

《增材制造制粉用钛及钛合金棒材》编制说明

一、工作简况

1. 立项目的和意义

近年来金属零件的增材制造 3D 打印技术已应用于航空、航天、汽车、钢铁、轨道交通、模具、医学等领域中新材料（新合金、梯度材料）的合成与制备，高性能复杂结构金属零件的无模具、快速、近终形制造，误加工损伤或服役损伤结构的高性能成形修复与再制造。本项目属于科技部《“增材制造与激光制造”重点专项 2018 年度项目申报指南》（国科发资〔2017〕294 号）—1.10 在传统制造结构件上增材制造精细结构（重大共性关键技术类）。

然而，目前高品质细粉主要依赖于进口，成本居高不下，所以首先要解决制粉用原材料棒材的高质量、低成本控制，但是目前国内并无统一的增材制造制粉用钛及钛合金棒材的标准，交易中普遍采用各家互相签订的技术协议，这种方式已然不能满足增材制造用棒材的大批量、规范化生产的需求，进而限制了增材制造行业的迅猛发展。综上所述，建立统一的增材制造制粉用钛及钛合金棒材标准不仅可以促进我国在 3D 打印钛合金部件研究领域的发展，缩小与发达国家的差距，同时提高我国在增材制造制粉用钛合金棒材制备和加工方面的技术水平，还可以完善我国增材制造的标准体系。

目前增材制造制粉用钛及钛合金棒材比较成熟的牌号有 TA1G、TA2G、TA7、TA7ELI、TA15、TA18、TA19、TA28、TC1、TC2、TC4、TC4ELI、TC6、TC11、TC17、TC18、TC20、TC21，供应状态有两种：去应力退火态（m）和热加工态（R），直径：Φ30mm~Φ100mm，长度：300mm~1000mm。

通过棒材生产厂家与制粉厂家数年的研究与摸索，增材制造制粉用棒材现已进入批量化生产阶段，国内外市场年度需求量达 500 余吨，且随着增材制造业的蓬勃发展，市场需求量还会大幅上升。

2. 任务来源及计划要求

根据国标委综合【2018】41 号《国家标准委关于下达 2018 年第二批国家标准制修订计划的通知》的要求，国家标准《增材制造制粉用钛及钛合金棒材》的制定工作由西部超导材料科技股份有限公司负责起草，计划编号为 20182013-T-610，项目完成年限为 2020 年 09 月。本项目参加起草单位：西安欧中科技有限公司、西北有色金属研究院、西安赛隆金属材料有限责任公司、宝钛集团有限公司、宝钢特钢有限公司、飞尔康快速制造科技有限责任公司。

3. 负责起草单位情况

西部超导材料科技股份有限公司（以下简称“西部超导公司”）是由西北有色金属研究院

(国有独资)联合中信金属有限公司(国有独资)、深圳创新投资集团有限公司、西安工业资产经营有限公司(国有独资)、杭州立琦汉源股权投资合伙企业、光大金控股权投资有限公司、陕西金融控股集团有限公司(国有独资)、陕西海外投资发展股份有限公司(国有独资)、西安航天新能源产业基金投资有限公司、西安天汇科技投资有限公司等多家股东共同投资,注册资本为 3.32 亿元,西北有色金属研究院院长张平祥出任公司董事长;公司位于西安经济技术开发区,占地 721 亩,建筑面积 80000 余平方米,拥有总资产 20 亿元。

