

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

C22C 21/08 (2006.01)

C22C 1/00 (2006.01)

C22F 1/047 (2006.01)

专利号 ZL 200810050399.9

[45] 授权公告日 2009年9月30日

[11] 授权公告号 CN 100545285C

[22] 申请日 2008.2.27

[21] 申请号 200810050399.9

[73] 专利权人 中国科学院长春应用化学研究所
地址 130022 吉林省长春市人民大街5625号

[72] 发明人 吴耀明 王立民 毕广利 杨晓鹏
王立东 孙伟

[56] 参考文献

CN1789446A 2006.6.21

US2004/0170522A1 2004.9.2

CN1840720A 2006.10.4

JP2001-49375A 2001.2.20

US2002/0056493A1 2002.5.16

审查员 姜旭峰

[74] 专利代理机构 长春科宇专利代理有限责任公司

代理人 马守忠

权利要求书1页 说明书7页 附图6页

[54] 发明名称

一种毫米级片距散热阻尼消声合金棒及直接挤压制备方法

[57] 摘要

本发明涉及一种毫米级片距散热阻尼消声合金棒及制备方法。该合金棒的组成为：Mg占13wt%，Y占(0-0.8)wt%，杂质元素Fe、Ni、Cu和Si的总量小于0.05wt%，用Al平衡总量到100wt%。采用工业挤出机直接挤出该合金，使挤出棒在挤出方向上产生0.1mm-1.4mm的裂片间距，获得具有集高效散热、阻尼和消声于一体功能的合金棒材。该棒材经过后续加工可以制造散热器件，散热-阻尼减震一体化器件以及散热-阻尼-消声一体化器件。该生产工艺填补散热片传统铸造工艺、“车沟楼槽”式后机械加工工艺等之间存在的空白。

1、一种毫米级片距散热阻尼消声合金棒，其特征在于，其组成为：Mg占13wt%，Y占(0-0.8)wt%，杂质元素Fe、Ni、Cu和Si的总量小于0.05wt%，用Al平衡总量到100wt%。

2、如权利要求1所述的一种毫米级片距散热阻尼消声合金棒的制备方法，其特征在于步骤和条件如下：

以纯度99.9%的Al锭和Mg锭，Al-Y母合金锭为原料，所述的Al锭、Mg锭和母合金锭经分割、除油、干燥和去除氧化皮得到块状料，所述的Al-Y母合金锭中Y占10wt%，杂质元素Fe、Ni、Cu和Si的总量小于0.02wt%，铝余量；按照Mg为13wt%，Y为(0-0.8)wt%，杂质元素Fe、Ni、Cu和Si的总量小于0.05wt%，用Al平衡总量到100wt%的配比进行称量和配料；配料装入铁坩埚，电阻炉的炉温达到790℃时，将装有炉料的铁坩埚放入电阻炉加热至所有炉料熔化，坩埚中金属炉料表面浇入占金属炉料重量10%的KCl融化盐覆盖在金属炉料上表面以避免金属高温氧化；坩埚中合金熔化后搅拌50秒钟；停止加热降低炉温至750℃静置合金液30分钟，再次降低炉温至720℃静置合金液20分钟，最后一次降低炉温至700℃静置合金液10分钟；合金液出炉前在已经结壳的KCl盐壳上打洞，从该洞口向外浇铸，合金液浇铸到满足挤出机挤出腔形状和尺寸要求的模具中，该模具为0.4mm薄钢板加工而成；合金液冷却后出模，获得合金挤出毛坯，该合金挤出毛坯放入退火炉在350℃退火，退火时间为4小时；退火后的合金挤出毛坯再用于挤出，挤出条件为：挤出毛坯预热温度为350℃-370℃，挤压温度为420℃-440℃和挤压比为14.1-44.2；获得一种毫米级片距散热阻尼消声合金棒。

一种毫米级片距散热阻尼消声合金棒及直接挤压制备方法

技术领域

本发明涉及一种毫米级片距散热阻尼消声合金棒及直接挤压制备方法，特别是涉及用工业挤出机直接挤出铝-镁-钇阻尼合金，使挤出棒在挤出方向上产生0.1mm-1.4mm的片间距，获得具有集高效散热、阻尼和消声于一体功能的合金棒材及其制备方法。

背景技术

快速的热量积累、很强的震动以及由强震动产生的强噪音的应用场合，要求器件必须具有高效散热性能、高效阻尼减震性能以及通过阻尼减震减少、甚至完全消除震源产生的强噪音。典型的应用场合或器件为机枪(machine gun)或冲锋枪(submachine gun)连续发射现场对枪筒或枪管(barrel或gun barrel)外安装的散热阻尼消声件。

1919年，美国纽约自动兵器公司(Auto-ordnance corporation of New York)在美国专利商标局申请了题为“枪”的USP 346,040号保密专利。该专利揭示：在所发明的自动枪枪管上安装18片钢制冷却片，从该发明图纸可见，该18片冷却片总长度超过枪管长度的1/2、并被等距离安装；冷却片的片距远超过10mm，该冷却片是怎样组合到枪管上的没有揭示。该冷却片的安装可增大枪管在空气中散热面积，属于风冷型散热器件。该专利在1922年以USP1,403,623号专利的公开专利形式公开。该专利的公开可能与1919年凡尔赛条约有关；一战期间统计，步兵多数死亡于用水冷枪管的重机枪上，因而凡尔赛条约明文禁止任何水冷枪管的重机枪研制，将水冷改为气冷显然代表一个国家文明程度(轻兵器，1994年，3期，P2-3)。

