



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115319096 A

(43) 申请公布日 2022. 11. 11

(21) 申请号 202210984364.2 *G23C 14/06* (2006.01)

(22) 申请日 2022.08.15 *G23C 14/32* (2006.01)

(71) 申请人 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 *G23C 14/54* (2006.01)

地址 315201 浙江省宁波市镇海区庄市大道519号 *G23C 14/35* (2006.01)

(72) 发明人 郭武明 张学东 王立平 王海新 朱烨彪

(74) 专利代理机构 南京利丰知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 32256

专利代理师 王茹 王锋

(51) Int. Cl.

B22F 3/24 (2006.01)

G21D 7/06 (2006.01)

G23C 14/02 (2006.01)

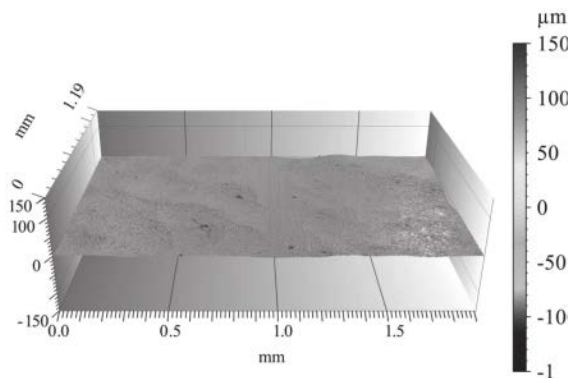
权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

一种粉末冶金材料表面耐磨防护的复合处理方法及其用途

(57) 摘要

本发明公开了一种粉末冶金材料表面耐磨防护的复合处理方法及其用途。所述复合处理方法包括：提供作为基体的粉末冶金材料；采用表面强化技术对所述基体进行致密化处理，从而在所述基体表面形成具有纳米晶体结构的表面层；以及，采用物理气相技术在所述表面层表面沉积氮化物陶瓷层，从而实现对粉末冶金材料的防护。本发明的复合处理方法制得的粉末冶金零件既保持了自身成本低、轻量化等优势，同时还兼具氮化物陶瓷层高硬度、低磨损的特点，另外喷丸后表面机构改良，将大大提高材料的表面性能，进而有效提高零件的综合性能及服役寿命。



1. 一种粉末冶金材料表面耐磨防护的复合处理方法,其特征在于包括:
提供作为基体的粉末冶金材料;
采用表面强化技术对所述基体进行致密化处理,从而在所述基体表面形成具有纳米晶体结构的表面层;
以及,采用物理气相技术在所述表面层表面沉积氮化物陶瓷层,从而实现对粉末冶金材料的防护。
2. 根据权利要求1所述的复合处理方法,其特征在于包括:采用喷丸强化、表面辊压、热等静压的任意一种表面强化技术对所述基体进行致密化处理;
和/或,所述物理气相技术包括多弧离子镀技术或磁控溅射技术。
3. 根据权利要求1所述的复合处理方法,其特征在于包括:采用喷丸强化技术对所述基体进行致密化处理,其中,喷丸压力为0.3~0.8MPa,弹丸直径为0.8~2.0mm的GCr15,频率为15~20KHz,致密化处理时间为15~30min。
4. 根据权利要求1所述的复合处理方法,其特征在于:所述具有纳米晶体结构的表面层的厚度为50~1000 μm ;
和/或,所述氮化物陶瓷层包括CrN层、CrNO层、TiN层中的任意一种;
和/或,所述氮化物陶瓷层的厚度为2~8 μm ;
和/或,所述粉末冶金材料包括铁基粉末冶金材料、粉末冶金硬质合金、粉末冶金磁性材料、粉末冶金高温合金中的任意一种。
5. 根据权利要求1所述的复合处理方法,其特征在于包括:
将基体置于镀膜装置的真空腔体中,以氮气为工作气氛,以Cr靶作为靶材,采用多弧离子镀技术在所述表面层上沉积形成CrN层,其中,靶电流50~150A,沉积气压为1~4Pa,沉积时间为1~3h,同时控制偏压以1V/min~10V/min的速率由0~-50V升高至-50~-150V。
6. 根据权利要求1所述的复合处理方法,其特征在于包括:基体置于镀膜装置的真空腔体中,以氮气和氧气为工作气氛,以Cr靶作为靶材,采用多弧离子镀技术在所述表面层上沉积形成CrNO层,其中,靶电流50~150A,氧气流量为80~120sccm,沉积气压为1~4Pa,沉积时间为1~3h,同时控制偏压以1V/min~10V/min的速率由0~-50V升高至-50~-150V。
7. 根据权利要求1所述的复合处理方法,其特征在于包括:将基体置于镀膜装置的真空腔体中,以氮气为工作气氛,以Ti靶作为靶材,采用多弧离子镀技术在所述表面层上沉积形成TiN层,其中,靶电流50~150A,沉积气压为1~4Pa,沉积时间为1~3h,同时控制偏压以1V/min~10V/min的速率由0~-50V升高至-50~-150V。
8. 根据权利要求1所述的复合处理方法,其特征在于还包括:对所述基体进行致密化处理前,先对基体表面进行预处理;
和/或,所述复合处理方法还包括:将基体置于镀膜装置的真空腔体中,并将所述真空腔体的真空度低于 3×10^{-3} Pa,在对所述基体进行氩等离子刻蚀处理。
9. 权利要求1-8中任一项所述的复合处理方法于金属零部件耐磨防护中的用途;优选的,所述金属零部件的材质包括粉末冶金材料。
10. 一种粉末冶金材料表面的耐磨防护复合涂层,其特征在于包括依次形成于基体表面的具有纳米晶体结构的表面层及氮化物陶瓷层,所述氮化物陶瓷层包括CrN层、CrNO层、TiN层中的任意一种。

