invention is processed using conventional gravity casting in the temperature range of about 1325 °F to 1450 °F, without the aid of external pressure, to achieve

dramatic improvement in tensile strengths at 500 °F to 700 °F. However, it is anticipated that further improvement of tensile strengths will be obtained when the alloy of the present invention is cast using pressure casting techniques such as squeeze casting.

5 [0029] An article, such as a cylinder head, engine block or a piston, is cast from the alloy, and the cast article is then solutionized at a temperature of 900 °F to 1000 °F for fifteen minutes to four hours. The purpose of the solutionizing step is to dissolve unwanted precipitates and reduce any segregation present in the alloy. For applications at temperatures from 500 °F to 700 °F the solutioning treatment may not be required.

10

[0030] After solutionizing, the cast article is advantageously quenched in a quenching medium, at a temperature within the range of 120 °F to 300 °F, most preferably 170 °F to 250 °F. The most preferred quenching medium is water. After quenching, the cast article is aged at a temperature of 425 °F to 485 °F for six to 12 hours.

15

[0031] FIG 7 is a chart which illustrates the dramatic improvement in the ultimate tensile strength (UTS) at elevated temperatures for a cast article produced according to the present invention. It is a chart showing a comparison of an alloy according to the present invention with three well-known prior art alloys (332, 390 and 413). The chart compares the UTS (tested at 500 °F, 600 °F and 700 °F), after exposure of all test specimens to a temperature of 500 °F, 600 °F, 700 °F for 100 hours, respectively. It is noted that the tensile strength of cast articles, prepared according to this invention, is more than three times that of those prepared from the conventional eutectic 413.0 alloy, and more than four times that of those prepared from hypo-eutectic 332.0 alloy and the hyper-eutectic 390.0 alloy, when tested at 700 °F.

25

[0032] The alloy of the present invention may be used in a bulk alloy form. It may also be used as an alloy matrix for the making of aluminum metal matrix composites (MMC). Such composites comprise the aluminum alloy of the present invention as a matrix containing a filler material, which is in the form of particles, whiskers, chopped fibers and continuous fibers. One of the most popular ways to produce an MMC is to mechanically mix and stir various ceramic materials in the form of small particles or whiskers into a molten aluminum alloy. This process has been called compo-casting or stir-casting of metal composite. In stir-casting techniques, the approach involves mechanical mixing and stirring of the filler material into a molten metal bath. The equipment usually consists of a heated crucible containing molten aluminum alloy, with an electric motor that drives a paddle-style mixing impeller, that is submerged in the molten metal. The filler material is poured slowly into the crucible above the melt surface and at a controlled rate, to ensure smooth and continuous feed. The

35

temperature is usually maintained below the liquidus temperature to keep the aluminum alloy in a semi-solid condition in order to enhance the mixing uniformity of the filler material.

5 [0033] As the mixing impeller rotates at moderate speeds, it generates a vortex that draws the reinforcement particles into the melt from the surface. The impeller is designed to create a high level of shear force, which helps to remove the adsorbed gases from the surface of the particles. The high shear also engulfs the particle in molten aluminum alloy, which promotes particle wetting in order to enhance the homogeneous distribution of the filler material within the MMC.

10 [0034] The filler materials in the metal composite should not be confused with the  $\theta'$  and  $S'$  particles or the  $Al_3X$  ( $X=Ti, V, Zr$ ) particles with a diameter typically less than 100 nanometers (nm) in size. The filler materials or reinforcement materials added into the aluminum MMC usually have minimum dimensions which are much greater than 500 nm, typically in the range of 1 to 20 microns.

15 [0035] Suitable reinforcement materials for making aluminum metal matrix composite include common materials such as Silicon Carbide (SiC), Aluminum Oxide ( $Al_2O_3$ ), Boron Carbide ( $B_4C$ ), Boron Nitride (BN), Titanium Carbide (TiC), Yttrium Oxide ( $Y_2O_3$ ), Graphite, Diamond particles and mixtures thereof. These reinforcement materials are present in volume fractions up to about 60% by volume, and more preferably 5-35% by volume.

20 [0036] The present invention has been specified in detail with respect to certain preferred embodiments thereof. It is understood that variations and modifications in this detail may be effected without departing from the spirit and scope of the present invention, as defined in the hereto-appended claims.

25

14

WE CLAIM:

1. A cast article from an aluminum alloy, which has improved mechanical properties at elevated temperatures, the cast article having the following composition in weight percent:

5

|            |             |
|------------|-------------|
| Silicon    | 6.0 – 25.0  |
| Copper     | 5.0 – 8.0   |
| Iron       | 0.05 – 1.2  |
| Magnesium  | 0.5 – 1.5   |
| 10 Nickel  | 0.05 – 0.9  |
| Manganese  | 0.05 – 1.2  |
| Titanium   | 0.05 – 1.2  |
| Zirconium  | 0.05 – 1.2  |
| Vanadium   | 0.05 – 1.2  |
| 15 Zinc    | 0.05 – 0.9  |
| Strontium  | 0.001 – 0.1 |
| Phosphorus | 0.001 – 0.1 |
| Aluminum   | Balance     |

20

wherein the silicon-to-magnesium (Si/Mg) ratio is 10 – 25, and the copper-to-magnesium (Cu/Mg) ratio is 4 – 15.

25

2. A cast article as in claim 1, comprising an aluminum solid solution matrix containing a simultaneous dispersion of three types of Al<sub>3</sub>X compound particles (X= Ti, V, Zr) having a L1<sub>2</sub> crystal structure and lattice parameters which are coherent to the aluminum matrix lattice.

30

3. A cast article as in claim 2, wherein the aluminum solid solution matrix contains a simultaneous dispersion of three types of Al<sub>3</sub>X compound particles (X= Ti, V, Zr), whose average size is less than about 100 nm in diameter.

35

4. A cast article as in claim 2, wherein the aluminum solid solution matrix contains a simultaneous dispersion of two types of particles from θ' and S' phases, and wherein the average particle size of the θ' phase is less than 300 nm in diameter at room temperature.

5. A cast article as in claim 4, wherein the average size of the θ' particle phase is less than 250 nm after soaking at 600 °F for 100 hours.

6. A cast article as in claim 4, wherein the  $\theta'$  phase remains semi-coherent to the matrix after soaking between 600 °F and 700 °F for 100 hours.

5 7. A process for making a cast article from an aluminum alloy, which article has improved mechanical properties at elevated temperatures, the process comprising:

10 a. Casting an article from an aluminum alloy having the following composition in weight percent:

|    |            |             |
|----|------------|-------------|
|    | Silicon    | 6.0 – 25.0  |
|    | Copper     | 5.0 – 8.0   |
| 15 | Iron       | 0.05 – 1.2  |
|    | Magnesium  | 0.5 – 1.5   |
|    | Nickel     | 0.05 – 0.9  |
|    | Manganese  | 0.05 – 1.2  |
|    | Titanium   | 0.05 – 1.2  |
| 20 | Zirconium  | 0.05 – 1.2  |
|    | Vanadium   | 0.05 – 1.2  |
|    | Zinc       | 0.05 – 0.9  |
|    | Strontium  | 0.001 – 0.1 |
|    | Phosphorus | 0.001 – 0.1 |
| 25 | Aluminum   | Balance;    |

Wherein the silicon-to-magnesium (Si/Mg) ratio is 10 – 25, and the copper-to-magnesium (Cu/Mg) ratio is 4 – 15;

30 b. Exposing the cast article to a solutionizing step by exposing the cast article to a temperature within the range of 900 °F to 1000 °F, for a time period of fifteen minutes to four hours; followed by

35 c. Aging the cast article at a temperature within the range of 400 °F to 500 °F for a time period within the range of four to 16 hours.

8. The process of Claim 7, wherein the cast article is aged at a temperature within the range of 425 °F to 485 °F for 6 to 12 hours.
- 5 9. The process of Claim 7, wherein the solutionizing step is followed by quenching in a medium at a temperature within the range of 120 °F to 300 °F.
10. The process of Claim 9, wherein the quenching medium temperature is within the range of 170 °F to 250 °F.
- 10 11. A metal matrix composite comprising an aluminum alloy having the following composition in weight percent:

|    |            |             |
|----|------------|-------------|
|    | Silicon    | 6.0 – 25.0  |
| 15 | Copper     | 5.0 – 8.0   |
|    | Iron       | 0.05 – 1.2  |
|    | Magnesium  | 0.5 – 1.5   |
|    | Nickel     | 0.05 – 0.9  |
|    | Manganese  | 0.05 – 1.2  |
| 20 | Titanium   | 0.05 – 1.2  |
|    | Zirconium  | 0.05 – 1.2  |
|    | Vanadium   | 0.05 – 1.2  |
|    | Zinc       | 0.05 – 0.9  |
|    | Strontium  | 0.001 – 0.1 |
| 25 | Phosphorus | 0.001 – 0.1 |
|    | Aluminum   | Balance;    |

Wherein the silicon-to-magnesium (Si/Mg) ratio is 10 – 25, and the copper-to-magnesium (Cu/Mg) ratio is 4 – 15; the aluminum alloy comprising  $Al_3X$  (X= Ti, V, Zr) compound particles with L1<sub>2</sub> crystal structure in an aluminum solid solution, and the aluminum alloy serving as a matrix containing up to about 60% by volume of a secondary filler material having a geometry selected from the group consisting of particles, whiskers, chopped fibers or continuous fibers.

30

12. The metal matrix composite of claim 11, wherein the secondary filler material is selected from the group consisting of Silicon Carbide (SiC), Aluminum Oxide ( $Al_2O_3$ ), Boron Carbide ( $B_4C$ ), Boron
- 35

17

Nitride (CN), Titanium Carbide (TiC), Yttrium Oxide (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Graphite, Diamond particles, and is present in a volume fraction between 5% and 35% by volume.

