



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101967588 A

(43) 申请公布日 2011. 02. 09

(21) 申请号 201010520987. 1

(22) 申请日 2010. 10. 27

(71) 申请人 中国航空工业集团公司北京航空材料研究院

地址 100095 北京市 81 号信箱

(72) 发明人 冯朝辉 陆政 卢健 臧金鑫
张显峰 孙刚 龚澎

(74) 专利代理机构 中国航空专利中心 11008
代理人 陈宏林

(51) Int. Cl.

C22C 21/12 (2006. 01)

C22C 1/02 (2006. 01)

C22F 1/057 (2006. 01)

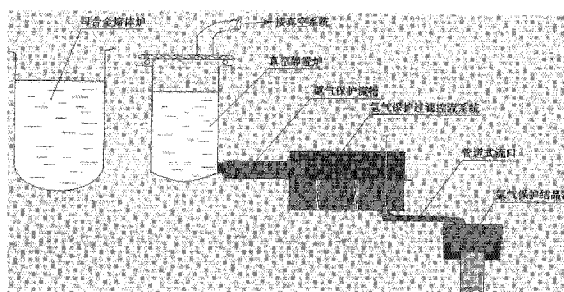
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 1 页

(54) 发明名称

一种耐损伤铝锂合金及其制备方法

(57) 摘要

本发明涉及到一种新型耐损伤铝锂合金及其制备方法。按重量百分比计,其合金成分为:Cu 2.8 ~ 4.0 %, Li 0.8 ~ 1.9 %, Mn 0.20 ~ 0.60 %, Zn 0.20 ~ 0.80 %, Zr 0.04 ~ 0.20 %, Mg 0.20 % ~ 0.80 %, Ag 0.1 ~ 0.7 %, Si ≤ 0.10 %, Fe ≤ 0.10 %, Ti ≤ 0.12 %, 其它杂质单个 ≤ 0.05 %, 总量 ≤ 0.15 %, 余量为 Al。其中合金元素 Mn、Zn、Mg、Ag 与 Zr 可选择加入其中 1 ~ 5 种。按合金成分配料,将原料融化,经炉内精炼、静置后,浇注成所需规格的合金锭。合金锭经优选均匀化后可通过热挤压、热轧制、冷轧加工成形,经优选的工艺热处理后可供加工零件使用。本发明一种新型耐损伤铝锂合金材料的显微组织均匀、性能稳定,适于制造薄板。该材料制品可用于航空航天、核工业、交通运输、体育用品、兵器等领域的结构元件。



1. 一种耐损伤铝锂合金,其特征在于:合金的化学成分和重量百分比为:Cu 2.8 ~ 4.0%,Li 0.8 ~ 1.9%, $Si \leq 0.10\%$, $Fe \leq 0.10\%$, $Ti \leq 0.12\%$,其它杂质单个 $\leq 0.05\%$,总量 $\leq 0.15\%$,余量为Al。

2. 根据权利要求1所述的耐损伤铝锂合金,其特征在于:在该合金的化学成分加入Mn、Zn、Mg、Ag与Zr中的1~5种,加入的重量百分比为:Mn 0.20 ~ 0.60%,Zn 0.20 ~ 0.80%,Zr 0.04 ~ 0.20%,Mg 0.20% ~ 0.80%,Ag 0.1 ~ 0.7%。

3. 根据权利要求1所述的耐损伤铝锂合金,其特征在于:该合金适用于制造航空航天、核工业、交通运输、体育用品、兵器等领域用0.8mm ~ 8.0mm规格薄板。

4. 用于制备上述权利要求1所述的耐损伤铝锂合金的方法,其特征在于:该方法的步骤是:

- (1) 按合金的化学成分及重量百分比要求配料;
- (2) 在熔炼炉内进行熔化,熔化温度为 $680^{\circ}\text{C} \sim 780^{\circ}\text{C}$;
- (3) 对完全熔化的金属液进行精炼,精炼时金属温度维持在 $690^{\circ}\text{C} \sim 750^{\circ}\text{C}$ 的范围内;
- (4) 精炼后应进行充分静置,静置时间不少于30分钟;
- (5) 充分静置后开始浇铸,炉口温度维持在 $700^{\circ}\text{C} \sim 720^{\circ}\text{C}$ 的范围内,浇铸速度为15 ~ 200mm/分钟;
- (6) 在加热炉内对合金铸锭进行均匀化处理,均匀化温度为 $450^{\circ}\text{C} \sim 490^{\circ}\text{C}$;
- (7) 均匀化处理后的铸锭铣面后加热至 420°C 以上进行热粗轧;
- (8) 热粗轧后的板坯在 320°C 以上充分保温后,进行热精轧至4.0mm ~ 16.0mm;
- (9) 对热精轧板材冷轧,冷轧前及冷轧过程中应进行中间退火,中间退火温度为 $300^{\circ}\text{C} \sim 420^{\circ}\text{C}$;
- (10) 冷轧或热轧后的板材固溶处理后,经过滚校或拉伸后,自然时效或人工时效至稳定状态。

5. 根据权利要求4所述的制备耐损伤铝锂合金的方法,其特征在于:步骤(1) ~ (5)中均采用氩气保护。

6. 根据权利要求4所述的制备耐损伤铝锂合金的方法,其特征在于:步骤(3)采用真空精炼。

7. 根据权利要求4所述的制备耐损伤铝锂合金的方法,其特征在于:步骤(3)采用3 ~ 10%氯气 + 氩气混合气体精炼。

8. 根据权利要求4所述的制备耐损伤铝锂合金的方法,其特征在于:步骤(3)采用 C_2Cl_6 精炼剂精炼。

9. 根据权利要求4所述的制备耐损伤铝锂合金的方法,其特征在于:步骤(10)中的热处理固溶温度为 $465^{\circ}\text{C} \sim 560^{\circ}\text{C}$ 。

10. 根据权利要求4所述的制备耐损伤铝锂合金的方法,其特征在于:步骤(10)对材料进行滚校或拉伸冷变形时保留1 ~ 5%的永久变形量。

11. 根据权利要求4所述的制备耐损伤铝锂合金的方法,其特征在于:步骤(10)中进行人工时效热处理的工艺为:在 $120^{\circ}\text{C} \sim 205^{\circ}\text{C}$ 加热1 ~ 72小时。

一种耐损伤铝锂合金及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明是一种耐损伤铝锂合金及其制备方法,属于金属材料工程领域。

背景技术

[0002] 近年来,随着铝冶金装备技术及冶金学基础技术水平的提高,铝锂合金经历了三代发展,铝锂合金的冶金设计原则已发展为:适中的强度、略低的密度、低各向异性,并充分发挥其刚性及耐损伤优势。在生产上追求更低的工艺成本,表现为其生产工艺更接近普通铝合金。

[0003] 随着航空工业,特别是民用大型飞机制造业的竞争加剧,波音、空客、庞巴迪及中国商飞等飞机制造公司纷纷将飞机运营的经济性及高寿命设计作为其核心技术。结构减重及选用耐损伤材料是实现该核心技术的重要手段,先进的铝锂合金可同时满足以上两项要求,本发明可用来替代 2024 薄板及 2524 薄板在飞机上应用,可减重 10 ~ 15%,预估使用寿命可提高 4 倍以上。在航空航天、核工业、交通运输、体育用品、兵器等领域具有广阔的应用前景。

[0004] 近年来,欧美开展了三代高性能铝锂合金研究,并有一些已接近工业化生产的水平。其耐损伤型代表合金有 2098 合金 (Al-3.5Cu-1.1Li-0.5Mg-0.40Ag-0.11Zr)。