上述发明值得一提的地方还表现在：该发明为兵器工业知名度大和影响力大的发明之一。该发明中的“枪”，就是后来以美国汤普森将军命名的“汤普森冲锋枪”。仅二战期间就生产140多万支，还广泛为英、法等盟国军队所使用，并在战中和战后不断改进，其改进后的型号诸如M1921式、M1923式、M1928式、M1928A1式、M1式(1942年)和M1A1式冲锋枪等。而该发明中的“枪”就是所有改进型冲锋枪的母体，也就是最早的M1919式。

在随后改进的发明中，在注重风冷枪管材质选取的同时，同样关注风冷枪管器件的高效散热性能、高效阻尼减震性能以及通过阻尼减震减少强噪音和加强对射击目标的准确性。代表性专利为：①美国专利商标局1925年公开的题为“机枪或快速发射枪及相关”的USP 1,551,617号专利(原保密专利序列号为702,322;1924年)中；②美国专利商标局1949年公开的题为“枪管的冷却方式”的USP 2,467,372号专利(原专利中

请号为 688,657;1946 年)中;③美国专利商标局 1980 年公开的题为“来复枪管”的 USP 4,211,146 号专利(原专利申请号为 865,226;1977 年)中等。事实上,该发明获得如此成功,主要来源于在此之前美国国内对此有丰富的积累,其中包括对风冷枪管器件的高效散热性能、高效阻尼减震性能以及通过阻尼减震减少强噪音方面的研究和工艺设计。代表性专利表现在:美国专利商标局 1919 年公开的题为“气动枪”的 USP 1,308,016 号通信专利(原专利申请号序列为 170,622;1917 年 5 月 24 日申请),该专利文件中重点强调“进一步的方法在于防止枪管因快速放枪而过度发热”(“It further consists in means to prevent heated from rapid discharges”)等。该“气动枪”的发明为“半自动步枪”的母发明,也为冲锋枪和机枪奠定连发基础。

1938 年,英国专利局公开了法国发明家鲍曼·沃尔申请的题为“连发枪空冷方式的改进”的 GB19370008360(或 GB19370322 号、或法国专利号为 FRT815262、或 FRT 19360320)专利,该发明不但对风冷枪管器件散热性能的高效化作出大量改进,而且将阻尼减震性能以及通过阻尼减震减少强噪音提到相当的高度,甚至使用高阻尼材料——镁合金,在取得阻尼减震效果同时,也使得武器轻量化。

1943 年,美国专利商标局公开了英国的摩灵机械有限公司(Molings Machine company Limited)申请的题为“连珠炮的装载和击发机构”的 USP 2,439,142 号专利。该发明对风冷枪管器件散热性、阻尼减震、降噪进一步改进,后来成为用于守护桥梁、机场等场合使用的防空高射机枪;该发明的改进如此之好,以至于达到“三无”,即无声、无光和无烟,即使在夜间发射,防空基地也不容易被空中飞机发现(轻兵器,1994 年,3 期,P2-3)。

总之,检索上述发明风冷枪管散热件或散热-降噪一体器件或散热-阻尼-降噪一体器的发明专利,没有检索到用铝基合金为原料并通过工业挤出机直接挤压合金、使合金产生目标裂纹、并用该“裂纹”形成的裂片取代风冷枪管散热片的发明;也没有检索到与本发明目的或目标以及挤出工艺相同的专利公开或研究论文报道。

发明内容

本发明的目的在于提供一种毫米级片距散热阻尼消声合金棒及直接挤压制备方法。

一种毫米级片距散热阻尼消声合金棒设计原理:

(1)、散热:包括风冷枪管散热件在内的所有散热器件的基本要求是:材质足够高的导热系数以利于热传递;散热总表面足够大以保证散热效率;散热片合适形状、合适片间距以保证冷热空气或其它传热介质对流散热;散热片表面构造、构型和色泽存在利于热辐射的要素。对于本发明而言:铝合金类属导热系数大的合金之一;直接挤出铝合金片距平均达到毫米级,形成极大散热总表面积,Al-Mg-Y 合金表面氧化膜材质属于高热辐射系数功能陶瓷膜,本发明合金所具有的要素满足高效散热片传导、对流和热辐射的基本要求。如附图 1 本发明挤出棒在挤出方向上产生 0.1mm-1.4mm 的裂片间距的实物照片

所示。附图 2 为 1919 年美国纽约自动兵器公司申请的 USP1, 403, 623 号专利附图中风冷枪管片剪裁图片

(2)、阻尼与阻尼-散热一体化：包括风冷枪管在内的所有阻尼-散热一体化器件对阻尼的基本要求是：材质足够高的阻尼系数以利于震动能量的吸收和耗散。采用本发明工艺获得的合金中产生大量的 β 相 (Al_3Mg_2) 和其它稳定与不稳定相 (如附图 3 对本发明合金的 XRD 分析结果)，这些稳定和与不稳定相为“弱钉扎作用”或“中等强度钉扎作用”相，为本发明合金的“阻尼因子”奠定高品质基础。