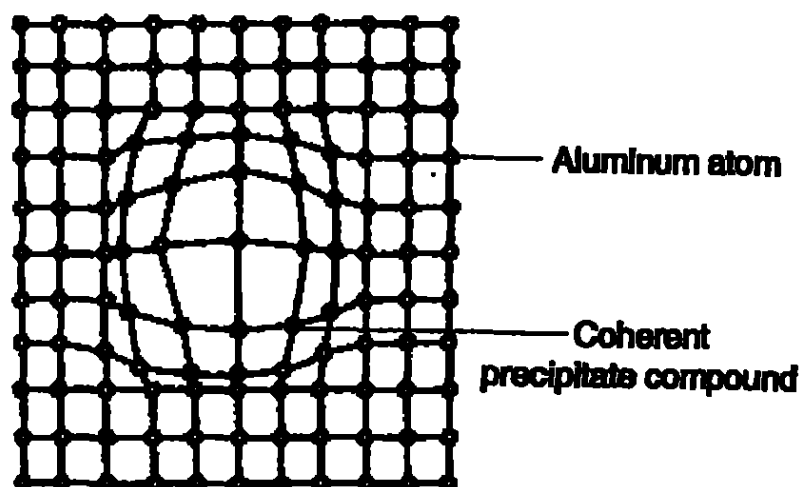
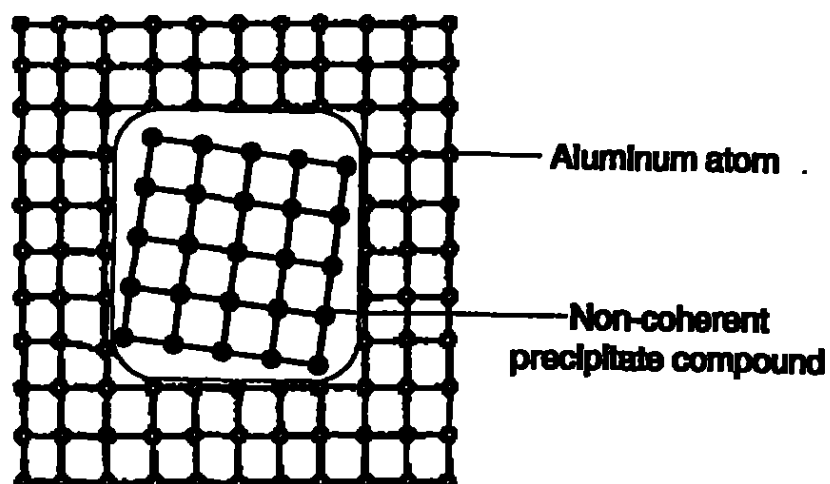
13. An aluminum alloy having the following composition in weight percent:

5

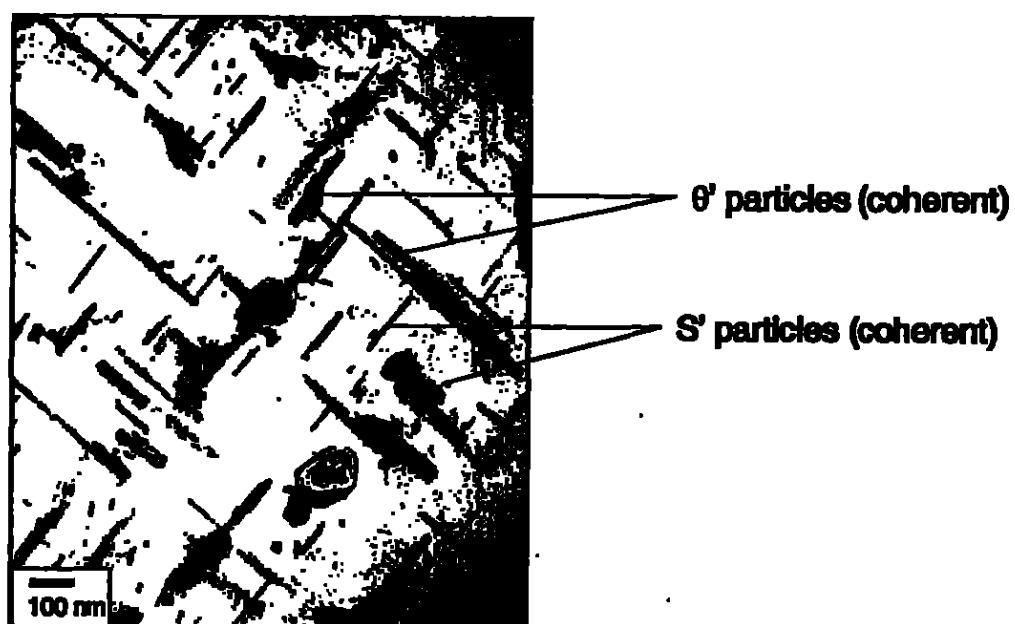
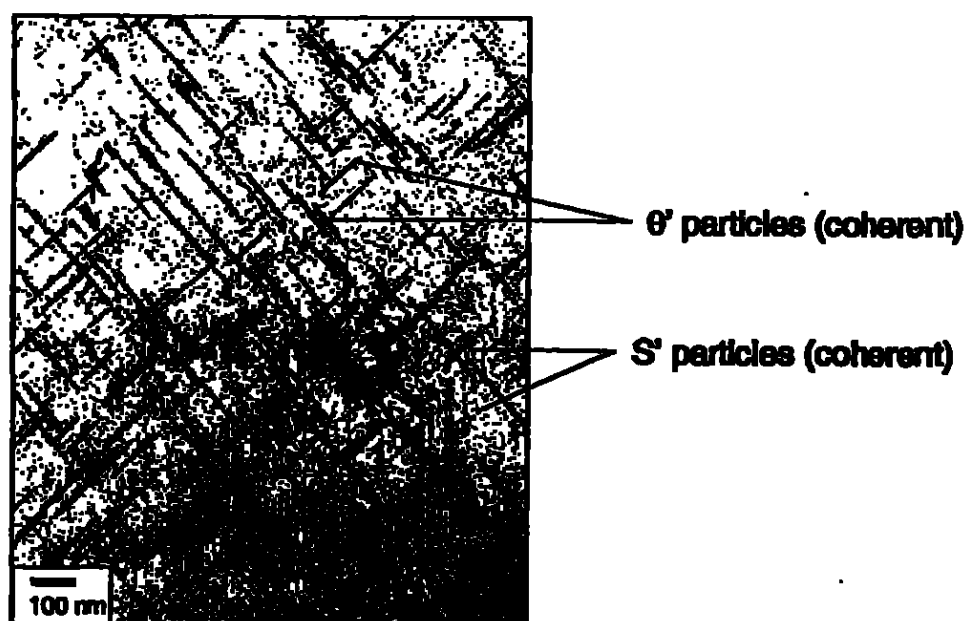
|    |            |             |
|----|------------|-------------|
|    | Silicon    | 6.0 – 25.0  |
|    | Copper     | 5.0 – 8.0   |
|    | Iron       | 0.05 – 1.2  |
|    | Magnesium  | 0.5 – 1.5   |
| 10 | Nickel     | 0.05 – 0.9  |
|    | Manganese  | 0.05 – 1.2  |
|    | Titanium   | 0.05 – 1.2  |
|    | Zirconium  | 0.05 – 1.2  |
|    | Vanadium   | 0.05 – 1.2  |
| 15 | Zinc       | 0.05 – 0.9  |
|    | Strontium  | 0.001 – 0.1 |
|    | Phosphorus | 0.001 – 0.1 |
|    | Aluminum   | Balance     |

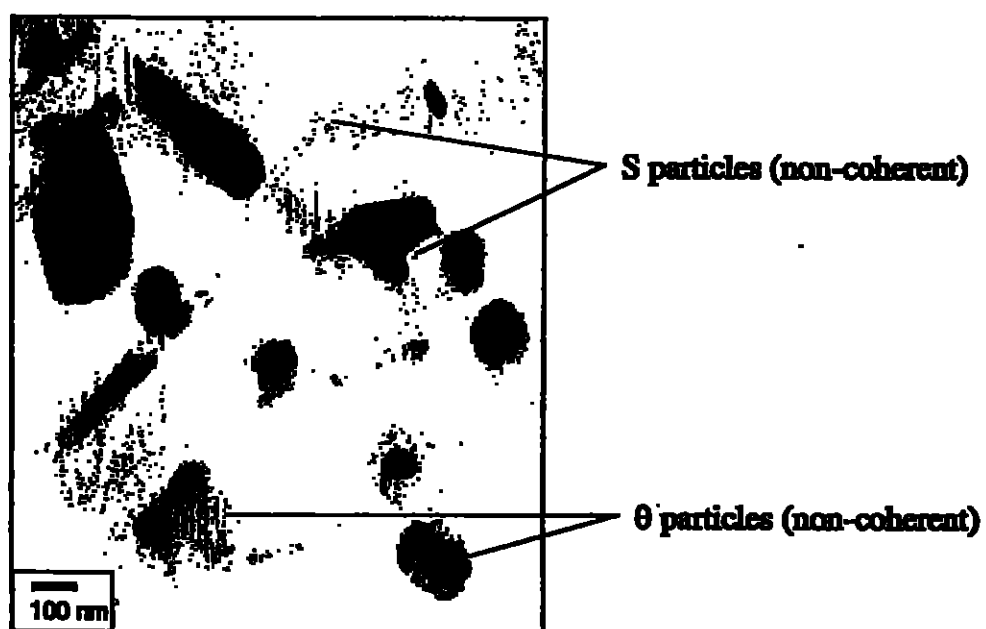
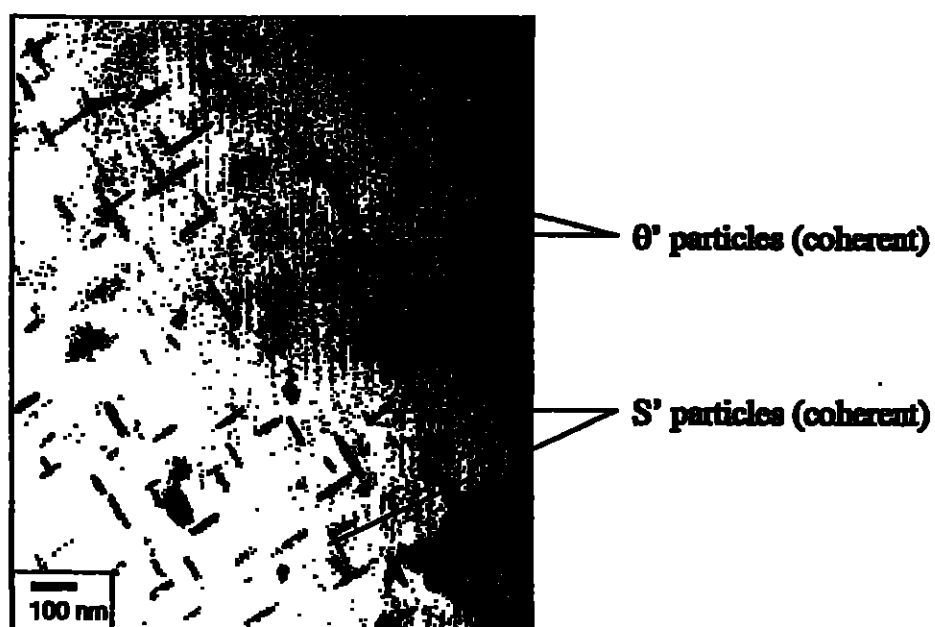
20 wherein the silicon-to-magnesium (Si/Mg) ratio is 10 – 25, and the copper-to-magnesium (Cu/Mg) ratio is 4 – 15.

