



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105671546 B

(45)授权公告日 2018.06.26

(21)申请号 201610102930.7

(22)申请日 2016.02.25

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105671546 A

(43)申请公布日 2016.06.15

(73)专利权人 上海交通大学
地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72)发明人 刘朝阳 顾剑锋

(74)专利代理机构 上海思微知识产权代理事务
所(普通合伙) 31237

代理人 屈衡

(51)Int.Cl.
C23G 24/10(2006.01)
G30B 11/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 104694921 A,2015.06.10,
CN 102162096 A,2011.08.24,
CN 103624259 A,2014.03.12,
US 7180100 B2,2007.02.20,

审查员 路润博

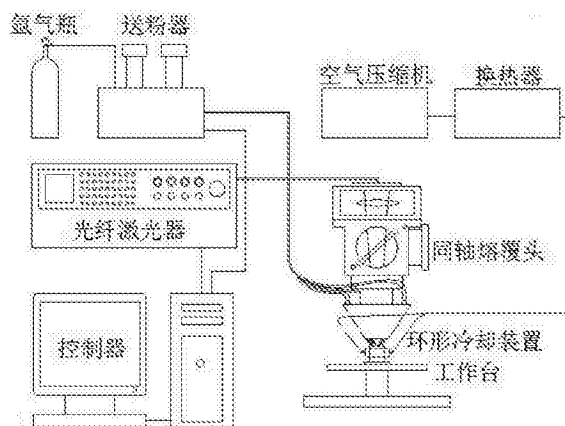
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

一种激光修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置和冷却方法

(57)摘要

本发明提出一种激光修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置和冷却方法,该装置包括:空气压缩机,换热器和环形冷却装置,其中所述空气压缩机将待冷却气体压缩为高速高压气流,并将其接入到所述换热器中,所述换热器将接入气流冷却后接入环形冷却装置,所述环形冷却装置设置于激光熔覆系统的工作台上方并环绕工件设置。本发明提出的修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置和冷却方法,通过调节冷却气流的大小、温度以及冷却喷嘴的位置和角度,使激光修复过程中达到最好的主动冷却效果。



1. 一种修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置,其特征在于,包括:空气压缩机,换热器和环形冷却装置,其中所述空气压缩机将待冷却气体压缩为高速高压气流,并将其接入到所述换热器中,所述换热器将接入气流冷却后接入环形冷却装置,所述环形冷却装置的内表面设置有密排小孔,且所述环形冷却装置设置于激光熔覆系统的工作台上方并环绕工件设置。

2. 根据权利要求1所述的修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置,其特征在于,所述待冷却气体为氩气、氮气或空气。

3. 根据权利要求1所述的修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置,其特征在于,所述高速高压气流的流量为10升/分钟-100升/分钟。

4. 根据权利要求1所述的修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置,其特征在于,所述高速高压气流的气压为5兆帕至10兆帕。

5. 根据权利要求1所述的修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置,其特征在于,所述换热器冷却物质为液氮,其将接入气流冷却到-30℃至-50℃。

6. 根据权利要求1所述的修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置,其特征在于,所述密排小孔斜向下角度为10°至80°喷出冷却气流。

7. 一种修复单晶涡轮叶片的主动冷却方法,其特征在于,包括下列步骤:

将待冷却气体经过空气压缩机后形成高速高压气流;

将高速高压气流接入换热器,经过换热器内回形管路进行热交换,将接入气流冷却后接入环形冷却装置;

将冷却气流通过环形冷却装置内表面的密排小孔斜向下喷出,在工件周围形成一个均匀环形冷却流场。

8. 根据权利要求7所述的修复单晶涡轮叶片的主动冷却方法,其特征在于,所述高速高压气流的流量为10升/分钟-100升/分钟,气压为5兆帕至10兆帕。

9. 根据权利要求7所述的修复单晶涡轮叶片的主动冷却方法,其特征在于,所述换热器冷却物质为液氮,其将接入气流冷却到-30℃至-50℃。

10. 根据权利要求7所述的修复单晶涡轮叶片的主动冷却方法,其特征在于,所述环形冷却装置内表面密排小孔斜向下角度为10°至80°喷出冷却气流。

一种激光修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置和冷却方法

技术领域

[0001] 本发明涉及激光修复以及材料微观组织生长控制领域,且特别涉及一种修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置和冷却方法。