[0005] 铝锂合金的生产传统由原苏联工艺及欧美工艺,原苏联工艺采用真空熔炼技术,研制生产了 Al-Mg-Li 系及 Al-Mg-Li-Sc 系铝锂合金,并在多种型号上应用;欧美国家更多的发展气体精炼技术,合金体系以 Al-Cu-Li 系为主,研究表明,较好的工艺控制下不同的精炼技术是等效的。

[0006] 铝铜锂合金的强度主要取决于 Li+Cu 的合金元素总量,塑性取决于固溶程度,以锂当量 (Li+Cu/2.82) 可以粗略估计合金的固溶程度,当 Li+Cu 总量超过 5% 时,其挤压棒的强度可以达到 500Mpa 以上,而 Li 当量控制在 2.4 ~ 2.6 时,合金的塑性可确保在 6% 左右。本发明控制 Li+Cu 总量接近 5%,Li 当量略高于 2.6,从而保证合金强度及塑性。

[0007] Al-Li 系合金的各向异性来源于 δ' 相引起的共面滑移和织构,Zr 的加入会抑制 δ' 相的共面滑移,同时对合金有很好的韧化作用,但不能大幅度降低合金的各向异性。

[0008] 4.0mm ~ 8.0mm 规格板材热精轧即可达到材料尺寸及平整度要求,不经冷轧而直接进行固溶及时效处理,已具备高耐损伤性能特性;而 4.0mm 规格以下板材必须通过冷轧保证材料尺寸及平整度达到要求。

发明内容

[0009] 本发明正是针对上述现有技术状况而设计提供了一种耐损伤铝锂合金及其制备方法。其目的是替代 2024 薄板及 2524 薄板在飞机上应用,可减重 10 ~ 15%,使用寿命可提高 4 倍以上。

[0010] 本发明的目的是通过以下技术方案来实现的:

[0011] 本发明技术方案提出了一种耐损伤铝锂合金,其特征在于:合金的化学成分和重

量百分比为 :Cu 2.8 ~ 4.0%, Li 0.8 ~ 1.9%, Si $\leq$ 0.10%, Fe $\leq$ 0.10%, Ti $\leq$ 0.12%, 其它杂质单个 $\leq$ 0.05%, 总量 $\leq$ 0.15%, 余量为 Al。

[0012] 在该合金的化学成分中还加入 Mn、Zn、Mg、Ag 与 Zr 中的 1 ~ 5 种, 加入的重量百分比为 :Mn 0.20 ~ 0.60%, Zn 0.20 ~ 0.80%, Zr 0.04 ~ 0.20%, Mg 0.20% ~ 0.80%, Ag 0.1 ~ 0.7%。

[0013] 本发明采取 Zr+Mn 联合加入的方式, 从而大幅度降低铝—锂—铜合金的各向异性。

[0014] Mg、Zn、Ag 等微量元素对 Al-Li-Cu 合金都有一定的强韧化作用, 其中 Mg+Ag 的联合微合金化强化效果最好, Mg+Zn 次之。本发明可从强韧匹配及性能 / 成本等不同方面考虑生产 Mg+Ag 及 Mg+Zn 微合金化铝锂合金, 亦可生产少无微合金化的铝锂合金。该合金适用于制造航空航天、核工业、交通运输、体育用品、兵器等领域用 0.8mm ~ 8.0mm 规格薄板。

[0015] 本发明技术方案还提出了一种制备上述耐损伤铝锂合金的方法, 其特征在于: 该方法的步骤是:

[0016] (1) 按合金的化学成分及重量百分比要求配料;

[0017] (2) 在熔炼炉内进行熔化, 熔化温度为 680℃ ~ 780℃;

[0018] (3) 对完全熔化的金属液进行精炼, 精炼时金属温度维持在 690℃ ~ 750℃ 的范围内;

[0019] (4) 精炼后应进行充分静置, 静置时间不少于 30 分钟;

[0020] (5) 充分静置后开始浇铸, 炉口温度维持在 700℃ ~ 720℃ 的范围内, 浇铸速度为 15 ~ 200mm/ 分钟;