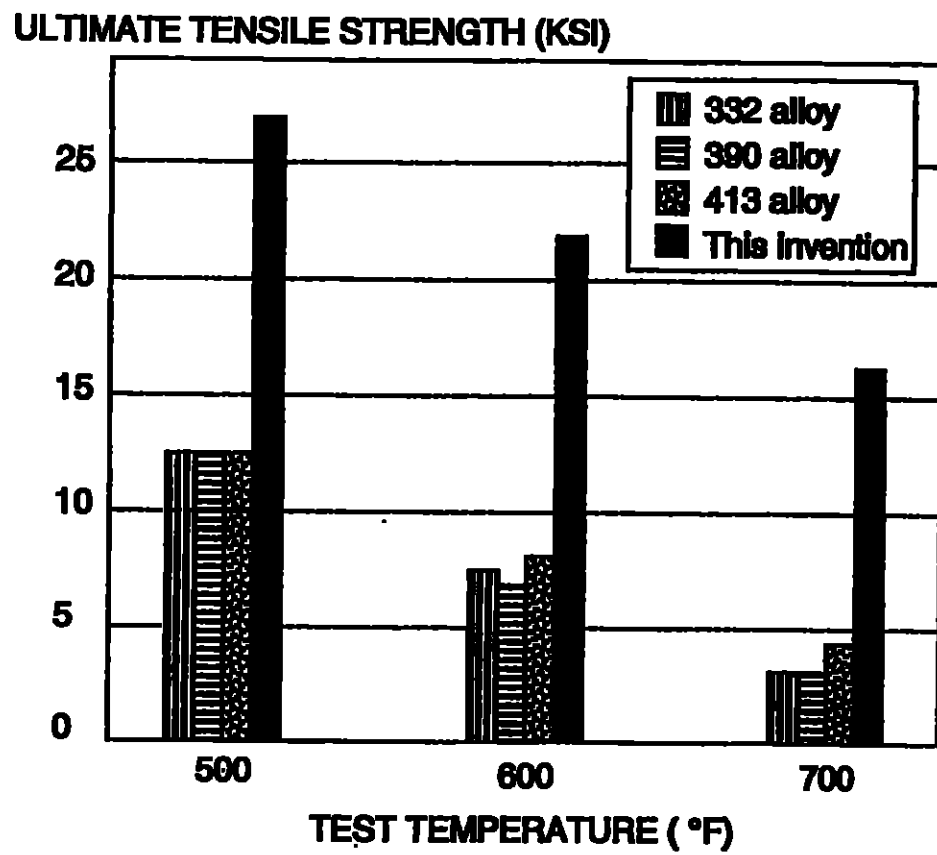
14. An aluminum alloy as in claim 13, comprising an aluminum solid solution matrix containing a simultaneous dispersion of three types of Al<sub>3</sub>X compound particles (X= Ti, V, Zr) having a L1<sub>2</sub>  
25 crystal structure and lattice parameters which are coherent to the aluminum matrix lattice.

*FIG. 1**FIG. 2*

19

**FIG. 3****FIG. 4**

**FIG. 5****FIG. 6**

**FIG. 7**

## **ALEACIÓN DE ALUMINIO DE RESISTENCIA ALTA PARA APLICACIONES DE TEMPERATURAS ALTAS**

### **LOS ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

#### **5    1. Campo de la Invención**

Esta invención relaciona generalmente a aleaciones de aluminio-silicio (Al-Si). Relaciona particularmente a una aleación de resistencia alta con base de Al-Si apropiada para aplicaciones de temperaturas altas para componentes vaciados como pistones, cabezas de cilindros, forros de cilindros, bielas, turbocompresores, impledores, accionares, calibradores de frenos, y rotores de frenos.

#### **2. Descripción de la Invención**

Las aleaciones de Al-Si son muy versátiles y componen 85% a 90% de todas las piezas vaciadas de aluminio para la industria automotriz. Dependiendo en la concentración de Si en por ciento de peso, las sistemas de aleaciones de Al-Si se pueden clasificar en tres categorías diferentes: hypoeutetico (<12% Si), eutetico (12-13% Si), y hypereutetico (14-25% Si). Sin embargo, la mayoría de las aleaciones previas no son apropiadas para aplicaciones de temperaturas altas porque sus propiedades mecánicas, como la resistencia a la tensión y la resistencia a la fatiga, no son bastante alta como deseado para temperaturas de 500 °F – 700 F°. Hasta el momento presente, muchas de las aleaciones vaciadas de Al-Si fueron para aplicaciones a temperaturas no más que 450 °F. Sobre esta temperatura, las mayores fases que reforzar las aleaciones, como la fase  $\theta'$  ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ) y la fase  $S'$  ( $\text{Al}_2\text{CuMg}$ ), se vuelvan inestables, se vuelvan de grano grueso rápidamente y se disuelven, resultando en una aleación con una microestructura que no es deseado para aplicaciones de temperaturas altas. Una aleación así no tiene una aplicación practica para las temperaturas altas porque, cuando las fases  $\theta'$  y  $S'$  se vuelvan inestables, la aleación falta la cohesión de retícula entre la retícula de solución de aluminio sólido y los parámetros de la retícula de partículas de reforzar. Un desequilibrio grande entre la

cohesión de redícula contribuye a una microestructura no deseada que no puede mantener propiedades mecánicas excelentes a las temperaturas altas.

- Un enfoque previo es usar refuerzos de fibra o refuerzos de partículas para aumentar la resistencia de las aleaciones de Al-Si. Este enfoque se llama la tecnología de
- 5 Combinaciones de Matriz Metálica (CMM) de aluminio. Por ejemplo, U.S. Pat. No. 5,620,791 relaciona a una CMM que compone una aleación de Al-Si que incluye una material cerámica para formar una rotor de freno para aplicaciones de temperaturas altas. R. Bowles, en su obra "Metal Matrix Composites Aid Piston Manufacture," Manufacturing Engineering, May 1987, también intentó mejorar la resistencia de
- 10 aleaciones de Al-Si a las temperaturas altas por usar fibras cerámicas para aumentar la resistencia a la tensión de una aleación de Al-Si 332.0. Otro intento, sugerido por A. Shakesheff en "Elevated Temperature Performance of Particulate Reinforced Aluminum Alloys," Materials Science Forum, Vol. 217-222, pp. 1133-1138 (1996), fue usar partículas cerámicas para reforzar una aleación de Al-Si. CMM vaciadas de aluminio
- 15 fueron descrito por P. Rohatgi en su obra "Cast Aluminum Matrix Composites for Automotive Aplicaciones," Journal of Metals, April 1991. Sin embargo, la resistencia de materiales de CMM reforzadas con partículas todavía son inferior para aplicaciones de temperaturas altas porque las mayores fases de  $\theta'$  y  $S'$  que refuerzan las aleaciones son inestables, se vuelvan de grano grueso rápidamente, y disuelven a las temperaturas altas.
- 20 Otro enfoque previo es el uso de tecnología de Combinaciones de Matriz Cerámica (CMC). Por ejemplo, W. Kowbel ha descrito el uso de material de carbón-carbón sin metal para hacer pistones para funcionar a las temperaturas altas en su obra, "Application of Net-Shape Molded Carbon-Carbon Composites in IC Engines," Journal of Advanced Materials, July 1996. Desafortunadamente, los cuestos de fabricar de estas tecnologías de
- 25 CMM y CMC son mucho más altos que esos de vaciar de Al-Si convencional, cual ha impedido su capacidad ser vendidos a precios competitivos con aleaciones de Al-Si en fabricación grande de componentes de motores de combustión interna y aplicaciones de frenos para temperaturas altas.

Por eso, es un objeto principal de la invención actual vencer las desventajas de las tecnologías previas.

### RESUMEN DE LA INVENCION

- 5 De acuerdo con la invención actual, una aleación de Al-Si que incluye una dispersión de partículas que tiene una estructura cristal de  $L1_2$  en la matriz de aluminio es presentado. La aleación es fabricada usando técnicas de vaciar baratas, como molde permanente, vaciar de arena, o vaciar de bloque.

- La aleación de la invención actual mantiene una resistencia mucha más alta que las aleaciones previas a las temperaturas altas (500 °F y más), porque de las propiedades y formulación de la microestructura únicas. Los métodos para reforzar la aleación en la invención actual incluyen: 1) maximizar la formación de las mayores fases de  $\theta'$  y  $S'$  de reforzar en la aleación, con composiciones químicas de  $Al_2Cu$  y  $Al_2CuMg$ , respectivamente; 2) estabilizar las fases de reforzar a las temperaturas altas por controlar el ratio de Cu/Mg y, al mismo tiempo, por añadir elementos de titanio (Ti), vanadio (V), y zirconio (Zr); 3) formar compuestos de  $Al_3X$  ( $X=Ti, V, Zr$ ) con estructuras cristales de  $L1_2$  para más mecanismos de reforzar a las temperaturas altas.
- 10
- 15

- En la invención actual, los elementos importantes de la aleación Ti, V, y Zr son añadidos a la aleación de Al-Si para modificar los parámetros de la red de la matriz de aluminio por formar compuestos del tipo  $Al_3X$  que tienen estructuras cristales de  $L1_2$  ( $X=Ti, V, y Zr$ ). Para mantener la resistencia alta a las temperaturas altas, la matriz de solución de aluminio sólido y las partículas de compuestos de  $Al_3X$  deben tener estructuras cúbico-centrado-cara (CCF) de cristales que son similares, y serán congruentes porque sus parámetros de red y dimensiones son casi iguales. Cuando se consigue una condición de congruencia alta, estas partículas dispersadas son muy estables, y por eso la aleación tiene propiedades mecánicas altas durante exposiciones largas a las temperaturas altas.
- 20
- 25

Además de la composición y la microestructura de la aleación, un programa único de tratamiento de calor es proveído para optimizar el rendimiento de los mecanismos que refuerzan la aleación y formación de las fases en la aleación. Las ventajas de la invención actual se harán patente en el descrito que sigue.

5

### DESCRIPCIÓN BREVE DE LOS DIBUJOS

FIG. 1 es un diagrama que muestra una partícula congruente que tiene parámetros de retícula y una relación de estructura cristal que son parecidos a los átomos de la matriz de aluminio que esta alrededor de la partícula.

- 10 FIG. 2 es un diagrama que muestra una partícula sin congruencia que no tiene una relaciona de estructura cristal con los átomos de la matriz de aluminio que esta alrededor de la partícula.

