



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112469523 B

(45) 授权公告日 2024. 12. 13

(21) 申请号 201980040061.1

(22) 申请日 2019.06.28

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112469523 A

(43) 申请公布日 2021.03.09

(30) 优先权数据
1856118 2018.07.03 FR

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2020.12.15

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/IB2019/055498 2019.06.28

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/008312 FR 2020.01.09

(73) 专利权人 瑟莫康柏克特公司
地址 法国梅斯苔丝

(72) 发明人 M·利 G·桑切斯 B·奥夫拉德
L·拉弗勒

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所
11247
专利代理师 唐秀玲 林柏楠

(51) Int.Cl.
B23H 7/08 (2006.01)
B21C 37/04 (2006.01)
C23C 28/02 (2006.01)

(56) 对比文件
US 2009025959 A1, 2009.01.29
US 3290124 A, 1966.12.06

审查员 赵月霞

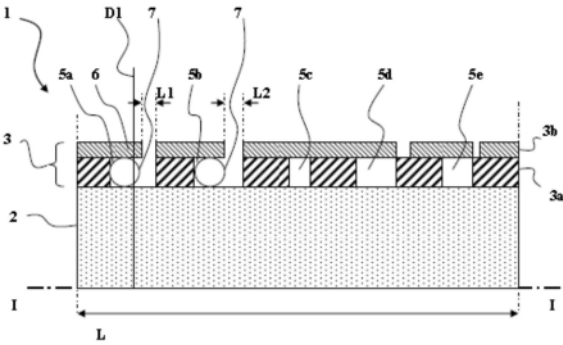
权利要求书2页 说明书12页 附图8页

(54) 发明名称

用于电火花加工的具有多孔层的电极线

(57) 摘要

根据本发明,用于电火花加工的电极线(1)包含由至少一个金属或金属合金层构成的金属芯(2)。在金属芯(2)上,具有与金属芯(2)不同的合金的涂层(3)包含大于50重量%的锌。涂层(3)包含断裂的 γ 相的铜-锌合金(3a),并覆盖大部分金属芯(2)。涂层(3)包含大于 $2\mu\text{m}$ 的被覆孔(5a,5b,5c,5d,5e)。



1. 用于电火花加工的电极线(1),所述电极线(1)包含:
 - 金属芯(2),其由一个或多个金属或金属合金层制成,
 - 在金属芯(2)上的涂层(3),其具有与金属芯(2)不同的合金并包含超过50%的锌,其中:
 - 涂层(3)包含断裂的 γ 相的铜锌合金层(3a),特征在于:
 - 涂层(3)包含大于 $2\mu\text{m}$ 的被覆孔(5a,5b,5c,5d,5e),
 - 一些或全部孔(5a,5b,5c,5d,5e)被外层(3b)覆盖,该外层(3b)由具有大于58重量%且小于100重量%锌的一种或多种铜和锌的合金制成。
2. 根据权利要求1所述的电极线,其特征在于,当电极线的直径为约0.30mm时,涂层(3)以大于85%的覆盖度覆盖金属芯(2),当电极线的直径为约0.25mm时覆盖度大于75%,当电极线的直径为约0.20mm时覆盖度大于65%。
3. 根据权利要求1所述的电极线,其特征在于,当电极线的直径为0.25mm时,涂层(3)以大于85%的覆盖度覆盖金属芯(2)。
4. 根据权利要求2所述的电极线,其特征在于,当电极线的直径为0.25mm时,涂层(3)以大于85%的覆盖度覆盖金属芯(2)。
5. 根据权利要求1所述的电极线,其特征在于,孔(5a,5b,5c,5d,5e)中的一些或全部被外层(3b)覆盖,该外层(3b)由具有大于78重量%且小于100重量%锌的一种或多种铜和锌的合金制成。
6. 根据权利要求2所述的电极线,其特征在于,孔(5a,5b,5c,5d,5e)中的一些或全部被外层(3b)覆盖,该外层(3b)由具有大于78重量%且小于100重量%锌的一种或多种铜和锌的合金制成。
7. 根据权利要求3所述的电极线,其特征在于,孔(5a,5b,5c,5d,5e)中的一些或全部被外层(3b)覆盖,该外层(3b)由具有大于78重量%且小于100重量%锌的一种或多种铜和锌的合金制成。
8. 根据权利要求4所述的电极线,其特征在于,孔(5a,5b,5c,5d,5e)中的一些或全部被外层(3b)覆盖,该外层(3b)由具有大于78重量%且小于100重量%锌的一种或多种铜和锌的合金制成。
9. 根据权利要求1-8中任一项所述的电极线,其特征在于,孔(5a,5b,5c,5d,5e)中的一些或全部被外层(3b)覆盖,该外层(3b)为 ϵ 相和 η 相的铜和锌的合金的混合物。
10. 根据权利要求1-8中任一项所述的电极线,其特征在于,涂层(3)在电极线的每个完整横截面上平均包含至少3个大于 $2\mu\text{m}$ 的被覆孔(5a,5b,5c,5d,5e)。
11. 根据权利要求1-8中任一项所述的电极线,其特征在于,涂层(3)在电极线的每个完整横截面上平均包含至少5个大于 $2\mu\text{m}$ 的被覆孔(5a,5b,5c,5d,5e)。
12. 根据权利要求1-8中任一项所述的电极线,其特征在于,涂层(3)包含大于 $3\mu\text{m}$ 的被覆孔(5a,5b,5c,5d,5e)。
13. 根据权利要求1-8中任一项所述的电极线,其特征在于,涂层(3)包含大于 $4\mu\text{m}$ 的被覆孔(5a,5b,5c,5d,5e)。
14. 根据权利要求1-8中任一项所述的电极线,其特征在于,金属芯(2)包含金属的芯

(2a)和 β 相的铜和锌的合金的中间层(2b)。

15. 根据权利要求14所述的电极线,其特征在于,芯(2a)由铜或铜合金制成。

16. 制造根据权利要求1-15中任一项所述的电极线的方法,包括以下步骤序列:

- 取直径为1.25mm的含63%铜和37%锌的黄铜芯,

- 在该芯上沉积厚度为20 μm 的第一锌层,

- 拉至0.30mm,

- 在180°C下进行扩散热处理2小时,以使锌外层部分地转变到 γ 相黄铜层中;然后该涂层包含在芯附近的 γ 相黄铜层,和 ϵ 相黄铜外层,

- 拉至0.25mm。

17. 制造根据权利要求1-15中任一项所述的电极线的方法,包括以下步骤:

- 取直径为1.20mm的含80%铜和20%锌的黄铜芯,

- 在该芯上沉积厚度为30 μm 的第一锌层,

- 在385°C下进行第一次热处理20小时,得到:约60 μm 厚的 β 相亚层,约15 μm 厚的 γ 相外层,

- 拉至0.62mm; γ 相断裂,

- 在断裂的 γ 相上涂3 μm 的锌涂层,预先脱脂和脱氧,

- 拉至0.25mm,

- 在130°C下进行热处理5小时。

18. 制造根据权利要求1-15中任一项所述的电极线的方法,包括以下步骤:

- 取直径为1.20mm的含80%铜和20%锌的黄铜芯,

- 在该芯上沉积38 μm 厚的第一锌层,

- 在395°C下进行第一次热处理22小时,得到:约76 μm 厚的 β 相亚层,约15 μm 厚的 γ 相外层,

- 拉至0.62mm; γ 相断裂,

- 在327°C下进行第二次热处理7小时;得到39 μm 厚的 β 相黄铜层,以及8 μm 的断裂的 γ 相黄铜块也包含 β 相的层,

- 在断裂的 γ 相上涂6.5 μm 的锌层,预先脱脂和脱氧,

- 拉至0.42mm,

- 在145°C下进行第三次热处理32小时,最后得到的涂层包含16 μm 厚的 β 相黄铜内层和14 μm 厚的 γ 相黄铜表面层,

- 拉至0.25mm。

19. 制造根据权利要求1-15中任一项所述的电极线的方法,包括以下步骤:

- 取直径为1.20mm的含60%铜和40%锌的黄铜芯,

- 在该芯上沉积13 μm 厚的锌层,

- 将该线拉至0.464mm,然后锌层厚5 μm ,

- 对由此获得的坯料进行扩散热处理,该扩散热处理包括经4小时将温度从室温升至固定阶段140°C11小时,然后经5小时将温度降至室温;然后,涂层包含约6 μm 的 γ 相黄铜内层和约2 μm 厚的 ϵ 相黄铜表面层,不含痕量的未合金锌;

- 逐渐拉至最终直径,所述最终直径有利地为0.20mm、0.25mm或0.30mm。

用于电火花加工的具有多孔层的电极线

发明领域

[0001] 本发明涉及用于在放电加工机床中通过电火花加工切割导电金属或材料的电极线。

[0002] 电火花加工的众所周知的方法是通过在工件和导电电极线之间的加工区中产生火花而从导电工件上去除材料。电极线在线的长度方向上连续地在工件附近延伸,由导向器固定,并且通过电极线导向器的横向平移或通过工件的平移而在横向方向上朝着工件逐渐移位。

[0003] 通过远离加工区的电触头与电极线连接的发电机在电极线和待加工导电工件之间建立合适的电位差。电极线和工件之间的加工区浸入合适的介电流体中。电势差导致在电极线和工件之间出现火花,从而逐渐电蚀工件和电极线。电极线的纵向行程允许永久性地保持足够的线直径,以防止其在加工区中断裂。电极线和工件在横向上的相对位移使得可以根据需要切割工件或处理其表面。