特别是在用于风冷枪管过程中，连发子弹与枪筒内壁的摩擦热和火药喷发热快速积累与枪筒、枪筒由将热量传递给其外部的散热器，若外散热片因温度升高后阻尼下降或消失，吸收和耗散震动能量的阻尼特性将消失，在长时间连发子弹的情况下，外散热片金属温升至 $350^{\circ}C$ 可能性存在。本发明合金解决这一棘手问题获得较好结果，表现在：①附图 4 的温度-阻尼系数关系图显示： $20^{\circ}C$ — $200^{\circ}C$ 的温升过程中，本发明合金阻尼系数上升，超过 $200^{\circ}C$ ，阻尼系数仍呈现升高趋势。②附图 5 对本发明合金 DSC 测定结果显示：图中 DTA 显示 $200^{\circ}C$ — $350^{\circ}C$ 吸-放热曲线峰仍存在可吸收外界能量。这一结果成因是 β 相与其它稳定与不稳定相形成的系列相转化 (Journal of alloys and compounds, 2001 年, 320 卷, P93-102;)。

(3)、消声：对于枪管震源已经发出的噪声，极大散热总表面积保证声波被黏滞消耗的面积，挤出裂纹的表面粗糙、挤断形成的自然起伏也利于声波被黏滞消耗起到降噪和消声作用，如附图 1 显示的直接挤出裂纹的产生与裂纹间距。

(4)、直接挤出与毫米级片距：即直接挤出裂纹的产生与裂纹间距、深度控制的相关原理，能否产生裂纹或产生的裂纹深度合适或裂纹达到毫米片距，其内因主要为 β -相 (Al_3Mg_2) 和其它稳定与不稳定相生成、合金中存在方式和状态，这一因素主要与合金配方设计相关；其外因主要为 β 相等数量控制，控制主要为合金凝固速度和合金挤出参数。附图 6 中挤出合金不产生裂纹的挤出棒，其合金配方中 Mg 添加量相对 (裂纹棒) 减少 3wt. %，显然相对减少合金中的 β 相，而其它铸造和挤出工艺均相同，该对比形式的实物照片旨在揭示“内因”差别对直接挤出裂纹产生影响。附图 7 的挤出开裂照片旨在说明“外因”对直接挤出裂纹影响，该开裂合金配方中 Mg 添加量为正常的 13wt. %，合金凝固速度也与直接挤出不开裂合金的凝固速度相同，显然，挤出开裂的原因为合金挤出参数这一“外因”控制不当所致。

(5)、受热环境下抗氧化性：作为风冷枪管散热器工作环境为受热的和受流动空气中氧气的环境，本发明合金中添加稀土钇 (Y) 为黑色和有色金属中抗高温氧化最好的添加元素之一。附图 8 旨在显示模拟实验部分结果，附图 8 四种挤出前合金胚胎，放到循环热空气高温烘箱中，在 $350^{\circ}C$ 下热风循环加热 6 小时，观察车削合金光亮表面的氧化变暗淡情况；由图可见，添加稀土钇合金表面相对最为光亮，抗热空气中氧气的氧化

能力相对最强。

(6)、机加、组装与相关力学性能：良好机械加工和方便组装特性是生产出标准器件的前提与保证。用钻床很容易在直挤直接挤出毫米级散阻尼消声棒中心处钻孔的实物照片显示在图 9；将直挤毫米级散阻尼消声棒与发射管组装到一起的实物照片显示在图 10-11；合适的强度、刚度、硬度抗冲击和抗磨损等力学性能为标准器件获得使用的前提与保证，同时也涉及生产与加工性能。诸如压缩性能与使用相关外也于生产中固定挤出能力的挤出机能否挤出一定挤出比的合金相关，本发明图 12 为测定合金压缩曲线之一。

一种毫米级片距散热阻尼消声合金棒，其组成为：Mg 为 13wt%，Y 为 (0-0.8) wt%，杂质元素 Fe、Ni、Cu 和 Si 的总量小于 0.05wt%，用 Al 平衡总量到 100wt%。

一种毫米级片距散热阻尼消声合金棒的直接挤压制备方法，步骤和条件如下：

以纯度 99.9% 的 Al 锭和 Mg 锭，Al-Y 母合金锭为原料，所述的 Al 锭、Mg 锭和母合金锭经分割、除油、干燥和去除氧化皮得到块状料，所述的 Al-Y 母合金锭中 Y 占 10wt%，杂质元素 Fe、Ni、Cu 和 Si 的总量小于 0.02wt%，铝余量；按照 Mg 为 13wt%，Y 为 (0-0.8) wt%，杂质元素 Fe、Ni、Cu 和 Si 的总量小于 0.05wt%，用 Al 平衡总量到 100wt% 的配比进行称量和配料；配料装入铁坩埚，电阻炉的炉温达到 790℃ 时，将装有炉料的铁坩埚放入电阻炉加热至所有炉料熔化，坩埚中金属炉料表面浇入占金属炉料重量 10% 的 KCl 融化盐覆盖在金属炉料上表面以避免金属高温氧化；坩埚中合金熔化后搅拌 50 秒钟；停止加热降低炉温至 750℃ 静置合金液 30 分钟，再次降低炉温至 720℃ 静置合金液 20 分钟，最后一次降低炉温至 700℃ 静置合金液 10 分钟；合金液出炉前在已经结壳的 KCl 盐壳上打洞，从该洞口向外浇铸，合金液浇铸到满足挤出机挤出腔形状和尺寸要求的模具中，该模具为 0.4mm 薄钢板加工而成；合金液冷却后出模，获得合金挤出毛坯，该合金挤出毛坯放入退火炉在 350℃ 退火，退火时间为 4 小时；退火后的合金挤出毛坯再用于挤出，挤出条件为：挤出毛坯预热温度为 350℃-370℃，挤压温度为 420℃-440℃ 和挤压比为 14.1-44.2；获得一种毫米级片距散热阻尼消声合金棒。