- 15 FIG. 3 es un micrográfico electrón que muestra el tamaño y la forma de las fases congruentes  $\theta'$  y  $S'$  para las aleaciones previas, como existen a una temperatura templada.

FIG. 4 es un micrográfico electrón que muestra el tamaño, la forma, y la cantidad de las fases congruentes  $\theta'$  y  $S'$  de reforzar para la aleación de esta invención, como existen a una temperatura templada.

- 20 FIG. 5 es un micrográfico electrón que muestra la transformación de las fases congruentes  $\theta'$  y  $S'$ , como visto en FIG. 3, a las fases no congruentes  $\theta'$  y  $S'$  no deseadas para las aleaciones previas después de han sido expuestas a 600 °F durante 100 horas. Las fases  $\theta'$  y  $S'$  no son congruentes porque se vuelvan inestables, se vuelvan de grano grueso rápidamente y disuelven, resultando en una aleación con una microestructura que no es deseada para aplicaciones de temperaturas altas.

- 25 FIG. 6 es un micrográfico electrón que muestra las fases congruentes  $\theta'$  y  $S'$  muy estables para la aleación de esta invención después de han sido expuestas a 600 °F

durante 100 horas. La invención de esta invención todavía mantiene las fases  $\theta'$  y  $S'$  congruentes, cual es una microestructura deseada para aplicaciones de temperaturas altas.

FIG. 7 es un gráfico que muestra una comparación de la aleación de acuerdo con la invención actual con tres aleaciones previas comunes (332, 390, 413). El gráfico compara la resistencia máxima a la tensión (a 500 °F, 600 °F, y 700 °F), después todas las aleaciones fueron expuestas a temperaturas de 500 °F, 600 °F, y 700 °F durante 100 horas, respectivamente.

DESCRIPCIÓN DETALLADO DE LA INVENCION

La invención actual incluye aspectos detallados de composición, microestructura, y procesar por un proceso convencional de vaciar. La aleación de Al-Si de la invención actual puede rendir en una forma vaciada, cual es apropiada para aplicaciones de temperaturas altas. Es compuesta de los elementos siguientes, en por ciento de peso:

|    |           |           |
|----|-----------|-----------|
|    | Silicio   | 6.0-2.5   |
| 15 | Cobre     | 5.0-8.0   |
|    | Fierro    | 0.05-1.2  |
|    | Magnesio  | 0.5-1.5   |
|    | Níquel    | 0.05-0.9  |
|    | Manganeso | 0.05-1.2  |
| 20 | Titanio   | 0.05-1.2  |
|    | Zirconio  | 0.05-1.2  |
|    | Vanadio   | 0.05-1.2  |
|    | Zinc      | 0.05-0.9  |
|    | Estroncio | 0.001-0.1 |

Fósforo 0.001-0.1

Aluminio El Resto

Silicio da a aleación un modulo alto de elasticidad y un coeficiente baja de expansión térmico. La adición de silicio es necesaria para mejorar la fluidez del aluminio fundido para que la aleación de la invención actual pueda ser vaciado más fácil. A las niveles altas de silicio, la superficie de la aleación es muy dura y tiene una resistencia excelente a la desgaste.

El cobre existe con el magnesio y forman una solución sólida en la matriz de aluminio para dar la aleación la propiedad de ponerse más duro con edad, cual mejora la resistencia as temperaturas altas. El cobre también forma el compuesto de la fase  $\theta'$  ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ), y es el elemento que da el más resistencia a la aleación nueva. Esta resistencia mejorada a las temperaturas altas es afectada si el por ciento de peso de cobre no es seguido. La resistencia de la aleación también solamente puede ser maximizada con eficacia por la formación simultanea de los compuestos metálicos de las fases  $\theta'$  ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ) y  $S'$  ( $\text{Al}_2\text{CuMg}$ ), usando la adición apropiada del magnesio a la aleación relativo a los elementos de cobre y silicio. Por experimentar, se observa que una aleación con un nivel de magnesio considerablemente más alta formará con una mayoría de la fase  $S'$  y una insuficiencia de la fase  $\theta'$ . Sin embargo, una aleación con un nivel de magnesio menos alta tiene una mayoría de la fase  $\theta'$  y una insuficiencia de la fase  $S'$ .

Para maximizar la formación de la fase  $\theta'$  y la fase  $S'$ , la composición de la aleación fue formulada específicamente con ratios de cobre-a-magnesio ( $\text{Cu/Mg}$ ) de 4 a 15, con un por ciento de peso mínimo de 0.5. En adición al ratio de  $\text{Cu/Mg}$ , el ratio de silicio-a-magnesio ( $\text{Cu/Mg}$ ) es mantenido entre 10 a 25, preferentemente entre 14 a 25, para formar apropiadamente el compuesto metálico de  $\text{Mg}_2\text{Si}$  como la fase menor que aumenta la resistencia, en adición a las fases principales de  $\theta'$  y  $S'$ . El ratio único de  $\text{Cu/Mg}$  también mejora mucho las reacciones químicas entre los átomos de aluminio (Al), cobre (Cu), y magnesio (Mg). Estas reacciones químicas permiten precipitación de una fracción de volumen más grande de las fases de resistencia de  $\theta'$  y  $S'$  en la aleación. Figura 4 es un micrográfico electrón que muestra el tamaño, forma, y cantidad de las

fases congruentes  $\theta'$  y  $S'$  de reforzar para la aleación de esta invención como existe a una temperatura templada. Esta combinación de una fracción de volumen grande y un  $\theta'$  congruente de la invención actual, como mostrado en Figura 4, da la aleación una resistencia excepcional a la tensión y una microestructura estable a las temperaturas altas.

- 5 Titanio, Vanadio, y Zirconio son añadidos a la aleación de Al-Si para modificar el parámetro de red de la matriz de aluminio por formar compuestos del tipo  $Al_3X$  que tienen estructuras cristalinas de  $L1_2$  ( $X=Ti, V, Zr$ ). Para mantener resistencia alta a las temperaturas que se acercan al punto de fundir de la aleación, la matriz de solución de aluminio sólido y las partículas de los compuestos de  $Al_3X$  tienen estructuras cristalinas de
- 10 cúbico-centrado-cara CCC y son congruentes porque sus parámetros de red y dimensiones respectivos son muy ajustados. Por ejemplo, Figura 1 es un diagrama que muestra una partícula congruente que tiene parámetros de red y una relación de estructura de cristal que son parecidos a los átomos de la matriz de aluminio que está alrededor de la partícula. Los compuestos de las partículas del tipo  $Al_3X$  ( $X=Ti, V, Zr$ )
- 15 también sirven de núcleos para el refinado del tamaño de los granos cuando el aluminio fundido empieza solidificarse durante el vaciar. Titanio y vanadio también mejoran la dispersión, porque tienen la estructura de red de  $L1_2$  que es parecida a la solución sólida de aluminio, para mejorar las propiedades mecánicas a las temperaturas altas. Zirconio también forma una solución sólida en la matriz en una cantidad pequeña, que
- 20 mejora la formación de zonas de GP (Guiner-Preston), cuales son las regiones con mucha Cu-Mg, y la fase  $\theta'$  en el sistema de Al-Cu-Mg para mejorar las propiedades de ponerse más duro con edad. Aunque la fase  $\theta'$  ( $Al_2Cu$ ) estable es la fase principal de resistencia a las temperaturas altas, es importante de tener elementos de Ti, V, y Zr en la aleación. Al solidificarse de la aleación fundida en el vaciar, estos elementos reaccionan con el
- 25 aluminio para formar compuestos de  $Al_3X$  ( $X=Ti, V, Zr$ ) que precipitan como lugares de núcleo para el refinado efectivo del tamaño de granos. Las precipitas de  $Al_3X$  ( $X=Ti, V, Zr$ ) también mejoran la dispersión, y impiden efectivamente el movimiento de los desplazamientos y mejoran las propiedades mecánicas a las temperaturas altas. Las características de resistencia a las temperaturas altas de esta invención son disminuidas si el

Ti, el V, y el Zr no son usados simultáneamente en la cantidad apropiada para formar las precipitas de  $Al_3$  (Ti, V, Zr).

FIG. 6 es un micrográfico electrón que muestra las fases congruentes  $\theta'$  y  $S'$  muy estables para la aleación de esta invención después de han sido expuestas a 600 °F durante 100 horas. Distinto de las aleaciones previas, la aleación de esta invención todavía mantiene las fases congruentes de  $\theta'$  y  $S'$ , cuales son las microestructuras para las aplicaciones de temperaturas altas. Porque del ratio único de Cu/Mg para la aleación de esta invención,  $\theta'$  todavía mantiene su congruencia a pesar de que lo ha sido expuesto a 600 °F durante 100 horas. Durante la exposición a 600 °F,  $\theta'$  se volvió un poco más grueso pero no se volvió más de grano grueso, y todavía mantenía una diámetro pequeño y su congruencia, cual es necesario para obtener una resistencia alta a las temperaturas altas. La congruencia entre la matriz de aluminio y la fase  $\theta'$  crea una relación fija entre las estructuras cristales de la precipita  $\theta'$  y de la matriz. Por eso, el movimiento del desplazamiento es impedido en el punto de contacto de la fase  $\theta'$  y la matriz, y la resistencia mejora. FIG. 5 es un micrográfico electrón que muestra la transformación de las fases congruentes  $\theta'$  y  $S'$ , como visto en FIG. 3, a las fases no congruentes  $\theta'$  y  $S'$  no deseados para las aleaciones previas después de han sido expuestas a 600 °F durante 100 horas. En Figura 5, la fase  $\theta'$  de las aleaciones previas se vuelve de grano grueso y pierde su congruencia a las temperaturas altas, resultando en una perdida grande de resistencia para aplicaciones de temperaturas altas. FIG. 2 es un diagrama que muestra una partícula sin congruencia que no tiene una relación estructura cristal con los átomos de la matriz de aluminio que está alrededor de la partícula. Una aleación así no tiene una aplicación verdad a las temperaturas altas.

Níquel mejora la resistencia a la tensión de la aleación a las temperaturas altas por reaccionar con el aluminio para formar los compuestos de  $Al_3Ni_2$  y  $Al_3Ni$ , cuales son fases metálicas estables que pueden resistir la degradación que resulta de la exposición larga a ambientes de temperaturas altas.

Estroncio es usado para modificar la fase eutetico de Al-Si. La resistencia y la ductilidad de las aleaciones de Al-Si que tienen 12 por ciento de peso o menos de silicio son

mejoradas bastante con granos más refinados por usar estroncio para modificar el Al-Si. Fósforo es usado para modificar el tamaño de las partículas principales de silicio cuando la concentración de silicio es más que 12 % de peso, preferentemente 14 a 20. La modificación efectiva es conseguida a una nivel de adición baja, pero la cantidad de estroncio recuperado y fósforo que es usado es normalmente entre 0.0001 hasta 0.1 % por peso.