一种粉末冶金材料表面耐磨防护的复合处理方法及其用途

技术领域

[0001] 本发明属于材料表面防护技术领域,具体涉及一种粉末冶金材料表面耐磨防护的复合处理方法及其用途。

背景技术

[0002] 粉末冶金是制取金属粉末或用金属粉末(或金属粉末与非金属粉末的混合物)作为原料经过成形和烧结制取金属材料,粉末冶金的发展曾给人类社会带来一些重要变革如1909年用粉末冶金制造的钨丝装配成白炽灯给人类带来了光明;20世纪20年代典型的粉末冶金制品硬质合金问世使金属切削效率提高了几十倍引起了机械加工的一次革命;含油轴承的普遍使用引起了机械设计和机械制造业的变革和进步。随着全球工业化的蓬勃发展粉末冶金行业发展迅速粉末冶金技术已被广泛应用于交通、机械、电子、航天、航空等领域。粉末冶金在解决材料领域的范围是很广泛的。铁基粉末冶金而言,实际上经干压的铁基粉末坯体不可能达到理想密度,也就是说前坯体存在着大量的气孔。就材料性能而言,既有多孔材料,又有致密材料;既有硬质材料,又有很软的材料,也有其它性能材料,如原子能控制材料。

[0003] 粉末冶金技术具有显著节能、省材、性能优异、产品精度高且稳定性好等一系列优点适合于大批量生产。此外部分用传统铸造方法和机械加工方法无法制备的材料和难以加工的零件也可用粉末冶金技术来制备故而备受工业界的重视。例如,生产钛及钛合金材料的另一种方法是粉末冶金(P/M)工艺。传统钛粉末冶金方法与普通粉末冶金大致相同。钛的传统粉末冶金工艺流程为:钛粉(或钛合金粉)-混合-压制成形-烧结-辅助加工-钛制品。先将钛粉(或钛合金粉)混合均匀,压制成形,再经过烧结,最后经过后续辅助加工。传统的粉末冶金方法一般采用烧结钛及钛合金粉末制取钛产品。利用这种方法很难在烧结后直接获得接近致密的钛产品,一般需要热等静压处理,进一步提高材料的烧结密度,这不可避免地增加了产品的成本。此外用这种方法制得的产品中,氧含量过高也是一个较难解决的问题,实际上经干压的粉末坯体不可能达到理想密度,也就是说前坯体存在着大量的气孔。

[0004] 现有技术中通过物理气相技术(PVD)在粉末冶金材料表面制备氮化物涂层,但是薄膜较差的承载能力以及粗糙度的急剧上升还将导致表面磨损率的升高,如何提高粉末冶金材料表面耐磨性是目前亟需解决的问题。

发明内容

[0005] 本发明的主要目的在于提供一种粉末冶金材料表面耐磨防护的复合处理方法及其用途,以克服现有技术的不足。

[0006] 为实现前述发明目的,本发明采用的技术方案包括:

[0007] 本发明实施例提供了一种粉末冶金材料表面耐磨防护的复合处理方法,其包括:

[0008] 提供作为基体的粉末冶金材料;

[0009] 采用表面强化技术对所述基体进行致密化处理,从而在所述基体表面形成具有纳

米晶体结构的表面层；

[0010] 以及,采用物理气相技术在所述表面层表面沉积氮化物陶瓷层,从而实现对粉末冶金材料的防护。

[0011] 本发明实施例还提供了前述的复合处理方法于金属零部件耐磨防护中的用途。

[0012] 本发明实施例还提供了一种粉末冶金材料表面的耐磨防护复合涂层,其包括依次形成于基体表面的具有纳米晶体结构的表面层及氮化物陶瓷层,所述氮化物陶瓷层包括CrN层、CrN₀层、TiN层中的任意一种。

[0013] 与现有技术相比,本发明的有益效果在于:

[0014] (1) 本发明设计了在粉末冶金材料表面喷丸强化+PVD涂层相结合的复合处理方法;利用喷丸强化技术提高材料表面的致密度;采用多弧离子镀在喷丸后再制备CrN、CrN₀或TiN层,进一步改善了孔洞和致密度,可以避免单一技术制备存在耐磨耐蚀性不足等缺点;

[0015] (2) 采用本发明的复合处理方法制得的粉末冶金零件既保持了自身成本低、轻量化等优势,同时还兼具CrN、CrN₀和TiN层高硬度、低磨损的特点,另外喷丸后表面机构改良,将大大提高材料的表面性能,进而有效提高零件的综合性能及服役寿命。

