

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl<sup>7</sup>

B22F 3/24

# [12] 发明专利申请公开说明书

C21D 1/06 C21D 1/26

C21D 7/02 C22F 1/04

C22F 1/08 C22F 1/10

[21] 申请号 00806010. X

[43]公开日 2002年4月24日

[11]公开号 CN 1346301A

[22]申请日 2000.2.9 [21]申请号 00806010. X

[30]优先权

[32]1999.2.9 [33]US [31]09/247,065

[86]国际申请 PCT/US00/03201 2000.2.9

[87]国际公布 WO00/47354 英 2000.8.17

[85]进入国家阶段日期 2001.10.8

[71]申请人 克里萨里斯技术公司

地址 美国弗吉尼亚州

[72]发明人 M·R·哈雅利戈尔

V·K·斯卡

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 罗才希

权利要求书 3 页 说明书 20 页 附图页数 3 页

[54]发明名称 通过冷加工和表面退火生产金属产品例如片材的方法

[57]摘要

通过一种或多种冷加工步骤以中间或最终表面退火将金属合金 组合物制造成模压、冲压或辊压产品如片、带、杆、线或条材。该方法可包括冷轧铁、镍或钛铝化物合金以及在炉子内通过红外加热 将该冷加工产品退火。优选通过将该冷加工产品在不到一分钟内快速加热到高温以实施所述表面退火。该表面退火有利于降低所述冷加工产品的表面硬度以允许进一步的冷加工。可通过浇铸所述合金 或通过粉末冶金技术如将金属粉末与粘结剂的混合物进行带浇铸、将该粉末和粘结剂的混合物进行轧辊压制或将所述粉末等离子喷涂 到基材上而制得待冷加工的产品。就带浇铸或轧辊压制而言,可将初始粉末产品加热到足以去除挥发性成分的温度。可采用所述方法 生产一种冷轧片材,并将其制造成当最高可达 10 伏的电压和最高可达 6 安培的电流从其内部经过时能在不到 1 秒钟内加热到 900℃ 的电阻加热元件。

知识产权出版社出版

I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

## 权 利 要 求 书

1. 一种从金属合金组合物制造冷加工产品的方法，包含以下步骤：
- 5 (a) 通过将金属合金组合物冷加工到足以在其上提供表面硬化区域的程度而制得加工硬化的产品；
- (b) 通过将所述加工硬化的产品输送通过炉子以使其在不到一分钟内表面退火而制得经过热处理的产品；及
- 任选(c) 重复步骤(a)和(b)直到获得所需尺寸的冷加工产品。
- 10 2. 权利要求1的方法，其中所述金属合金是铁铝化物合金、镍铝化物合金或钛铝化物合金。
3. 权利要求1的方法，还包括将所述合金的粉末混合物和粘结剂进行带浇铸以生成孔隙度为至少30%的非致密金属片，将所述非致密金属片冷加工成加工硬化的产品。
- 15 4. 权利要求1的方法，还包括将所述合金的粉末混合物和粘结剂进行轧辊压制以生成孔隙度为至少30%的非致密金属片，将所述非致密金属片冷加工成加工硬化的产品。
5. 权利要求1的方法，还包括将所述合金的粉末等离子喷涂在一基材上以生成孔隙度低于10%的非致密金属片，将所述非致密金属片
- 20 冷加工成加工硬化的产品。
6. 权利要求3的方法，还包括将所述非致密金属片在足以从所述非致密金属片去除挥发性成分的温度下进行加热的步骤。
7. 权利要求4的方法，还包括将所述非致密金属片在足以从所述非致密金属片去除挥发性成分的温度下进行加热的步骤。
- 25 8. 权利要求1的方法，其中所述金属合金包含铁铝化物，所述铁铝化物含有4.0到32.0% Al以及 $\leq 1\%$  Cr，其中百分比为重量百分比。
9. 权利要求8的方法，其中所述金属间合金含有钛铝化物。
10. 权利要求1的方法，其中所述表面退火通过将所述加工硬化

的产品进行红外加热实施。

11. 权利要求 1 的方法，还包括将所述冷加工产品制成当电压最高可达 10 伏和最高可达 6 安培的电流从其内部经过时能在不到一秒钟内加热到 900℃ 的电阻加热元件的步骤。

5 12. 权利要求 1 的方法，其中所述冷加工包括冷轧以及所述冷加工产品包括片、带、杆、线或条材，或者将所述冷加工产品模压成型或者冲压成最终或中间形状。

13. 权利要求 1 的方法，其中所述金属合金包括  $\text{Fe}_3\text{Al}$ 、 $\text{Fe}_2\text{Al}_5$ 、 $\text{FeAl}_3$ 、 $\text{FeAl}$ 、 $\text{FeAlC}$ 、 $\text{Fe}_3\text{AlC}$  或其混合物。

10 14. 权利要求 1 的方法，其中所述冷加工包括冷轧以及所述加工硬化的产品包括冷轧片，所述冷轧将所述冷轧片的孔隙度从超过 50% 减少到少于 10%。

15. 权利要求 1 的方法，其中所述表面退火步骤包括在不到 45 秒内将所述加工硬化的产品加热到至少 400℃ 的温度。

15 16. 权利要求 1 的方法，其中所述表面退火在空气气氛中实施。

17. 权利要求 1 的方法，还包括制备所述金属合金的浇铸件以及通过热加工所述浇铸件制备热加工产品，将所述热加工产品冷加工成加工硬化的产品。

20 18. 权利要求 1 的方法，还包括将所述冷加工产品于真空或惰性气氛中，在 1100 到 1300℃ 的温度下进行退火。

19. 权利要求 1 的方法，还包括其后是重结晶退火热处理的最终冷加工步骤。

25 20. 权利要求 1 的方法，其中所述金属合金包含铁铝化物，所述铁铝化物含  $\leq 32\% \text{Al}$ 、 $\leq 2\% \text{Mo}$ 、 $\leq 1\% \text{Zr}$ 、 $\leq 2\% \text{Si}$ 、 $\leq 30\% \text{Ni}$ 、 $\leq 10\% \text{Cr}$ 、 $\leq 0.3\% \text{C}$ 、 $\leq 0.5\% \text{Y}$ 、 $\leq 0.1\% \text{B}$ 、 $\leq 1\% \text{Nb}$ 、 $\leq 3\% \text{W}$  及  $\leq 1\% \text{Ta}$ ，其中百分比为重量百分比。

21. 权利要求 1 的方法，其中所述金属合金包含铁铝化物，所述铁铝化物基本上由 20-32% Al、0.3-0.5% Mo、0.05-0.3% Zr、0.01-0.5%

C、 $< 0.1\% B$ 、 $< 1\%$ 的氧化物颗粒和余量的 Fe 组成，其中百分比为重量百分比。

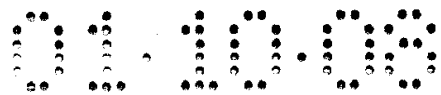
22. 权利要求 1 的方法，其中所述金属合金包含铁铝化物，所述表面退火步骤将所述表面硬化区域的硬度降低至少 10%。

5 23. 权利要求 1 的方法，其中所述冷加工采用具有与所述冷加工产品直接接触的碳化物或非碳化物的轧辊表面的辊实施。

24. 权利要求 1 的方法，其中所述冷加工产品是片材，所述片材在不将所述金属合金进行热加工下生产。

10 25. 权利要求 1 的方法，还包括将所述冷加工产品制造成电阻率为 80 到  $400\mu\Omega\cdot\text{cm}$  的电阻加热元件。

26. 权利要求 1 的方法，其中所述金属合金包括铁基合金、铜或铜基合金、铝或铝基合金、钛或钛基合金、锆或锆基合金、镍或镍基合金。



## 说明书

通过冷加工和表面退火生产金属产品例如片材的方法

### 5 政府权益声明

按照美国能源部和 Lockheed Martin Energy Research Corporation, Inc.之间的第 DE-AC05-840R21400 号协议, 美国政府享有本发明之权利。

### 10 本发明领域

本发明主要涉及生产金属产品如片、带、杆、线或条材, 特别是生产难于加工的金属间合金如铁、镍和钛的铝化物。

### 本发明背景

15 美国专利号 5,320,802、5,158,744、5,024,109 和 4,961,903 公开了具有体心立方有序晶体结构的  $Fe_3Al$  金属间铁铝化物。美国专利号 5,238,645 公开了一种具有无序体心晶体结构的铁铝化物合金, 其中该合金, 用重量百分比表示, 含有 8-9.5 Al、 $\leq 7$  Cr、 $\leq 4$  Mo、 $\leq 0.05$  C、 $\leq 0.5$  Zr 和  $\leq 0.1$  Y、优选含有 4.5-5.5 Cr、1.8-2.2 Mo、0.02-0.032 C 和 0.15-0.25 Zr。