[0021] (6) 在加热炉内对合金铸锭进行均匀化处理, 均匀化温度为 450℃ ~ 490℃;

[0022] (7) 均匀化处理后的铸锭铣面后加热至 420℃ 以上进行热粗轧;

[0023] (8) 热粗轧后的板坯在 320℃ 以上充分保温后, 进行热精轧至 4.0mm ~ 16.0mm;

[0024] (9) 加工 4.0mm 以下规格产品要冷轧, 冷轧前及冷轧过程中应进行中间退火, 中间退火温度为 300℃ ~ 420℃;

[0025] (10) 冷轧或热轧后的板材固溶处理后, 经过滚校或拉伸后, 自然时效或人工时效至稳定状态。

[0026] 步骤 (1) ~ (5) 中优选以氩气作为保护气体。

[0027] 步骤 (3) 优选采用真空精炼。

[0028] 步骤 (3) 优选采用 3 ~ 10% 氯气 + 氩气混合气体精炼。

[0029] 步骤 (3) 优选采用 C₂Cl₆ 精炼剂精炼。

[0030] 步骤 (10) 中的热处理固溶温度优选 465℃ ~ 560℃。

[0031] 步骤 (10) 对材料进行滚校或拉伸冷变形时保留 1 ~ 5% 的永久变形量。

[0032] 步骤 (10) 中进行人工时效热处理的工艺为: 在 120℃ ~ 205℃ 加热 1 ~ 72 小时。

附图说明

[0033] 图 1 为本发明提出的制备耐损伤铝锂合金的熔炼铸造流程

[0034] 图 2 为本发明合金薄板显微组织

具体实施方式

[0035] 表一给出了本发明所提出的新型耐损伤铝锂合金化学成分及重量百分比实施例。

[0036] 表 1 :新型超耐损伤铝锂合金化学成分及重量百分比

[0037]

铸锭号	Cu	Li	Mn	Zn	Zr	Mg	Ag	Ti	Fe	Si
95	3.5	1.4	0.4	0.4	0.15	0.6	—	< 0.12	< 0.10	< 0.10
96	3.2	1.6	0.3	0.5	0.16	0.6	—	< 0.12	< 0.10	< 0.10
97	3.6	1.2	0.3	0.5	0.12	0.4	—	< 0.12	< 0.10	< 0.10
98	3.6	1.5	0.2	0.3	0.10	0.3	—	< 0.12	< 0.10	< 0.10
99	3.8	1.3	0.6	0.8	0.20	0.8	—	< 0.12	< 0.10	< 0.10
100	4.0	1.4	0.4	0.2	0.18	0.5	—	< 0.12	< 0.10	< 0.10
101	3.8	1.5	0.3	0.6	0.18	0.7	—	< 0.12	< 0.10	< 0.10
102	3.7	1.3	0.3	0.6	0.16	0.2	—	< 0.12	< 0.10	< 0.10
103	3.2	1.9	—	—	0.10	0.2	0.7	< 0.12	< 0.10	< 0.10
104	3.2	1.0	—	—	0.04	0.8	0.6	< 0.12	< 0.10	< 0.10
105	3.6	1.2	—	—	0.13	0.6	0.6	< 0.12	< 0.10	< 0.10
106	3.8	1.1	—	—	0.18	0.6	0.2	< 0.12	< 0.10	< 0.10
126	3.6	0.8	—	—	0.16	0.5	0.4	< 0.12	< 0.10	< 0.10
127	3.7	1.3	—	—	0.15	0.5	0.5	< 0.12	< 0.10	< 0.10
128	3.5	1.2	—	—	0.08	0.3	0.5	< 0.12	< 0.10	< 0.10
129	2.8	1.0	0.4	—	—	0.6	0.2	< 0.12	< 0.10	< 0.10
130	2.9	1.1	0.5	—	—	0.7	0.1	< 0.12	< 0.10	< 0.10
131	3.5	0.9	0.2	—	—	0.	0.5	< 0.12	< 0.10	< 0.10
132	3.4	0.8	0.2	—	0.1	0.4	0.4	< 0.12	< 0.10	< 0.10
133	3.2	1.0	0.6	—	0.12	0.2	0.3	< 0.12	< 0.10	< 0.10
134	3.0	1.0	0.3	—	0.16	80.7	0.2	< 0.12	< 0.10	< 0.10
135	3.3	0.9	0.3	—	0.08	0.6	0.3	< 0.12	< 0.10	< 0.10