本发明的有益效果：1、一种毫米级片距散热阻尼消声合金棒及直接挤压制备方法，避开铸造散热片很难达到毫米级片距工艺难点；相对棒材“车沟楼槽”式后机械加工散热片生产工艺，缩短工艺链条长度，开发出散热片生产新工艺。

2、一种毫米级片距散热阻尼消声合金棒及直接挤压制备方法，将散热片多功能化，集散热-阻尼-消声功能于一体；利于满足快速的热量积累、很强的震动以及由强震动产生的强噪音的应用场合；诸如连续发射的轻、重武器所需要安装散热阻尼消声件的应用场合。

3、本发明的直接挤压制备方法直接挤出的一种毫米级片距散热阻尼消声合金棒，

其密度小于常用铝合金密度（平均在 $2.8\text{g}/\text{cm}^3$ 左右），利于需要轻量化的场合应用，诸如武器和通讯装备的减重场合。

附图说明

图 1 是本发明的一种毫米级片距散热阻尼消声合金棒实物照片。该合金棒在挤出方向上小裂片间距最小值 0.1mm 、最大值 1.4mm ，裂片最大深度为合金棒直径的 $1/3$ 。

图 2 是本发明所引用代表性专利文献（1919 年美国纽约自动兵器公司申请的 USP1,403,623 号专利）附图中风冷枪管片剪裁图片。引用该剪裁图片目的是方便对一种毫米级片距散热阻尼消声合金棒的理解。

图 3 是本发明的组成为 $\text{Al}-13\text{wt}\%\text{Mg}-0.8\text{Y wt}\%$ 均匀化合金的代表性 XRD 分析结果。

图 4 是本发明的 $\text{Al}-13\text{wt}\%\text{Mg}-0.3\text{Ywt}\%$ 毫米级片距散热阻尼消声合金棒从外向内用车床切削、获得直径为 6mm 的棒材后进行热处理，热处理后在 MAK-04 型粘弹分析仪上测定阻尼性能，所获得的温度-阻尼系数关系曲线图。

图 5 是本发明为 $\text{Al}-13\text{wt}\%\text{Mg}-0.8\text{Y wt}\%$ 均匀化合金的代表性 DSC 分析结果。

图 6 是本发明研究毫米级片距散热阻尼消声合金棒的“内因”变化规律过程中的实物对比图片。图片中 (1) 所示的两根棒，其材质合金配方中 Mg 添加量相对 (2) 减少 $3\text{wt}\%$ ；图片中 (2) 所示的两根裂纹棒，其合金组成配方是通式为 $\text{Al}-13\text{wt}\%\text{Mg}$ 的配方，二者除配方不同外，其它工艺条件均相同。

图 7 是本发明研究毫米级片距散热阻尼消声合金棒的过度开裂规律过程中的实物图片。图片中合金组成配方是通式为 $\text{Al}-13\text{wt}\%\text{Mg}$ ，过度开裂重要原因之一挤压比过大（挤压比达到 60）。

图 8 是本发明包含合金组成通式 $\text{Al}-13\text{wt}\%\text{Mg}$ 、 $\text{Al}-13\text{wt}\%\text{Mg}-0.3\text{wt}\%\text{Y}$ 在内的四种挤出前合金胚胎模拟高温氧化实验结果对比图。模拟条件为：四种挤出前合金胚胎，放到循环热空气高温烘箱中，在 350°C 下热风循环加热 6 小时，观察车削合金光亮表面的氧化变暗淡情况。其观察到的结果为：添加稀土钇合金表面相对最为光亮，抗热空气中氧气的氧化能力相对最强。

图 9 是本发明合金组成通式为 $\text{Al}-13\text{wt}\%\text{Mg}-0.3\text{wt}\%\text{Y}$ 的毫米级片距散热阻尼消声合金棒用钻床钻孔后实物照片。钻孔过程显示钻孔很容易。

图 10 是本发明合金组成通式为 $\text{Al}-13\text{wt}\%\text{Mg}-0.3\text{wt}\%\text{Y}$ 的毫米级片距散热阻尼消声合金棒与钢质模拟发射管组装到一起的实物照片。

图 11 是本发明合金组成通式为 $\text{Al}-13\text{wt}\%\text{Mg}$ 的毫米级片距散热阻尼消声合金棒与钛质模拟输送热流质管组装到一起的实物照片。

图 12 是本发明组成为 $\text{Al}-13\text{wt}\%\text{Mg}-0.8\text{Y wt}\%$ 均匀化合金进行压缩实验的代表性未

处理的原始应力-应变曲线。

具体实施方式

实施例 1:

以纯度 99.9wt.% 的 Al 锭和 Mg 锭, Al-Y 母合金锭为原料, Al 锭、Mg 锭和母合金锭经分割、除油、干燥和去除氧化皮得到块状料, 其中含有稀土钇的 Al-Y 母合金锭中 Y 占 10wt%, 杂质元素 Fe、Ni、Cu 和 Si 的总量小于 0.02wt%, 铝余量; 按照通式 Al-13wt%Mg 配比进行称量和配料; 配制完成的炉料装入铁坩埚, 电阻炉的炉温达到 790℃ 时, 将装有炉料的铁坩埚放入电阻炉加热至所有炉料熔化, 在坩埚中金属炉料表面浇入占金属炉料重量 10% 的 KCl 融化盐覆盖在金属炉料上表面、以避免金属高温氧化; 坩埚中合金熔化后随之搅拌 50 秒钟; 停止加热降低炉温至 750℃ 静置合金液 30 分钟, 再次降低炉温至 720℃ 静置合金液 20 分钟, 最后一次降低炉温至 700℃ 静置合金液 10 分钟; 合金液出炉前在已经结壳的 KCl 盐壳上打洞, 从该洞口向外浇铸、合金液浇铸到满足挤出机挤出腔形状和尺寸要求的薄壁模具中, 该薄壁模具为 0.4mm 薄钢板加工而成; 合金液冷却后出模, 获得合金挤出毛坯, 该合金挤出毛坯放入退火炉在 350℃ 退火, 退火时间为 4 小时; 退火过的合金挤出毛坯在用于挤出机挤出, 挤出条件为: 挤出毛坯预热温度为 350℃, 挤压温度 420℃ 和挤压比为 14.1; 获得直接挤出毫米级片距散热阻尼消声合金棒。