20 美国专利号 3,026,197 和加拿大专利号 648,140 公开了含有 3-18% 重量 Al、0.05-0.5% 重量 Zr、0.01-0.1% 重量 B 及任选量 Cr、Ti 和 Mo 的铁基合金。美国专利号 3,676,109 公开了一种含有 3-10% 重量 Al、4-8% 重量 Cr、大约 0.5% 重量 Cu、少于 0.05% 重量 C、0.5-2% 重量 Ti 和任选量 Mn 和 B 的铁基合金。

25 美国专利号 1,550,508、1,990,650 和 2,768,915 以及加拿大专利号 648,141 公开了含有用作电阻加热元件的含铁基铝的合金。'508 号专利公开的合金含有 20% 重量 Al、10% 重量 Mn; 12-15% 重量 Al、6-8%

重量 Mn; 或 12-16%重量 Al、2-10%重量 Cr。'508 号专利公开的所有具体例子都含有至少 6%重量 Cr 和至少 10%重量 Al。'650 号专利公开的合金含有 16-20%重量 Al、5-10%重量 Cr、 $\leq 0.05\%$ 重量 C、 $\leq 0.25\%$ 重量 Si、0.1-0.5%重量 Ti、 $\leq 1.5\%$ 重量 Mo 和 0.4-1.5%重量 Mn, 且其唯一具体例子含有 17.5%重量 Al、8.5%重量 Cr、0.44%重量 Mn、0.36%重量 Ti、0.02%重量 C 和 0.13%重量 Si。'915 号专利公开的合金包含 10-18%重量 Al、1-5%重量 Mo、Ti、Ta、V、Cb、Cr、Ni、B 和 W, 且其唯一具体例子含有 16%重量 Al 和 3%重量 Mo。该加拿大专利所公开的合金含有 6-11%重量 Al、3-10%重量 Cr、 $\leq 4\%$ 重量 Mn、 $\leq 1\%$ 重量 Si、 $\leq 0.4\%$ 重量 Ti、 $\leq 0.5\%$ 重量 C、0.2-0.5%重量 Zr 和 0.05-0.1%重量 B, 且其唯一具体例子含有至少 5%重量 Cr。

美国专利号 5,249,586 和美国专利申请号 07/973,504、08/118,665、08/105,346 和 08/224,848 公开了多种材料的电阻加热器。

美国专利号 4,334,923 公开了一种用于催化转化器的可冷轧的抗氧化的铁基合金, 它含有  $\leq 0.05\%C$ 、0.1-2%Si、2-8%Al、0.02-1%Y、 $<0.009\%P$ 、 $<0.006\%S$  和  $<0.009\%O$ 。

美国专利号 4,684,505 公开了一种耐热铁基合金, 它含有 10-22%Al、2-12%Ti、2-12%Mo、0.1-1.2%Hf、 $\leq 1.5\%Si$ 、 $\leq 0.3\%C$ 、 $\leq 0.2\%B$ 、 $\leq 1.0\%Ta$ 、 $\leq 0.5\%W$ 、 $\leq 0.5\%V$ 、 $\leq 0.5\%Mn$ 、 $\leq 0.3\%Co$ 、 $\leq 0.3\%Nb$  和  $\leq 0.2\%La$ 。

日本公开专利申请号 53-119721 公开了一种加工性能良好的耐磨损、高磁导率的合金, 它含有 1.5-17%Al、0.2-15%Cr 以及总量为 0.01-8%而任选加入的  $<4\%Si$ 、 $<8\%Mo$ 、 $<8\%W$ 、 $<8\%Ti$ 、 $<8\%Ge$ 、 $<8\%Cu$ 、 $<8\%V$ 、 $<8\%Mn$ 、 $<8\%Nb$ 、 $<8\%Ta$ 、 $<8\%Ni$ 、 $<8\%Co$ 、 $<3\%Sn$ 、 $<3\%Sb$ 、 $<3\%Be$ 、 $<3\%Hf$ 、 $<3\%Zr$ 、 $<0.5\%Pb$  和  $<3\%$ 稀土金属。

J.R.Knibloe 等在 *Advances in Powder Metallurgy* 第 2 卷中一篇题为 "P/M Fe<sub>3</sub>Al 合金的微观结构和机械性能" 的 1990 年公告第 219-231 页中, 公开了一种通过使用惰性气体雾化器制备含 2%和 5%Cr 的

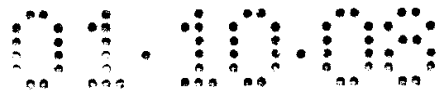
Fe<sub>3</sub>Al 的粉末冶金方法。为生产片材，将该粉末装入低碳钢罐中，抽真空并在 1000℃ 热挤压到面积减小系数为 9:1。将合金挤压物从钢罐中移出后，在 1000℃ 热锻到 0.340 英寸厚、在 800℃ 轧辊成大约 0.10 英寸厚并最终在 650℃ 轧辊成 0.030 英寸的片材。

- 5 V.K.Sikka 在 *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 第 213 卷一篇题为 “Fe<sub>3</sub>Al 基铁-铝化物合金的粉末加工” 的 1991 年公告第 901-906 页中，公开了一种将含 2% 和 5%Cr 的 Fe<sub>3</sub>Al 基铁-铝化物粉末制造成片材的方法。为生产片材，将该粉末装入低碳钢罐中，并在 1000℃ 高温挤压到面积减小系数为 9:1。将钢罐移去并将该条材在 1000℃ 锻造 50%、在 850
- 10 ℃ 轧辊 50% 并最终在 650℃ 轧辊 50% 成为 0.76mm 片材。

- V.K.Sikka 等在 1990 年宾夕法尼亚州匹兹堡举行的 *Powder Metallurgy Conference Exhibition* 上提交的题为 “Fe<sub>3</sub>Al 的粉末生产、加工和性能” 的论文中，公开了一种通过在保护气氛下将组分金属熔化、使金属经过计量喷嘴并通过雾化氮气碰撞熔体流而粉碎熔体以制备 Fe<sub>3</sub>Al 粉末的方法。通过用该粉末填充一个 76mm 低碳钢罐、
- 15 将该罐抽真空、在 1000℃ 加热一个半小时并将该罐经一个 25mm 模头挤出而达到 9:1 的减小系数以生产挤出条。将该罐移去、在 1000℃ 锻造 50%、在 850℃ 轧辊 50% 并最终在 650℃ 轧辊 50% 而生产 0.76mm 厚的片材。

- 20 美国专利号 4,391,634 和 5,032,190 公开了氧化物分散体增强的铁基合金粉末。'634 号专利公开了含有 10-40%Cr、1-10%Al 和 ≤ 10% 氧化物弥散相的无 Ti 合金。'190 号专利公开了从含 75%Fe、20%Cr、4.5%Al、0.5%Ti 和 0.5%Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的 MA 956 合金生产片材的方法。

- A.LeFort 等在于 1991 年 6 月 17-20 日在日本仙台举办的 *the Proceedings of International Symposium on Intermetallic Compounds-Structure and Mechanical Properties(JIMIS-6)* 上提交的题为 “金属间合金 FeAl<sub>40</sub> 的机械行为” 的公告第 579-583 页中，公开了添加有硼、锆、铬和铈的 FeAl 合金(25%重量 Al)的多种性能。通过真空浇铸并在 1100
- 25



℃下挤压或通过 $1000^{\circ}\text{C}$ 和 $1100^{\circ}\text{C}$ 压缩而制得该合金。

5 D.Pocci 等在于 1994 年 2 月 27 日-3 月 3 日在加州旧金山举办的 *the Minerals, Metals and Materials Society Conference(1994 TMS Conference)* 上提交的题为“金属间合金 CSM FeAl 的生产和性能”的公告第 19-30 页中，公开了通过不同技术如浇铸和挤出、粉末气雾化和挤出、粉末机械合金化和挤出而加工的金属间化合物  $\text{Fe}_{40}\text{Al}$  的多种性能，并公开了使用机械合金化以采用精细氧化物分散体增强该材料。该文指出 FeAl 合金生产后具有 B2 有序晶体结构、23-25%重量(约 40%原子)的 Al 成分并有 Zr、Cr、Ce、C、B 和  $\text{Y}_2\text{O}_3$  等合金化  
10 添加物。

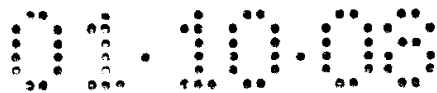
J.H.Schneibel 在 1994 *TMS Conference* 上提交的题为“铁铝化物的精选性能”的公告第 329-341 页中公开了铁铝化物的性能。该文报道了不同 FeAl 组合物的性能如熔化温度、电阻、导热系数、热膨胀以及机械性能。

15 J.Baker 在 1994 *TMS Conference* 上提交的题为“FeAl 的流动和破裂”的公告第 101-115 页中公开了 B2 化合物 FeAl 的流动和破裂的综述。该文指出前期加热处理会强烈影响 FeAl 的机械性能，且升高退火温度后较快的冷却速率提供较高的室温屈服强度和硬度但由于多余的空位而提供较低的延展性。

