

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2014 年 3 月 20 日 (20.03.2014)



(10) 国际公布号
WO 2014/040408 A1

- (51) 国际专利分类号:
C22C 14/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2013/073322
- (22) 国际申请日: 2013 年 3 月 28 日 (28.03.2013)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201210343128.9 2012 年 9 月 14 日 (14.09.2012) CN
- (71) 申请人: 北京工业大学 (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国北京市朝阳区平乐园 100 号, Beijing 100124 (CN)。
- (72) 发明人: 李伯龙 (LI, Bolong); 中国北京市朝阳区平乐园 100 号, Beijing 100124 (CN)。 刘桐 (LIU, Tong); 中国北京市朝阳区平乐园 100 号, Beijing 100124 (CN)。 王为 (WANG, Wei); 中国北京市朝阳区平乐园 100 号, Beijing 100124 (CN)。 黄晖 (HUANG, Hui); 中国北京市朝阳区平乐园 100 号, Beijing 100124 (CN)。 李红梅 (LI, Hongmei); 中国北京市朝阳区平乐园 100 号, Beijing 100124 (CN)。

荣莉 (RONG, Li); 中国北京市朝阳区平乐园 100 号, Beijing 100124 (CN)。

- (74) 代理人: 北京弘权知识产权代理事务所 (普通合伙) (CHINABLE IP); 中国北京市朝阳区安定路 35 号六层 35-10-2 内 620 室, Beijing 100029 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[见续页]

(54) Title: LOW-COST HIGH-STRENGTH TI-ALLOY AND HEAT-TREATING PROCESS THEREFOR

(54) 发明名称: 一种低成本高强度钛合金及热处理工艺

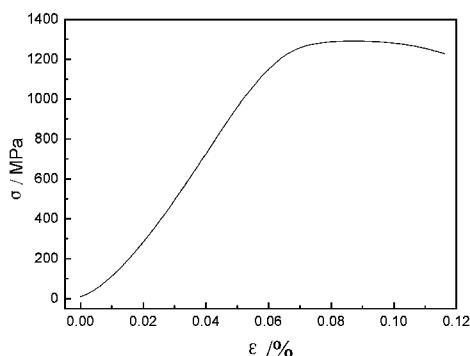


图 2 / Fig. 2 Ti-5Fe-3Al-0.02C 合金棒材经过 840°C/40min/WQ+475°C/4h/AC 热处理后室温拉伸曲线

AA ROOM TEMPERATURE TENSILE CURVE OF TI-5FE-3AL-0.02C ALLOY BAR AFTER 840°C/40 MIN/WQ + 475°C/4 H/AC HEAT-TREATMENT

(57) Abstract: The present invention relates to a low-cost high-strength Ti-alloy with the weight percentages of the alloy components being: Fe: 3%-7%, Al: 3%-5%, C: 0.01%-0.02%, and the balance being Ti and unavoidable impurities. The alloy is obtained by mixing and briquetting using industrial pure iron, carbon steel, industrial pure aluminium, etc. as raw materials according to designed components, secondary-smelting into alloy ingots using a vacuum levitation melting furnace, and forging using a conventional titanium alloy forging technology, followed by (820°C-950°C)/1h + water quenching solution treatment and (450°C-550°C)/4h + air cooling ageing treatment, and the mechanical properties of the alloy are $\sigma_b=1000-1250\text{MPa}$, and $\delta=5\%-12\%$. As for the low-cost high-strength Ti-alloy of the present invention, the raw material cost of the Ti-alloy is reduced, and the alloy has good hot processability and is easy to produce, which can expand the application fields of the Ti-alloy.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2014/040408 A1



RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, **本国际公布:**

CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

本发明涉及一种低成本高强度钛合金，该合金成份的重量百分比组成为：Fe：3~7%，Al：3~5%，C：0.01~0.02%，余量为 Ti 和不可避免杂质。该合金采用工业纯铁、碳钢、工业纯铝等为原材料按设计成份混合压制成块，用真空悬浮熔炼炉二次熔炼成合金铸锭，采用常规钛合金锻造工艺进行锻造加工，随后进行（820℃~950℃）/1h+水淬固溶处理和（450℃~550℃）/4h+空冷时效处理，其力学性能为 $\sigma_b=1000\sim1250\text{MPa}$ ， $\delta=5\sim12\%$ 。本发明低成本高强度钛合金，减少了钛合金原材料成本，且合金热加工性能良好，易于生产，可拓宽钛合金更为广泛的应用领域。