物理测量直挤毫米级片距散热阻尼消声合金棒的裂片间距及开裂深度是否达到要求, 其方法为, 随机选择长度为 20cm 的直挤棒为检测和统计单位, 用已知直径的合金丝或金属丝、或已知厚度的合金片或金属片、或已知厚度的聚脂片勒进、或卡进裂片的裂缝中, 检测在挤出方向上裂片间距最小值是否达到 0.1mm 和最小值是否达到 1.4mm, 达到视为片间距合格。同时统计裂片深度值, 裂片深度值落在直挤棒直径的 1/3—1/2 的比例范围视为合格品。

阻尼系数测量使用 MAK-04 型粘弹分析仪, 方法为将直接挤出棒用车床从外向内切削、去掉外部裂片全部或一部分, 获得直径为 6mm 的棒材后, 或直接测量或进行热处理后测量, 测量过程中固定温度或频率等条件。

其它测量, 诸如密度、力学性能等采用常规浮力法、压缩或拉伸试样等方法。

本实施例的直挤毫米级片距散热阻尼消声合金棒的裂片间距及开裂深度指标合格; 直接测量直接挤出合金棒阻尼条件为实温下, 共振频率为 80Hz 时, 扣除空白后的阻尼系数 $\tan\delta$ 为 0.0079; 合金挤出毛坯的密度为 2.57 g/cm³、维氏硬度 122HV、布氏硬度 97HB、压缩强度 (σ_b) 为 518MPa、屈服强度 ($\sigma_{0.2}$) 为 312 MPa。

实施例 2:

与实施例 1 所不同的是: ①按照通式 Al-13wt%Mg-0.3 wt%Y 配比进行称量和配料; ②挤出毛坯预热温度为 370℃; ③挤压温度为 430℃; ④挤压比为 28.4。其余步骤和条

件同实施例 1。

本实施例的直接挤出毫米级片距散热阻尼消声合金棒的裂片间距及开裂深度指标合格；直接测量棒阻尼条件为实温下，共振频率为 60Hz 时，扣除空白后的阻尼系数 $\tan\delta$ 为 0.0092；合金挤出毛坯的密度为 2.6 g/cm^3 、维氏硬度 119HV、布氏硬度 90HB、压缩强度 (σ_b) 为 425MPa、屈服强度 ($\sigma_{0.2}$) 为 236 MPa。