20 D.J.Alexander 在 1994 *TMS Conference* 上提交的题为“FeAl 合金 FA-350 的冲击行为”的公告第 193-202 页中公开了铁铝化物合金 FA-350 的冲击和拉伸性能。该 FA-350 合金，用原子百分数表示，含有 35.8%Al、0.2%Mo、0.05%Zr 和 0.13%C。

25 C.H.Kong 在 1994 *TMS Conference* 上提交的题为“三元添加物对 FeAl 的空位硬化和缺陷结构的影响”的公告第 231-239 页中公开了三元合金添加剂对 FeAl 合金的影响。该文讨论了不同的三元合金添加剂如 Cu、Ni、Co、Mn、Cr、V 和 Ti 及高退火温度以及其后的低温空位释放(vacancy-relieving)热处理的影响。





D.J.Gaydosch 等在 1989 年 9 月 *Met. Trans A* 第 20A 卷第 1701-1714 页中题为“添加有 C、Zr、Hf 和 B 的 Fe-40 At.Pct. Al 合金的微观结构和拉伸性能”的公告中，公开了气雾化粉末的高温挤出，其中该粉末要么含有用作预合金化添加物的 C、Zr 和 Hf，要么在预先制备的铁铝化物粉末中加入了 B。

C.G.McKamey 等在 1991 年 8 月 *J. of Mater. Res.* 第 6 卷第 8 期第 1779-1805 页题为“Fe<sub>3</sub>Al 基合金最新发展的评述”的公告中公开了通过惰性气体雾化获得铁铝化物粉末的技术和通过将合金粉末混合以生产所需合金组合物并通过高温挤压而固结以制备 Fe<sub>3</sub>Al 基三元合金粉末的技术，亦即通过氮气或氩气雾化以制备 Fe<sub>3</sub>Al 基粉末并通过在 1000℃ 挤压到面积减小系数为 9:1 以固结到真密度。

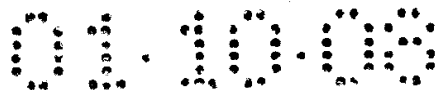
美国专利号 4,917,858、5,269,830 和 5,455,001 公开了通过(1)将混合粉末轧辊成生箔、烧结并将该箔模压到真密度、(2)将 Fe 和 Al 粉末进行反应烧结以形成铁铝化物而制备金属间组合物的粉末冶金技术，或者通过无电镀膜法、将粉末装入管中、将装好的粉末热处理、冷轧装入管内的粉末并热处理冷轧好的粉末以制备 Ni-B-Al 和 Ni-B-Ni 复合粉末而获得金属间化合物。美国专利号 5,484,568 公开了通过微热合成以制备加热元件的粉末冶金技术，其中燃烧波将反应物转化为所需产品。美国专利号 5,489,411 公开了通过等离子喷涂可卷曲带材、将该带材热处理以释放残余应力、将两块上述带材的粗糙面放置在一起并在压力联结辊之间挤压、随后通过溶液退火、冷轧和中间退火而制备钛铝化物箔的粉末冶金技术。

美国专利号 3,144,330 公开了通过将元素粉末、预合金化粉末或其混合物热轧和冷轧成带而生产电阻铁铝合金的粉末冶金技术。美国专利号 2,889,224 公开了通过冷轧并将所述粉末退火而从羰基镍粉末或羰基铁粉末制备片材的技术。

钛合金是很多专利和公告的主题，它们包括美国专利号 4,842,819、4,917,858、5,232,661、5,348,702、5,350,466、5,370,839、

5,429,796、5,503,794、5,634,992 和 5,746,846、日本专利公告号 63-171862、1-259139 和 1-42539; 欧洲专利公告号 365174 以及 V.R.Ryabov 等刊登于 1969 年 *Metal Metalloved* 第 27 卷第 4 期第 668-673 页题为“金属间化合物铁-铝体系的性能”的论文; S.M.Barinov 等刊登于 1984 年 *Izvestiya Akademii Nauk SSSR Metally* 第 3 期第 164-168 页题为“钛铝化物的变形和破坏”的论文; W.Wunderlick 等刊登于 1990 年 11 月 *Z. Metallkunde* 第 802-808 页题为“含 Cr 和 Si 的 Ti-Al 基合金的形变孪晶的增强塑性”的论文; T.Tsujimoto 刊登于 1985 年 7 月 *Titanium and Zirconium* 第 33 卷第 3 期共 19 页, 题为“TiAl 金属间化合物合金的研究、发展和前景”的论文; N.Maeda 刊登于 1990 年 1 月 30 日 *Material of 53<sup>rd</sup> Meeting of Superplasticity* 共 13 页题为“金属间化合物 TiAl 的高温塑性”的论文; N.Maeda 等刊登于 1989 年 *Autumn Symposium of the Japan Institute of Metals* 共 14 页题为“经颗粒高度精炼改进金属间化合物的延展性”的论文; S.Noda 等刊登于 1988 年 *Autumn Symposium of the Japan Institute of Metals* 共 3 页题为“TiAl 金属间化合物的机械性能”的论文; H.A.Lipsitt 刊登于 1985 年 *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 第 39 卷第 351-364 页题为“钛铝化物-概论”的论文; P.L.Martin 等刊登于 1980 年 *ASM in Titanium80*, 第 2 卷第 1245-1254 页题为“合金化对  $Ti_3Al$  和 TiAl 的微观结构和性能的影响”的论文; S.H.Whang 等刊登于 1986 年 *ASM Symposium Proceedings on Enhanced Properties in Structural Metals Via Rapid Solidification, Materials Week* 共 7 页题为“在  $L1_0$  TiAl 化合物合金内快速固化的影响”的论文; 以及 D.Vujic 等刊登于 1988 年 10 月 *Metallurgical Transactions A* 第 19A 卷第 2445-2455 页题为“快速固化和合金化添加物对  $L1_0$  TiAl 合金及其三元合金内点阵畸变和原子排序的影响”的论文。

如以上提及的许多专利和公告公开了将 TiAl 铝化物进行加工以获得所需性能的种种方法。另外, 美国专利号 5,489,411 公开了通过等离子喷涂可卷曲带材、将该带材热处理以释放残余应力、将两块



上述带材的粗糙面放置在一起并在压力联结辊之间挤压、随后通过溶液退火、冷轧和中间退火而制备钛铝化物箔的粉末冶金技术。美国专利号 4,917,858 公开了用元素钛、铝和其它合金化元素生产钛铝化物箔的粉末冶金技术。美国专利号 5,634,992 公开了加工一种  $\gamma$  钛铝化物的方法，即通过将浇铸件固结并在共析体之上将该固结浇铸件热处理以形成  $\gamma$  颗粒与  $\alpha$  相和  $\gamma$  相的片状聚集组织、在上述共析体之下加热处理以在聚集组织结构内部生成  $\gamma$  颗粒并在  $\alpha$  转变温度下热处理以在  $\gamma$  颗粒内部将任何剩余的聚集组织结构改良成具有  $\alpha_2$  框条的结构。

10 基于前面所述，本领域需要一种经济的技术以制备能承受加工硬化的金属产品如铁、镍和钛的铝化物。最好是能采用经济的技术制备铝化物组合物以生产铝化物产品。

### 本发明概述

15 本发明提供了一种从金属合金组合物制造冷加工产品的方法，包含的步骤有(a) 通过将金属合金组合物冷加工到足以在其上提供表面硬化区域的程度而制得加工硬化的产品；(b) 通过将该加工硬化的产品输送通过炉子以使其在不到一分钟内表面退火制得一种经过热处理的产品；及任选(c) 重复步骤(a)和(b)直到获得所需尺寸的冷加工产品。该金属合金可包含铁基合金如钢、铜或铜基合金、铝或铝基合金、钛或钛基合金、锆或锆基合金、镍或镍基合金或金属间合金组合物。该金属合金优选是铁铝化物合金、镍铝化物合金或钛铝化物合金。优选通过红外加热实施该表面退火，且所述冷加工优选包含将该合金冷轧成片、带、杆、线或条材。或者，所述冷加工可包含将所述金属合金冷冲压或冷模压成成型产品。

20

25

本发明方法可包括在步骤(a)之前浇铸该合金并对该浇铸件进行热加工。或者，可通过粉末冶金技术如带浇铸(tape casting)或轧辊压制来制备该合金。例如，可通过将该合金的粉末混合物和粘结剂进

行带浇铸制得所述合金以形成孔隙度至少为 30%的非致密金属片、  
 将该带浇铸件加热以赶走挥发性成分并将该非致密金属片加工成加  
 工硬化的产品。就轧辊压制而言，将该合金的粉末混合物和粘结剂  
 轧辊成孔隙度至少 30%的非致密金属片，将该轧辊片加热以赶走挥  
 发性成分，并将上述非致密金属片冷加工成加工硬化的产品。另外，  
 5 本发明方法可包括将该合金的粉末等离子喷涂到基材上以形成孔隙  
 度少于 10%的非致密金属片并将该非致密金属片材冷加工成加工硬  
 化的产品。