[0004] 通过电火花从电极线和工件上脱落的颗粒分散在介电流体中,并在此处被除去。

[0005] 为了获得精确的加工,特别是为了进行小半径的角度切割,需要使用直径小的电极线(其在断裂时可承受高的机械载荷)在加工区内拉伸并限制振动幅度。

[0006] 大多数用于电火花加工的现代机器都是为使用金属丝而设计的,通常直径为0.25毫米,断裂负载为400-1000N/mm²。

[0007] 由于电火花加工是相对缓慢的过程,因此也需要使加工速度最大化,特别是粗加工速度。在本专利申请中,粗加工速度以mm²/min,即切割面积的增加率来评价,或以在给定的工件高度下mm/min,即电极线穿入工件的速度来评价。

[0008] 到现在为止,假设该速度直接取决于在电极线和工件之间的加工区中释放的火花电蚀能量,因此取决于电极线可以传递到加工区的电能。然而,在加工区中的电蚀性放电以及由流过电极线的电流产生的焦耳效应倾向于加热电极线,同时降低其机械断裂强度。

[0009] 因此,用于电火花加工的电极线的局限性之一是它们在加热和机械张力的共同作用下断裂。这迫使用户限制其火花电蚀机的加工能力,这也限制了加工速度。

[0010] 已经提出使用包含金属芯和连续锌涂层的用于电火花加工的电极线,涂层的作用是限制金属芯的加热,由于锌在蒸发时消耗热能。这使得可以增加由放电加工机床传递的加工能力,因此可以提高相对于裸铜线的加工速度。但是,纯锌层消耗得很快,不能保护电极线的芯足以切穿厚工件的时间。

[0011] 文件CH 633739A5描述了一种用于电火花加工的电极线及其制造方法,该电极线具有可以是铜或铜和锌的合金的芯,并具有不同于铜和锌的合金的涂层并覆有氧化锌膜。该文件提到铜锌合金涂层具有Kirkendall效应(铜和锌的不同扩散速率)所产生的多孔结构,该电极线具有带有1-2μm的孔的粗糙表面,氧化锌膜紧随表面粗糙度。该文件教导了电极线的这种粗糙表面结构更容易被用于加工的介电流体的水润湿,这增加了电极线的冷却功能并允许更大的电流通过。

[0012] 文件EP 0 930 131 B1还描述了一种用于电火花加工的电极线及其制造方法,该

线具有包含铜的第一金属的芯,形成于芯上的合金层,以及在该合金层上并由具有比第一金属低的汽化温度的第二金属组成的表面层。该文件教导了获得电极线的多孔表面层的优点,并且孔是开放的,因为这增加了电极线与用于加工的介电流体之间的接触面积,以更好地冷却电极线。该文件还教导了多孔层促进从加工中去除废物。这导致加工速度的提高。根据该文件中描述的方法,电极线的表面会龟裂。通过将直径为0.9mm的黄铜芯浸入熔融的锌浴中,然后将该涂覆的线拉成最终直径为0.1-0.4mm,而获得电极线。

[0013] 在文件US 5945010中,提出了对涂锌的 α 相黄铜进行退火以产生 γ 相黄铜的外围层,然后将由此获得的毛坯拉成最终直径的方法。拉丝会产生断裂的 γ 相黄铜的表面层。该断裂向外部敞开,因此 γ 相黄铜外围层对芯的覆盖度最高为58%。所得用于电火花加工的电极线的表面是不规则的,该文件教导说,这促进了从加工中去除废产物,但是没有提高加工速度。

[0014] 文件US 8067689 B2教导了破裂的 γ 相黄铜的亚层的优点,该亚层浸入锌或 ϵ 相黄铜的基本上连续的外层中。用于电火花加工的电极线是由直径为0.9mm的黄铜芯制成的,该黄铜芯包含60%的铜和40%的锌,并涂上10 μ m的锌涂层。在氮气中在170°C下热处理6小时,通过扩散将锌转变到 γ 相黄铜层中。然后将 γ 相黄铜层通过电解而覆盖10 μ m的锌表面层,并通过拉丝操作将直径减小到0.25mm。该文件教导了拉丝操作使 γ 相黄铜的层断裂,同时将由断裂产生的 γ 相黄铜的颗粒嵌入表面层的锌中。该文件还提到,然后通过低温热处理将表面层的锌转变到 ϵ 相黄铜中,所得 ϵ 相可以是多孔的。孔是开放的,因为它们可以在水性介质中存在石墨颗粒悬浮液的情况下通过拉丝操作依次被石墨填充。这种用于电火花加工的电极线的缺点在于,当在放电加工机床中使用电极线时,表面层的一些材料倾向于以粉末的形式脱落。这种粉末可能会积聚在导向器中,导致用于电火花加工的电极线阻塞和不理想的断裂。

[0015] 文件FR 2 881 973 A1描述了根据权利要求1的前序部分的电极线。未明确描述图2所示的被覆孔的尺寸,并且未描述获得大于2 μ m的被覆孔的方法。

[0016] 在本说明书和权利要求书中,用于电火花加工的电极线的结构的特征尤其在于构成金属芯的涂层的合金的相。在铜锌系统的相平衡图中描述了这些相。相平衡图的一个实例如图6所示。这些相的特征在于其组成或晶体结构。

[0017] 实际上,表述“ β 相黄铜”表示具有约45%-49%锌的铜和锌的合金。在室温下,该 β 相是有序的且相当脆,通常称为 β' 。在一定温度以上,该结构变得无序,然后称为 β 相。 β 和 β' 相之间的过渡是不可避免的,但几乎没有效果。结果,为简单起见,黄铜在本说明书中将用单个表达“ β 相黄铜”表示。

[0018] 在说明书和权利要求书中,表述“ γ 相黄铜”用于表示铜和锌的合金,其中锌以约67重量%的比例存在。

[0019] 在说明书和权利要求书中,表述“ ϵ 相黄铜”用于表示铜和锌的合金,其中锌以约83重量%的比例存在。

[0020] 在说明书和权利要求书中,表述“ η 相黄铜”用于表示铜和锌的合金,其中锌以99-100重量%的比例存在。

[0021] “ α 相黄铜”可具有低于40重量%的锌含量,例如约35重量%,或甚至约20重量%。

发明内容

[0022] 仍然需要尽快加工,同时避免在加工过程中粉末形式的材料的脱落。

[0023] 本发明令人惊讶地发现,在具有给定的芯结构并包含锌含量超过50重量%的合金的断裂层的涂层的电火花加工用电极线中,当在电极线表面下的断裂层中存在被覆孔时,并且当孔足够大且被充分覆盖以使涂层覆盖大部分芯时,可以进一步提高加工速度。这一发现与文件CH 633 739 A5,EP 0 930 131 B1和US 5945010的教导背道而驰,相反,这些文件建议为提高切割速度,制作不规则的电极线表面层,即,包含朝向外部的许多开孔,促进与介电流体的接触以冷却电极线,并促进介电流体中的水力湍流,从而从加工中去除废物。

[0024] 在这方面,为了比较用不同涂层获得的技术效果,用于电火花加工的电极线必须具有相同的芯结构。实际上,已知芯的结构对电火花加工的速度有影响。例如,对于相同结构的涂层,具有包含80%铜和20%锌的黄铜芯的用于电火花加工的电极线比具有包含63%铜和37%锌的黄铜芯的用于电火花加工的电极线具有更高的加工速度。

[0025] 在本说明书和所附的权利要求中,孔表示不包含固体物质的空间,包含在较大体积的固态物质中。在用于电火花加工的电极线的截面的平面中,孔是该平面中不包含固体物质的表面。当可以在孔的内部绘制直径为 $2\mu\text{m}$ 的圆时,观察平面中孔的尺寸认为大于 $2\mu\text{m}$ 。因此,孔的大小是可在其内部绘制的最大圆的直径。

[0026] 开孔,如上面引用的现有技术文件中描述的用于电火花加工的电极线的不规则表面中存在的那些,没有被固体物质覆盖。因此,从用于电火花加工的电极线的轴线开始并穿过所述圆的径向直线明确地从观察到的图形截面的固体物质区离开。

[0027] 相反,在本发明的意义上,被覆孔看起来受到电极线表面的固体物质的限制。在这种情况下,从用于电火花加工的电极线的轴线开始并穿过限定孔尺寸的所述圆的任何径向直线仅在再次穿过固体物质之后才离开电极线。

[0028] 为了观察电极线截面的观察平面中的孔,应准备截面,抛光并用小景深的显微镜观察。小于 $1\mu\text{m}$ 的景深可能是合适的。

[0029] 纵向覆盖度表示观察电极线的纵向截面时,被涂层覆盖的电极线的长度除以观察到的电极线纵向截面的总长度。

[0030] 用于电火花加工的电极线的纵向截面穿过接近电极线的中间纵向轴的平面。这可以通过测量电极线的表观宽度来检查,该宽度必须等于电极线的直径,例如相差2%以内。

[0031] 为了描述和评估孔的数量,考虑了用于电火花加工的电极线的横向平面截面,即,大致垂直于用于电火花加工的电极线的纵轴的截面。通过比较形成横向平面截面轮廓的椭圆的长轴和短轴,检查平面截面的横向方向。椭圆的短轴的长度必须是长轴长度的至少0.9倍,才能将截面视为横向,即近似垂直于电极线的轴。

[0032] 因此,为了进一步提高电火花加工的速度,本发明提出一种用于电火花加工的电极线,包含:

[0033] -在一个或多个金属或金属合金层中的金属芯,

[0034] -在金属芯上的涂层,该涂层的合金与金属芯的合金不同,含有超过50重量%的锌,

[0035] -涂层包含断裂的 γ 相铜锌合金,

[0036] -涂层包含大于 $2\mu\text{m}$ 的被覆孔,

[0037] 其中:

[0038] -一些或全部孔被一种或多种铜和锌的合金覆盖,其中铜和锌的合金具有大于58重量%,小于100重量%的锌。

[0039] 尽管这些解释还不确定,但是认为足够大的被覆孔降低了电极线在电极线外表面和芯之间的径向上的导热性。因此,当电极线的表面受到加工火花的作用时,其表面温度在存在被覆孔时比不存在被覆孔上升得更快。结果,覆盖电极线的孔的金属表面层更快速地蒸发。在短暂的火花持续时间内,这会在电弧中产生高的金属蒸气压,这种高的压力会增加从工件表面去除材料。因此,电弧的效率由于覆盖孔的材料快速蒸发而得以优化,所述蒸发由于孔本身相对于电极线的芯所提供的绝缘而被加速。

[0040] 同时,由于制造工艺允许产生被覆孔,由于适度的拉丝,因此可以明显降低电极线表面层碎裂的风险,使用电极线进行电火花加工时,这种碎裂可能会使材料以粉末形式释放。此外,可以看出,在放电加工机床的初始重新穿线步骤中,电极线的完整性更好,这是因为扩散热处理可以在芯的重结晶温度以下将铜和锌的合金保持在超过58重量%锌。

[0041] 同样,作为该方法的结果,观察到获得了高的覆盖度。因此,对于直径为约0.3mm的电极线,覆盖度大于85%,对于直径为约0.25mm的电极线,覆盖度大于75%,对于直径为约0.2mm的电极线,覆盖度大于65%。

[0042] 更有利地,对于直径为约0.25mm的电极线,覆盖度大于85%。

[0043] 更有利地,可以规定一些或全部孔被一种或多种大于78重量%且小于100重量%锌的铜和锌的合金覆盖。

[0044] 根据一个特定的实施方案,可以规定一些或全部孔被 ϵ 相和 η 相的铜和锌的合金的混合物覆盖。

[0045] 此外,为了进一步提高粗加工的速度,可以有利地规定,芯包含金属芯和 β 相的铜和锌的合金的中间层。

[0046] 在这种情况下,芯可以是铜或铜合金。

[0047] 根据有利的实施方案,电极线的涂层在电极线的每个完整横截面中平均包含至少三个大于 $2\mu\text{m}$ 的被覆孔。

[0048] 优选地,电极线的涂层在电极线的每个完整横截面中平均包含至少5个大于 $2\mu\text{m}$ 的被覆孔。

[0049] 可能有利的是规定电极线的涂层包含大于 $3\mu\text{m}$ 的被覆孔,或者更有利地是,包含大于 $4\mu\text{m}$ 的被覆孔。

[0050] 在本发明的设计中必须解决的困难是设计方法以允许以足够的尺寸和足够的数量产生被覆孔。

[0051] 实际上,以上引用的现有技术文件中描述的方法导致产生开孔,即在用于电火花加工的电极线的外表面上的孔,显著降低了覆盖度,并产生了与本发明所寻求的技术效果不同的技术效果。

[0052] 基于观察到具有 γ 相的铜和锌的合金的涂层的电极线坯料的拉丝使合金层断裂并且在合金块(block)之间产生间隙,发明人试图覆盖至少部分间隙,从而产生被覆孔。

[0053] 然而,仅用锌或某些其他锌合金的表面层覆盖 γ 相的铜和锌的合金层不足以获得具有改进性能的被覆孔。发现:

[0054] -如果锌表面层、 η 相的铜和锌的合金表面层或 ϵ 相的铜和锌的合金表面层相对于 γ 相的铜和锌的合金层的厚度太厚,则 γ 相的铜和锌的合金层不破裂,没有孔,加工速度没有提高;

[0055] -如果锌表面层、 η 相的铜和锌的合金表面层或 ϵ 相的铜和锌的合金表面层相对于 γ 相的铜和锌的合金层的厚度太薄,则孔是开放的而不是被覆盖的,加工速度没有提高;

[0056] -如果 γ 相的铜和锌的合金层太薄,则锌、 η 相的铜和锌的合金或 ϵ 相的铜和锌的合金会完全或几乎完全填满间隙,没有被覆孔,或者被覆孔尺寸小,对加工速度的影响很小或为零;

[0057] -如果 γ 相的铜和锌的合金层太厚,则拉出的丝是脆的,即在弯曲时容易断裂,特别是在断裂后自动重新穿线的步骤中;

[0058] -如果在合适的合金层上未正确进行拉丝,则在用于电火花加工时,电极线会产生大量粉末。

[0059] 根据第一种可能,在涂层的断裂 γ 相中已经产生的间隙的顶部产生锌涂层。因此,空隙被捕获并构成被覆孔或引发被覆孔的位置。

[0060] 根据第二种可能,在涂覆有 γ 和 η 相的叠层(轻度合金化的锌)的电极线上进行非常轻微的拉伸。

[0061] 因此,根据另一方面,本发明提出了一种用于生产这种电极线的经济的方法,包括以下步骤:

[0062] a) 提供黄铜芯,

[0063] b) 用电解锌层覆盖芯,制成初步的坯料,

[0064] c) 对初步坯料进行第一次拉丝,使其直径为最终直径的约120%,

[0065] d) 在约170°C和约180°C之间的温度下对拉制的初步坯料进行扩散热处理约2h,选择锌层的厚度、温度和持续时间,以通过涂层的锌和芯的黄铜之间的扩散,产生具有 γ 相黄铜亚层、 ϵ 相黄铜中间层和锌或 η 相黄铜外层的坯料,

[0066] e) 将如此分散的坯料进行第二次冷拉丝,以获得最终直径。

[0067] 在第二次拉丝过程中, γ 相黄铜断裂。

[0068] 在第二次拉丝过程中, ϵ 相黄铜层和表面锌仅非常部分地填充了 γ 相块之间产生的空隙,从而产生了被覆孔。

[0069] 通过随后在约140°C的低温下进行的热处理,覆盖孔的锌或 η 相黄铜外层可以转变为 ϵ 相或 γ 相,而无需芯重结晶,即不从加工硬化状态转变为退火状态。

[0070] 优选地,第一拉丝使直径减小约40%-78%。

[0071] 在下文给出的描述中公开了获得被覆孔的其他方法。

[0072] 在所描述的方法中,优选那些特别适合工业生产的方法,因为它们由于在明显大于最终直径的电极线直径上进行的热处理次数减少而易于实施。

[0073] 附图的简要说明

[0074] 通过以下参考附图对特定实施方案的描述,本发明的其他目的、特征和优点将变得更加清楚,其中:

[0075] -图1是根据本发明的用于电火花加工的电极线的示意性透视图;

[0076] -图2是根据电极线的芯的第一实施方案,图1中电极线的放大的示意性截面图;

- [0077] -图3是根据电极线的芯的第二实施方案,图1中电极线的放大的示意性截面图;
- [0078] -图4是根据图1的电极线的一部分的放大的示意性局部纵剖面图;
- [0079] -图5示出了铜-锌体系的相平衡图的例子;
- [0080] -图6是根据文件US 8067689的现有技术的电极线的局部剖视图;
- [0081] -图7是本发明实施例1的电极线样品A的示意性局部剖视图;
- [0082] -图8是本发明实施例2的电极线样品B的示意性局部剖视图;
- [0083] -图9是本发明实施例5的电极线样品E的示意性局部剖视图;
- [0084] -图10是本发明实施例6的电极线样品F的示意性局部剖视图;
- [0085] -图11是本发明电极线样品B的横截面的光学显微镜照片;
- [0086] -图12是图11的电极线样品B的纵截面的光学显微镜照片;
- [0087] -图13是根据本发明的直径为0.25mm的电极线样品G的横截面的光学显微镜照片;
- [0088] -图14是图13中电极线样品G的纵截面的光学显微镜照片;
- [0089] -图15是图13中电极线样品G的表面的光学显微镜照片;和
- [0090] -图16是根据本发明的直径为0.30mm的电极线样品G的横截面的光学显微镜照片。

具体实施方式

[0091] 在附图所示的实施方案中,用于电火花加工的电极线1包含金属芯2,金属芯2覆盖有厚度 E_3 的涂层3,涂层3包含断裂的 γ 相黄铜。

[0092] 在图2所示的实施方案中,金属芯2包含金属或金属合金的单层,例如具有63%铜和37%锌的合金,或具有80%铜和20%锌的合金。

[0093] 在图3所示的实施方案中,金属芯2包含两个不同的金属或金属合金层,其不同之处在于存在金属芯2a(例如 α 相黄铜)和 β 相的铜和锌的合金的中间层2b。

[0094] 在图3的相同实施方案中,涂层3包含具有断裂的 γ 相的铜和锌的合金(即块的形式)的内层3a,还包含厚度 E_4 的 ϵ 相的锌或锌和铜的合金的外层3b。

[0095] 现在让我们考虑图4,该图示意性地放大地示出了图1中电极线1的长度L的一部分的纵向截面中在覆盖芯2的涂层3的径向区域的局部视图。

[0096] 具有断裂结构的涂层3包含被覆孔5a、5b、5c、5d和5e。

[0097] 图4示出了被覆孔的尺寸。我们可以看到,例如在被覆孔5a和5b中,有一个内腔,其中可以画出一个圆7。当圆7与空腔的相对壁接触时,圆7的直径限定了孔的尺寸。

[0098] 所述孔,例如孔5b,认为是“被覆”的,因为从电极线的轴线I-I开始并穿过所述圆7的径向直线如直线D1,仅在再次穿过固体物质6后才离开电极线。类似地,当所述圆7被固体物质6覆盖时,孔认为是“被覆”的。