背景技术

[0002] 航空发动机在现代航空工业中起着举足轻重的作用。航空发动机的性能指标决定着飞机的飞行性能。近几十年来,航空发动机的发展与航空材料,特别是耐高温材料的发展息息相关。目前镍基单晶合金已经被广泛地用作航空发动机高温涡轮叶片材料。镍基单晶高温合金以其优异的高温抗蠕变、抗疲劳性能使得航空发动机的工作温度从最初的850℃增加到现在的超过1600℃。单晶涡轮叶片在高温、高压、循环应力载荷的环境中长时间工作会产生各种缺陷,如热裂纹、磨损、腐蚀、裂纹、材料缺失等缺陷。这些缺陷会降低航空发动机的效率,严重的会导致航空发动机损毁。镍基单晶高温合金材料价格昂贵,单晶涡轮叶片制造工艺复杂,失败率高。这些因素导致每片单晶涡轮叶片的价格可达3万美元。通过修复技术延长单晶涡轮叶片的使用寿命可以降低航空发动机维护费用,节约昂贵的材料,产生巨大的经济效益。

[0003] 目前常见的叶片修复方法包括弧焊和激光熔覆。修复工艺步骤主要包括:叶片清洗、叶片尖端检测、裂纹清洗和打磨、弧焊或者激光熔覆修补、机加工余量和检测。在修补这一环节中,弧焊热源能量密度低,热输入大、会造成较大的热影响区。针对单晶涡轮叶片的薄壁叶尖结构,弧焊技术难以净成型修补出新的叶尖,并保证修补的叶尖内部为与基材一致的单晶组织。激光熔覆工艺具有热源能量密度大、热输入量小等优点,可以净成型在叶尖上修补出叶尖。因此激光熔覆技术是目前最理想的单晶涡轮叶片修复技术。

[0004] 镍基单晶高温合金的晶格是面心立方,具有外延生长特性(在一定温度梯度下,微观组织可沿着某个晶向一直生长)。在单晶涡轮叶片叶尖表面上激光熔覆单晶镍基高温合金时,随着熔池的凝固,微观组织将以单晶叶片叶尖的晶向为外延生长方向进行生长。受熔池形状和温度梯度的影响,当单晶组织生长到一定高度时,等轴晶组织会出现并阻止单晶组织继续生长。激光多层熔覆过程中,等轴晶组织会阻断单晶组织进一步向上连续生长,并且等轴晶与单晶组织之间产生晶界。由于镍基单晶高温合金缺少晶界强化元素。一旦出现晶界,在较大的热应力下,晶界处极易出现裂纹并沿着晶界扩展延伸,直接影响修复后叶片的性能,难以满足单晶叶片的修复要求。因此在多层甚至多层多道激光熔覆修复叶片的叶尖过程中,完全重熔掉等轴晶组织是保证修复区域内得到全部单晶组织的关键。

[0005] 单晶组织的分布直接与熔池形状和温度梯度相关,平缓的熔池和较大的温度梯度有利于单晶组织的生长。激光修复单晶涡轮叶片尖端时,受限于叶片尖端的薄壁形状,熔覆区域内的热量难以快速通过叶片散出去,造成的熔池的温度梯度较小。因此对于激光修复单晶叶片来说,相比于控制熔池形状,控制熔池的温度梯度更加容易。通过增大局部的温度梯度,可以增强单晶组织的外延生长,从而减少等轴晶组织,从而实现多层熔覆过程中等轴晶组织完全被重熔,满足单晶涡轮叶片的修复要求。

发明内容

[0006] 本发明提出一种激光修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置和冷却方法,通过调节冷却气流的大小、温度以及冷却喷嘴的位置和角度,使激光修复单晶涡轮叶片过程中达到最好的主动冷却效果。

[0007] 为了达到上述目的,本发明提出一种激光修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置,包括:空气压缩机,换热器和环形冷却装置,其中所述空气压缩机将待冷却气体压缩为高速高压气流,并将其接入到所述换热器中,所述换热器将接入气流冷却后接入环形冷却装置,所述环形冷却装置设置于激光熔覆系统的工作台上方并环绕工件设置。