附图说明

[0016] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明中记载的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0017] 图1是本发明实施例1中铁基粉末冶金样品形貌图;

[0018] 图2是本发明实施例1中铁基粉末冶金样品磨痕三维轮廓图;

[0019] 图3是本发明实施例1中铁基粉末冶金样品复合处理后磨痕三维轮廓图;

[0020] 图4是本发明实施例2中铁基粉末冶金材料喷丸表面形貌图;

[0021] 图5是本发明实施例2中铁基粉末冶金样品不进行喷丸处理直接制备CrN层的形貌图;

[0022] 图6是本发明实施例2中铁基粉末冶金样品复合处理后的表面形貌图;

[0023] 图7是本发明实施例2中CrN层的厚度图;

[0024] 图8是本发明实施例3中钛合金粉末冶金样品复合处理后的表面形貌图;

[0025] 图9是本发明实施例2中铁基粉末冶金样品不进行喷丸处理直接制备CrN层的磨损形貌图。

具体实施方式

[0026] 鉴于现有技术的缺陷,本案发明人经长期研究和大量实践,得以提出本发明的技术方案,其主要是针对上述粉末冶金材料表面存在孔洞问题,耐磨性差等现状,提供一种粉末冶金材料表面耐磨防护复合处理方法,针对上述技术现状,本发明的技术目的是设计表面喷丸强化和PVD技术相结合并提供一种粉末冶金材料表面耐磨防护复合处理方法,利用该复合处理方法大大提高材料的表面性能,进而有效提高零件的综合性能及服役寿命。

[0027] 下面将对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0028] 具体的,作为本发明技术方案的一个方面,其所涉及的一种粉末冶金材料表面耐磨防护的复合处理方法包括:

[0029] 提供作为基体的粉末冶金材料;

[0030] 采用表面强化技术对所述基体进行致密化处理,从而在所述基体表面形成具有纳米晶体结构的表面层;

[0031] 以及,采用物理气相技术在所述表面层表面沉积氮化物陶瓷层,从而实现粉末冶金材料的防护。

[0032] 具体地,本发明中具有纳米晶体结构的表面层可以使具有孔洞结构的粉末冶金材料基体表面致密化并提高表面的硬度,从而使物理气相沉积的陶瓷层能够与粉末冶金基体之间有更好的过渡与结合。

[0033] 进一步地,纳米晶结构主要包括表层纳米区,次表层细晶区,然后是变形区,最后是基体。厚度一般几十微米到几百微米。纳米晶结构能够为表层的氮化物陶瓷层提供很好的支撑和过渡,提高氮化物陶瓷层与基体的结合力。

[0034] 在一些优选实施方案中,所述复合处理方法包括:采用喷丸强化、表面辊压、热等静压的任意一种表面强化技术对所述基体进行致密化处理。

[0035] 在一些优选实施方案中,所述物理气相技术包括多弧离子镀技术或磁控溅射技术。

[0036] 在一些优选实施方案中,采用喷丸强化技术对所述基体进行致密化处理,其中,喷丸压力为0.3~0.8MPa,弹丸直径为0.8~1.0mm的GCr15,频率为15~20KHz,致密化处理时间为15~30min。

[0037] 在一些优选实施方案中,所述具有纳米晶体结构的表面层的厚度为50~1000 μm 。

[0038] 在一些优选实施方案中,所述氮化物陶瓷层包括CrN层、CrNO层、TiN层中的任意一种。

[0039] 在一些优选实施方案中,所述氮化物陶瓷层的厚度为2~8 μm 。

[0040] 在一些优选实施方案中,所述粉末冶金材料包括铁基粉末冶金材料、粉末冶金硬质合金、粉末冶金磁性材料、粉末冶金高温合金中的任意一种,且不限于此。

[0041] 进一步地,所述粉末冶金材料包括铁基粉末冶金材料或钛合金粉末冶金材料。

[0042] 在一些优选实施方案中,所述复合处理方法包括:将基体置于镀膜装置的真空腔体中,以氮气为工作气氛,以Cr靶作为靶材,采用多弧离子镀技术在所述表面层上沉积形成CrN层,其中,靶电流50~150A,沉积气压为1~4Pa,沉积时间为1~3h,同时控制偏压以1V/min~10V/min的速率由0~-50V升高至-50~-150V。

[0043] 在一些优选实施方案中,所述复合处理方法包括:基体置于镀膜装置的真空腔体中,以氮气和氧气为工作气氛,以Cr靶作为靶材,采用多弧离子镀技术在所述表面层上沉积形成CrNO层,其中,靶电流50~150A,氧气流量为80~120sccm,沉积气压为1~4Pa,沉积时间为1~3h,同时控制偏压以1V/min~10V/min的速率由0~-50V升高至-50~-150V。

[0044] 在一些优选实施方案中,所述复合处理方法包括:将基体置于镀膜装置的真空腔

体中,以氮气为工作气氛,以Ti靶作为靶材,采用多弧离子镀技术在所述表面上沉积形成TiN层,其中,靶电流50~150A,沉积气压为1~4Pa,沉积时间为1~3h,同时控制偏压以1V/min~10V/min的速率由0~-50V升高至-50~-150V。