一种低成本高强度钛合金及热处理工艺

5 技术领域

本发明属于金属合金技术领域，具体涉及以铁、铝为主合金化元素的低成本高强度钛合金及热处理工艺。

背景技术

10 钛及钛合金的优异综合性能，在航空航天等领域得到广泛应用，然而与铝合金、钢铁材料相比，高的成本限制了钛合金的更广泛应用，尤其是民用领域，为推广钛合金的应用，有必要开展低成本钛合金及其制备技术研究。在造成钛合金相对较高的成本因素当中，真空熔炼及加工占总成本的 60%，原材料占 40%，使用廉价的合金元素进行钛合金成分设计可以有效的降低钛合金的成本。

15 在廉价的合金元素中，铁元素是最常见、应用最为广泛元素之一，并且铁元素在钛合金中是一种很好的 β 相稳定元素。在钛合金中加入一定量的铁，能够降低相变点，稳定 β 相，提高材料的冷热加工能力，在很多钛合金中得到了应用。比如航空用 TB6 合金中加入 2%(质量分数)的铁，能够提高热成形能力，非常适合等温锻造和超塑成型工艺。

20 可用工业纯铁、碳钢、铸铁作为中间合金实现钛合金中铁元素以及微量碳元素的添加，并加入一定量铝元素进一步提高钛合金的强度。我们前期实验也表明一定量的铁元素在钛合金中具有非常好的强化作用。

发明内容

本发明的目的在于提供一种以铁、铝为主合金化元素的低成本钛合金及合金热处理工艺，即合金获得最佳综合性能的温度及时间。

25 技术方案：低成本高强度钛合金中各合金组分及其重量百分比为：Fe 含量为 3~7%，Al 含量为 3~5%，C 含量为 0.01~0.02%，余量为 Ti 和不可避免的杂质。

本发明所提供的热处理工艺，其特征在于热处理包括固溶处理和时效处理，固溶处理的温度为 820℃~950℃，时间为 60 分钟，水冷；时效处理的温度为 450℃~550℃，

-2-

时间为 4 小时，空冷。

本发明的优点是：与常用的钛合金相比，合金中不含有昂贵的钼、钒等合金元素，降低了合金的原材料成本，并推荐该低成本高强度合金固溶时效热处理工艺，可作为今后该成分热处理设计的有效依据，使合金具有优异的综合力学性能，在工程领域具有广阔的应用前景。

附图说明

图 1 是 Ti-5Fe-3Al-0.02C 合金棒材经过 560℃/1h/AC 热处理后室温拉伸曲线，抗拉强度 $\sigma_b=1100\text{MPa}$ ，延伸率 $\delta=13\%$ ；

图 2 是 Ti-5Fe-3Al-0.02C 合金棒材经过 840℃/40min/WQ+475℃/4h/AC 热处理后室温拉伸曲线，抗拉强度 $\sigma_b=1290\text{MPa}$ ，延伸率 $\delta=10\%$ ；

图 3 是 Ti-3Fe-5Al-0.01C 合金棒材经过 600℃/1h/AC 热处理后室温拉伸曲线， $\sigma_b=1100\text{Mpa}$ ，延伸率 $\delta=16\%$ 。；

图 4 是 Ti-3Fe-5Al-0.01C 合金棒材经过 940℃/40min/WQ+500℃/4h/AC 热处理后室温拉伸曲线， $\sigma_b=1180\text{Mpa}$ ，延伸率 $\delta=8\%$ 。

具体实施方式

下面作进一步详细说明，低成本高强度钛合金特征在于：该合金重量百分比组成为：Fe 含量为 3~7%，Al 含量为 3~5%，C 含量为 0.01~0.02%，余量为 Ti 和不可避免的杂质。