[0038]

[0039] 参见附图 1 所示,制备上述高强韧铝锂合金的方法步骤是:

[0040] (1) 按合金的化学成分及重量百分比要求配料,可选择加入微合金化元素 Mn、Zn、Mg、Ag 与 Zr 中的 1~5 种;

[0041] (2) 在熔炼炉内进行熔化,熔化温度为 680℃~780℃;

[0042] (3) 对完全熔化的金属液进行精炼,采用不同精炼介质或精炼方式是等效的,精炼时金属温度维持在 690℃~750℃的范围内;

[0043] (4) 精炼后应进行充分静置,静置时间不低于 30 分钟;

[0044] (5) 充分静置后开始浇铸,炉口温度维持在 700℃~720℃的范围内,浇铸速度为 15~200mm/分钟,浇铸成 δ 250mm 扁锭;

[0045] (6) 在加热炉内对合金铸锭进行优选均匀化处理,均匀化温度为 450℃~490℃;

[0046] (7) 将均匀化后的铸锭扒皮后,加热至 420℃以上进行热粗轧制成 40mm 规格毛坯;

[0047] (8) 热粗轧毛坯加热至 320℃以上进行热精轧制成 4~16mm 规格板材;

[0048] (9) 热精轧板材冷轧至 0.8mm~8.0mm 间特定规格产品,冷轧前及冷轧过程中应进行中间退火,中间退火温度为 300℃~420℃;

[0049] (10) 板材经固溶处理,经过滚校或拉伸后,自然时效或人工时效至稳定状态。

[0050] 铸锭号为 129、130 的铸锭采用 3~10%氯气+氩气混合气体精炼;铸锭号为 131、132 的铸锭采用 C2C16 精炼剂精炼;其余铸锭采用真空精炼。

[0051] 从上述工艺路线中可以看出,在完成步骤(8)后进行步骤(10)之前,经过冷轧步骤(9)的工艺适用于 0.8mm~8.0mm 所有规格产品。

[0052] 表 2 为热精轧后冷轧的 0.8mm~8.0mm 规格产品性能

[0053] 表 2

[0054]

铸锭号	固溶温度/℃	变形量/%	时效制度 ℃/h	拉伸性能			断裂韧度	备注
				σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	T-L 向 K_{IC} /Mpa. m ^{1/2}	
95	465	1.2	室温/≥72	445	305	23.0	112	Mn、Zr 微合金化, 调控合金各向异性; Mg+Zn 微合金强化
96	480	1.0	室温/≥72	441	293	22.8	106	
97	495	2.2	室温/≥72	442	311	21.6	114	
98	510	2.4	室温/≥72	442	298	22.2	108	
99	525	2.6	室温/≥72	438	298	22.3	110	
100	540	3.0	室温/≥72	446	297	23.3	112	
101	560	1.8	室温/≥72	436	296	20.9	106	
102	500	1.7	160/20	542	462	11.1	92	
95	505	1.4	180/12	546	458	13.4	96	
96	555	—	205/1	550	459	14.8	96	
97	535	—	140/38	541	458	10.3	95	
98	515	—	120/72	538	470	12.8	95	
99	490	—	130/52	538	462	13.7	101	
100	480	—	190/8	549	456	13.5	102	
101	470	—	170/16	549	458	14.4	98	
102	500	—	150/32	532	455	15.0	94	Mn、Zr 微合金化, 调控合金各向异性; Mg+Ag 微合金强化
103	555	1.0	170/12	521	495	9.2	92	
104	535	2.2	160/30	528	486	9.0	108	
105	515	3.4	160/20	529	492	10.0	102	
106	490	4.0	160/18	535	503	8.5	90	
126	480	3.1	150/22	529	588	7.6	88	
127	470	1.5	165/18	535	486	8.7	94	
128	500	2.6	155/18	526	492	9.4	92	
129	555	1.5	190/8	523	485	8.6	96	Mn、Zr 微合金化, 调控合金各向异性; Mg+Ag 微合金强化
130	535	2.6	170/16	519	486	9.1	102	
131	515	3.4	150/32	530	492	9.3	108	
132	490	5.0	170/12	532	491	9.3	96	
133	480	4.8	160/30	533	490	8.6	98	
134	470	4.2	160/20	526	490	8.8	101	
135	500	3.2	160/18	522	492	8.7	102	