[0099] 在图4的图示中,孔5c、5d和5e被完全覆盖,在这种意义上,没有径向直线穿过它们从电极线中出来而不再次穿过固体物质。换句话说,沿径向观察电极线的外表面,不能看到构成孔的体积的内腔。相反,孔5a和5b被覆盖,但是仅部分地被覆盖,在这种意义上,穿过它们的径向直线在以长度 L_1 和 L_2 示出的空间中可以从孔中出来而不再次穿过固体物质。换句话说,沿径向观察电极线的外表面,可以至少部分地看到构成孔5a或5b的体积的内腔。

[0100] 图4还示出了涂层3覆盖金属芯2的纵向覆盖度 T_c 。在观察到的电极线的纵向截面中,在总长度L下,未被涂层3覆盖的芯2的长度等于空间(根据该空间,穿过孔5a和5b的径向

直线可以从孔中出来而不穿过固体物质)的长度L1和L2的总和。然后,覆盖度Tc由下式定义:

[0101] $Tc = [(总长度) - (未覆盖的长度)] / (总长度) = 1 - (L1 + L2) / L$

[0102] 现在将描述包含被覆孔的这种类型的电极线的几个实施例。

[0103] 在所有这些实施例中,拉丝步骤都是通过在拉丝模具中注入5体积%-10体积%的油在水中的乳液来进行的。热处理步骤在自由的气氛中进行,没有特殊的预防措施以避免在电极线的外表面存在氧化物。

[0104] 实施例1

[0105] 在该第一实施例中,电极线(样品A)通过以下方法制造:

[0106] -取直径为1.25mm,含63%铜和37%锌的黄铜芯,

[0107] -在该芯上沉积厚度为6 μ m的第一锌层,

[0108] -拉至0.46mm,

[0109] -进行扩散热处理,以获得约4 μ m厚的 γ 相黄铜外层;实际上,热处理可在180°C下进行约6小时,

[0110] -拉至0.30mm: γ 相破裂成约5 μ m的块,在所述块之间留有空隙,

[0111] -沉积约2 μ m厚的锌层,

[0112] -拉至0.25mm。

[0113] 在图7中以局部横截面示意性地示出了这种电极线样品A。

[0114] 发现,在这种电极线A中,在电极线的横截面中可以观察到被覆孔5a。实际上,在覆盖芯2的涂层3中,外层3b的易延展的锌仅部分填充了存在于 γ 相黄铜层3a的块之间的空隙。然而,被覆孔5a的数量很少,且尺寸小(小于约2 μ m)。

[0115] 随后在低温下进行热处理(约60°C,48小时),制成电极线(样品A'),其中覆盖孔5a的锌外层3b通过扩散转变到 α 相黄铜中,而芯2不重结晶,不会导致被覆孔消失。

[0116] 实施例2

[0117] 在该第二实施例中,电极线(样品B)通过以下方法制造:

[0118] -取直径为1.25mm,含63%铜和37%锌的黄铜芯,

[0119] -在该芯上沉积厚度为20 μ m的第一锌层,

[0120] -拉至0.30mm,

[0121] -在180°C下进行扩散热处理2小时,以使锌外层部分转变到6 μ m的 γ 相黄铜层中;然后,涂层在芯附近包含一个 γ 相黄铜层,和一个5 μ m的 ϵ 相黄铜外层,

[0122] -拉至0.25mm。

[0123] 这种电极线样品B在图8中以局部横截面示意性地示出。

[0124] 发现,在这种电极线B中,在电极线的横截面中可以观察到被覆孔5a、5b、5c。在覆盖电极线芯2的涂层3中,层3a的 γ 相在第二次拉丝过程中断裂成块。 ϵ 相的外层3b仅非常部分地填充了在 γ 相层3a的块之间产生的空隙,留下了被覆孔5a、5b、5c,这些孔更多且更大(可能超过4 μ m)。纵向覆盖度大于90%。

[0125] 通过随后的低温热处理(在约180°C的温度下4小时),覆盖孔的 ϵ 相外层3b可以转化为 γ 相黄铜,而芯2不重结晶,不会导致被覆孔5a、5b、5c消失。

[0126] 在图8中,示意性地示出了裂纹8,其在形状和体积方面明显不同于本发明被覆孔,

该裂纹在电极线的表面上开口。

[0127] 图11和图12中的照片分别示出了在电极线B的纵向截面和横截面中存在被覆孔。

[0128] 实施例3

[0129] 在该第三实施例中,电极线(样品C)通过以下方法制造:

[0130] -取直径为1.20mm,含80%铜和20%锌的黄铜芯,

[0131] -在该芯上沉积厚度为30 μm 的第一锌层,

[0132] -在385 $^{\circ}\text{C}$ 下进行首次热处理20小时,以得到:约60 μm 厚的 β 相亚层,约15 μm 厚的 γ 相外层,

[0133] -拉至0.62mm; γ 相断裂,

[0134] -在断裂的 γ 相上涂3 μm 的锌涂层,并预先脱脂和脱氧,

[0135] -拉至0.25mm,

[0136] -在130 $^{\circ}\text{C}$ 下进行热处理5小时。

[0137] 表面锌被转化到 ϵ 相黄铜中。

[0138] 发现,在这种电极线C中,获得的纵向覆盖度为约90%。在电极线的横截面中可以观察到有被覆孔。这些孔中的一些可能大于3 μm 。平均而言,在电极线的整个横截面上观察到超过3个被覆孔。

[0139] 实施例4

[0140] 在该第四实施例中,电极线(样品D)通过以下方法制造:

[0141] -取直径为1.20mm,含80%铜和20%锌的黄铜芯,

[0142] -在该芯上沉积厚度为38 μm 的第一锌层,

[0143] -在395 $^{\circ}\text{C}$ 下进行第一次热处理22小时,以得到:约76 μm 厚的 β 相亚层和约15 μm 厚的 γ 相外层,

[0144] -拉至0.62mm; γ 相断裂,

[0145] -在327 $^{\circ}\text{C}$ 下进行第二次热处理7小时;我们得到了39 μm 厚的 β 相黄铜层,以及8 μm 的断裂的 γ 相黄铜块也包含 β 相的层,

[0146] -在断裂的 γ 相上涂6.5 μm 的锌涂层,预先脱脂和脱氧,

[0147] -拉至0.42mm,

[0148] -在145 $^{\circ}\text{C}$ 下进行第三次热处理32小时,最后得到包含16 μm 厚的 β 相黄铜的内层和14 μm 厚的 γ 相黄铜的层的涂层,

[0149] -拉至0.25mm。

[0150] 发现,在这种电极线D中,获得的纵向覆盖度为约86%。在电极线的横截面中可以观察到有被覆孔。这些孔中的一些可能大于4 μm 。平均而言,在电极线的整个横截面上观察到超过5个大于2 μm 的被覆孔。

[0151] 实施例5

[0152] 在该第五实施例中,电极线(样品E)通过以下方法制造:

[0153] -取直径为1.25mm,含63%铜和37%锌的黄铜线,

[0154] -在该芯上沉积14 μm 厚的第一锌层,

[0155] -将该线拉至0.827mm,

[0156] -对由此获得的坯料进行扩散热处理,直到涂层表面不再具有锌为止;实际上,热

处理可以在180℃下进行4小时。我们得到约13μm的γ相黄铜层和约7μm厚的ε相黄铜表面层,没有锌的痕迹,

[0157] -拉至0.25mm。

[0158] 这种电极线样品E在图9的局部截面中示意性地示出。

[0159] 发现,在这种电极线E中,获得的纵向覆盖度为约86%。γ相黄铜层3a断裂,包括厚度变化的黄铜块,厚度可达12μm。在电极线的横截面中可以观察到被覆孔5a,5b,5c,5d。这些孔中的一些可能大于4μm。平均而言,在电极线的整个横截面上,在覆盖芯2的涂层3中,观察到超过5个大于2μm的被覆孔。

[0160] 在图9中示意性地示出了裂纹8,该裂纹在形状和体积方面与本发明被覆孔明显不同,并且在电极线的表面上开口。

[0161] 实施例6

[0162] 在该第六实施例中,电极线(样品F)通过以下方法制造:

[0163] -取直径为1.25mm,含63%铜和37%锌的黄铜芯,

[0164] -在该芯上沉积厚度为20μm的第一锌层,

[0165] -拉至0.827mm,

[0166] -在180℃下进行第一次热处理5小时,以得到:约15μm厚的γ相的铜和锌的合金的亚层,约6μm的ε相的铜和锌的合金的中间层,约6μm厚的η相的轻合金化铜锌合金的外层,

[0167] -拉至0.25mm;γ相断裂,覆盖芯的涂层是γ相的铜锌合金块的混合物,在该块之间的孔被ε相和η相的铜锌合金的混合物覆盖。

[0168] 在图10中以局部横截面示意性地示出了这种电极线样品F。

[0169] 发现,在这种电极线F中,获得的纵向覆盖度大于约90%。在电极线的横截面中可以观察到被覆孔5a,5b,5c。这些孔中的一些可能大于4μm。平均而言,在电极线的整个横截面上观察到超过5个大于2μm的被覆孔。

[0170] 随后在低温下热处理(约60℃,48小时),制成电极线(样品F'),其中覆盖孔的锌外层3b通过扩散转变到ε相黄铜中,芯2不重结晶,不会导致被覆孔5a,5b,5c消失。

[0171] 接着在约180℃下进行第二次热处理2小时,制成电极线(样品F''),其中覆盖孔的ε相的铜和锌的合金的外层3b通过扩散而转变到γ相的铜和锌的合金中,芯2不重结晶,不会导致被覆孔5a,5b,5c消失。

[0172] 实施例7

[0173] 在该第七实施例中,电极线(样品G)通过以下方法制造:

[0174] -取直径为1.20mm,含60%铜和40%锌的黄铜线,

[0175] -在该芯上沉积13μm厚的锌层,

[0176] -将该线拉至0.464mm,然后锌层厚5μm,

[0177] -对由此获得的坯料进行扩散热处理,该扩散热处理包括经4小时将温度从室温升至固定阶段140℃11小时,然后经5小时将温度降至室温;然后,涂层包含约6μm的γ相黄铜内层和约2μm厚的ε相黄铜表面层,不含锌;

[0178] -逐渐拉至最终直径,例如通过使用5个连续的模具减小到最终直径0.30mm,或使用8个连续的模具减小到最终直径0.25mm,或使用10个连续的模具减小到最终直径0.20mm。

[0179] 图13、14和15是直径为0.25mm的样品电极线G的光学显微镜照片,分别为横截面、

纵向截面和表面视图。图16是直径为0.30mm的样品电极线的光学显微镜照片。这些照片上标出了以下内容:芯2,断裂的 γ 相的铜和锌的合金内层3a, ϵ 相的铜和锌的合金外层3b以及被覆孔5a。

[0180] 可以看出,在这样的电极线G中,当电极线的直径为0.30mm时,获得的纵向覆盖度为约88%。当电极线的直径为0.25mm时,纵向覆盖度为约77%。当电极线的直径为0.20mm时,纵向覆盖度为约66%。 γ 相黄铜层断裂,包括厚度基本恒定的黄铜块。在电极线的截面中可以观察到被覆孔5a。这些孔中的一些大于 $2\mu\text{m}$ 。平均而言,在覆盖芯的涂层中,在电极线的整个横截面上观察到超过5个大于 $2\mu\text{m}$ 的被覆孔。

[0181] 第二实施例的样品B和第七实施例的样品G通过特别适于工业生产的方法而获得,因为仅需进行一次热处理即可。在样品G的情况下,该热处理在明显大于最终直径的电极线直径上进行,这在工业生产中甚至更有利。

[0182] 测试

[0183] 进行了比较加工测试,证明了本发明的有益效果。

[0184] 使用电极线A,A',B,C,D,E,F,F',F''和G(上面描述了其制造)进行加工测试,使它们与以下进行比较:

[0185] -直径为0.25mm的含63%铜和37%锌的裸铜电极线(样品LA),

[0186] -直径为0.25mm的电极线(样品T),其具有含63%铜和37%锌的铜锌合金的芯,实际上覆盖100%芯表面并包含断裂的 γ 相的铜和锌的合金块的涂层,所述块嵌入在 ϵ 相的铜和锌的合金的基体中,该基体填充了 γ 相的块之间的间隙。该电极线如在文件US 8067689B2中根据 ϵ 相的实施方案所述,

[0187] -直径为0.25mm的电极线(样品SD2),其具有含63%铜和37%锌的铜和锌的合金的芯;具有 β 相的铜和锌的合金亚层和断裂的 γ 相的铜和锌的合金外层(即具有开孔)的涂层,

[0188] -直径为0.25mm的电极线(样品SE),其具有含80%铜和20%锌的铜和锌的合金的芯,具有 β 相的铜和锌的合金亚层和断裂的 γ 相的铜和锌的合金外层(即具有开孔)的涂层,

[0189] -直径为0.25mm的电极线(样品SA),其具有含63%铜和37%锌的铜和锌的合金的芯,断裂的 γ 相的铜和锌的合金的涂层,具有基本恒定的厚度的合金块,并显示断面中的孔,即具有开孔。

[0190] 所有加工测试均使用GFMS P350机床在高度为50mm的钢制工件(在底部4.4mm和顶部5.0mm处有独立(detached)喷嘴)上进行,采用AC CUT VS+0.25mm技术($ACO=0$),将I从17变为18,将P从54变为45,以提供约10A的加工电流,将FW从17变为10。

[0191] 关于评价加工过程中粉末产量的对比试验,将一段约1000延米的电极线,以10N的张力张紧,使其通过放电加工机床的陶瓷线槽,将粉末收集在线槽下粘合剂表面上,并比较沉积的粉末的量。对比基本上是肉眼观察,采用五个阈值的量,即不可检测的量,很少量,中等量,大量和很大量。量的标准是通过SA,SD2和SE电极线获得的,它们是申请人已销售数年的批量生产的电极线。SA线在电火花加工过程中仅产生不可检测的量的粉末。SD2和SE电极线在电火花加工过程中仅产生很少量的粉末,因此完全令人满意。

[0192] 结果列在下表中。

[0193]

电极线	加工速度(mm^2/min)	粉末的量	表面的状态
电极线LA	83.8	中等	

电极线SD2	99.8	很少	
电极线SE	106.6	很少	
电极线SA	90	不可检测	优异 (0.16 μm)
电极线T	96.0	很大	0.20 μm
电极线A	94.2	中等	
电极线A'	96.0	中等	
电极线B	100.3	很少	良好 (0.20 μm)
电极线C	107.1	大	
电极线D	110.1	很少	
电极线E	101.9	中等	中等
电极线F	97.0	很少	中等
电极线F'	108		中等
电极线F''	110	大	中等
电极线G (0.25mm)	95	不可检测	优异 (0.15 μm)

[0194] 电极线A和A'的被覆孔显然太小而相对于电极线SD2对加工速度没有有利的影响。

[0195] 然而,电极线A和电极线A'的加工速度的对比显示了 ϵ 相相对于纯锌或 η 相的优点。

[0196] 在检查具有足够尺寸的被覆孔的电极线B和E时,我们发现相对于具有相同铜CuZn37芯结构并具有带有开孔或带有小被覆孔的涂层的电极线(电极线SD2,A,A'),粗加工速度提高。

[0197] 特别地,通过沉积与线A'相同量的锌而生产的电极线E显示出在涂层中存在大于4 μm 的被覆孔的优点。与电极线E相比,电极线A'仅具有直径小于2 μm 的孔。

[0198] 电极线B在精加工中给出低的粗糙度值,为0.20 μm Ra的数量级。穿过机床的电极线槽时,它几乎不会产生粉末。电极线B表明,为了兼顾高加工速度、低粗糙度值和极少的粉末释放,在规则厚度的 γ 相的铜和锌的合金断裂块之间产生大于4 μm 的被 ϵ 相的铜和锌的合金覆盖的被覆孔可能是有利的。与电极线SD2(其芯具有相同的组成)相比,电极线B显示出存在大被覆孔的优点。

[0199] 在检查具有足够尺寸的被覆孔的电极线D时,我们发现相对于具有相同铜CuZn20芯结构并具有开孔涂层的电极线(电极线SE),粗加工速度提高。

[0200] 尽管存在具有断裂的 γ 相、 ϵ 相和被覆孔的涂层,但电极线F具有相对低的加工速度。 η 相锌的存在似乎是造成此结果的原因。

[0201] 与电极线F相比,电极线F'显示出在具有 ϵ 相而无 η 相的铜和锌的合金的涂层中具有大于3 μm 的被覆孔的优点。

[0202] 电极线G在精加工中给出非常低的粗糙度值。当它穿过机床的线槽时产生几乎不可检测到的量的粉末。电极线G表明,为了兼顾高加工速度、非常低的粗糙度值和几乎不可检测到的粉末释放,在规则厚度的 γ 相的铜和锌的合金断裂块之间产生大于2 μm 的被 ϵ 相的铜和锌的合金覆盖的被覆孔可能是有利的。与显示出相同结构具有规则厚度的 γ 相的铜和锌的合金的断裂块的电极线SA相比,电极线G显示出被覆孔的存在在提高加工速度方面的优点。