10 根据一种优选实施方案，可将上述冷加工产品制造成当电压最  
 高可达 10 伏且最高可达 6 安培的电流从其内部经过时能在不到 1 秒  
 钟内加热到 900℃的电阻加热元件。该电阻加热元件可用于各种加热  
 应用如香烟点火设备的加热装置器的一部分。优选该电阻加热元件  
 具有 80 到 400，优选 140 到 200 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$  的电阻。

15 金属间合金可包括  $\text{Fe}_3\text{Al}$ 、 $\text{Fe}_2\text{Al}_3$ 、 $\text{FeAl}_3$ 、 $\text{FeAl}$ 、 $\text{FeAlC}$ 、 $\text{Fe}_3\text{AlC}$   
 或其混合物。上述金属间合金可包含一种铁铝化物，用重量百分比  
 表示，含  $\leq 32\%\text{Al}$ 、 $\leq 2\%\text{Mo}$ 、 $\leq 1\%\text{Zr}$ 、 $\leq 2\%\text{Si}$ 、 $\leq 30\%\text{Ni}$ 、 $\leq 10\%\text{Cr}$ 、  
 $\leq 0.3\%\text{C}$ 、 $\leq 0.5\%\text{Y}$ 、 $\leq 0.1\%\text{B}$ 、 $\leq 1\%\text{Nb}$ 、 $\leq 3\%\text{W}$  和  $\leq 1\%\text{Ta}$ 。例如，  
 该合金，用重量百分比表示，可含有 20-32%Al、0.3-0.5%Mo、0.05-  
 0.3%Zr、0.01-0.5%C、 $\leq 0.1\%\text{B}$ 、 $\leq 1\%$ 氧化物微粒，剩余部分为 Fe。  
 20 一种优选的铁铝化物合金，用重量百分比表示，含有 20-32%Al、  
 0.3-0.5%Mo、0.05-0.3%Zr、 $\leq 0.01-0.5\%\text{C}$ 、 $\leq 1\%\text{Al}_2\text{O}_3$  微粒、 $\leq 1\%\text{Y}_2\text{O}_3$   
 微粒，剩余部分为 Fe。

附图的简要说明:

25 图 1 表示用辊式矫直机矫直的 FeAl 带的硬度曲线;  
 图 2a 表示加热对 8 密耳 FeAl 片的硬度的影响;  
 图 2b 表示加热时间对在 400℃下加热的 8 密耳 FeAl 片的硬度的  
 影响;

图 2c 表示加热时间对在 500℃ 下加热的 8 密耳 FeAl 片的硬度的影响;

图 3 表示加热时间对从红外加热炉经过的 8 密耳 FeAl 片的不同位置的温度的影响; 和

5 图 4 表示对带浇铸的 FeAl 片的轧辊方法的比较。

#### 优选实施方案的详细描述

本发明提供了一种从可在其冷加工过程中承受加工硬化的金属材料生产冷加工产品的新的和经济的方法。本发明的方法特别有益于生产诸如铁基合金如钢、铜或铜基合金、铝或铝基合金、钛或钛基合金、锆或锆基合金、镍或镍基合金等轧辊、冲压或模压成型的金属合金，或金属间合金组合物如铝化物材料。可通过直接或间接提供待加工成所需形状的形式的材料的任何技术制得所述金属材料。例如，可通过浇铸、粉末冶金或等离子喷涂技术制得上述材料。就浇铸而言，可将合适的合金熔融、浇铸成一定形状，并加工成最终或中间形状。就粉末冶金而言，可将元素粉末进行反应合成以形成所需的合金组合物或者可将合适的合金组合物雾化以形成预合金化粉末，随后在任何情况下都可将粉末烧结并加工成最终或中间形状。就等离子喷涂而言，可将合适的合金组合物熔化并喷涂到基材上以形成中间形状。根据本发明，可以以允许减少加工步骤的数量如轧制道次的方式将中间形状制成最终尺寸形状。

通常，难于加工的金属组合物例如铝化物，特别是细带形，在成形过程中有加工硬化的趋势。在本发明的方法的开发过程中，我们发现加工硬化首先在某一表面薄层引起并在承受冷加工如厚度减小的过程中逐渐在材料的整个厚度累积。根据本发明，将最初的薄的加工硬化层热处理而降低表面层的硬度。根据本发明，特别有益的热处理是表面退火处理，其中将该带材的表面快速加热到足以消除在该表面层中所积累的应力的温度。可通过任何合适的技术如运

用红外线、激光、感应等加热装置来实施上述表面退火处理。就制备片材材料而言特别优选的加热技术是配备了红外加热灯的炉子，所述红外加热灯经过安排以便当带材从炉子经过时能对其表面进行加热。表面退火在降低表面硬度方面的效率可通过以下关于制备铁铝化物带的示例性方法得到解释。

图 1 表示用辊式矫直机矫直的 FeAl 带在带的消除应力退火之前和之后的硬度曲线。记号◆代表消除应力退火之前，该带有一表面硬化区域，该区域表面的维卡硬度明显比其中心高。而记号■表示根据本发明通过表面退火而进行消除应力退火之后该带各厚度处硬度非常均匀。

图 2a 表示加热时间和温度对 8 密耳 FeAl 冲压片的显微硬度的影响。记号·代表加热 2 秒钟后，硬度在大约 400℃降低到最低。类似地，记号○代表加热 5 秒钟后，硬度在大约 400℃到 500℃降低到最低。记号■代表加热 10 秒钟后，硬度在大约 500℃降低到最低。记号□代表加热 20 秒钟后，硬度在大约 500℃降低到最低。记号▲代表加热 30 秒钟后，硬度在大约 500℃降低到最低。因此在大约 400℃到 500℃表面退火 2 到 30 秒足以降低某一冷轧 FeAl 带材的表层的硬度。

图 2b 表示加热时间对在 400℃加热的 8 密耳 FeAl 片的显微硬度的影响。该图表示，在加热大约 10 秒后，硬度降低到加热时间更长时也基本保持恒定的水平。

图 2c 表示加热时间对在 500℃加热的 8 密耳 FeAl 片的显微硬度的影响。该图表示，在加热大约 10 秒后，可最大程度地降低硬度，且延长加热时间也不再使该带材的硬度降低。

图 3 表示加热时间对从红外加热炉经过的 8 密耳 FeAl 片上不同部位的温度的影响。在此图中，记号●代表该带材顶部中央，记号○代表该带材顶部边缘而记号■代表该带材底部中央。该红外炉包括一盏以 37%功率操作的红外灯，且该带材以 2 英尺/分钟的速率从



炉子经过。大约 35 秒后，该带材温度达到大约 400℃。当该带材经过炉子时，其前述三个部位在起始 35 秒内开始就加热到基本相同的温度。然后当该带材的温度下降时，其顶部中央和底部中央的温度保持接近且其顶部边缘温度比中央部位约低 50℃。

5 图 4 显示对 26 密耳带浇铸 FeAl 片的轧辊方法的对比，其中记号●代表包含 40 道冷轧道次的对比方法，记号■代表本发明的方法。对比方法需两次中间真空退火(在 1150℃ 下 1 小时和在 1260℃ 下 1 小时)和一次最后退火(1100℃ 下 1 小时)，而根据本发明的方法只需要一次中间真空退火(在 1260℃ 下 1 小时)和一次最后真空退火(1100℃  
10 下 1 小时)。然而，虽然对比方法需要 40 道冷轧道次以获得 8 密耳带，根据本发明方法，其中每次轧辊步骤之后都进行表面退火，只需要 17-18 轧制道次以获得 8 密耳的带。因而，由于按照本发明方法生产所需厚度的带材可减少所需的冷轧步骤的数量，所以本发明方法可显著提高生产效率。

15 将铁铝化物冷轧成细带时，在真空中进行中间退火步骤有利于最大限度减少该带材的氧化。采用这些保护性气氛需要使用昂贵的熔炉装备且会减慢制造过程。根据本发明，有可能通过减少制造步骤的数量而可以提高片材的生产效率并且通过避免在表面退火步骤中需求保护性气氛而降低成本。

20 根据本发明的方法可用于制造各种含有至少 4% 重量的铝的铁铝化物合金，且依照不同 Al 含量而具有各种结构，例如有 DO<sub>3</sub> 结构的 Fe<sub>3</sub>Al 相或有 B<sub>2</sub> 结构的 FeAl 相。所述合金优选为非奥氏体微观结构的铁素体，且可含有一种或更多种选自钼、钛、碳、稀土金属(如钆或铈)、硼、铬、氧化物(如 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 或 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)的合金元素，以及可同碳  
25 一起使用以在该固相溶液基体内生成碳化物相的生成碳化物的元素(如锆、铌和/或钽)，其目的是控制颗粒尺寸和/或沉淀增强。