[0045] 在一些优选实施方案中,所述复合处理方法还包括:对所述基体进行致密化处理前,先对基体表面进行预处理。

[0046] 在一些优选实施方案中,所述复合处理方法还包括:将基体置于镀膜装置的真空腔体中,并将所述真空腔体的真空度低于 3×10^{-3} Pa,在对所述基体进行氩等离子刻蚀处理。

[0047] 在一些更为具体的实施方案中,所述粉末冶金材料表面耐磨防护的复合处理方法包括:采用粉末冶金材料表面喷丸强化技术,影响表面自强的主要因素有:喷丸压力P,弹丸直径D,喷丸处理时间t等。其中,喷丸处理时间t对表面自强的影响较为显著。结合具体的试验方法及设备,制定了粉末冶金试验材料表面喷丸的工艺参数,喷丸压力为0.3~0.8MPa,弹丸直径为0.8~1.0mmGCr15,频率15~20KHz,处理时间分别为15~30min。

[0048] 进一步地,本发明中的粉末冶金材料表面强化技术不仅仅局限于喷丸强化,还应包括表面辊压致密化、热等静压整体致密化等机械表面强化技术。

[0049] (1) 沉积前对零件(致密化处理后的粉末冶金材料)表面进行预处理。

[0050] (2) 采用Hauzer Flexicoat 1000平台进行沉积CrN层,零件装入真空腔室,关闭腔门,抽真空至真空优于 3×10^{-3} Pa。打开离子源,加热灯丝至40~60A,通入高纯氩气50~120sccm,在-100V~-200V的偏压下对基体进行刻蚀清洗,去除表面附着的灰尘等杂质,刻蚀时间20~40min。刻蚀完成后,通入N₂气并调节分子泵转速,使真空腔室的气压控制在1~4Pa。打开靶材Cr(纯度 $\geq 99.9\%$),控制偏压从0~-50V逐渐升高至-50~-150V,靶电流50~150A,通过调节N₂气流量控制沉积气压在1~4Pa,镀膜时间1~3h,涂层厚度2~8 μ m。镀膜完成后,随炉冷却至室温然后复压取出。

[0051] (3) 制备CrN₀层步骤与上述步骤(2),区别在于采用N₂的同时通入O₂,氧气流量控制在80~120sccm。

[0052] (4) 制备TiN层步骤与上述步骤(2),区别在于采用靶材Ti(纯度 $\geq 99.9\%$)。

[0053] 上述在零件表面通过多弧离子镀沉积制备涂层工艺方法中,步骤(1)所述的预处理包括对零部件表面除油除水处理。其中表面除油除水处理是将零件放至石油醚中,丙酮,乙醇中依次清洗最后用氮气吹干。

[0054] 本发明中的PVD涂层制备手段不仅仅局限于多弧离子镀技术,还应包括磁控溅射等。

[0055] 本发明中喷丸强化技术其原理是利用高速喷射的细小弹丸撞击金属零件的表面,使材料产生一定的弹、塑性变形,从而在材料表面产生残余压应力层和细小微观组织结构,从而提高金属零件的抗应力腐蚀性能和抗疲劳性能,来延长金属零部件的使用寿命。利用喷丸技术在粉末冶金材料表面进行结构改良即制备出一层具有纳米晶体结的表面层,将可大大提高粉末冶金件表面性能。物理气相沉积涂层具有高硬度、低摩擦因数、耐磨性好以及可应用于高负荷磨损场合等特点。因此,本发明首先利用喷丸技术粉末冶金件表面形成纳米晶体结的表面层,然后在表面用多弧离子镀的方法制备氮化物陶瓷涂层,以达到降低摩擦因数,进一步改善其耐磨性的目的。

[0056] 本发明实施例的另一个方面还提供了前述的复合处理方法于金属零部件耐磨防

护中的用途。

[0057] 进一步地,所述金属零部件的材质包括粉末冶金材料。

[0058] 本发明实施例的另一个方面还提供了一种粉末冶金材料表面的耐磨防护复合涂层,其包括依次形成于基体表面的具有纳米晶体结构的表面层及氮化物陶瓷层,所述氮化物陶瓷层包括CrN层、CrN₀层、TiN层中的任意一种。

[0059] 本发明主要的有益效果即在保证粉末冶金零件优点的前提下降低零件的表面摩擦系数,提高零件的耐磨性,从而提高其使役寿命。

[0060] 下面结合若干优选实施例及附图对本发明的技术方案做进一步详细说明,本实施例在以发明技术方案为前提下进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0061] 下面所用的实施例中采用的实验材料,如无特殊说明,均可由常规的生化试剂公司购买得到。

[0062] 实施例1

[0063] 本实施例中,对铁基粉末冶金样品进行复合处理,处理前样品表面形貌如图1所示,可以看出有大量的孔洞。

[0064] 1、采用干喷丸数控设备在铁基粉末冶金样品表面进行喷丸处理,工艺参数:喷丸压力为0.3MPa,弹丸直径为0.8mmGCr15,频率15KHz,处理时间分别为15min。