Para que estés mecanismos de resistencia funcionan apropiadamente dentro de la aleación, el vaciado tenga que tener una combinación única de composición química y una historia de tratamiento de calor. El tratamiento de calor es diseñado específicamente para maximizar el rendimiento de la composición química única. Como explicado antes, el rendimiento excepcional de la aleación de la invención actual es conseguido por la combinación de los mecanismos de resistencia siguientes por un programa única de tratamiento de calor. El tratamiento de calor para la aleación de esta invención fue diseñado para maximizar la formación de las fases  $\theta'$  y  $S'$  en la aleación (fracción de volumen alta), para estabilizar la fase  $\theta'$  a las temperaturas altas por controlar el ratio de Cu/Mg, y para maximizar la formación de los compuestos de  $Al_3$  (Ti, V, Zr) para más resistencia con la adición simultanea de Ti, V, y Zr.

La resistencia óptima a las temperaturas altas ha sido conseguida por la invención actual por usar el tratamiento de calor T5, cual es un tratamiento de 4 a 12 horas a una temperatura entre 400 y 500 °F. El programa del tratamiento de calor ayuda la composición única de la aleación para formar una cantidad máxima de las precipitas con una distribución uniforme y un tamaño óptimo de partículas. Por eso, la aleación actual tiene propiedades que son superiores a las aleaciones previas, porque de la combinación única de composición química y tratamiento de calor.

La aleación de la invención actual es fabricada por el vaciar de la gravedad convencional a una temperatura entre aproximadamente 1325 °F y 1450 °F, sin la ayuda de presión externa, para mejorar considerablemente la resistencia a la tensión a las temperaturas entre 500 °F y 700 °F. Sin embargo, es esperado que la resistencia a la tensión pueda ser

mejorada más cuando la aleación de la invención actual sea vaciada usando el vaciar de presión, como el vaciar de apretar.

Una pieza, como una cabeza de cilindro, un bloque de motor o pistón, es vaciado de la aleación, y después la pieza vaciada es solucionizada a una temperatura entre 900°F y 1000 °F para entre 15 minutos y 4 horas. La meta del solucionizar es disolver las precipitas no deseadas y reducir la separación de elementos que puede existir en la aleación. Para aplicaciones a las temperaturas entre 500 °F y 700 °F el tratamiento de solucionizar no es siempre necesario.

Después de solucionizar, la pieza vaciada es enfriada en un medio de enfriar a una temperatura entre 120 °F y 300 °F, preferentemente entre 170 °F y 250 °F, para que la pieza salga beneficiada. El medio preferido para enfriar es agua. Después de enfriar, la pieza vaciada es expuesta a una temperatura entre 425 °F y 485 °F durante 6 a 12 horas.

Figura 7 es un gráfico que muestra el aumento grande en la resistencia máxima a la tensión a las temperaturas altas para una pieza vaciada fabricada de acuerdo con la invención actual. Es un gráfico que muestra una comparación de la aleación de acuerdo con la invención actual con tres aleaciones previas comunes (332, 390, 413). El gráfico compara la resistencia máxima a la tensión (probado a 500 °F, 600 °F, y 700 °F), después de exposición de todos los especimen a una temperatura de 500 ° F, 600 ° F, y 700 ° F, respectivamente. Fue observado que la resistencia a la tensión de la piezas vaciadas de la invención actual son más que tres veces que la resistencia de las piezas fabricadas de la aleación eutética 413.0 convencional, y más que cuatro veces más que la resistencia de las piezas fabricadas de la aleación hypo-eutética 332.0 y la aleación de hyper-eutética 390.0, cuando son probado a 700 °F.

La aleación de la invención actual puede ser usada en cantidades grandes de la aleación. También puede ser usado como una matriz de aleación para fabricar combinaciones de matriz metálica (CMM) de aluminio. Combinaciones así componen la aleación de aluminio de la invención actual como una matriz que tiene una material rellena, cual es en la forma de partículas, hilos, fibras cortadas, y fibras continuas. Una manera muy

popular para fabricar una CMM es mezclar y revolver mecánicamente las materiales cerámicas variadas en la forma de partículas o hilos con la aleación de aluminio fundida. Este proceso se llama vaciar-de-combo o vaciar-de-revolver de la combinación metal. El equipo normalmente incluye un crisol calentado que contiene la aleación de aluminio fundida, con un motor eléctrico que mueve un impeledor con palas, que es sumergido en el metal fundido. La material rellena es vertida lentamente en al crisol sobre las superficies de fundir y a un ritmo controlado, para asegurar una introducción suave y continua. La temperatura es normalmente mantenida de bajo de la temperatura de líquido para mantener la aleación de aluminio en un estado entre sólido y líquido para mejorar la uniformidad de mezclar de la material rellena.

Como el impeledor de mezclar rota a una velocidad media, genera un vértice que tira las partículas de reforzar en a la material fundida desde la superficie. El impeledor es diseñado para generar una fuerza de cortar grande que ayuda quitar los gases disueltos de la superficie de las partículas. La fuerza de cortar grande también envuelve las partículas en la aleación de aluminio fundida, cual mejora las condiciones de las superficies de las partículas para mejorar la distribución homogénea de la material rellena dentro de la MMC.

Las materiales rellenas en la combinación metálica no deben ser confundidas con las partículas de  $\theta'$  y  $S'$  o las partículas de  $Al_3X$  ( $X=Ti, V, Zr$ ) con un diámetro que es normalmente menos que 100 nanómetros (nm). Las materiales rellenas o las materiales de reforzar que son añadidas a la MMC de aluminio normalmente tienen dimensiones mínimas cuales son mucho más grandes que 500 nm, típicamente 1 a 20 micrones.

Materiales de reforzar apropiadas para hacer MMC de aluminio incluyen materiales comunes como  $SiC$ ,  $Al_2O_3$ ,  $B_4C$ ,  $CN$ ,  $TiC$ ,  $Y_2O_3$ , grafito, partículas de diamante, y mezclas variadas de estas materiales. Estas materiales de reforzar son presentes en fracciones de volumen hasta 60% de volumen, y preferentemente 5-35% de volumen.

La invención actual ha sido detallada para algunas formas preferidas. Es entendido que variaciones y modificaciones en estés detalles pueden ser cambiadas sin dejar el alcance de la invención actual, como definido en las demandas que siguen.

# **DEMANDAMOS:**

1. Una pieza vaciada de una aleación de aluminio, cual tiene propiedades mecánicas mejoradas a las temperaturas altas, la pieza vaciada tiene la composición siguiente en por ciento de peso:

|    |           |           |
|----|-----------|-----------|
| 5  | Silicio   | 6.0-2.5   |
|    | Cobre     | 5.0-8.0   |
|    | Fierro    | 0.05-1.2  |
|    | Magnesio  | 0.5-1.5   |
|    | Níquel    | 0.05-0.9  |
| 10 | Manganeso | 0.05-1.2  |
|    | Titanio   | 0.05-1.2  |
|    | Zirconio  | 0.05-1.2  |
|    | Vanadio   | 0.05-1.2  |
|    | Zinc      | 0.05-0.9  |
| 15 | Estroncio | 0.001-0.1 |
|    | Fósforo   | 0.001-0.1 |
|    | Aluminio  | El Resto  |

en el que el ratio de silicio-a-magnesio (Si/Mg) es 10-25, y el ratio de cobre-a-magnesio (Cu/Mg) es 4-15.

- 20 2. Una pieza vaciada como en demanda 1, que compone una matriz de solución de aluminio sólido que tiene una dispersión simultanea de tres tipos de partículas de compuesto  $Al_3X$  ( $X=Ti, V, Zr$ ) que tienen una estructura cristal de  $L1_2$  y parámetros de redicula cuales son congruentes a la matriz de redicula de aluminio.

3. Una pieza vaciada como en demanda 2, en el que la matriz de solución de aluminio sólido tiene una dispersión simultanea de tres tipos de partículas de compuesto  $Al_3X$  ( $X=Ti, V, Zr$ ), en el que el diámetro medio de las partículas es menos que 100 nm.
- 5 4. Una pieza vaciada como en demanda 2, en el que la matriz de solución de aluminio sólido tiene una dispersión simultanea de dos tipos de partículas de las fases  $\theta'$  y  $S'$ , y en el que el diámetro medio de las partículas de la fase  $\theta'$  es menos que 300 nm a una temperatura templada.
5. Una pieza vaciada como en demanda 4, en el que el tamaño medio de la partícula de la fase  $\theta'$  es menos que 250 nm después de ser expuesta a 600 °F durante 100 horas.
- 10 6. Una pieza vaciada como en demanda 4, en el que la fase  $\theta'$  sigue casi congruente a la matriz después de ser expuesta a 600 °F durante 100 horas.
7. Un proceso para hacer una pieza vaciada de una aleación de aluminio, en el que la pieza tiene propiedades mecánicas mejoradas a las temperaturas atlas, el proceso compone:
- 15 a. Vaciar una pieza de una aleación de aluminio que tiene la composición siguiente en por ciento de peso:

|    |           |          |
|----|-----------|----------|
|    | Silicio   | 6.0-2.5  |
|    | Cobre     | 5.0-8.0  |
|    | Fierro    | 0.05-1.2 |
| 20 | Magnesio  | 0.5-1.5  |
|    | Níquel    | 0.05-0.9 |
|    | Manganeso | 0.05-1.2 |
|    | Titanio   | 0.05-1.2 |
|    | Zirconio  | 0.05-1.2 |

|          |                  |                  |
|----------|------------------|------------------|
|          | <b>Vanadio</b>   | <b>0.05-1.2</b>  |
|          | <b>Zinc</b>      | <b>0.05-0.9</b>  |
|          | <b>Estroncio</b> | <b>0.001-0.1</b> |
|          | <b>Fósforo</b>   | <b>0.001-0.1</b> |
| <b>5</b> | <b>Aluminio</b>  | <b>El Resto;</b> |

en el que el ratio de silicio-a-magnesio (Si/Mg) es 10-25, y el ratio de cobre-a-magnesio (Cu/Mg) es 4 – 15;

b. Exponer la pieza vaciada a una etapa de solucionizar por exponer la pieza vaciada a temperaturas entre 900 °F y 1000 °F, durante un periodo entre 15 minutos y 4 horas; seguido por

c. Exponer la pieza vaciada a una temperatura entre 400 °F y 500 °F, durante un periodo entre 4 y 16 horas.