FeAl 相合金中的铝浓度变化范围可为 14% 到 32% 重量(标称重量)，且在锻造或粉末冶金加工时可将该 Fe-Al 合金进行加工以将其

室温延展性精选地控制在一合适的水平，方法是通过在合适的气氛中并在大于约 700℃(如 700-1100℃) 的精选温度下将该合金退火，然后在保持收率、极限拉伸强度、抗氧化性能和抗水腐蚀性能的同时将该合金用炉子冷却、空气冷却或用油骤冷。

5 在生产 Fe-Al 合金时所用的合金化成分的浓度在此用标称重量百分比表示。然而，在这些合金中铝的标称重量基本上至少约相当于该合金中铝的实际重量的 97%。例如，标称重量 18.46%提供的铝的实际重量可能是 18.27%，即标称浓度的大约 99%。

10 可将 Fe-Al 合金进行加工或与一种或多种挑选的合金化元素合金化以提高各种性能，诸如强度、室温延展性、抗氧化性、抗水腐蚀性、抗点腐蚀性、抗热疲劳性、电阻、抗高温流挂性或蠕变性以及抗重量增加性。

15 可将含铝铁基合金制造成电阻加热元件。然而，此处公开的合金组合物可用于其它目的如热喷涂施工，其中该合金可用作具有抗氧化性和抗腐蚀性的涂料。另外，也可将该合金用作抗氧化和抗腐蚀的电极、炉子组件、化学反应器、抗硫化材料、用于化学工业的抗腐蚀材料、用于输送煤浆或煤焦油的管道、用于催化转化器的基材、用于汽车发动机的排气管、多孔过滤器等。

20 根据本发明的一个方面，可根据公式： $R = \rho (L/W \times T)$ 而改变所述合金的几何形状以优化加热器的电阻，其中 R=加热器的电阻、 $\rho$ =加热器材料的电阻率、L=加热器的长度、W=加热器宽度和 T=加热器的厚度。可通过调整该合金的铝含量、该合金的加工方法或在该合金中加入合金添加剂而改变加热器材料的电阻率。

25 加热器材料可用多种方法制造。例如，可通过浇铸或粉末冶金法来制造加热器材料。在粉末冶金方法中，可从预合金粉末通过机械合金化该合金成分或者通过在将铁粉和铝粉的混合物成形为诸如冷轧粉末的片材的制品之后将铁粉和铝粉进行反应而制得该合金。可通过传统的粉末冶金技术如装罐和挤压、滑移浇铸、离心浇铸、



热压和热等静压制得机械合金化粉末。另一技术是使用 Fe、Al 和任选的合金元素的纯的元素粉末。如有要求，可在该粉末混合物中加入电绝缘和/或导电微粒以改造该加热器材料的物理性能和抗高温蠕变性。

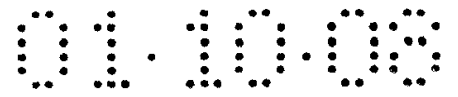
- 5            加热器材料可由粒度不同的粉末的混合物制造，但优选粉末混合物含有尺寸小于 100 目的微粒。所述粉末可通过气体雾化制造，在此情况下该粉末可具有球状形态。或者，所述粉末可通过水或聚合物雾化来制造，在此情况下该粉末可具有不规则形态。聚合物雾化的粉末比水雾化的粉末具有较高的碳含量和较低的表面氧化物。
- 10          水雾化生产的粉末在该粉末微粒上可含有氧化铝涂膜，而且在将该粉末进行热机械加工以生产诸如片、棒等形状的过程中这些氧化铝能破碎并掺入到加热器材料中。另外，依赖于其尺寸、分布和数量的氧化铝微粒可有效地提高铁铝合金的电阻率。而且，可将氧化铝微粒在减少或不减少延展性的情况下用于提高强度和抗蠕变性。
- 15          为了提高所述合金的性能如导热性和/或电阻率，可将导电的金属元素和/或导电微粒和/或电绝缘金属化合物掺入到该合金中。这些元素和/或金属化合物包括选自元素周期表中 IVb 族、Vb 族、VIb 族元素的氧化物、氮化物、硅化物、硼化物和碳化物。所述碳化物包括 Zr、Ta、Ti、Si、B 等的碳化物，所述硼化物可包括 Zr、Ta、Ti、
- 20          Mo 等的硼化物，所述硅化物可包括 Mg、Ca、Ti、V、Cr、Mn、Zr、Nb、Mo、Ta、W 等的硅化物，所述氮化物可包括 Al、Si、Ti、Zr 等的氮化物，所述氧化物可包括 Y、Al、Si、Ti、Zr 等的氧化物。在 FeAl 合金经氧化物分散体增强的情况下，可将该氧化物加入所述粉末混合物中或该氧化物可通过在熔融金属浴中加入纯金属如 Y，从
- 25          而在将该熔融金属雾化成粉末的过程中和/或通过后续处理该粉末使它在该熔融金属浴中氧化而就地生成。例如，为达到提供在最高可达 1200℃ 下的良好的抗高温蠕变性以及优良的抗氧化性的目的，加热器材料可包含导电材料颗粒、如过渡金属(Zr、Ti、Hf)的氮化物、

过渡金属的碳化物、过渡金属的硼化物以及  $\text{MoSi}_2$ 。为达到使加热器材料在高温下具有抗蠕变性并提高热导率和/或减少该加热器材料的热膨胀系数的目的，加热器材料还可掺有电绝缘材料的颗粒如  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{ZrO}_2$ 。

5           在通过浇铸制造铁铝化物合金时，如有必要，可将浇铸件切割成适当的尺寸，随后通过在大约 900 到 1100℃ 的温度范围内锻造或热加工、在大约 750 到 1100℃ 的温度范围内热轧、在大约 600 到 700℃ 的温度范围内温轧和/或在室温冷轧减少厚度。每次通过冷轧辊时都可将厚度减少 20 到 30%，接着在 400-500℃ 进行表面退火。可在  
10           大约 700 到大约 1050℃ 的温度范围内(如大约 800℃)将该冷轧产品于空气、惰性气体或真空中进行热处理达 1 小时。例如，可将该合金切割成每件 0.5 英寸厚，在 1000℃ 锻造以将该合金样品厚度减少到 0.25 英寸(减少 50%)，接着在 800℃ 下热轧进一步将该合金样品厚度减少到 0.1 英寸(减少 60%)，接着在 650℃ 下温轧以提供最终厚度为  
15           0.030 英寸(减少 70%)的片材。然后可根据本发明将该 0.030 英寸的片材冷轧和表面退火。

          根据本发明，可通过固结预合金化粉末、冷加工并将该冷轧片热处理而将金属间合金组合物制造成片材。例如，可将预合金化粉末固结成可冷加工(即加工中不采用外热)到所需最终厚度的片材。

20           根据该实施方案，通过粉末冶金技术制造含有金属间合金组合物的片材，该技术中通过将含有金属间合金组合物的预合金粉末固结而制得非致密金属片、通过将该非致密金属片冷轧以压实并降低其厚度而制得冷轧片、并将该冷轧片进行热处理以烧结、退火、消除压力和/或将其脱气。可通过多种方法如轧辊压制、带浇铸或等离子喷涂以实现该固结步骤。在固结步骤中，可将片或带形的窄片加工成任何合适的厚度，如小于 0.1 英寸。然后经至少一步热处理步骤  
25           如烧结、退火或消除压力热处理而将该带冷轧一次或多次轧制道次到最终所需的厚度。根据本发明，至少一步退火步骤包含表面退火



热处理。本方法为制造金属间合金材料如延展性不佳且在室温下加工硬化趋势高的铁铝化物提供了一种简单而经济的制造技术。

5 在轧辊压制方法中，预合金化粉末按以下所述进行加工。优选将纯元素和微量合金进行水雾化或聚合物雾化以制得预合金化的形状不规则的金属间组合物，如铝化物(如铁铝化物、镍铝化物或钛铝化物)，或者其它金属间组合物。由于水雾化粉末的形状不规则的表面比气雾化获得的球状粉末提供了更好的机械联锁，对后续轧辊压制而言，水或聚合物雾化粉末要优于气雾化粉末。由于聚合物雾化粉末在该粉末上面提供更少的表面氧化物，聚合物雾化粉末优于水雾化粉末。

10 将所述预合金化粉末筛分成所需粒度范围、与有机粘结剂掺混、与任选的溶剂混合并一起掺合以制得混杂粉末。就铁铝化物粉末而言，优选筛分步骤提供了粒度范围在-100到+325目即相当于粒度为43到150 $\mu\text{m}$ 的粉末。为了提高该粉末的流动性，少于5%、优选3-5%的该粉末的粒度要小于43 $\mu\text{m}$ 。