低成本 Ti-Fe-Al-C 钛合金的制备：将 0 级海绵钛、99.3%的工业纯铁、99.5%的工业纯 Al、工业 45 碳钢中间合金混合，并满足成分要求，混料后在 200 吨液压机上压制成块。压块在 5KG 真空悬浮感应炉上熔炼两次，熔炼温度为 1700℃~1850℃，获得钛合金铸锭，将钛合金去皮、去头尾、扒皮处理后，涂抹玻璃防护润滑剂，经开坯锻造、最终锻造成棒材、板材。开坯加热温度在 950℃~1050℃之间，最终精锻温度在 800℃~900℃之间。

实施例 1

按名义成分 Ti-5Fe-3Al-0.02C(重量百分比，%)配制合金原料，原材料使用 0 级海绵钛、99.3%的工业纯铁、99.5%的工业纯 Al、工业 45 碳钢中间合金。混料后在 200 吨液压机上压制成块，用 5KG 真空悬浮感应炉熔炼两次获得合金铸锭，铸锭经扒皮处理后，涂抹玻璃防护润滑剂，防止合金高温氧化。在 980℃开坯锻造，随后在 850℃

—3—

下进行多火次墩拔以细化组织，最后锻成 $\Phi 25\text{mm}$ 的棒材。棒材经过 $560^\circ\text{C}/1\text{h}/\text{AC}$ 热处理后，室温拉伸性能：抗拉强度 $\sigma_b=1100\text{MPa}$ ，屈服强度 $\sigma_{0.2}=950$ ，延伸率 $\delta=13\%$ 。（如附图 1 说明）

棒材经 $840^\circ\text{C}/40\text{min}/\text{WQ}+475^\circ\text{C}/4\text{h}/\text{AC}$ 和 $860^\circ\text{C}/40\text{min}/\text{WQ}+500^\circ\text{C}/4\text{h}/\text{AC}$ 固溶时效处理后，获得的力学性能典型值为：抗拉强度 $\sigma_b=1290\text{MPa}$ ，屈服强度 $\sigma_{0.2}=1180\text{MPa}$ ，延伸率 $\delta=10\%$ 。（如附图 2 说明）

实施例 2

按名义成分 Ti-3Fe-5Al-0.01C （重量百分比，%）配制合金原料，原材料使用 0 级海绵钛、99.3% 的工业纯铁、99.5% 的工业纯 Al。混料后 200 吨液压机上压制成块，用 5KG 真空悬浮感应炉熔炼两次获得合金铸锭。铸锭经扒皮处理后，涂抹玻璃防护润滑剂，防止合金高温氧化。在 980°C 开坯锻造，随后在 850°C 下进行多火次墩拔以细化组织，最后锻成 $\Phi 25\text{mm}$ 的棒材。棒材经过 $600^\circ\text{C}/1\text{h}/\text{AC}$ 热处理后，室温拉伸性能：抗拉强度 $\sigma_b=1100\text{Mpa}$ ，屈服强度 $\sigma_{0.2}=950\text{MPa}$ ，延伸率 $\delta=16\%$ 。（如附图 3 说明）

棒材经 $940^\circ\text{C}/40\text{min}/\text{WQ}+500^\circ\text{C}/4\text{h}/\text{AC}$ 和 $900^\circ\text{C}/40\text{min}/\text{WQ}+500^\circ\text{C}/4\text{h}/\text{AC}$ 固溶时效处理后，获得的力学性能典型值为：抗拉强度 $\sigma_b=1180\text{Mpa}$ ，屈服强度 $\sigma_{0.2}=980\text{MPa}$ ，延伸率 $\delta=8\%$ 。（如附图 4 说明）

实施例 3～实施例 6 的合金名义成分参见表 1。

表 1 实施例 3～实施例 6 的合金名义成分

Fe: 2～7%; Al: 3～5%; C: 0.01～0.02%; 余量为 Ti 及不可避免杂质。

实施例 编号	合金元素配比			
	Fe	Al	C	Ti
3	3	3	0.01	余量
4	5	5	0.01	余量
5	7	3	0.02	余量
6	7	5	0.02	余量

上述实施例合金制备过程与实施例 1 和实施例 2 类似，实施例 3～6 合金被锻造成为 $\Phi 15\text{mm}$ 的棒材，经过 $500^\circ\text{C}\sim 650^\circ\text{C}/1\text{h}/\text{AC}$ 的热处理后获得的力学性能典型值为：