[0055]

[0056] 从上述工艺路线中可以看出, 对于 4.0mm 以上规格的产品, 可以不进行冷轧, 在完成步骤 (8) 后直接进行步骤 (10) 形成最终产品。

[0057] 表 3 为直接热精轧而未经冷轧生产的 4.0mm 以上规格产品的性能。

[0058] 表 3
[0059]

铸锭号	固溶温度/℃	变形量/%	时效制度 ℃/h	拉伸性能			断裂韧度 T-L 向 $K_{IC}/\text{Mpa} \cdot \text{m}^{1/2}$	备注
				σ_b/MPa	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$		
95	465	1.2	室温/ ≥ 72	447	315	20.1	130	Mn、Zr 微合金化, 调控合金各向异性; Mg+Zn 微合金强化
96	480	1.0	室温/ ≥ 72	442	302	20.8	124	
97	495	2.2	室温/ ≥ 72	446	321	19.8	126	
98	510	2.4	室温/ ≥ 72	442	318	19.4	125	
99	525	2.6	室温/ ≥ 72	445	316	19.6	122	
100	540	3.0	室温/ ≥ 72	448	316	20.2	123	
101	560	1.8	室温/ ≥ 72	449	317	20.1	126	
102	500	1.7	170/16	543	488	20.2	112	
95	505	1.4	170/16	543	489	21.0	108	
96	555	-	170/16	543	495	23.0	109	
97	535	-	170/16	545	493	23.1	115	
98	515	-	室温/ ≥ 72	450	291	22.4	130	
99	490	-	室温/ ≥ 72	439	292	23.6	130	
100	480	-	室温/ ≥ 72	441	292	23.1	127	
101	470	-	室温/ ≥ 72	441	300	24.5	127	
102	500	-	室温/ ≥ 72	448	302	23.5	126	

[0060]

[0061] 通过对从上述性能和附图 2 的合金板材显微组织进行分析可以看出, 本发明所述的新型耐损伤铝锂合金材料的显微组织均匀、性能稳定, 可在在航空航天、核工业、交通运输、体育用品、兵器等领域有很好的应用。