[0065] (1)将样品放至石油醚中擦洗去除表面油污后放入丙酮中超声清洗15分钟,随后在无水乙醇中超声清洗15分钟,最后取出用氮气吹干;

[0066] (2)采用Hauzer Flexicoat 1000平台进行沉积CrN层,零件装入真空腔室,关闭腔门,抽真空至真空优于 3×10^{-3} Pa。打开离子源,加热灯丝至40A,通入高纯氩气50sccm,在-100V的偏压下对基体进行刻蚀清洗,去除表面附着的灰尘等杂质,刻蚀时间20min。刻蚀完成后,通入N₂气并调节分子泵转速,使真空腔室的气压控制在1Pa。打开靶材Cr(纯度 $\geq 99.9\%$),控制偏压从0逐渐升高至-50V,靶电流50A,通过调节N₂气流量控制沉积气压在1Pa,镀膜时间1h,涂层厚度2 μ m。镀膜完成后,随炉冷却至室温然后复压取出。

[0067] 对上述表面复合处理后的样品进行如下性能测试:

[0068] 采用UMT-3多功能摩擦磨损试验机对该粉末冶金样品和复合处理后样品在大气环境下的摩擦磨损寿命进行评价。具体方法为:采用粉末冶金样品和复合处理后样品与摩擦配副相互往复滑动方式,滑动频率分别为5Hz,载荷为5N,环境温度(25 \pm 3) $^{\circ}$ C,相对湿度(75 \pm 5)% ,实验时间30min, $\Phi = 3$ mm的陶瓷球作为摩擦配副。粉末冶金样品和复合处理后样品磨痕三维轮廓分别如图2和图3所示,未处理样品磨痕形貌出现了明显的凹坑,计算得复合处理前后样品的磨损率分别为 1.2×10^{-4} /mm³/Nm和 4.2×10^{-6} /mm³/Nm,样品经过上述复合处理后,大大提高了耐磨性能。

[0069] 实施例2

[0070] 对铁基粉末冶金样品进行复合处理。

[0071] (1)喷丸的工艺参数,喷丸压力为0.5MPa,弹丸直径为1.0mmGCr15,频率20KHz,处理时间分别为20min。

[0072] (2)利用实施例1物理气相沉积步骤(2)方法对样品进行镀前处理;

[0073] (3)采用Hauzer Flexicoat 1000平台进行沉积CrN层,零件装入真空腔室,关闭腔

门,抽真空至真空优于 3×10^{-3} Pa。打开离子源,加热灯丝至50A,通入高纯氩气100sccm,在-150V的偏压下对基体进行刻蚀清洗,去除表面附着的灰尘等杂质,刻蚀时间30min。刻蚀完成后,通入 N_2 气并调节分子泵转速,使真空腔室的气压控制在3Pa。打开靶材Cr(纯度 $\geq 99.9\%$),控制偏压从-50V逐渐升高至-150V,靶电流150A,通过调节 N_2 气流量控制沉积气压在3Pa,镀膜时间3h,涂层厚度 $7\mu\text{m}$ 。镀膜完成后,随炉冷却至室温然后复压取出。

[0074] 对上述复合处理的材料表面进行如下性能检测:

[0075] 铁基粉末冶金材料喷丸表面形貌图4所示,可以看出喷丸后提高了表面致密度;同时本实施例中进行了如下操作:铁基粉末冶金样品不进行喷丸处理,直接制备CrN涂层,其形貌图5所示,图1和图5对比可看出,一定程度的改善了孔洞,图6为铁基粉末冶金样品喷丸+CrN涂层复合处理后表面形貌,表面看不到明显较大的孔洞,有效抑制了表面孔洞和裂纹,解决了致密度差的问题。本实施例中铁基粉末冶金样品喷丸+CrN涂层复合处理后的磨损率为 $2.8 \times 10^{-6} \text{mm}^3/\text{Nm}$;而不进行喷丸处理直接制备CrN涂层的磨损形貌图如图9所示,计算求得磨损率约为 $3.2 \times 10^{-5} \text{mm}^3/\text{Nm}$ 。本实施例中铁基粉末冶金样品喷丸+CrN涂层复合处理后,扫面电镜测得CrN涂层的截面厚度如图7所示,约 $7.3\mu\text{m}$ 。

[0076] 实施例3

[0077] 对钛合金粉末冶金样品进行上述复合处理。

[0078] (1) 喷丸的工艺参数,喷丸压力为0.8MPa,弹丸直径为0.8mmGCr15,频率18KHz,处理时间分别为30min。

[0079] (2) 利用实施例1物理气相沉积步骤(1)方法对样品进行镀前处理;

[0080] (3) 采用Hauzer Flexicoat 1000平台进行沉积TiN层,零件装入真空腔室,关闭腔门,抽真空至真空优于 3×10^{-3} Pa。打开离子源,加热灯丝至60A,通入高纯氩气120sccm,在-200V的偏压下对基体进行刻蚀清洗,去除表面附着的灰尘等杂质,刻蚀时间40min。刻蚀完成后,通入 N_2 气并调节分子泵转速,使真空腔室的气压控制在4Pa。打开靶材Ti(纯度 $\geq 99.9\%$),控制偏压从0V逐渐升高至-120V,靶电流120A,通过调节 N_2 气流量控制沉积气压在4Pa,镀膜时间2h,涂层厚度约 $5.6\mu\text{m}$ 。镀膜完成后,随炉冷却至室温然后复压取出。