—4—

抗拉强度 $\geq 900\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 830\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 9\%$ 。

实施例 3~6 合金经 $(820^{\circ}\text{C} \sim 950^{\circ}\text{C})/1\text{h}/\text{WQ}+(450^{\circ}\text{C} \sim 550^{\circ}\text{C})/4\text{h}/\text{AC}$ 热处理后获得力学性能典型值为：抗拉强度 $\geq 1000\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 900\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 6\%$ 。

权 利 要 求

1. 一种低成本高强度钛合金，其特征在于，合金中各合金组分及其重量百分比为：Fe 含量为 3~7%，Al 含量为 3~5%，C 含量为 0.01~0.02%，余量为 Ti 和不可避免杂质。

5

2. 根据权利要求 1 所述合金的固溶时效热处理工艺，其特征在于，将权利要求 1 合金进行（820℃~950℃）/1h+水淬固溶处理，再进行（450℃~550℃）/4h+空冷时效处理。

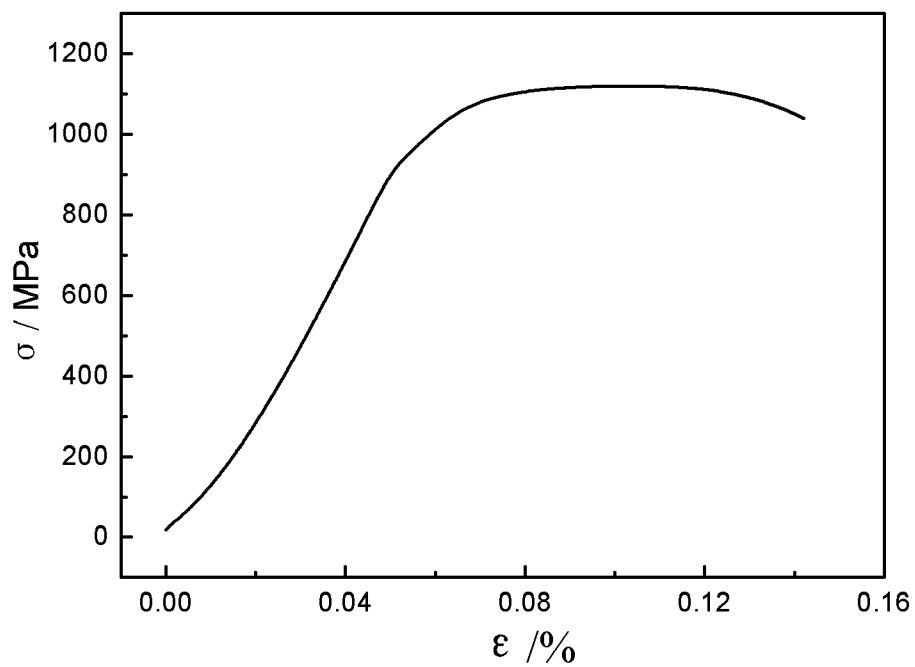


图 1. Ti-5Fe-3Al-0.02C 合金棒材经过 560°C/1h/AC 热处理后室温拉伸曲线

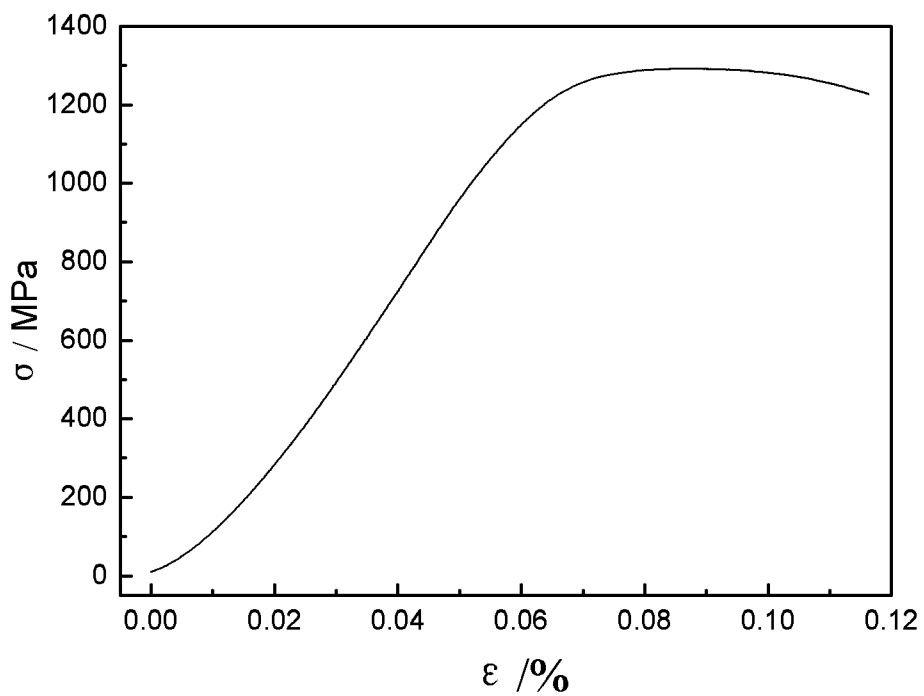


图 2. Ti-5Fe-3Al-0.02C 合金棒材经过 840°C/40min/WQ+475°C/4h/AC 热处理后室温拉伸曲线

—2/2—

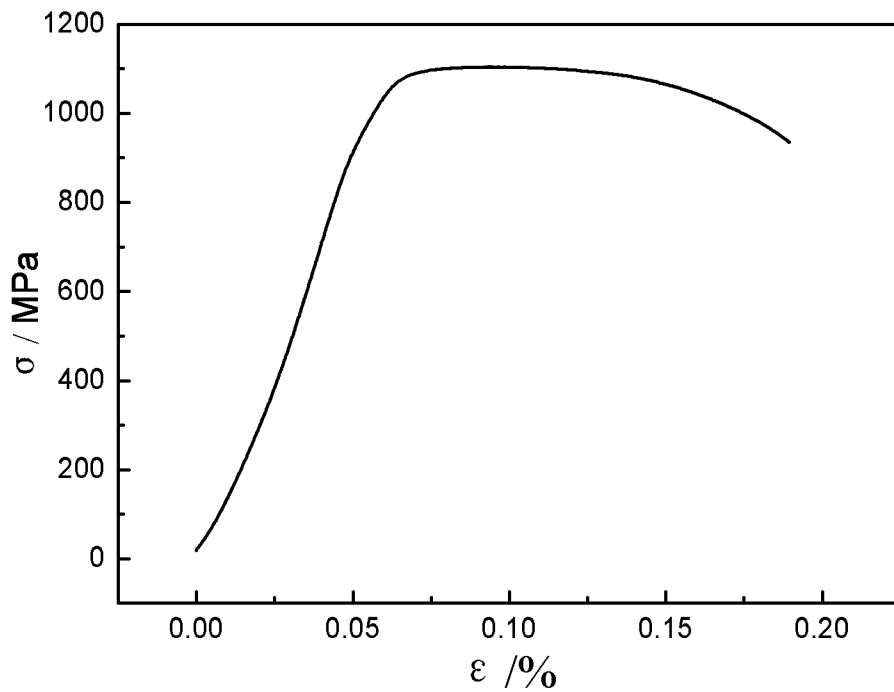


图 3. Ti-3Fe-5Al-0.01C 合金棒材经过 600℃/1h/AC 热处理后室温拉伸曲线

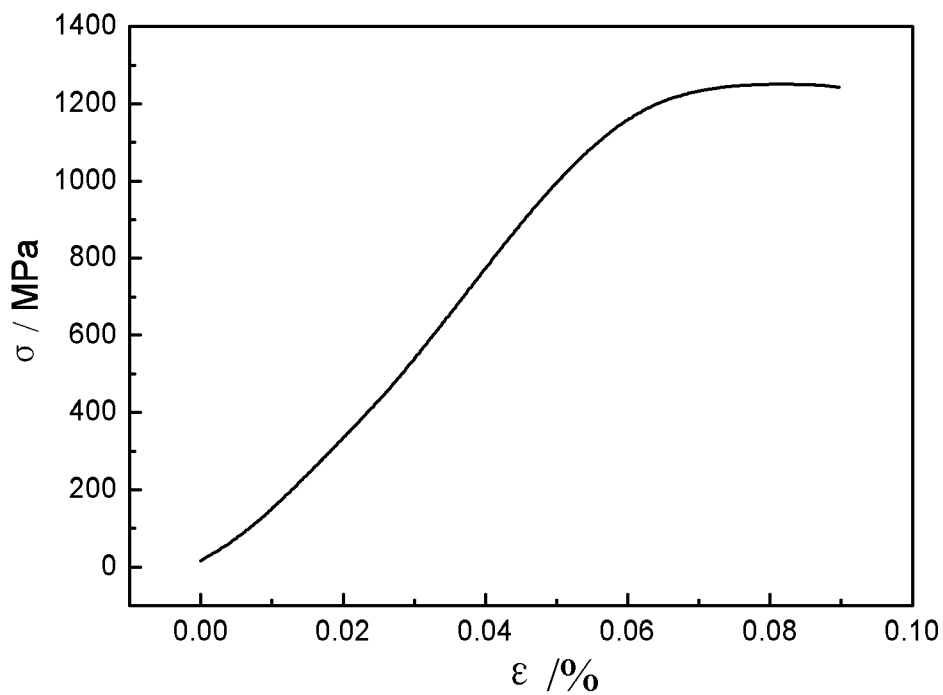


图 4. Ti-3Fe-5Al-0.01C 合金棒材经过 940℃/40min/WQ+500℃/4h/AC 热处理后室温拉伸曲线

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2013/073322

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C 14/00 (2006.01) i