[0203] 本发明不限于刚刚明确描述的实施方案,而是包括在以下给出的权利要求书的范

围内的若干变型和概括。

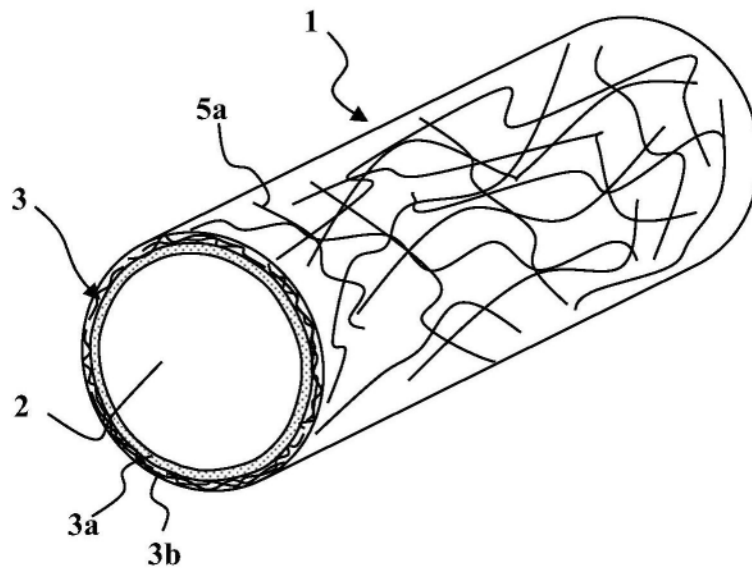


图1

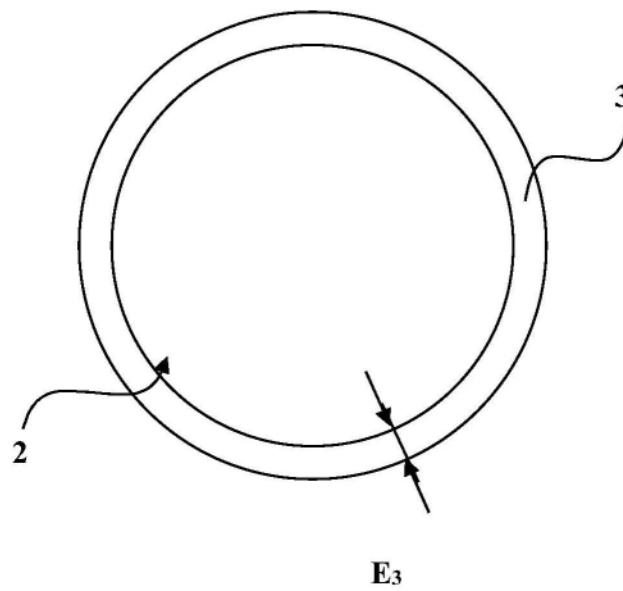


图2

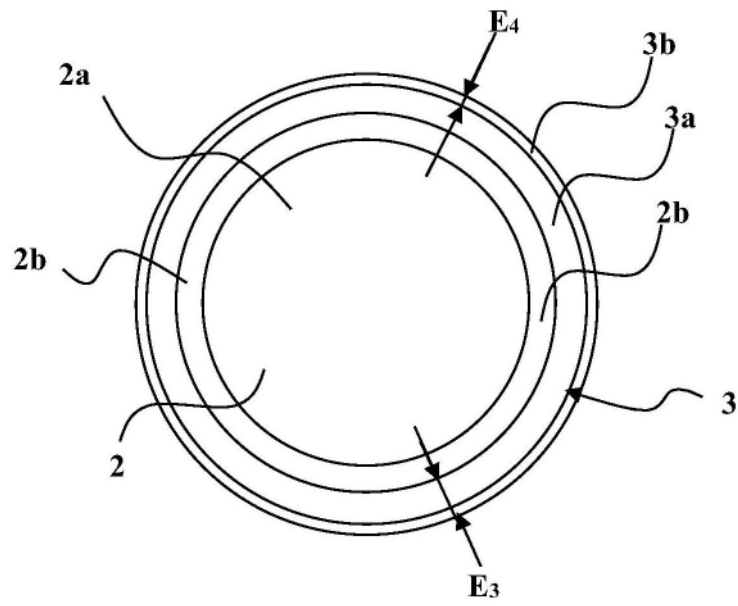


图3

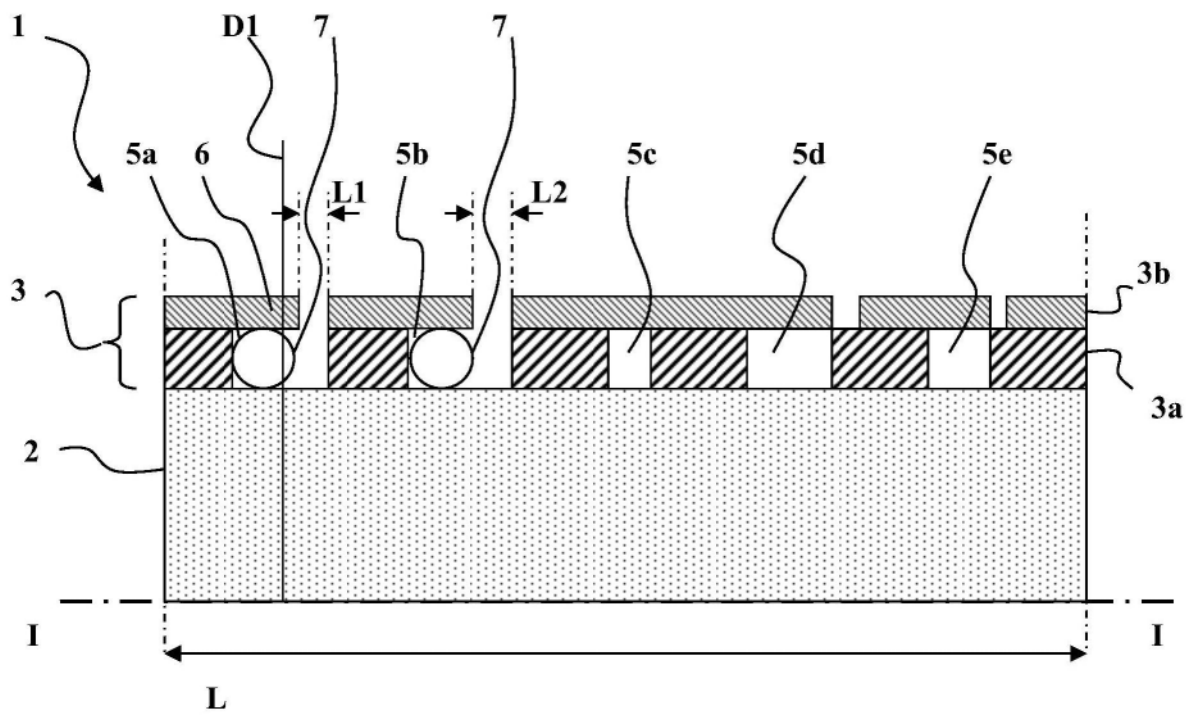


图4

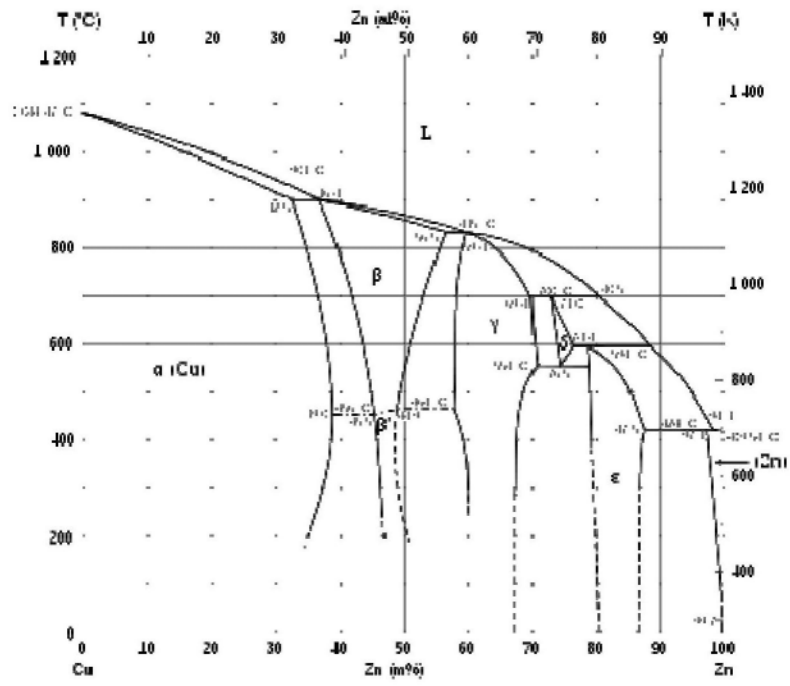