15 生带通过轧辊压制制造，其中前述混杂粉末从漏斗经过一条狭槽进料到两个压制辊之间的空间。在一种优选实施方案中，轧辊压制生产出厚度大约0.026英寸的铁铝化物的生带，且可将该生带切割成具有例如36英寸乘4英寸尺寸的带材。将该生带经受热处理步骤以除去挥发性成分如粘结剂和任何有机溶剂。粘结剂的完全燃烧可在常压或减压炉内以连续或分批的方式实施。例如，可将一批铁铝化物带在温度适宜如700-900 $^{\circ}\text{F}$  (371-482 $^{\circ}\text{C}$ )的炉子内放置一段合适的时间(如6-8小时)，再放置在更高的温度如950 $^{\circ}\text{F}$  (510 $^{\circ}\text{C}$ )。在该步骤中，炉子可为1个大气压下并用氮气流过整个炉内以除去大部分

20 粘结剂，例如至少去除99%的粘结剂。粘结剂去除步骤的结果是产生很脆的生带，然后将它们在真空炉内初次烧结。

25 在初次烧结步骤中，优选将多孔而脆的去除了粘结剂的带在适于影响部分烧结的条件下加热，可以也可不将粉末压实。可以用连

续或分批的方式在减压炉内实施该烧结步骤。例如，可将一批去除了粘结剂的铁铝化物带材在温度适宜如 2300°F (1260°C) 的真空炉内加热一段合适的时间(如 1 小时)。可将该真空炉维持在任何合适的真空压力如  $10^{-4}$  到  $10^{-5}$  托。为防止烧结过程中铝从带材内损失，应优选将  
5 烧结温度维持在足够低以避免铝汽化但又能充分提供冶金粘合以允许后续轧辊。另外，优选真空烧结避免非致密带材氧化。然而，可使用有合适露点如 -50°F 或者更低的保护性气体如氢、氩和/或氮气来代替真空。

在下一步骤中，优选将预烧结带在空气中冷轧到最终或中间厚度。在本步骤中，生带的孔隙度会显著降低，例如孔隙度从大约 50%  
10 降到少于 10%。由于金属间合金的硬度，最好使用 4-高轧机(4-high rolling mill)，其中与金属间合金带接触的辊优选具有碳化物辊压表面。然而，可采用任何合适的辊结构如不锈钢辊。另外，根据本发明通过使用表面退火，对冷轧而言没必要使用碳化物辊。如果使用  
15 钢辊，最好限制减少的数量以免由于金属间合金加工硬化的结果而导致被轧辊材料的变形。优选实施冷轧步骤而将带材厚度减少至少 30%，优选至少大约 50%。例如，可将 0.026 英寸厚的预烧结铁铝化物带在一次冷轧步骤中用单条或多条轧制道次冷轧到 0.013 英寸厚。

每一次冷轧步骤后，要对冷轧带进行热处理以将其退火。该退火可包含在真空炉内用分批的方式或者在有类似  $H_2$ 、 $N_2$  和/或 Ar 气体的炉内用连续的方式和在适合的温度下进行初次退火，以消除压力和/或进一步影响该粉末的致密化。就铁铝化物而言，可于真空炉内任何适合的温度下例如 1652-2372°F (900-1300°C)、优选 1742-  
20 2102°F (950-1150°C) 初次退火一个或几个小时。例如，可将冷轧铁铝化物带材在 2012°F (1100°C) 下退火一个小时，但通过在更高温度  
25 如 2300°F (1260°C) 下退火一个小时，加热步骤相同或不同都可提高片材的表面质量。初次退火可伴随着前面描述的表面退火步骤或者用它替代。

该退火步骤后，可将带材任意剪裁成所需的尺寸。例如，可将带切割成一半并进行进一步的冷轧和热处理步骤。

5 在下一步骤中，将初次轧辊的带材进行冷轧以减少其厚度。例如，可将铁铝化物条在4-高轧机中进行轧辊以将其厚度从0.013英寸减少到0.010英寸。本步骤达到减少至少15%，优选大约25%的效果。如前所述每一轧辊步骤之后优选接着进行如前所述的表面退火步骤。然而如有要求，可取消一步或更多步退火步骤，例如可将0.024英寸带材直接起始冷轧到0.010英寸。然后，将二次冷轧带材任选进行二次烧结和退火。在该二次烧结和退火步骤中，可将条材在真空  
10 炉内用分批的方式或者在有类似 $H_2$ 、 $N_2$ 和/或Ar气体的炉内用连续的方式进行加热以达真密度。例如，可将一批铁铝化物带材在真空炉内加热到温度为 $2300^{\circ}F$  ( $1260^{\circ}C$ )达1小时。

在第二次烧结和退火步骤后，可任选将该带材进行二次修剪以按需求(例如在出现边缘裂缝情况下)修掉端点和边缘。接着，可采用  
15 中间表面退火将该带进行第三次和最终冷轧步骤。该冷轧可将所述带材的厚度减少15%或更多。优选将所述带冷轧到最终要求的厚度如从0.010英寸到0.008英寸。在第三次或最终冷轧步骤后，可将该带材在比重结晶温度高的温度下用连续或分批的方式实施最终的退火步骤。例如，在最终退火步骤中，可将一批铁铝化物带材在真空  
20 炉内加热到合适的温度如 $2012^{\circ}F$  ( $1100^{\circ}C$ )约1小时。在最终退火过程中，优选将冷轧片材再结晶到所需的平均粒度如大约10到 $30\mu m$ ，优选大约 $20\mu m$ 。接着，可任选将该带材进行最终修剪步骤以将其端点和边缘剪掉，并将该带材切成所需大小的窄带以进一步加工成管形加热元件。

25 可将修剪好的带材进行消除应力热处理以除去在前面加工步骤中造成的热空位。该消除应力处理增加了所述带材材料的延展性(例如室温下延展性可从大约1%升高到大约3-4%)。在消除应力热处理中，可将一批带材在常压炉或真空炉内加热。例如，可将该铁铝化

物带材加热到大约 1292°F (700°C) 2 小时并通过在炉内缓慢冷却 (例如, 以  $\leq 2-5^\circ\text{F}/\text{min}$  的速率) 到合适的温度, 如大约 662°F (350°C), 接着进行淬火。在消除应力退火过程中, 优选将该铁铝化物带材材料维持在一定温度范围内, 其中所述铁铝化物是 B2 有序相。

- 5 可通过任意合适的技术将该消除应力的带材加工成管形加热元件。例如, 可将该带材进行激光切割、机械冲压或化学光蚀以提供单个加热叶片的所需模型。例如, 该切割模型可提供一系列的从长方形基础部分扩展出来的发夹形叶片, 当把它轧辊成管形并连接时可提供具有筒状基础及一系列的沿轴向延伸并在圆周上分隔开的加
- 10 热叶片的管形加热元件。或者, 可将未切割的带材制成管形并将所需模型切割成管形以提供具有所需构形的加热元件。

- 为避免该冷轧片材在性能上出现偏差, 最好控制孔隙度、氧化物颗粒的分布、粒度和平直度。氧化物颗粒来自于水雾化粉末上的氧化物涂膜, 它在将片材冷轧的过程中会破碎并分布于该片材内。
- 15 氧化物含量分布不均匀可能导致样品内部或样品与样品之间在性能出现偏差。可在辊压过程中通过拉伸控制而调节平直度。通常, 冷轧材料可呈现出室温屈服强度 55-70ksi、极限拉伸强度 65-75 ksi、总伸长率 1-6%、面积减少 7-12% 且电阻率大约  $150-160\mu\Omega\cdot\text{cm}$ , 而在 750
- 20 °C 高温下的强度性能包括屈服强度 36-43ksi、极限拉伸强度 42-49 ksi、总伸长率 22-48%、面积减少 26-41%。

- 根据带浇铸技术, 可通过带浇铸将预合金粉末制成片材。然而, 尽管水或聚合物雾化粉末优选用于轧辊压制方法, 由于气雾化粉末的球状形状及低的氧化物含量而优选将其用于带浇铸。在轧辊压制方法中要将该气雾化粉末筛分并将其与有机粘结剂和溶剂掺混以生
- 25 产带, 将该带带浇铸成薄片并按轧辊压制实施方案中的规定对该带浇铸片材进行冷轧和热处理。

根据等离子喷涂技术, 通过把金属间合金粉末等离子喷涂到基材上而将预合金粉末制成非致密的金属片。将喷涂的液滴在反面用

冷却剂进行冷却的平片形基材上进行收集和固化。可在真空、惰性气氛或空气中实施该喷涂。喷涂好的片材可提供各种厚度，且由于该厚度接近于最终所需的片材厚度，因而热喷涂技术比轧辊压制技术和带浇铸技术表现出来的优越之处在于可用较少的冷轧和退火步骤而生产出最终片材。