8. El proceso de demanda 7, en el que la pieza vaciada es expuesta a una temperatura entre 425 °F y 485 °F durante 6 a 12 horas.

9. El proceso de demanda 7, en el que la etapa de solucionizar es seguida por enfriar en un medio a una temperatura entre 120 °F y 300 °F.

10. El proceso de demanda 9, en el que la temperatura del medio de enfriar está entre 170 °F y 250 °F.

11. Una combinación de matriz metálica que compone una aleación de aluminio que tiene la composición siguiente en por ciento de peso:

|                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| <b>Silicio</b>  | <b>6.0-2.5</b>  |
| <b>Cobre</b>    | <b>5.0-8.0</b>  |
| <b>Fierro</b>   | <b>0.05-1.2</b> |
| <b>Magnesio</b> | <b>0.5-1.5</b>  |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |           |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|    | Níquel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0.05-0.9  |
|    | Manganeso                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.05-1.2  |
|    | Titanio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0.05-1.2  |
|    | Zirconio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0.05-1.2  |
| 5  | Vanadio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0.05-1.2  |
|    | Zinc                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 0.05-0.9  |
|    | Estroncio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0.001-0.1 |
|    | Fósforo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0.001-0.1 |
|    | Aluminio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | El Resto; |
| 10 | en el que el ratio de silicio-a-magnesio (Si/Mg) es 10-25 y el ratio de cobre-a-magnesio (Cu/Mg) es 4-15; la aleación de aluminio compone partículas del compuesto $Al_3X$ ( $X=Ti, V, Zr$ ) con una estructura cristal de $L1_2$ en una solución sólida de aluminio, y la aleación de aluminio sirve de una matriz que tiene hasta 60% por volumen de una material rellena |           |
| 15 | secundaria que tiene una geometría seleccionada del grupo que incluye partículas, hilos, fibras cortadas, fibras continuas.                                                                                                                                                                                                                                                 |           |
|    | 12. La combinación de matriz metálica de demanda 11, en el que la material rellena secundaria es seleccionada del un grupo que incluye SiC, $Al_2O_3$ , $B_4C$ , CN, TiC, $Y_2O_3$ , grafito, partículas de diamante, y es presente en una fracción de volumen entre 5% y 35% por volumen.                                                                                  |           |
| 20 | 13. Una aleación de aluminio que tiene la composición siguiente en por ciento de peso:                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |
|    | Silicio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 6.0-2.5   |
|    | Cobre                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 5.0-8.0   |
|    | Fierro                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0.05-1.2  |
|    | Magnesio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0.5-1.5   |
| 25 | Níquel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0.05-0.9  |



|          |                  |                  |
|----------|------------------|------------------|
|          | <b>Manganeso</b> | <b>0.05-1.2</b>  |
|          | <b>Titanio</b>   | <b>0.05-1.2</b>  |
|          | <b>Zirconio</b>  | <b>0.05-1.2</b>  |
|          | <b>Vanadio</b>   | <b>0.05-1.2</b>  |
| <b>5</b> | <b>Zinc</b>      | <b>0.05-0.9</b>  |
|          | <b>Estroncio</b> | <b>0.001-0.1</b> |
|          | <b>Fósforo</b>   | <b>0.001-0.1</b> |
|          | <b>Aluminio</b>  | <b>El Resto;</b> |

10 en el que el ratio de silicio-a-magnesio (Si/Mg) es 10-25, y el ratio de cobre-a-magnesio (Cu/Mg) es 4-15.

14. Una aleación de aluminio como en demanda 13, que compone una matriz de solución de aluminio sólido que tiene una dispersión simultanea de tres tipos de partículas del compuesto  $Al_3X$  ( $X=Ti, V, Zr$ ) con una estructura cristal de  $L1_2$  y parámetros de retícula cuales son congruentes a la retícula de la matriz de aluminio.

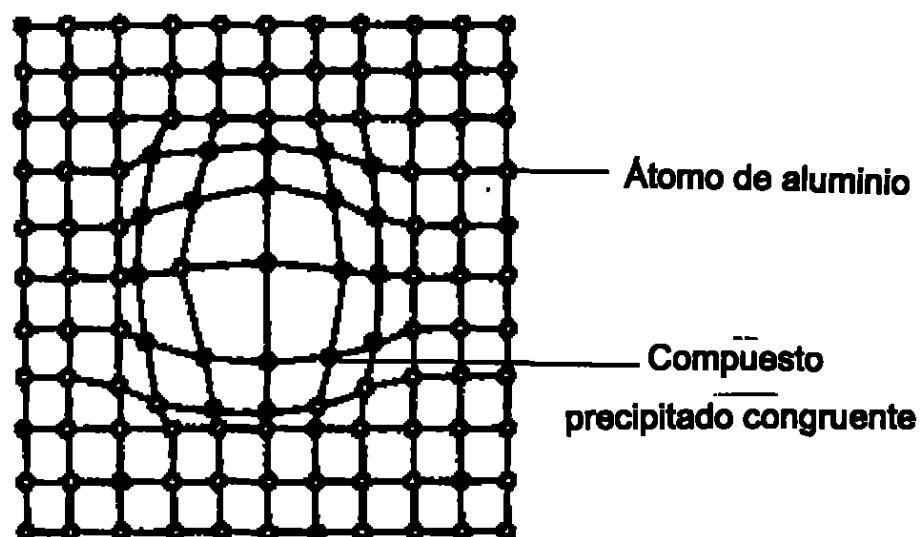
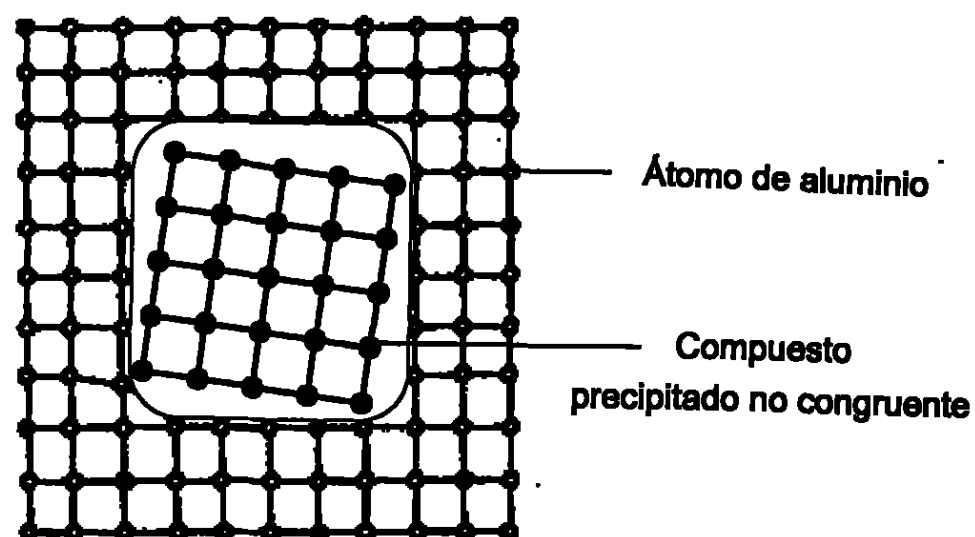
15

## RESUMEN

Una pieza vaciada de una aleación de aluminio tiene propiedades mecánicas mejoradas a las temperaturas altas. La pieza vaciada tiene la composición siguiente en por ciento de peso: Silicio 6.0-2.5, Cobre 5.0-8.0, Fierro 0.05-1.2, Magnesio 0.5-1.5, Níquel 0.05-0.9, 5 Manganeso 0.05-1.2, Titanio, 0.05-1.2, Zirconio 0.05-1.2, Vanadio 0.05-1.2, Zinc 0.05-0.9, Estroncio 0.001-0.1, Fósforo 0.001-0.1, y el resto es Aluminio, en el que el ratio de silicio-a-magnesio es 10-25, y el ratio de cobre-a-magnesio es 4-15. La aleación de aluminio tiene una dispersión simultanea de tres tipos de partículas del compuesto  $Al_3X$  ( $X=Ti, V, Zr$ ) con una estructura cristal de  $L1_2$  en una solución sólida de aluminio, y sus 10 parámetros de red son congruentes con la red de la matriz metálica. Un proceso para hacer esta pieza vaciada y una combinación de matriz metálica, cual incluye la aleación de aluminio sirviendo de una matriz que contiene hasta 60% por volumen de una material rellena secundaria, también son descritos.