[0008] 进一步的,所述待冷却气体为氩气、氮气或空气。

[0009] 进一步的,所述高速高压气流的流量为10升/分钟-100升/分钟。

[0010] 进一步的,所述高速高压气流的气压为5兆帕至10兆帕。

[0011] 进一步的,所述换热器冷却物质为液氮,其将接入气流冷却到-30℃至-50℃。

[0012] 进一步的,所述环形冷却装置的内表面设置有密排小孔。

[0013] 进一步的,所述密排小孔斜向下角度为10°至80°喷出冷却气流。

[0014] 为了达到上述目的,本发明还提出一种激光修复单晶涡轮叶片过程中的冷却方法,包括下列步骤:

[0015] 将待冷却气体经过空气压缩机后形成高速高压气流;

[0016] 将高速高压气流接入换热器,经过换热器内回形管路进行热交换,将接入气流冷却后接入环形冷却装置;

[0017] 将冷却气流通过环形冷却装置内表面的密排小孔斜向下喷出,在工件周围形成一个均匀环形冷却流场。

[0018] 进一步的,所述高速高压气流的流量为10升/分钟-100升/分钟,气压为5兆帕至10兆帕。

[0019] 进一步的,所述换热器冷却物质为液氮,其将接入气流冷却到-30℃至-50℃。

[0020] 进一步的,所述环形冷却装置内表面密排小孔斜向下角度为10°至80°喷出冷却气流。

[0021] 本发明提出一种激光修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置和冷却方法,通过主动冷却熔覆周围区域,特别是涡轮叶片的外壁,可以增大熔池沿垂直叶尖方向的温度梯度,从而增强单晶组织的外延生长能力,减小等轴晶的产生,实现单晶组织在多层熔覆过程中的连续生长,从而满足单晶叶片叶尖磨损的接长修复要求。

附图说明

[0022] 图1所示为本发明较佳实施例的修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置结构示意图。

[0023] 图2所示为本发明较佳实施例的环形冷却装置结构示意图。

[0024] 图3所示为本发明较佳实施例的修复单晶涡轮叶片的主动冷却方法流程图。

[0025] 图4所示为修复后的单晶叶片内细密连续的单晶组织结构示意图。

具体实施方式

[0026] 以下结合附图给出本发明的具体实施方式,但本发明不限于以下的实施方式。根据下面说明和权利要求书,本发明的优点和特征将更清楚。需说明的是,附图均采用非常简化的形式且均使用非精准的比率,仅用于方便、明晰地辅助说明本发明实施例的目的。

[0027] 请参考图1,图1所示为本发明较佳实施例的激光修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置结构示意图。本发明提出一种激光修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置,包括:空气压缩机,换热器和环形冷却装置,其中所述空气压缩机将待冷却气体压缩为高速高压气流,并将其接入到所述换热器中,所述换热器将接入气流冷却后接入环形冷却装置,所述环形冷却装置设置于激光熔覆系统的工作台上方并环绕工件设置。

[0028] 根据本发明较佳实施例,所述待冷却气体为氩气、氮气或空气。所述高速高压气流的流量为10升/分钟-100升/分钟。所述高速高压气流的气压为5兆帕至10兆帕。所述换热器冷却物质为液氮,其将接入气流冷却到-30℃至-50℃。

[0029] 请参考图2,图2所示为本发明较佳实施例的环形冷却装置结构示意图。所述环形冷却装置100的内表面设置有密排小孔110。冷却气流通过环形冷却装置100内表面的密排小孔110斜向下喷出,在叶片周围形成一个均匀环形冷却流场。冷却气流喷出的角度与环形冷却装置100内表面密排小孔110的角度相关。环形冷却装置100内表面密排小孔110斜向下角度为10°至80°。通过调节冷却气流的大小、温度以及冷却喷嘴的位置和角度,使激光修复过程中达到最好的主动冷却效果。

[0030] 再请参考图3,图3所示为本发明较佳实施例的激光修复单晶涡轮叶片的冷却方法流程图。本发明还提出一种修复单晶涡轮叶片的主动冷却方法,包括下列步骤:

[0031] 步骤S100:将待冷却气体经过空气压缩机后形成高速高压气流;

[0032] 步骤S200:将高速高压气流接入换热器,经过换热器内回形管路进行热交换,将接入气流冷却后接入环形冷却装置;

[0033] 步骤S300:将冷却气流通过环形冷却装置内表面的密排小孔斜向下喷出,在工件周围形成一个均匀环形冷却流场。

[0034] 根据本发明较佳实施例,所述高速高压气流的流量为10升/分钟-100升/分钟,气压为5兆帕至10兆帕。所述换热器冷却物质为液氮,其将接入气流冷却到-30℃至-50℃。所述环形冷却装置内表面密排小孔斜向下角度为10°至80°喷出冷却气流,在叶片周围形成一个均匀环形冷却流场。通过调节冷却气流的大小、温度以及冷却喷嘴的位置和角度,使激光修复过程中达到最好的主动冷却效果。