[0081] 对上述复合处理的材料表面进行如下性能测试:

[0082] 钛合金粉末冶金样品复合处理后表面形貌图8所示,无明显的孔洞,致密度高。

[0083] 此外,本案发明人还参照前述实施例,以本说明书述及的其它原料、工艺操作、工艺条件进行了试验,并均获得了较为理想的结果。

[0084] 应当理解,本发明的技术方案不限于上述具体实施案例的限制,凡是在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下,根据本发明的技术方案做出的技术变形,均落于本发明的保护范围之内。

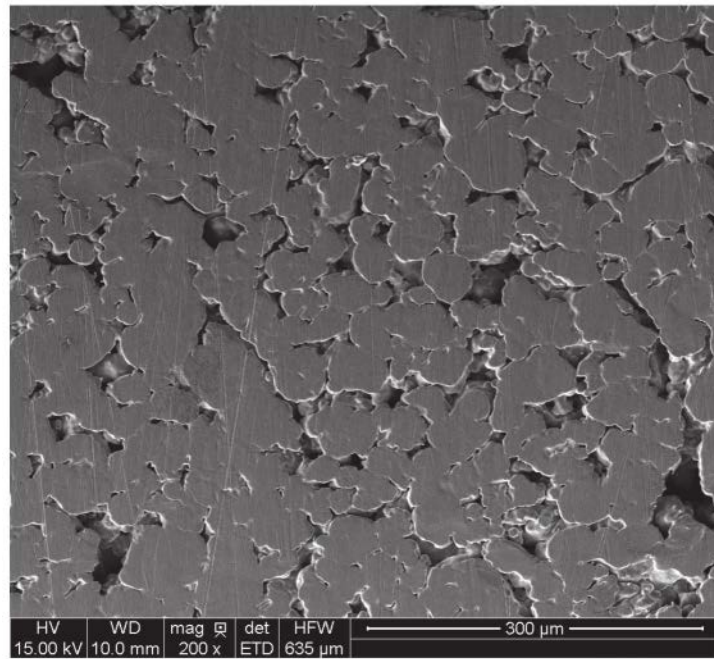


图1

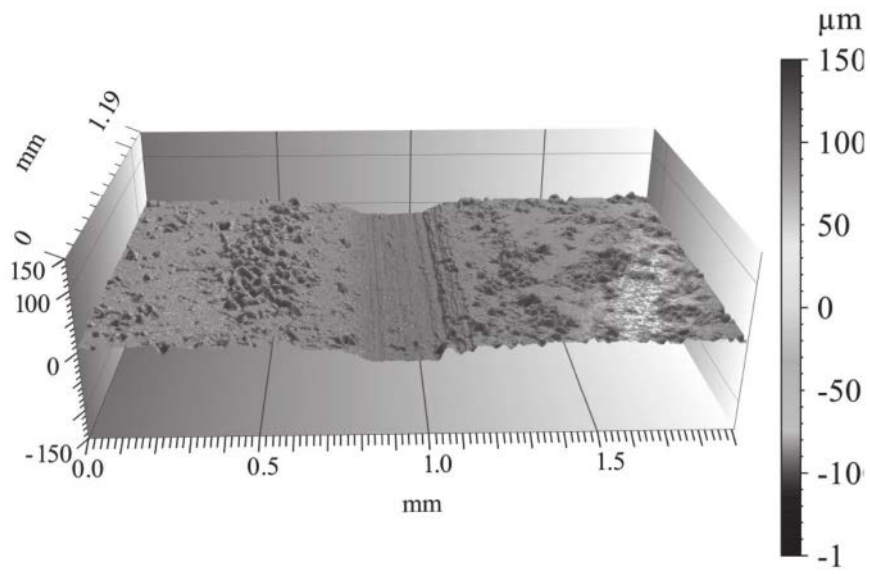


图2

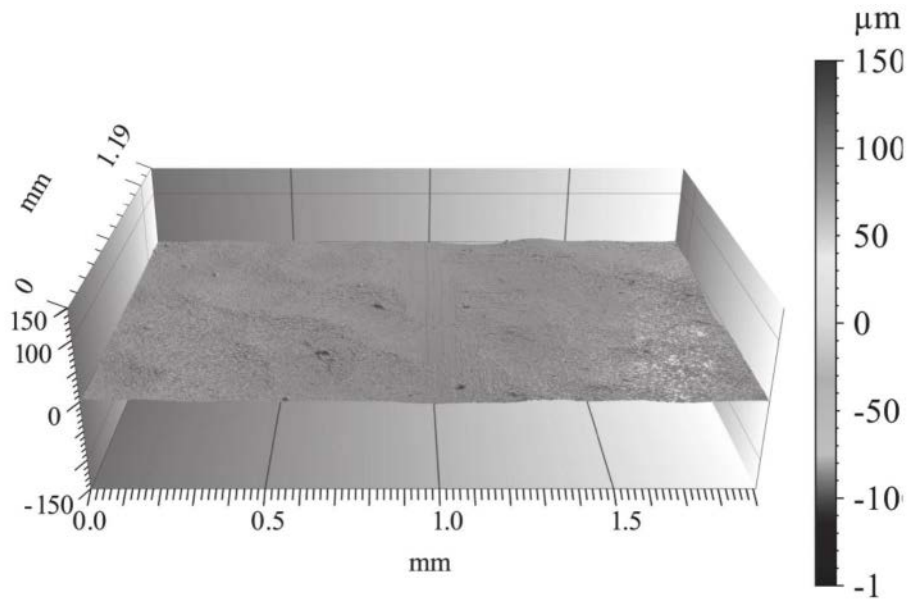


图3

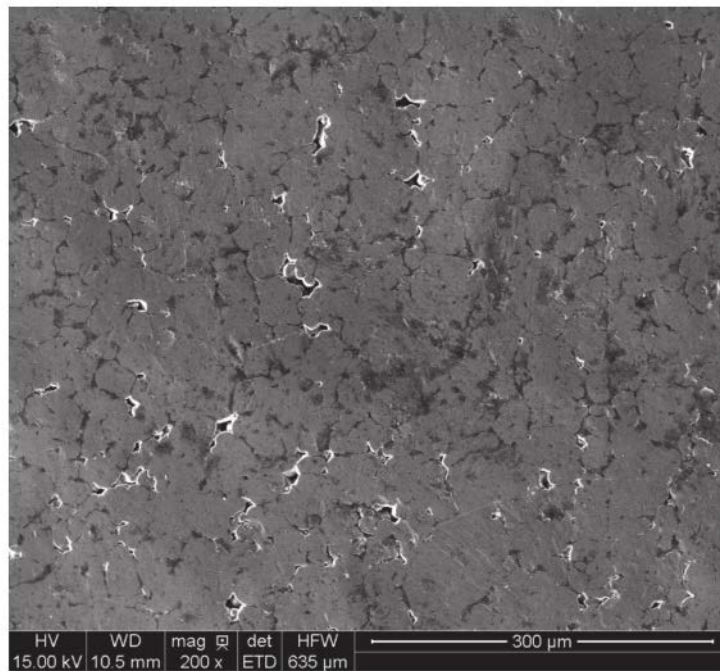


图4