15

WPC14473 – ID. 3

**FIG. 1****FIG. 2**

4/

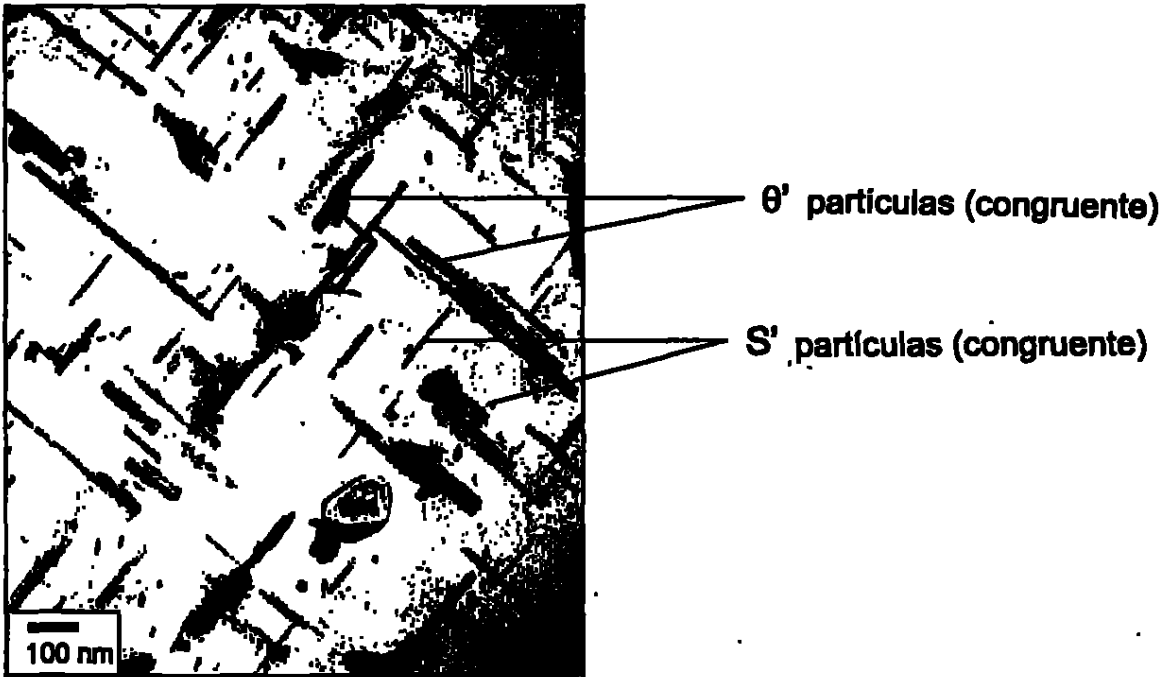


FIG. 3

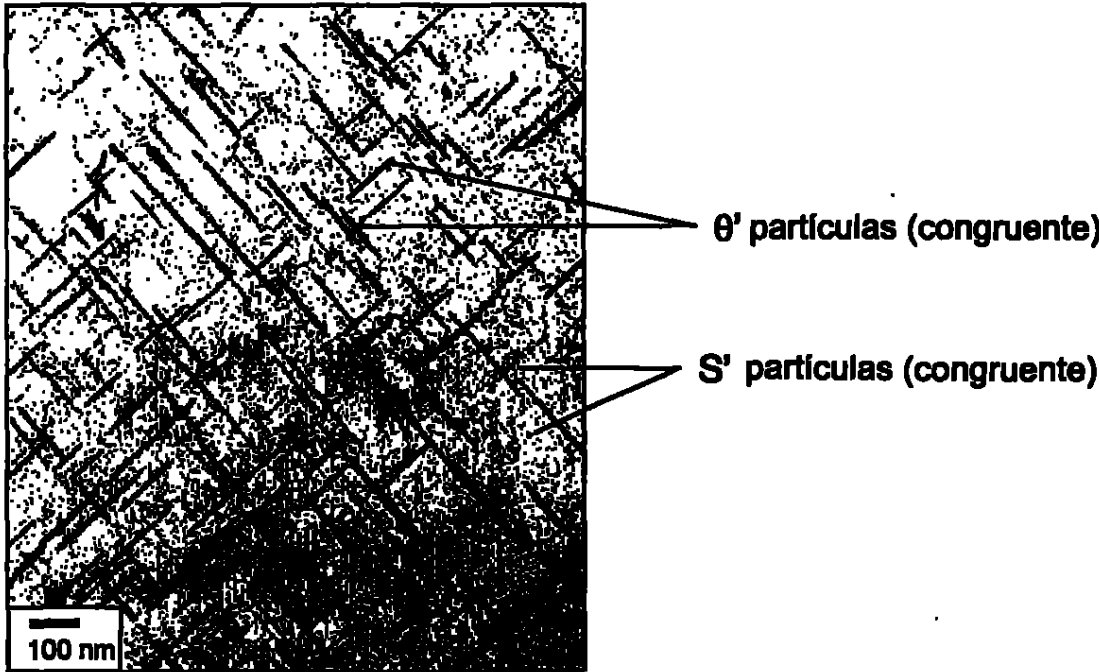
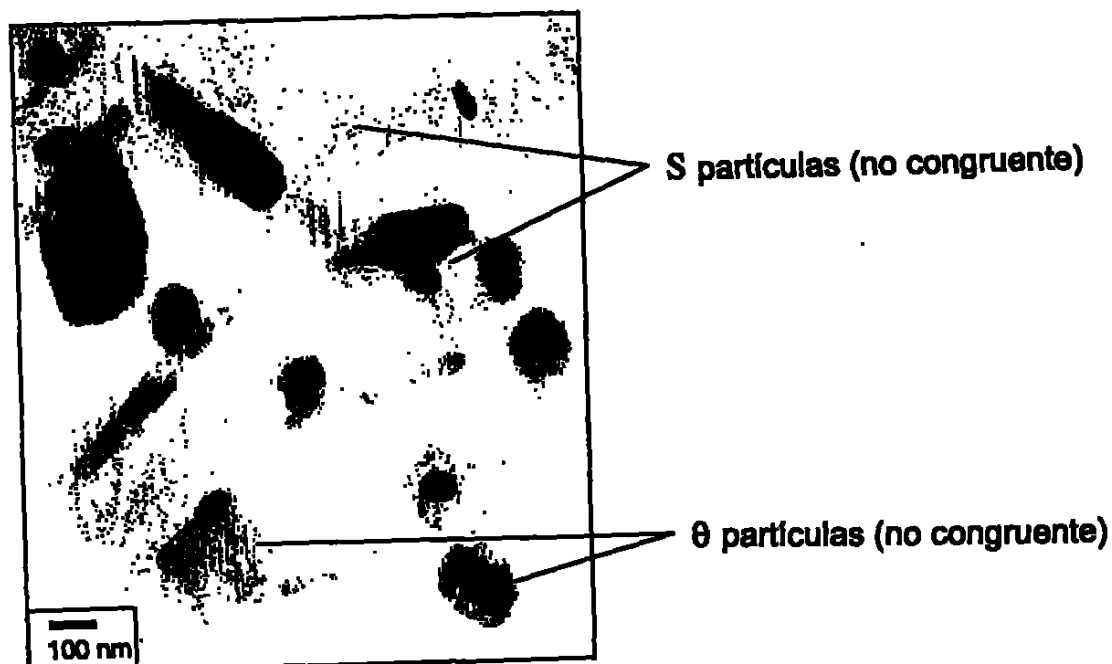
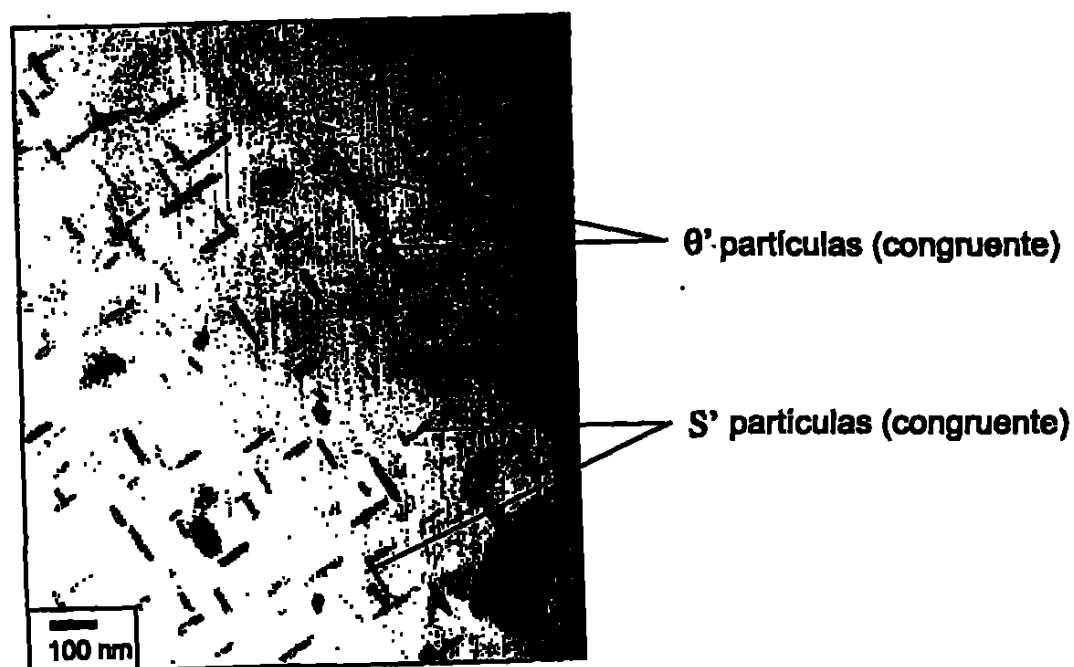


FIG. 4

**FIG. 5****FIG. 6**

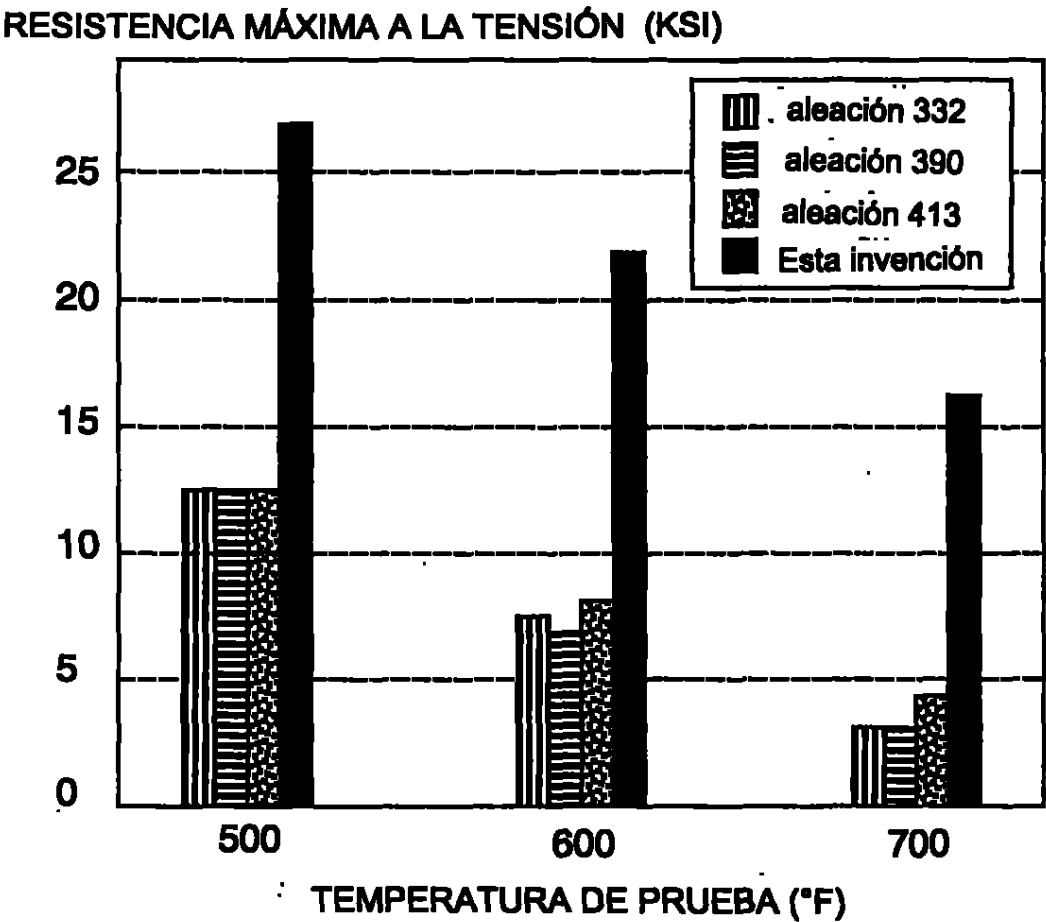


FIG. 7

# PATENT COOPERATION TREATY

## PCT

### INTERNATIONAL SEARCH REPORT

(PCT Article 18 and Rules 43 and 44)

RECEIVED

SEP 08 2003

OFFICE OF  
CHIEF COUNSEL

|                                                                    |                                                                          |                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Applicant's or agent's file reference<br>31828-1-PCT               | FOR FURTHER<br>ACTION                                                    | see Notification of Transmittal of International Search<br>Report (Form PCT/ISA/230) as well as, where applicable,<br>item 5 below. |
| International application No.<br>PCT/US03/10372                    | International filing date (day/month/year)<br>03 April 2003 (03.04.2003) | (Earliest) Priority Date (day/month/year)<br>10 April 2002 (10.04.2002)                                                             |
| Applicant<br>THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY (NASA) |                                                                          |                                                                                                                                     |

This international search report has been prepared by this International Searching Authority and is transmitted to the applicant according to Article 18. A copy is being transmitted to the International Bureau.