[0035] 请参考图4,图4所示为修复后的单晶叶片内细密连续的单晶组织结构示意图。本发明提出一种激光修复单晶涡轮叶片的主动冷却装置和冷却方法,通过主动冷却熔覆周围区域,特别是涡轮叶片的外壁,可以增大熔池沿垂直叶尖方向的温度梯度,从而增强单晶组织的外延生长能力,减小等轴晶的产生,实现单晶组织在多层熔覆过程中的连续生长,从而满足单晶叶片叶尖磨损的接长修复要求。

[0036] 综上所述,本发明在原有的激光加工系统中(包括激光器、送粉器、机械臂、计算机和工作台等)的基础上,加入叶片环形冷却装置。激光修复单晶涡轮叶片叶尖过程中,将冷却气体经过空气压缩机后形成高速高压气流,并接入换热器中。经过回形管道与液氮充分换热后,高压高速气流冷却气流通过管线接入环绕叶片的环形冷却装置中,通过环形冷却装置内表面的小孔斜向下喷出,在叶片周围形成环形的冷却气体流场,在涡轮叶片表面形

成主动冷却区,从而增强叶片轴向的温度梯度。通过调节涡流管的冷却气流量和冷却管的位置和喷射角度,使得冷却效果达到最佳。

[0037] 虽然本发明已以较佳实施例揭露如上,然其并非用以限定本发明。本发明所属技术领域中具有通常知识者,在不脱离本发明的精神和范围内,当可作各种的更动与润饰。因此,本发明的保护范围当视权利要求书所界定者为准。