图5

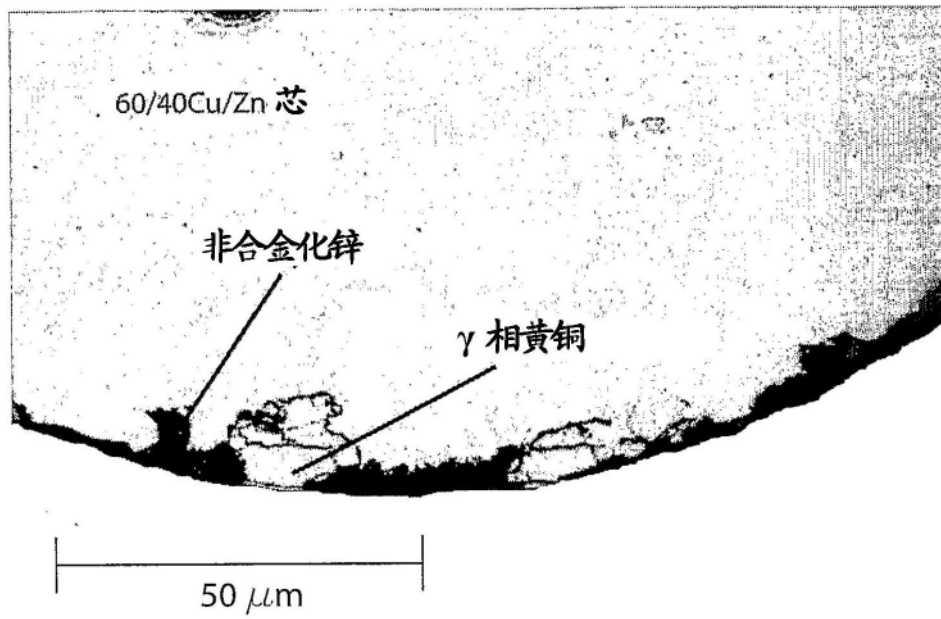


图6

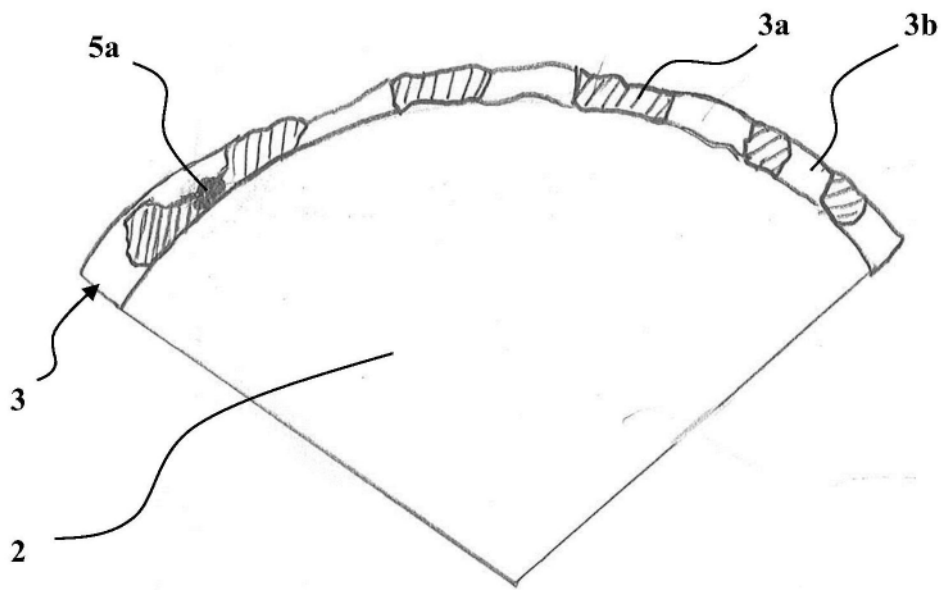


图7

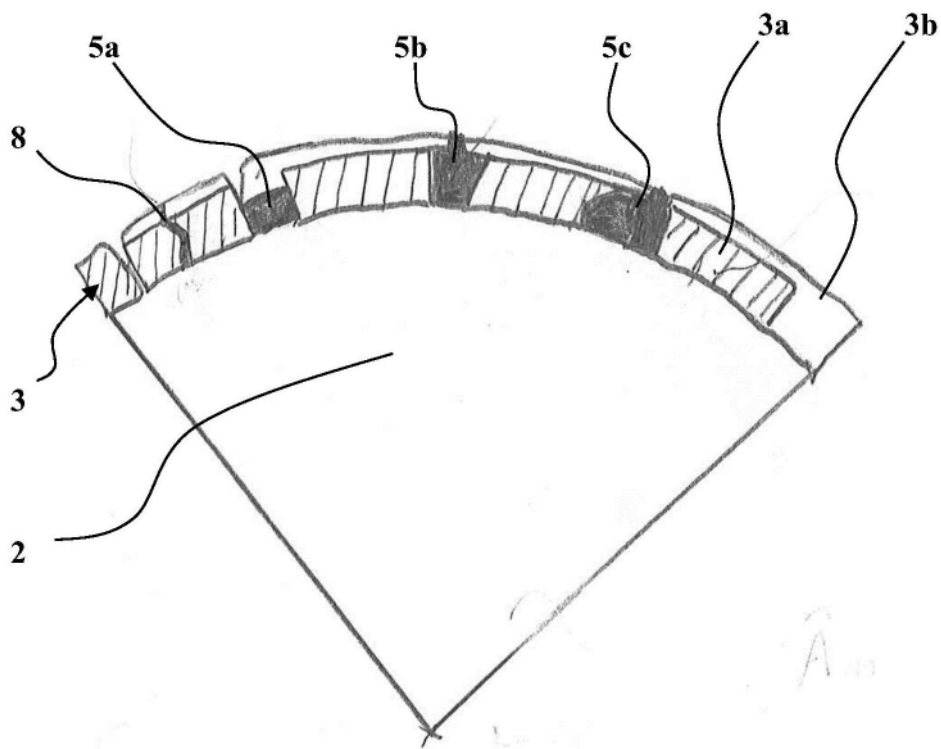


图8

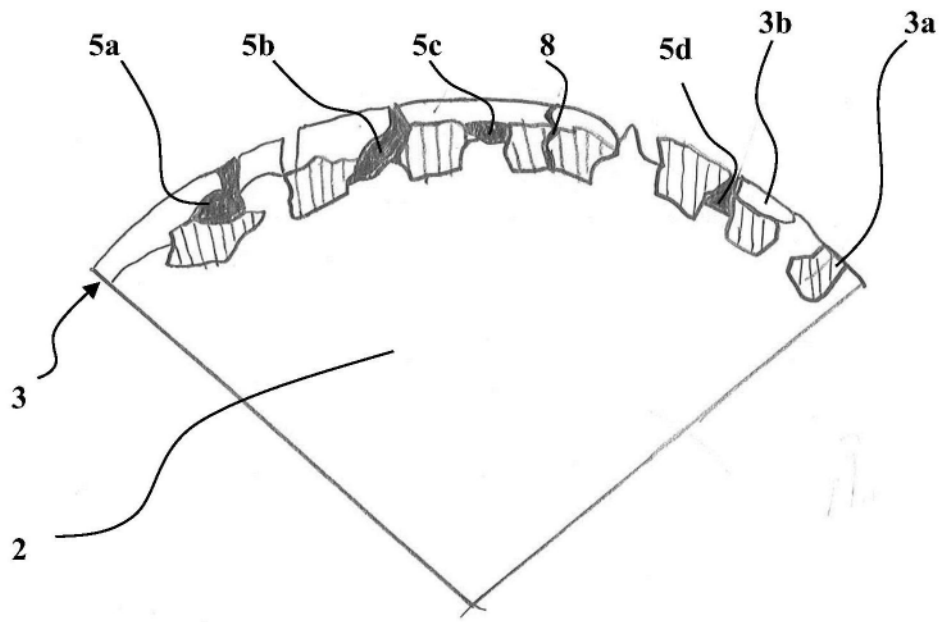


图9

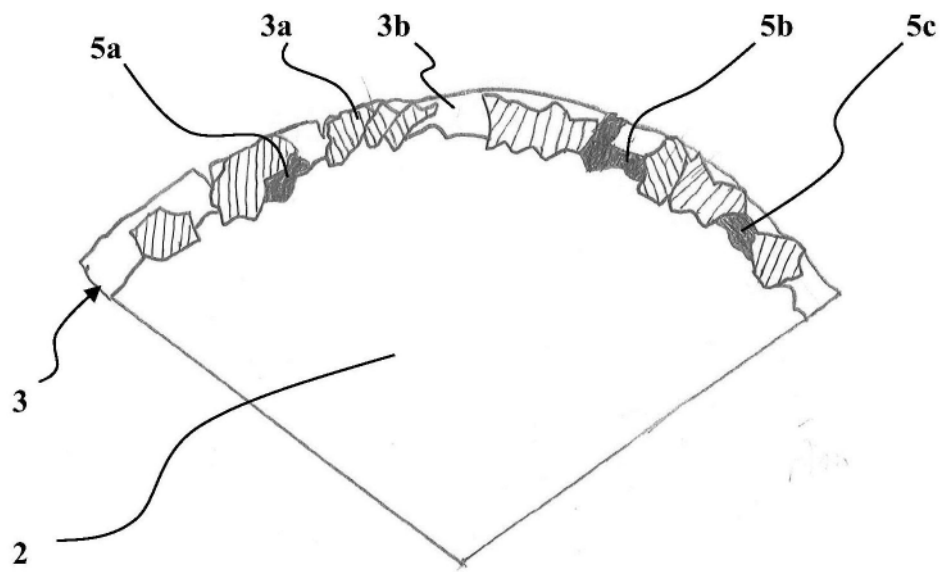


图10