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)

IPC: C22C 14/-

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)

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC, CA: titanium alloy, charcoal, carbon, aluminum, iron, fe, al, titanium, ti

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 101899590 A (JIANGSU JIAZHE TI-ALLOY MATERIAL TECHNOLOGY CO., LTD.), 01 December 2010 (01.12.2010), description, paragraphs 1 and 4-6	1
Y	CN 101899590 A (JIANGSU JIAZHE TI-ALLOY MATERIAL TECHNOLOGY CO., LTD.), 01 December 2010 (01.12.2010), description, paragraphs 1 and 4-6	2
Y	CN 101463436 A (GENERAL RESEARCH INSTITUTE FOR NONFERROUS METALS), 24 June 2009 (24.06.2009), claim 3	2
A	CN 101463436 A (GENERAL RESEARCH INSTITUTE FOR NONFERROUS METALS), 24 June 2009 (24.06.2009), claim 3	1
A	JP 2001-115221 A (DAIDO TOKUSHUKO KK.), 24 April 2001 (24.04.2001), claims 1 and 2	1, 2

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“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	

Date of the actual completion of the international search 07 June 2013 (07.06.2013)	Date of mailing of the international search report 04 July 2013 (04.07.2013)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer SONG, Guoying Telephone No.: (86-10) 82245396