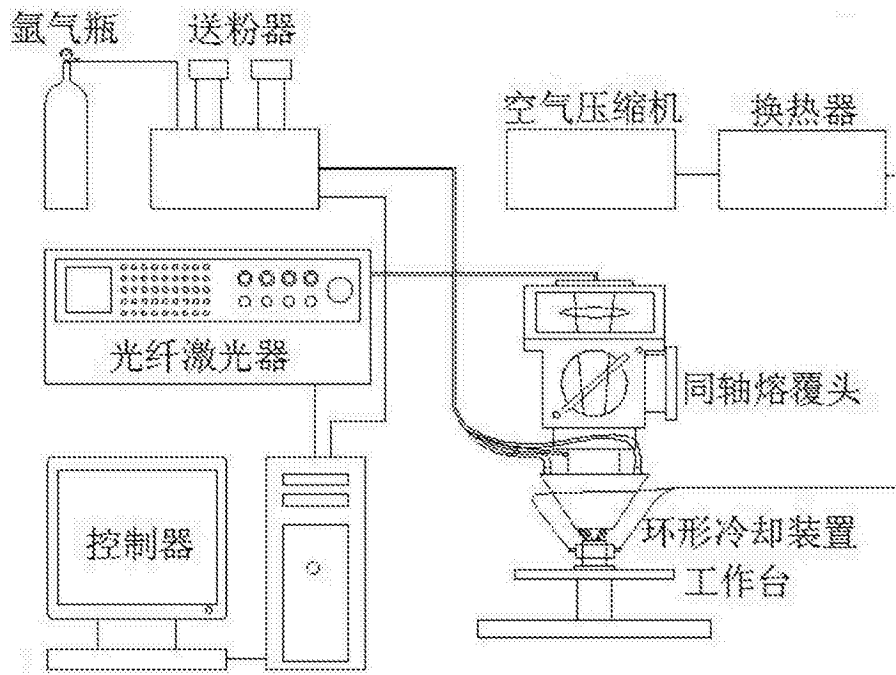


图1

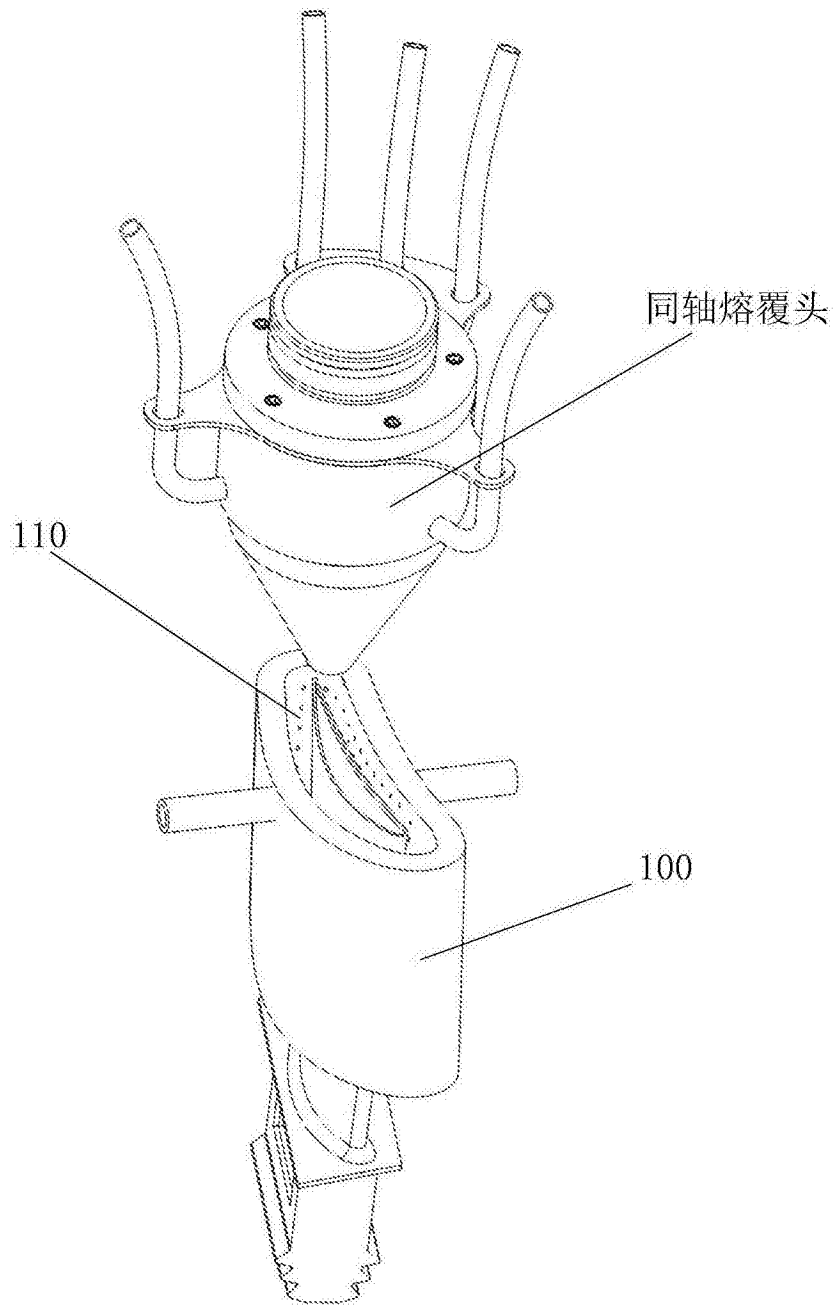


图2