西部超导公司是我国新一代战斗机、大型飞机和新型航空发动机用高性能钛合金材料的重点研制单位和主要供应商,也是国际上唯一的低温超导合金棒材及线材全流程生产企业,是我国“超导材料制备国家工程实验室”以及“陕西省航空材料工程实验室”的挂靠单位,拥有国际先进水平的 OAS 自动称重混布料系统、1 吨、5 吨、8 吨真空自耗电弧炉、真空等离子焊箱、快锻机(8000T、4500T、1600T、1000T)、精密锻造机、滚模拉丝机及 3000 吨油压机、热轧机、矫直机、磨光机、钛合金棒材超声波水浸分区探伤系统等钛合金棒丝材制备和无损检测关键设备 200 多台套。建成了国际先进、国内一流水平的航空用特种钛合金棒丝材专业化生产线和国际一流水平的超导材料生产线。现已具备年产钛合金铸锭 8000 吨、钛合金棒材 4500 吨、钛合金型材 100 吨、NbTi、Nb₃Sn 低温超导线材 400 吨的生产能力。公司自主开发出了 50 多种高端钛合金材料和高端稀有金属材料新产品,形成了特种钛合金材料、超导材料和生物医用材料三大拳头产品,广泛应用于航空、航天、舰船、兵器、核工业、生物医疗、石油化工、能源交通等多个领域,部分产品出口到欧、美等国家。西部超导公司现有员工 700 余人,专科及以上学历人员 500 余人,占职工总数的 70%,形成了一支以 3 名归国博士为带头人,以 40 名博士和 160 多名硕士为骨干的稀有金属材料 and 超导材料专业技术研发队伍,现已成为国内最具创新能力的高新技术企业之一。公司充分发挥自身的研发和产业优势,先后承担了国家、省、市级各类项目 100 余项,其中 863 项目 3 项,973 项目 3 项,ITER 计划专项 1 项,国际合作项目 6 项,国防军工项目 14 项,发改委技改项目 2 项。通过科研项目的开展,取得了丰硕的成果,获国家科学技术进步二等奖 1 项、国防科学技术进步一等奖 1 项、航空科学技术进步一等奖 1 项,拥有授权专利 240 项。在标准制修订方面,西部超导公司已经承担了 20 余项国家标准和行业标准的制定。

西部超导公司已经积累了大量的生产增材制造制粉用棒材的经验,累计生产量达 300 余吨,上百批次,批次稳定性良好,实现了产品的大批量稳定性供货。西部超导联合多家同行及客户单位共同起草该标准,从人力、物力、技术经验和标准起草经验上均能保证本标准项目的顺利完成。

4. 主要工作过程

4.1 2018 年 12 月~2019 年 3 月，在接到标准制定任务后，西部超导公司立即成立了标准编制工作组，确定了各成员的工作职能和任务，制定了工作计划和进度安排。通过技术查询、市场调查等方式了解增材制造制粉用钛及钛合金棒材的生产状况、技术指标及应用发展趋势，在广泛沟通和深入讨论基础上，编制了《增材制造制粉用钛及钛合金棒材》征求意见稿。

4.2 2019 年 04 月~08 月，在由全国有色金属标准化技术委员会和全国增材制造标准化技术委员会在安徽淮北联合举办的增材制造专项标准讨论会上，来自全国 32 家单位的 36 位专家对该标准征求意见稿进行了认真讨论，并提出了宝贵意见，详见意见汇总处理表。会后，标准编制组按照专家意见进行了修改，形成标准送审稿。

二、标准编制原则

1. 明确产品牌号和化学成分，提高应用性能

制粉用钛及钛合金棒材所需化学成分纯净，杂质元素含量尽可能低，且一致性较好；由于制粉过程会出现增氧现象，所以氧含量的控制作为重点。各厂家制粉用棒材牌号和化学成分不尽相同，应明确统一牌号及其化学成分。GB/T 3620.1 中对普通钛及钛合金牌号和化学成分进行了规范，但是对制粉用钛及钛合金棒材适用性较差，该标准可以提高制粉用钛及钛合金棒材的行业适用性。

2. 明确产品的尺寸及状态要求，提高产品的适用性

由于 prep 旋转电极制粉法的设备要求，钛及钛合金棒材所需尺寸及允许偏差较高，目前使用较多的规格有 $\Phi 40\text{mm}$ 、 $\Phi 51\text{mm}$ 、 $\Phi 56\text{mm}$ 、 $\Phi 80\text{mm}$ ，长度 300mm、550mm、695mm。所以本标准适用范围应涵盖上述规格，且应充分考虑尺寸允许偏差，以满足客户需求。本标准提供了去应力退火和热加工两种状态的棒材，客户可根据自己的生产安排，随意挑选合适状态的产品。