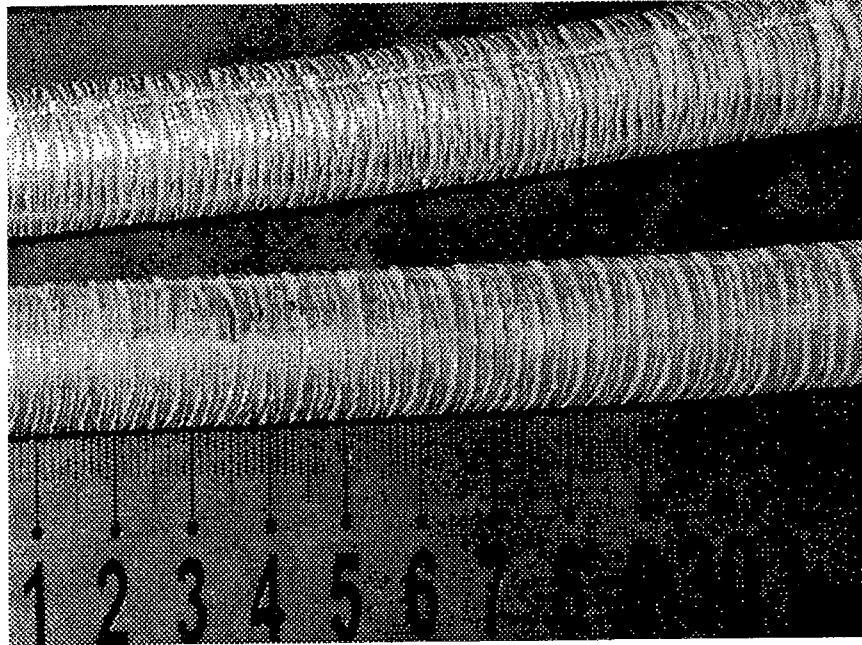


图1

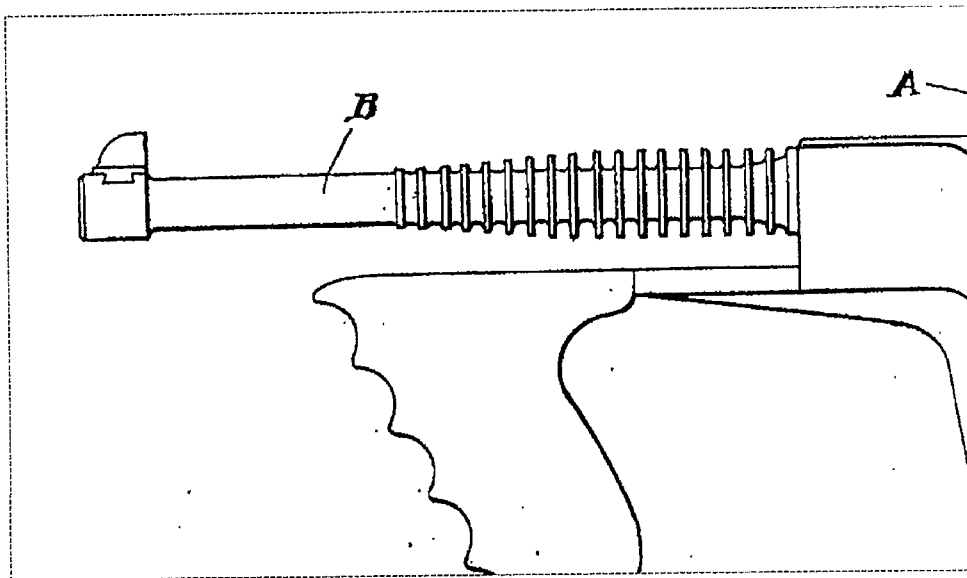


图2

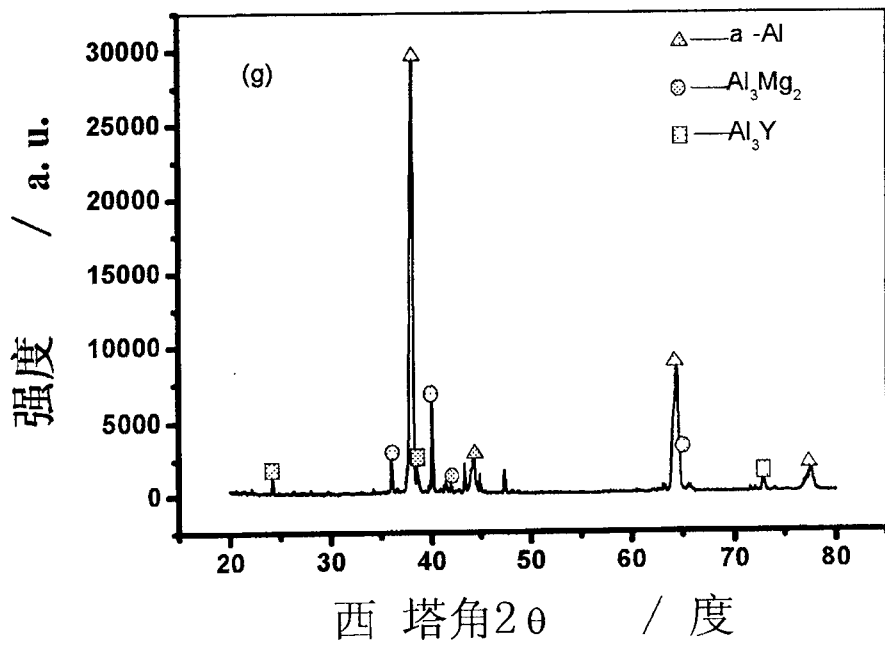


图 3

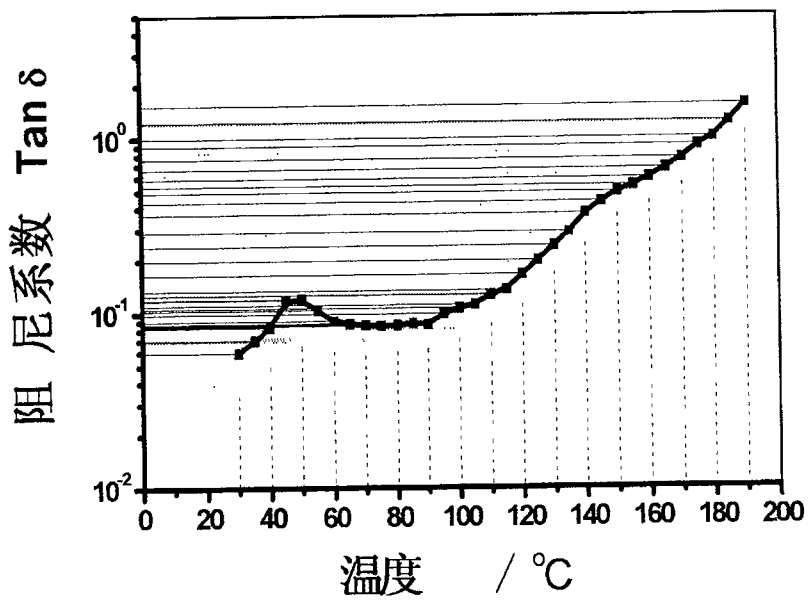


图 4