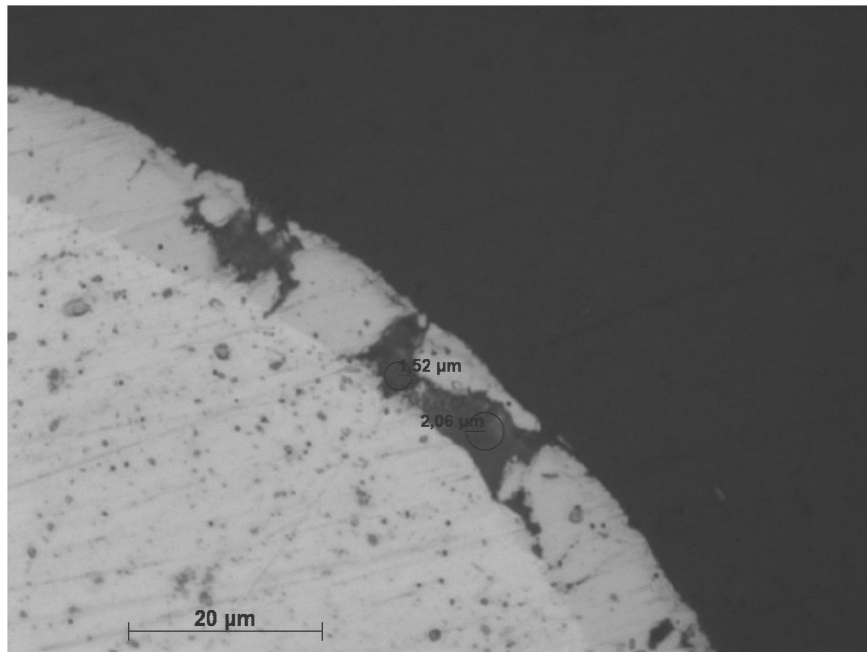


图11

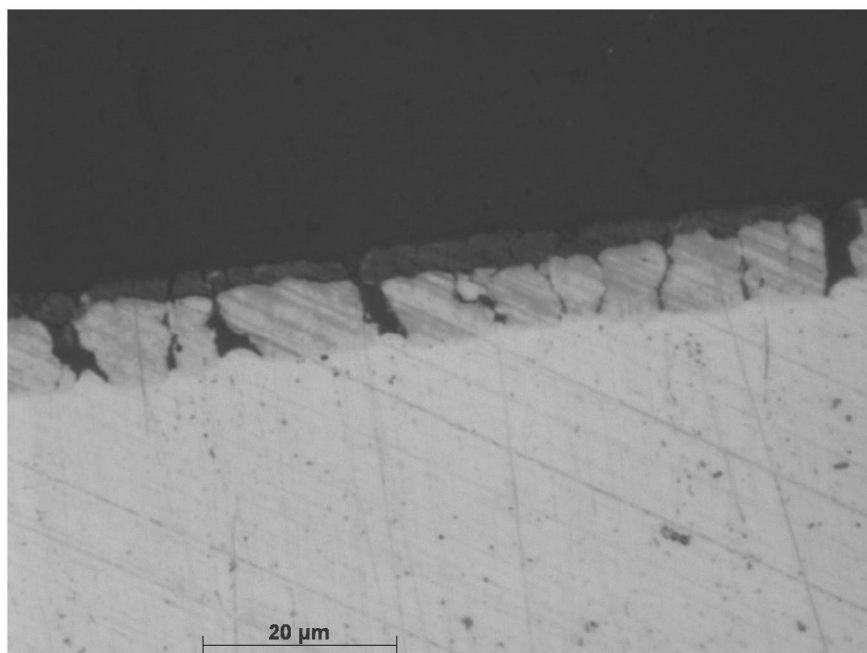


图12

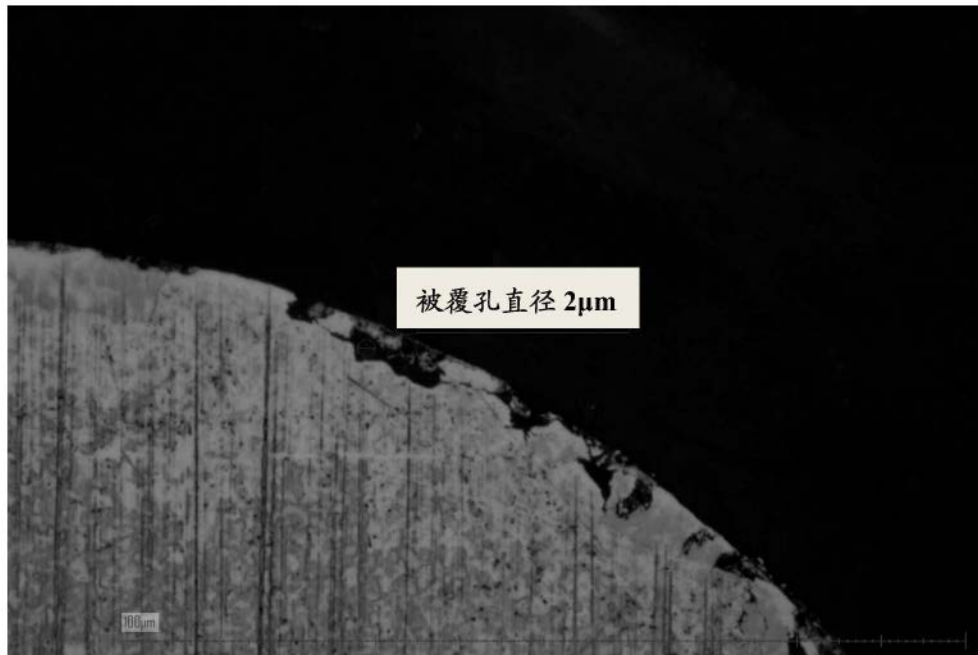


图13

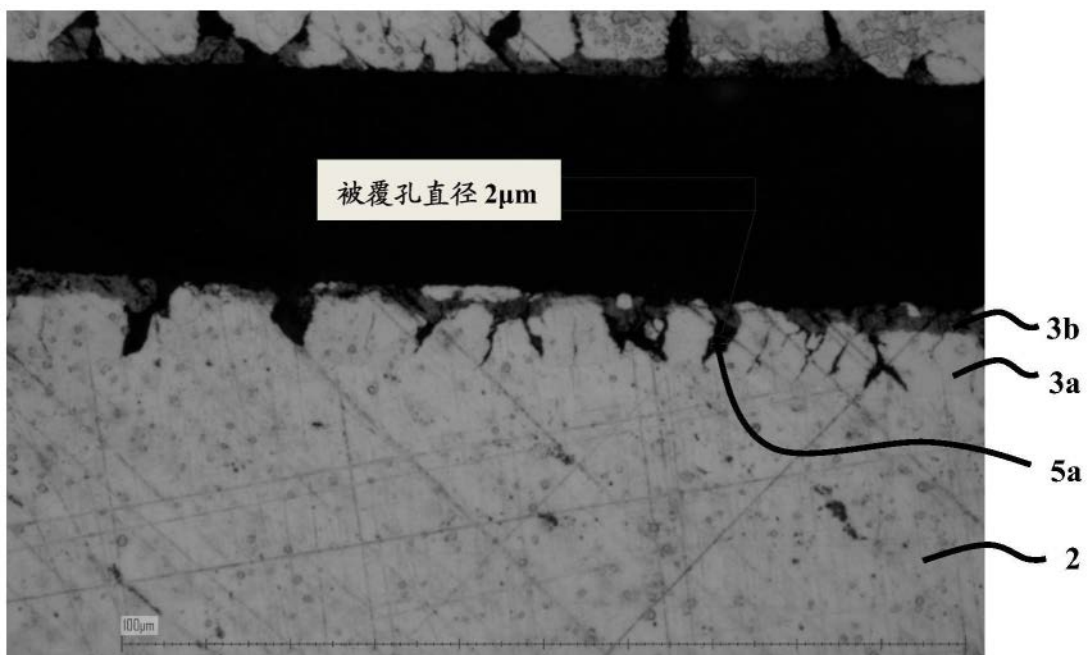


图14

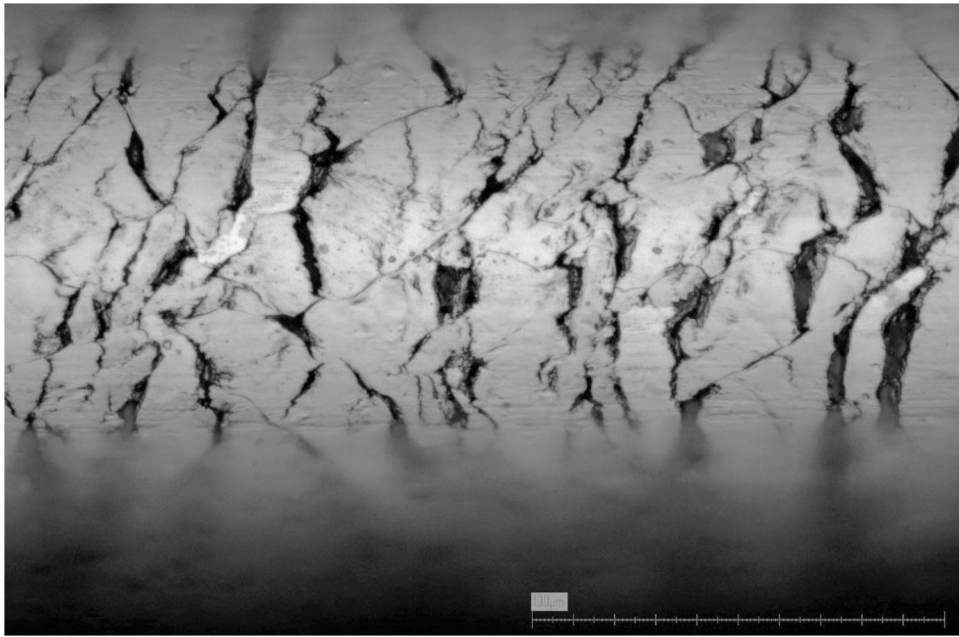


图15

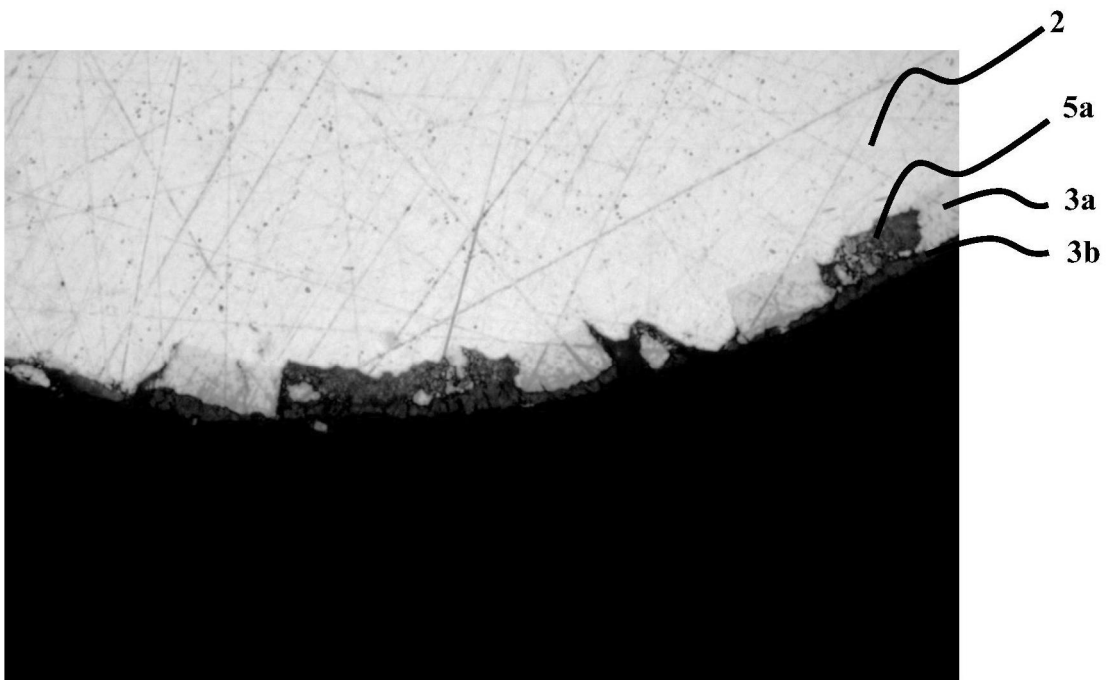


图16