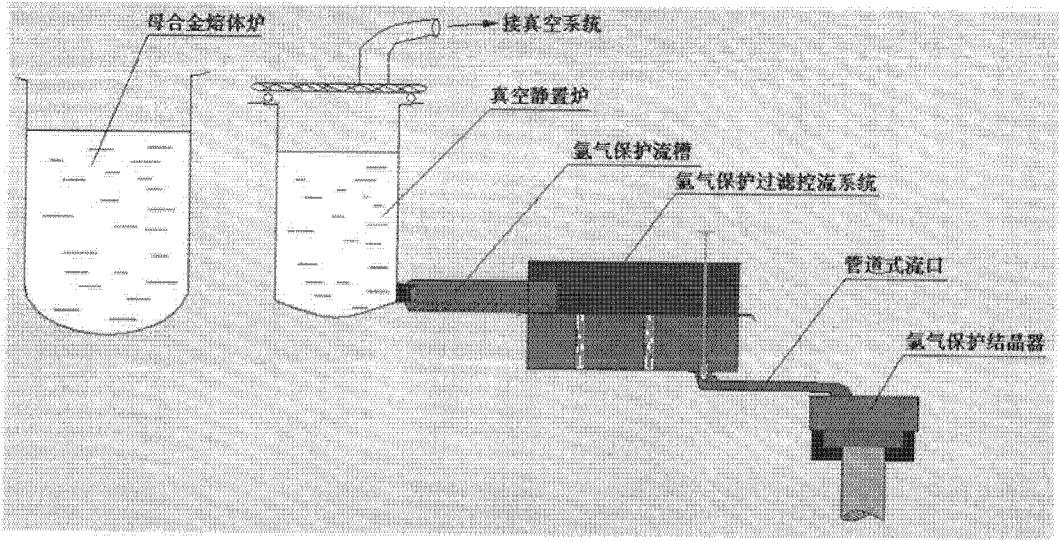


图 1

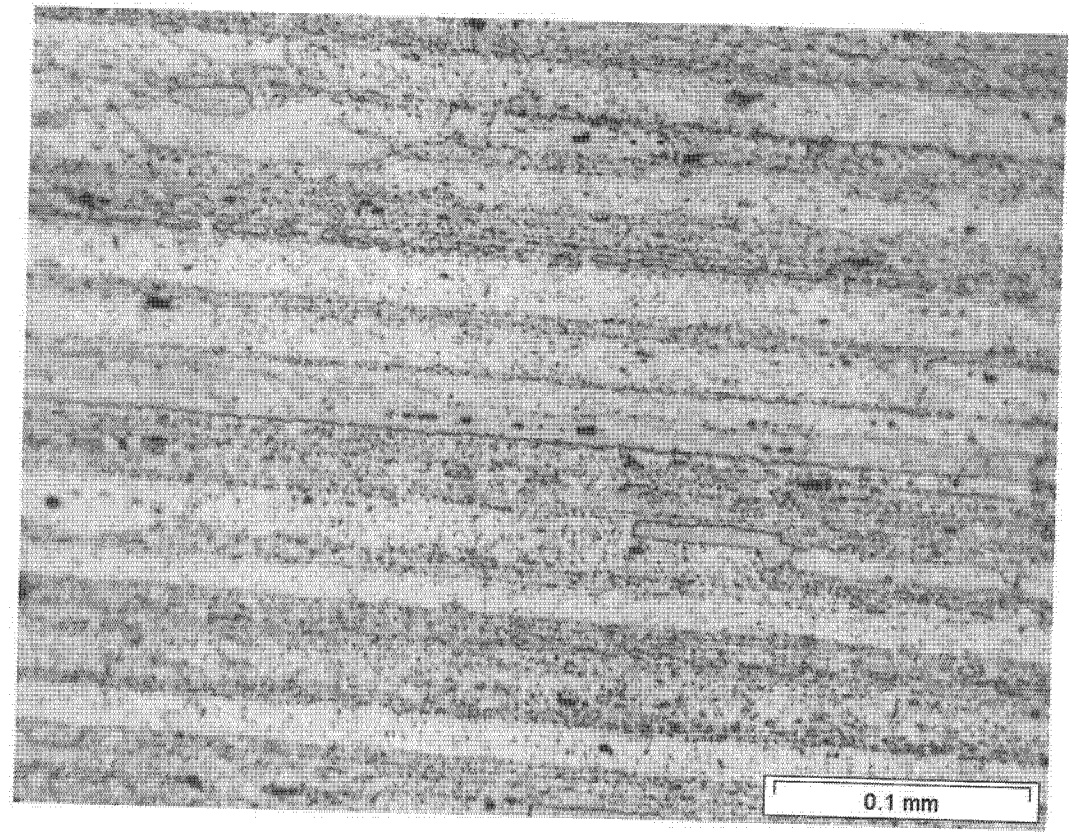


图 2