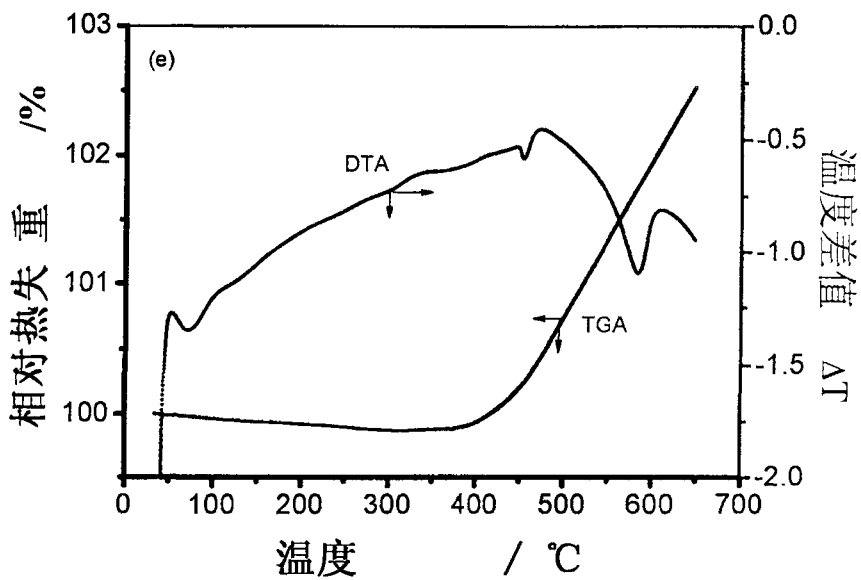


图5

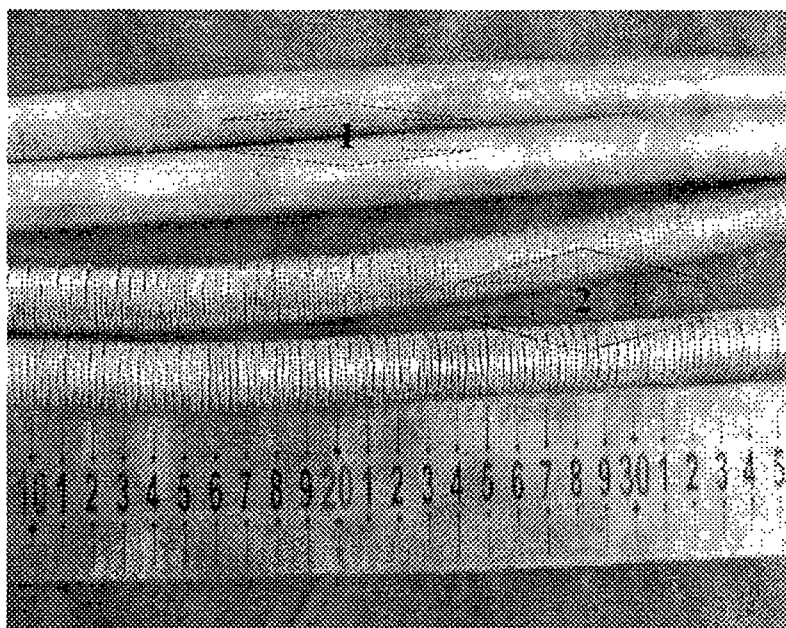


图6

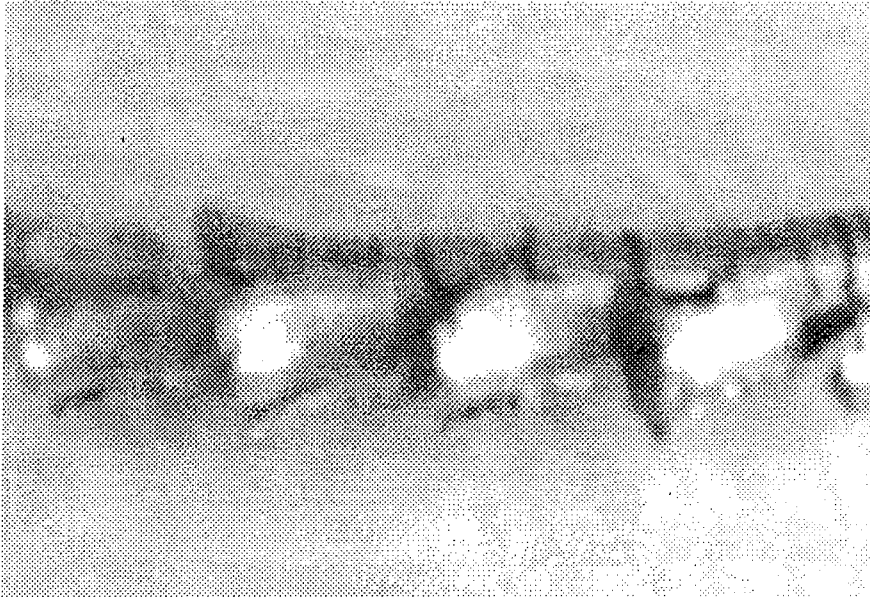


图 7

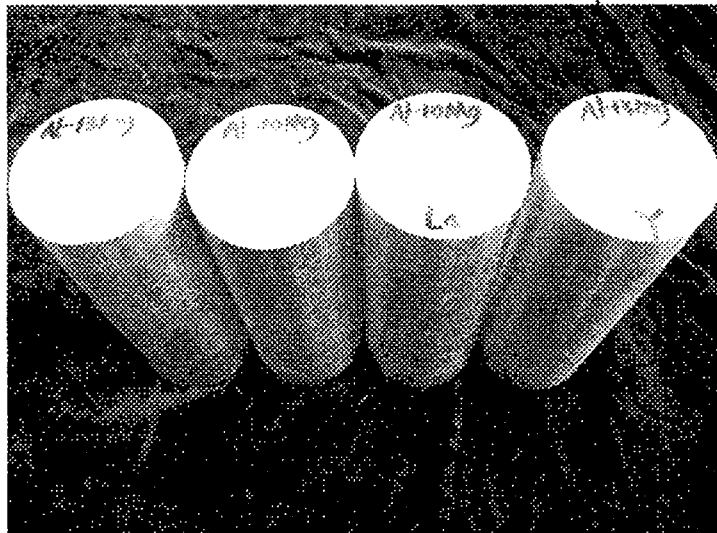


图 8