This international search report consists of a total of 3 sheets.



It is also accompanied by a copy of each prior art document cited in this report.

#### 1. Basis of the Report

a. With regard to the language, the international search was carried out on the basis of the international application in the language in which it was filed, unless otherwise indicated under this item.



the international search was carried out on the basis of a translation of the international application furnished to this Authority (Rule 23.1(b)).

b. With regard to any nucleotide and/or amino acid sequence disclosed in the international application, the international search was carried out on the basis of the sequence listing:



contained in the international application in written form.



filed together with the international application in computer readable form.



furnished subsequently to this Authority in written form.



furnished subsequently to this Authority in computer readable form.



the statement that the subsequently furnished written sequence listing does not go beyond the disclosure in the international application as filed has been furnished.



the statement that the information recorded in computer readable form is identical to the written sequence listing has been furnished.

2. ☐ Certain claims were found unsearchable (See Box I).

3. ☐ Unity of invention is lacking (See Box I).

4. With regard to the title,



the text is approved as submitted by the applicant.



the text has been established by this Authority to read as follows:

5. With regard to the abstract,



the text is approved as submitted by the applicant.



the text has been established, according to Rule 38.2(b), by this Authority as it appears in Box III. The applicant may, within one month from the date of mailing of this international search report, submit comments to this Authority.

6. The figure of the drawings to be published with the abstract is Figure No. 1



as suggested by the applicant.



because the applicant failed to suggest a figure.



because this figure better characterizes the invention.



None of the figures

45

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/US03/10372

**Box III TEXT OF THE ABSTRACT** (Continuation of Item 5 of the first sheet)

**NEW ABSTRACT**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US03/10372

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC(7) : C22C 21/02, 21/04

US CL : 148/418, 420/332, 535, 538, 551

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
U.S. : 148/418, 420/332, 535, 538, 551

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
EAST

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages          | Relevant to claim No. |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A          | US 5,484,492 A (ROGERS et al) 16 January 1996 (16.01.1996), abstract, column 4 lines 33-45. | 1-14                  |
| A          | JP 08-104837 A (KITAOKA et al) 23 April 1996 (23.04.1996), abstract                         | 1-14                  |
| A          | US 5,217,546 A (EADY et al) 08 June 1993 (08.06.1993), abstract, column 2 lines 17-27.      | 1-14                  |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"A"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 August 2003 (11.08.2003)

Date of mailing of the international search report

05 SEP 2003

Name and mailing address of the ISA/US

Mail Stop PCT, Attn: ISA/US

Consultation for Patents

P.O. Box 1430

Alexandria, Virginia 22313-1430

Facsimile No. (703)305-3230

Authorized officer

Jessie Morillo

Telephone No. (703) 308-0661

Jessie Morillo

Patent Officer



42

| Expediente No |                             | 040 96-492     | No de Folio |
|---------------|-----------------------------|----------------|-------------|
| Item          |                             | No de unidades |             |
| 1             | CD                          |                |             |
| 2             | DVD                         |                |             |
| 3             | REVISTA                     |                |             |
| 4             | LIBRO                       |                |             |
| 5             | PERIODICO                   |                |             |
| 6             | DISQUETES                   |                |             |
| 7             | SOBRE DE MANILA             |                |             |
| 8             | SOBRE BLANCO TAMAÑO CARTA X | 7              | 2           |
| 9             | SOBRE BLANCO TAMAÑO OFICIO  |                |             |
| 10            | OTROS:                      |                |             |

Observaciones:

contiene Arma final

XJ  
=

INDUSTRIA Y COMERCIO

Radicacion : 04036492 00000000 Folios: 48  
Fecha (USD): 2004-09-20 17:12:10  
Tramite : 011 PET-PATENT 379 FASE INCI 411 PRESENTA  
Dependencia: 2020 DIVISION DE NUEVAS CREACIONES

NIT : 000176099-2

RECIBO OFICIAL DE CAJA : 04 - 74,340  
FECHA : SEPTIEMBRE 20 DE 2004

CONSIGNACION

| DEPOSITANTE       | TIPO PAGO    | BANCO         | CUENTA      | No. PAGO | FECHA PGO  | Vr. PAGO    |
|-------------------|--------------|---------------|-------------|----------|------------|-------------|
| CAVELIER ABOGADOS | CONSIGNACION | BANCO POPULAR | 050-00110-6 | 32738683 | 20/09/2004 | 22,553,000. |

CONCEPTO

| CANT. HISTORICO           | CONCEPTO                            | TOTAL CONCEPTO |
|---------------------------|-------------------------------------|----------------|
| 1 50003-01-01 SOLICITUDES | 1 TRAMITES DE SOL. DE PATENTE DE IN | 422,000.00     |
|                           | TOTAL :                             | 422,000.00     |

SOM: CUATROCIENTOS VEINTIDOS MIL PESOS

RESPONSABLE : 

RECIBO DE CAJA APLICADO AL EXPEDIENTE No. \_\_\_\_\_

06 14473-841-0014

## REQUISITOS NECESARIOS PARA PRESENTACION Y AGILIZACION DEL TRAMITE

|                                                                                                              | USUARIO        | RADICADOR |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------|
| <b>PATENTE DE INVENCION</b>                                                                                  | ( )            | ( )       |
| - Indicación de que se solicita la concesión de una patente.                                                 | ( )            | ( )       |
| - Datos de identificación del solicitante o de la persona que se presenta la solicitud.                      | ( )            | ( )       |
| - Descripción de la invención.                                                                               | ( )            | ( )       |
| - Dibujos de series pertinentes.                                                                             | ( )            | ( )       |
| - Comprobante de pago de las tasas establecidas.                                                             | ( )            | ( )       |
| COMPLETA ( )                                                                                                 | INCOMPLETA ( ) | ( )       |
| <b>DISEÑO INDUSTRIAL ( )</b>                                                                                 |                |           |
| - Indicación de que se solicita el registro de Diseño Industrial                                             | ( )            | ( )       |
| - Datos de identificación del solicitante o de la persona que presenta la solicitud.                         | ( )            | ( )       |
| - Representación gráfica o fotográfica del Diseño Industrial o muestra del Material que incorpora el diseño. | ( )            | ( )       |
| - Comprobante de pago de las tasas establecidas                                                              | ( )            | ( )       |
| COMPLETA ( )                                                                                                 | INCOMPLETA ( ) | ( )       |
| <b>ESQUEMA DE TRAZADO ( )</b>                                                                                |                |           |
| - Indicación de que solicita el registro de un Esquema de trazado.                                           | ( )            | ( )       |
| - Datos de identificación del solicitante o de la persona que presenta la solicitud.                         | ( )            | ( )       |
| - Representación gráfica del esquema de trazado                                                              | ( )            | ( )       |
| - Comprobante de pago de las tasas establecidas.                                                             | ( )            | ( )       |
| COMPLETA ( )                                                                                                 | INCOMPLETA ( ) | ( )       |

Firma Responsable:

Fecha:

SUPERINDUSTRIA Y COMERCIO

Radicacion : 04096492 00000000

Folios: 48

Fecha (AMD): 2004-09-28 17:12:10

Tramite : 011 PCT-PATENT 379 FASE MACI 411 PRESENTAC

Dependencia: 2020 DIVISION DE NUEVAS CREACIONES

8350



**Industria y Comercio**  
SUPERINTENDENCIA

2020  
Bogotá D C

Doctor(a)  
**EMILIO FERRERO**

Oficio N° **10045**

Apoderado(a)  
**THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE  
ADMINISTRATOR OF THE AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION**

**ASUNTO:**

|                            |                |
|----------------------------|----------------|
| Radicación N°              | 04-96492       |
| Solicitud internacional    | PCT/US03/10372 |
| Fecha inicio fase nacional | 10/11/2004     |
| Trámite                    | 011            |
| Evento                     | 379            |
| Actuación                  | 430            |
| Folios                     | 001            |

Como resultado del examen de forma, realizado con fundamento en el artículo 38 de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina, artículo 27 del Tratado de Cooperación en Materia de Patentes (PCT), regla 51 bis del Reglamento y Circular Única de la Superintendencia de Industria y Comercio, se le comunica que:

- La solicitud no contiene copia del documento en que consta la cesión del derecho de patente del inventor al solicitante o a su causante (Art. 26-k Decisión 486).
- La solicitud no contiene el poder debidamente otorgado, con el lleno de requisitos exigidos por los artículos 63 y subsiguientes del Código de Procedimiento Civil. Adicionalmente deberá presentar el documento que acredita la existencia y representación legal de la sociedad solicitante, cuando éste fuere una persona jurídica.

En cumplimiento de lo dispuesto por el artículo 39 de la Decisión 486, se le requiere para que dentro del término de dos meses siguientes a la fecha de notificación del presente oficio, complete los requisitos anteriormente enunciados. En caso de no dar cumplimiento al presente requerimiento, la solicitud se considerará abandonada y perderá su prelación.

Notifíquese el presente oficio conforme a lo dispuesto en el numeral 5.2, literal e), del capítulo quinto del título primero de la Circular Única N° 10 de 2001.

**ALIX CARMENZA CESPEDES DE VERGEL**  
Jefe de la División de Nuevas Creaciones.

El anterior requerimiento fue notificado por fijación en lista de fecha,  
29 OCT. 2004

202044

Sede Centro: Carrera 13 No. 27-00 Pisos 2, 5, 7 y 10  
Commutador: 3 820840 Fax: 3 505220  
Sede CAN: Tr. 40A No. 38-50 3153265 al 69  
Fax: 3 505220. Línea 9800-910 165  
Web: [www.sic.gov.co](http://www.sic.gov.co) e-mail: [info@aic.gov.co](mailto:info@aic.gov.co)  
Bogotá D.C. - Colombia