在根据本发明的一种优选等离子喷涂技术中，当基材按指定方向移动时通过在基材上前后移动等离子喷枪以将气、水或聚合物雾化的预合金粉末在基材上沉积而制得例如 4 或 8 英寸宽的带材。该带材可按任意要求的厚度提供，例如最厚可达 0.1 英寸。在等离子喷涂中，将该粉末雾化以使该微粒在撞击基材时熔化。这将导致形成具有光滑表面的高度致密(例如致密度超过 95%)膜。为了将所述熔融颗粒的氧化减到最低，可沿等离子喷嘴周围采用含有保护性气氛如氩气或氮气的套管。然而，如果在空气中实施等离子喷涂方法，氧化膜可在熔融液滴表面形成并由此导致沉积膜内混入氧化物。优选基材是不锈钢喷砂表面，被沉积时它能提供足够的机械粘合以支撑该带材，但又允许将该带材移开以作进一步加工。根据一种优选实施方案，将铁铝化物带材喷涂成 0.020 英寸厚，可采用中间表面退火在一系列轧制道次中将该厚度冷轧到 0.010 英寸、冷轧到 0.008 英寸并进行最终退火和消除应力热处理。

通常，热喷涂技术比带浇铸轧辊压制技术得到的片材更致密。热喷涂技术中，等离子喷涂技术允许使用水、气或聚合物雾化粉末，而通过气雾化获得的球状粉末没有在轧辊压制方法中的水雾化粉末那么致密。与带浇铸相比，由于在热喷涂方法中不必使用粘结剂或溶剂，所以热喷涂方法提供的残留碳更少。另一方面，热喷涂方法易于受氧化物污染。类似地，当使用水雾化粉末时轧辊压制方法也易于受氧化物污染，亦即，水淬火粉末的表面可能有表面氧化物而生产气雾化粉末则可很少含有或不含表面氧化物。

以上描述了本发明的原理、优选实施方案和操作模式。然而，

本发明不应局限于解释所讨论的特殊实施方案。因此，应将上述的实施方案视为解说性的而非限制性的，且应理解的是本领域的技术人员可在不偏离本发明随后的权利要求书所限定范围的基础上对这些实施方案作出更改。