International application No.
PCT/CN2013/073322

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2013/073322

A. 主题的分类

C22C 14/00 (2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: C22C 14/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNKI,CNPAT,WPI,EPODOC,CA: 钛合金,铁,铝,炭,碳, alumin?um, iron, fe, al, titanium, ti

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	CN101899590A (江苏佳哲钛合金材料科技有限公司) 01.12 月 2010 (01.12.2010) 说明书第 1 段, 第 4 段-第 6 段	1
Y	CN101899590A (江苏佳哲钛合金材料科技有限公司) 01.12 月 2010 (01.12.2010) 说明书第 1 段, 第 4 段-第 6 段	2
Y	CN101463436A (北京有色金属研究总院) 24. 6 月 2009 (24.06.2009) 权利要求 3	2
A	CN101463436A (北京有色金属研究总院) 24. 6 月 2009 (24.06.2009) 权利要求 3	1
A	JP 特开 2001-115221A (DAIDO TOKUSHUKO KK.) 24. 4 月 2001 (24.04.2001) 权利要求 1,2	1,2

☐ 其余文件在 C 栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

07.6 月 2013 (07.06.2013)

国际检索报告邮寄日期

04.7 月 2013 (04.07.2013)

ISA/CN 的名称和邮寄地址:

中华人民共和国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088

传真号: (86-10)62019451

受权官员

宋国英

电话号码: (86-10) 82245396

关于同族专利的信息

PCT/CN2013/073322

PCT/ISA/210 表(同族专利附件) (2009 年 7 月)