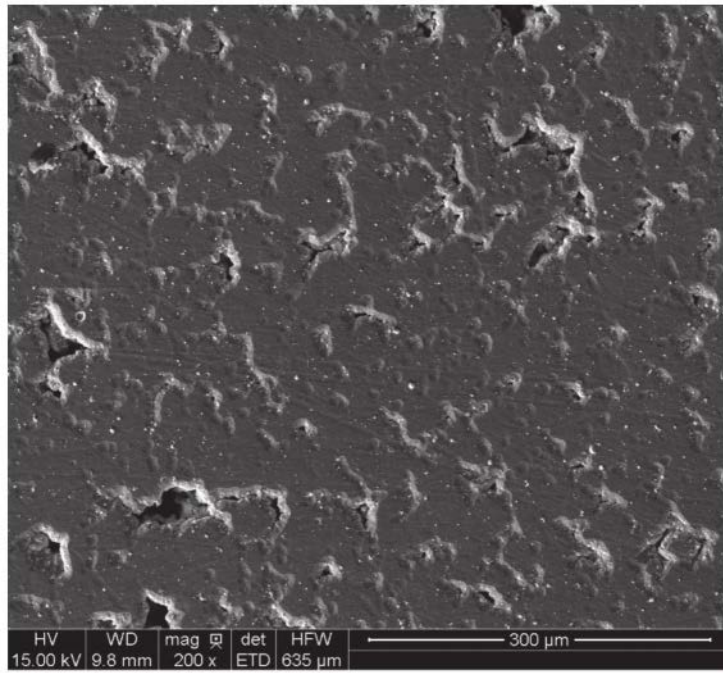


图5

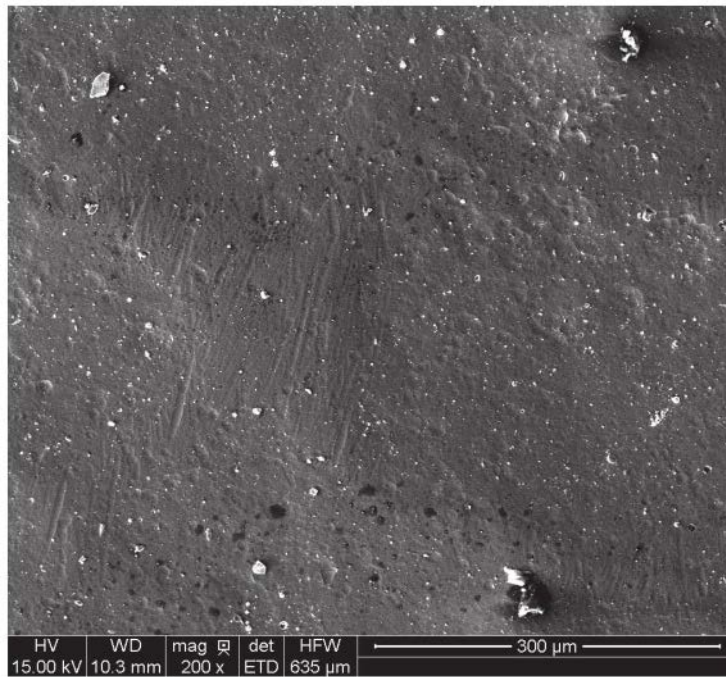


图6

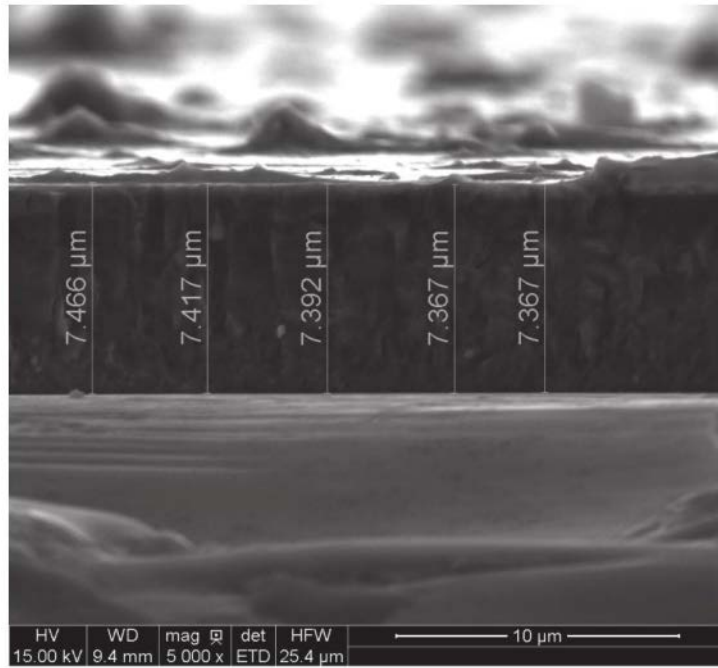


图7

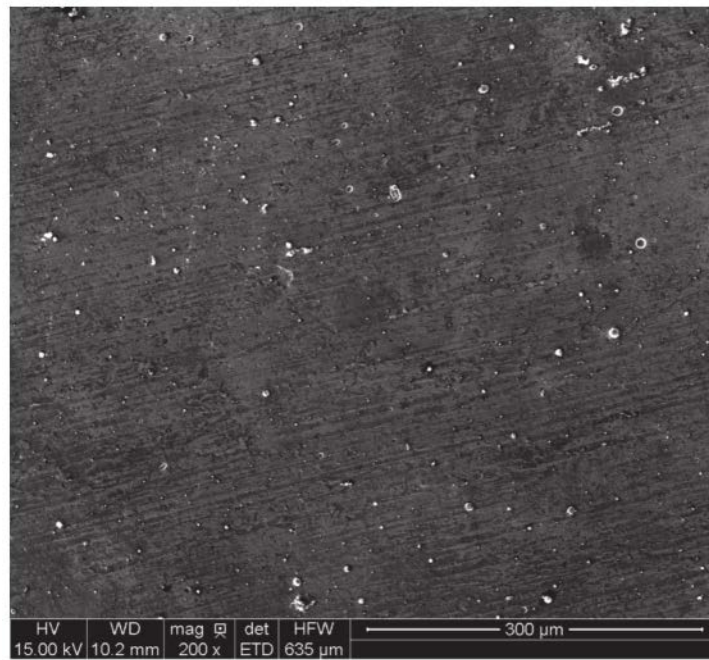


图8

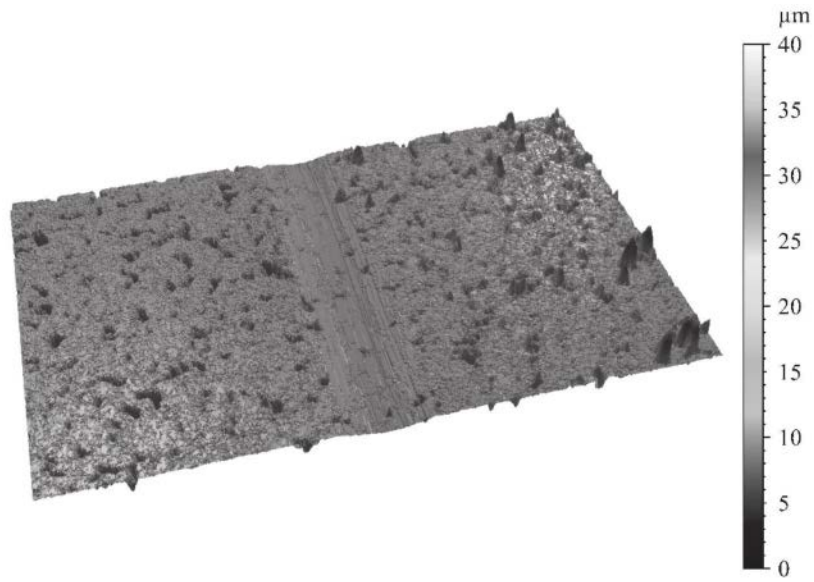


图9