说明书附图

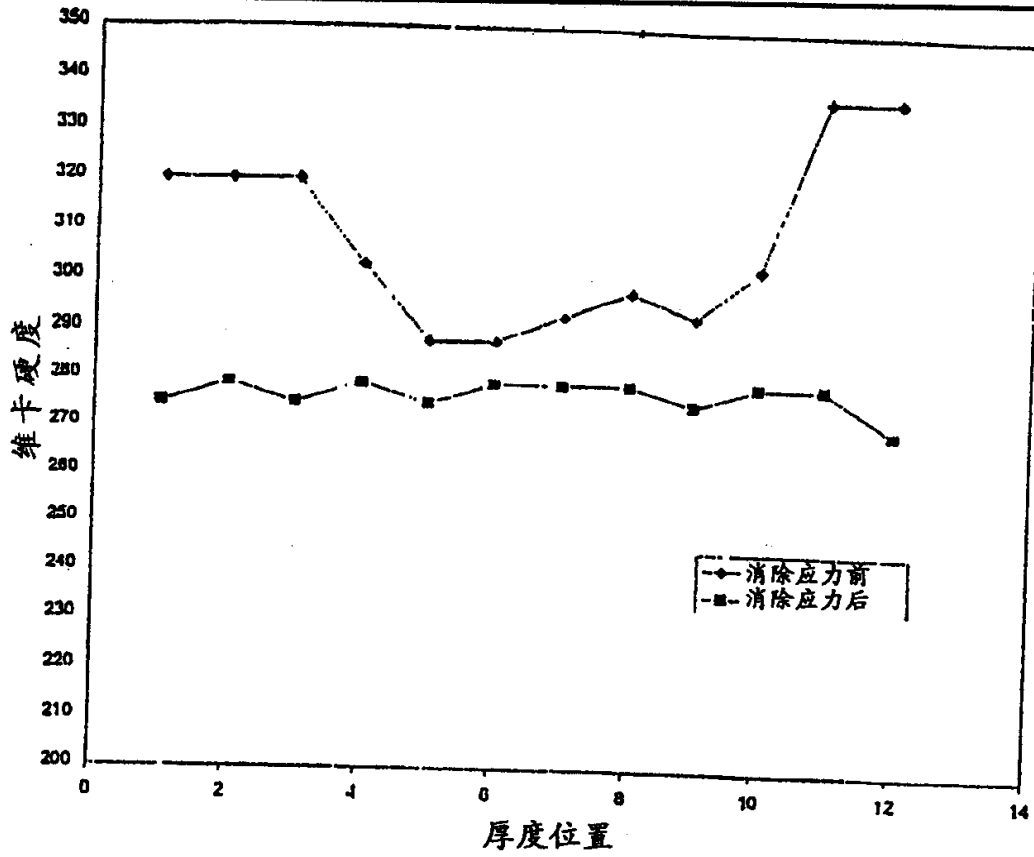


图 1

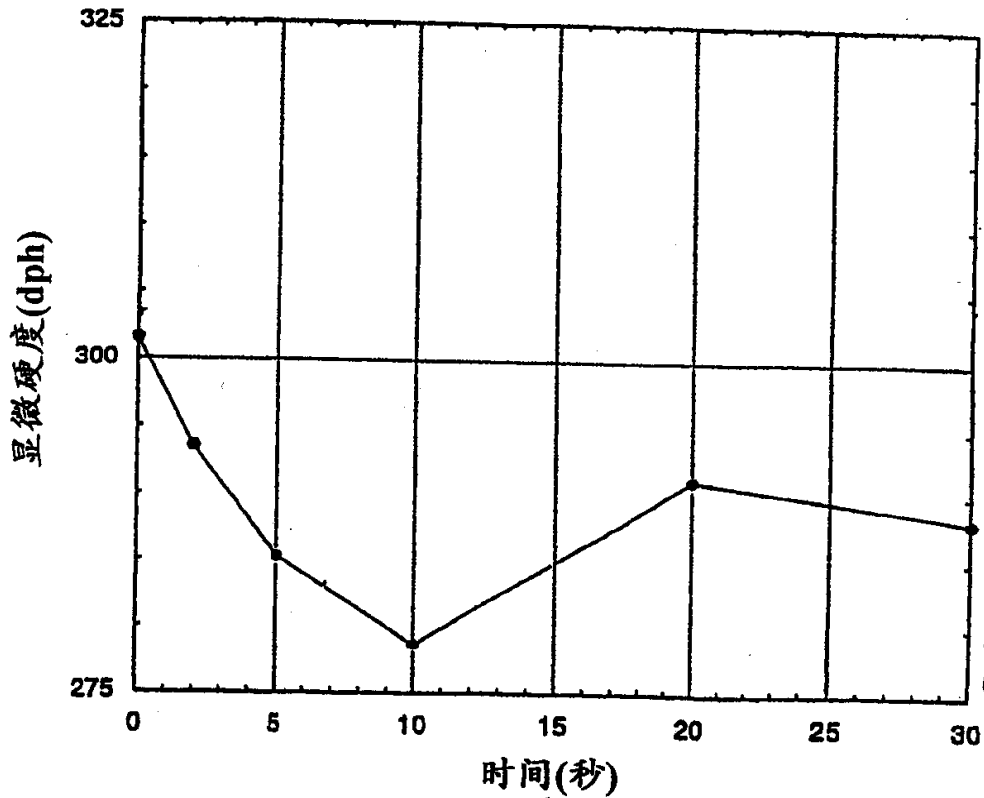


图 2c

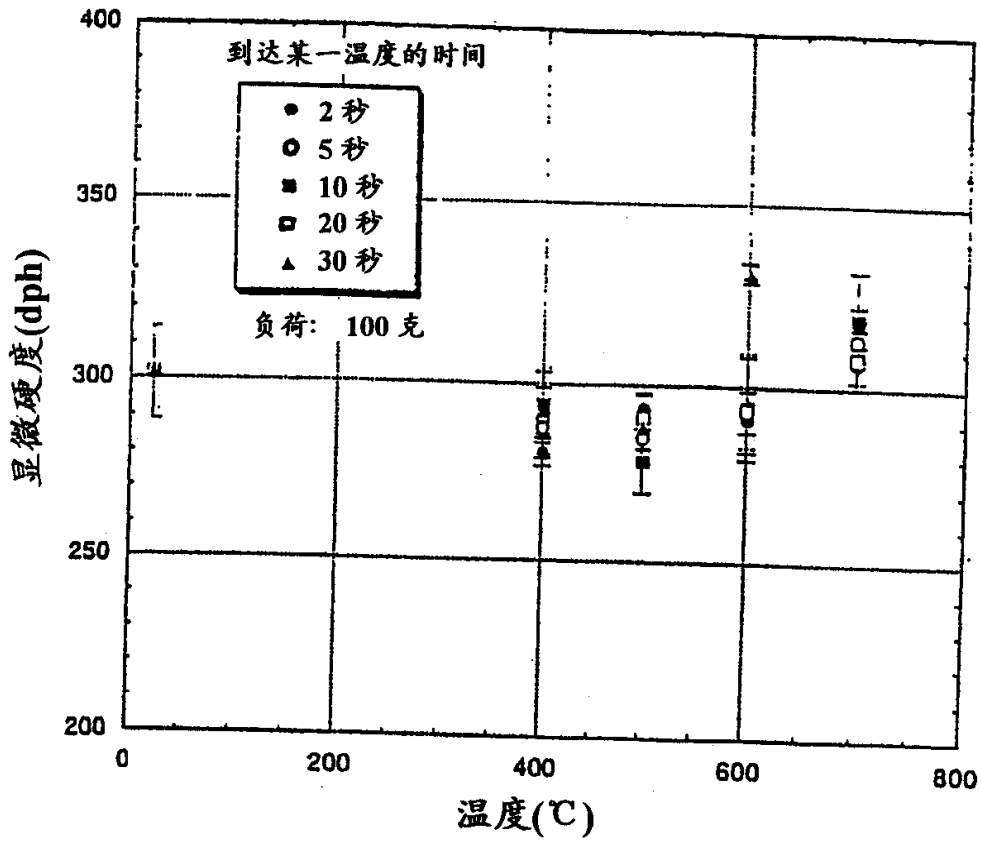


图 2a

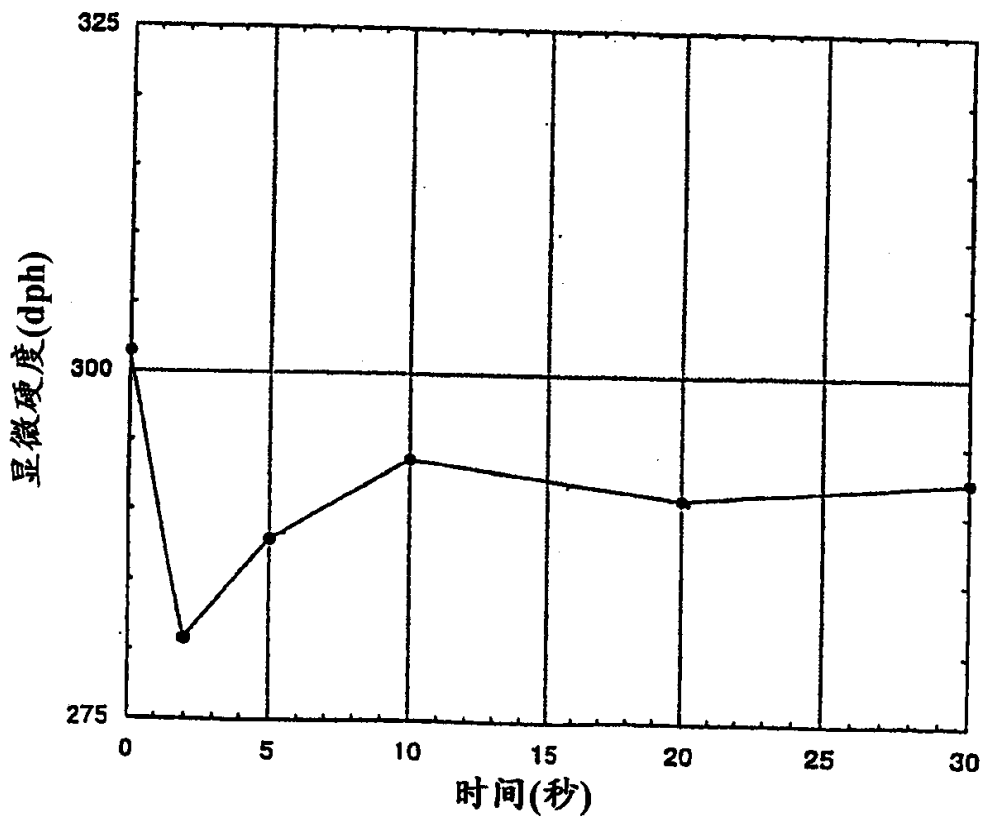


图 2b

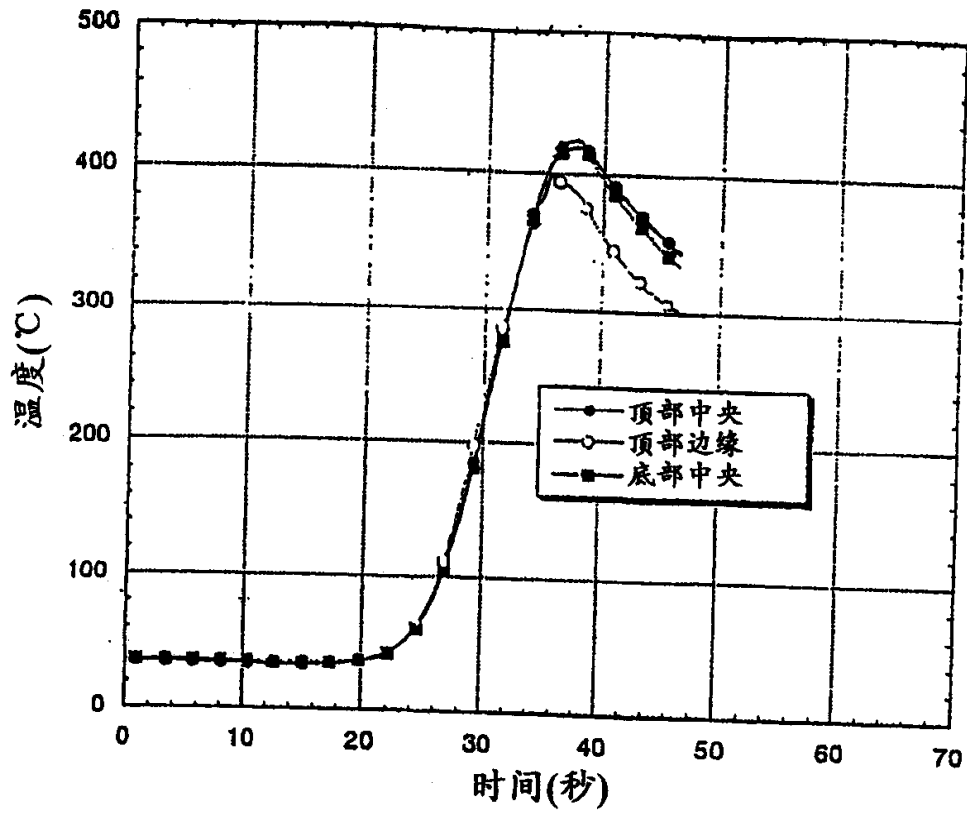


图 3

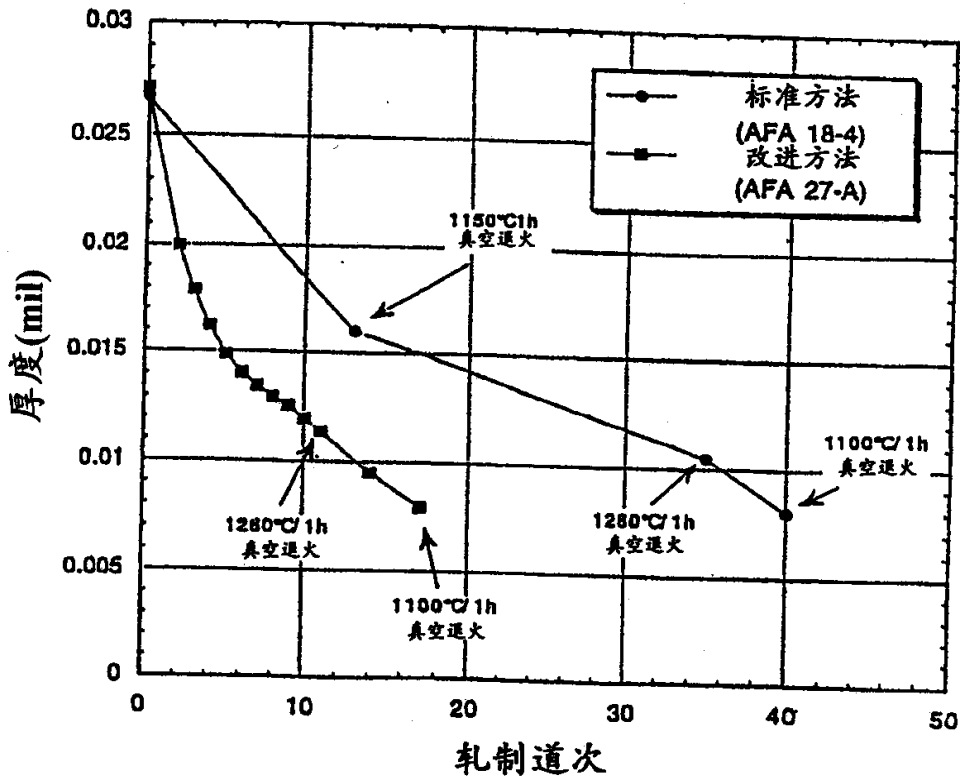


图 4