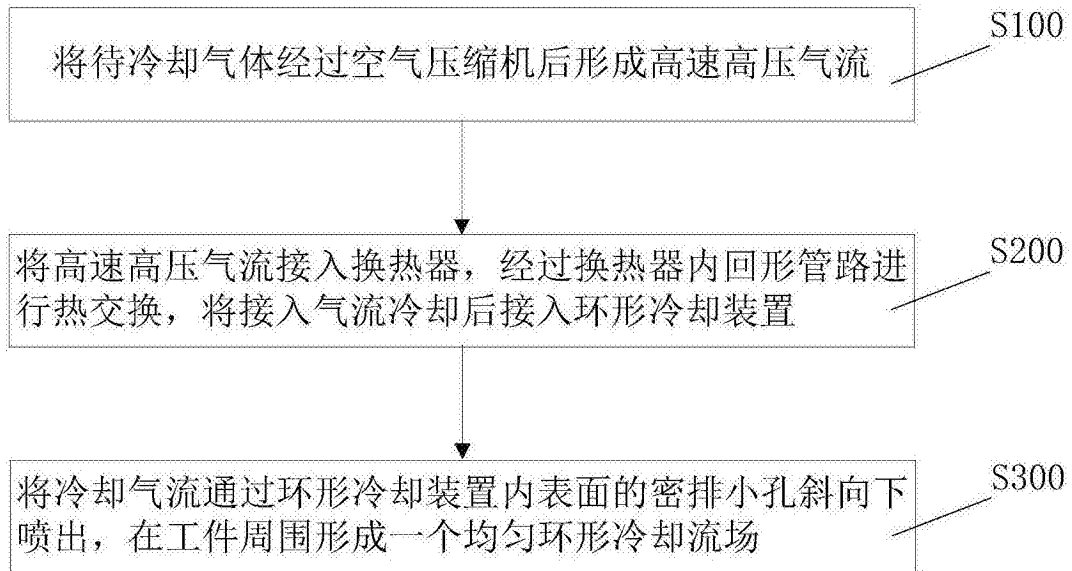


图3

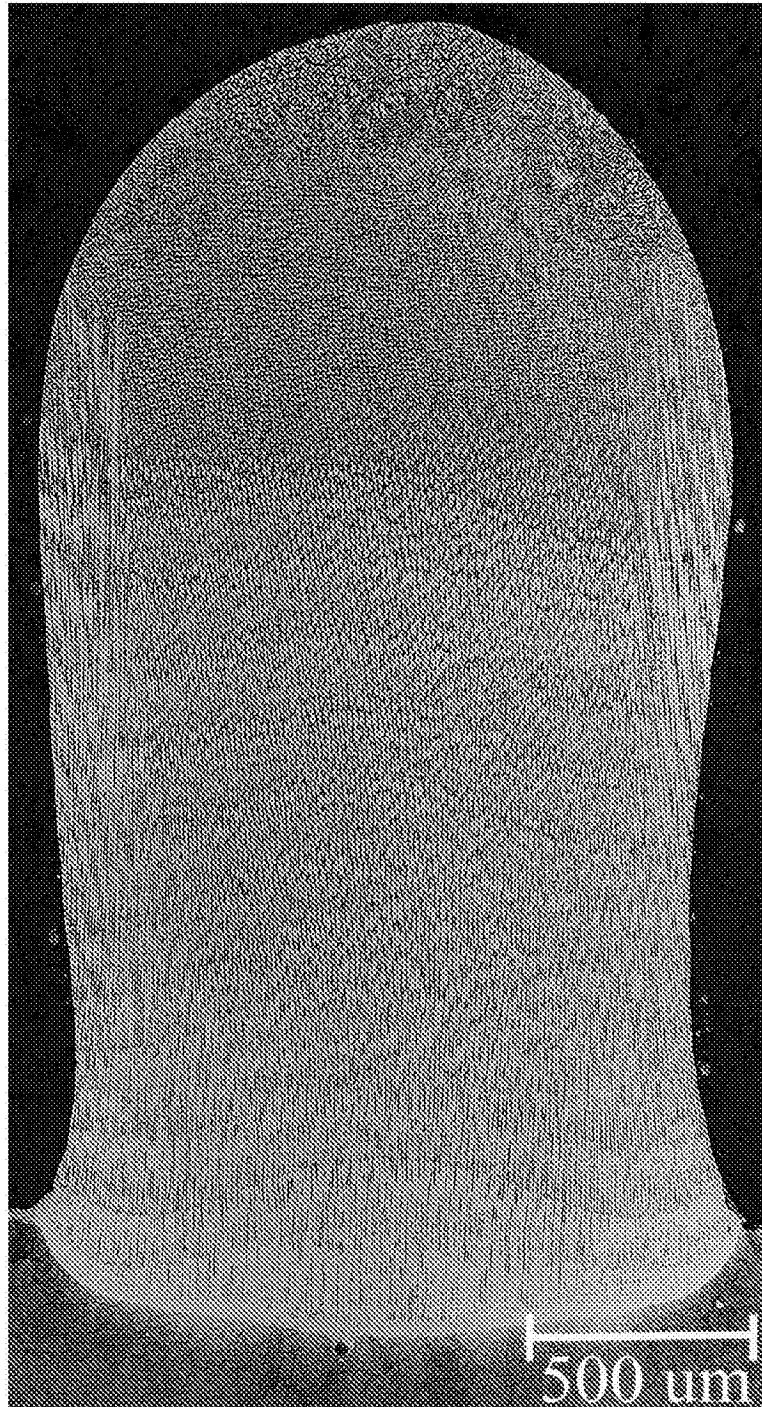


图4