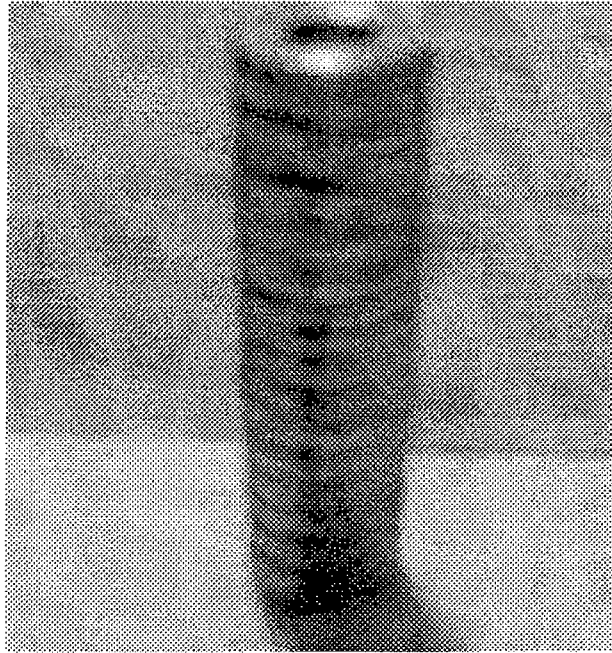


图 9

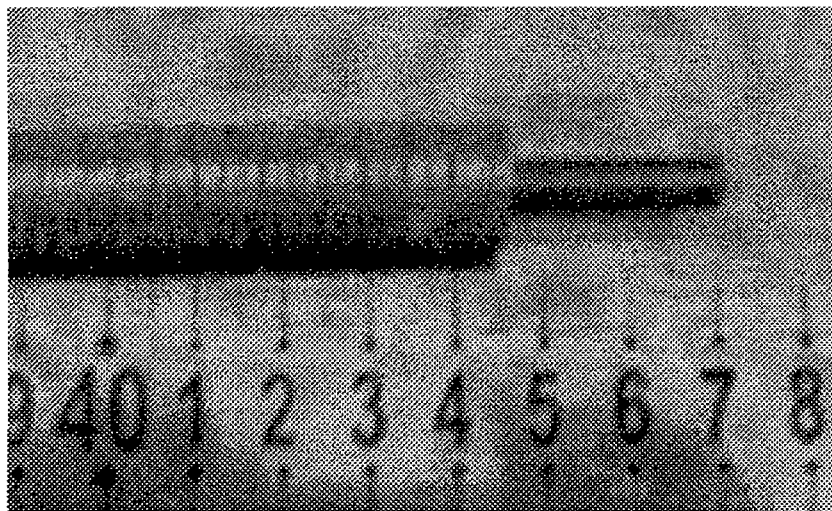


图 10

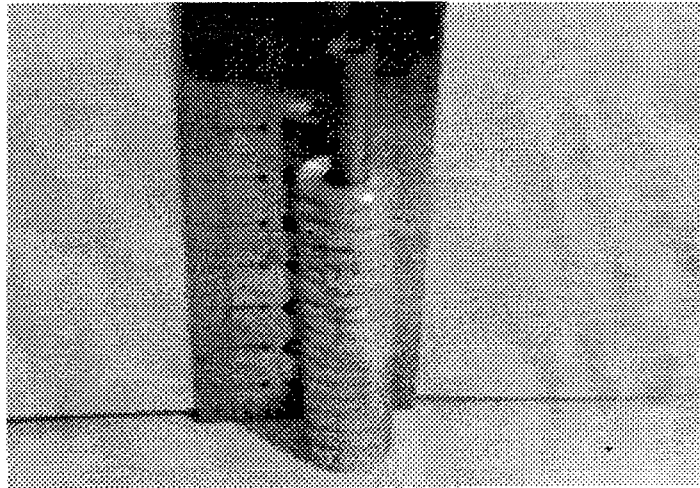


图 11

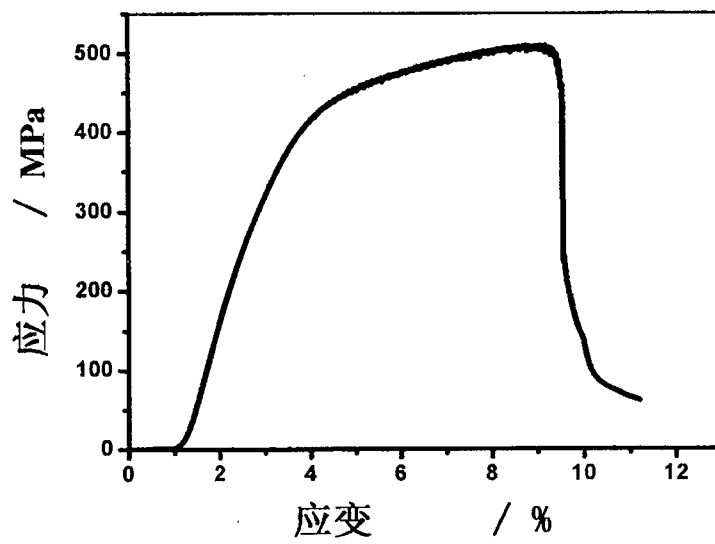


图 12