3. 明确棒材对组织和性能不做要求，降低了棒材生产成本，杜绝浪费

制粉用钛及钛合金棒材仅对化学成分和棒材外观质量有明确要求，对组织和力学性能不做要求，可以有效降低棒材生产成本，杜绝浪费。

4. 明确产品的无损检测要求

为了保证棒材无夹杂、内部孔洞等缺陷，应明确棒材执行 GB/T 5193-XXXX A 级无损检测。

5. 本标准在制定时应遵守以下原则：

5.1 本标准应按照 GB/T 1.1-2009 《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》进

行编制。

5.2 有利于促进技术进步，提高产品质量，降低生产成本，避免过度加工。

5.3 符合用户要求，保护消费者利益，促进对外贸易。

三、标准主要内容的确定依据

1. 产品牌号和化学成分

根据制粉用钛及钛合金棒材的具体用途和要求,确定本标准的牌号和化学成分。

1.1 各牌号的确定：就目前的用途而言，结合国内外制粉用钛及钛合金棒材所需牌号进行制定，主要包括:TA1G、TA2G、TA7、TA7ELI、TA15、TA18、TA19、TA28、TC1、TC2、TC4、TC4ELI、TC6、TC11、TC17、TC18、TC20、TC21 等。

1.2 各牌号主元素的确定：制粉用钛及钛合金棒材所需的主元素化学成分基本上与 GB/T 3620.1 中要求相同，并无特殊，结合各用户厂家的化学成分，将各主元素的化学成分按照 GB/T 3620.1 的规定进行。

1.3 关于杂质元素含量的确定：制粉棒材对杂质元素要求比较严格，一方面其他杂质元素总和严格控在 0.30%以内，另一方面特别针对 Fe 元素和 O 元素进行了严格控制。按照不同的需求，TC4 和 TC4ELI 包含了两种不同杂质含量的成分，对于需要添加 Fe 元素调节强度的 TC4ELI，本标准给出了 Fe 元素含量区间，而 O 元素除了将制粉过程增氧这一因素考虑进去，还考虑到了不同粉末制品对氧含量的要求。而 C、N 和 H 元素则无特别要求，暂不进行特别规定，按照 GB/T 3620.1 中规定执行。

经过我公司 300 余吨、上百批次的产品验证，基本都可以满足该标准要求，当然，如需对方对化学成分另有要求时，双方可协商确定。

2. 产品的规格、尺寸允许偏差及状态

根据客户设备和工况条件，确定本标准的产品规格、尺寸允许偏差、弯曲度及状态。目前使用较多的规格有 $\Phi 40\text{mm}$ 、 $\Phi 51\text{mm}$ 、 $\Phi 56\text{mm}$ 、 $\Phi 80\text{mm}$ ，长度 300mm、550mm、695mm。本标准规定了直径范围为 $\Phi 30\text{mm}\sim\Phi 100\text{mm}$ ，长度范围为 300mm~1000mm，基本涵盖目前所需产品的范围。直径允许偏差为 $\pm 0.1\text{mm}$ ，长度允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ ，弯曲度为 0.7mm/m。经上百批次的产品验证，基本都可以满足该标准要求。产品状态除了提供热加工态外，还提供了去应力退火态，因为热加工态的棒材存放的时间久了会出现弯曲度增大的现象，影响产品的使用，客户可根据自己的生产安排，随意挑选合适状态的产品。

3. 关于棒材探伤要求的确定

制粉用钛及钛合金棒材应控制内部缺陷，以防止有夹杂、空隙、裂纹等缺陷影响产品的

化学成分均匀性，通用标准相近规格棒材超声检测要求为 GB/T 5193-XXXX 中的 A 级，即平底孔要求为 $\Phi 2.0\text{mm}$ ，且无横波探伤要求。

四、标准水平分析

本标准根据我国情况首次制定，填补了国内增材制造制粉用钛及钛合金棒材加工领域的一项空白，其技术指标符合用户要求，先进合理。本标准在编制过程中进行了大量的数据收集和试验测试工作，同时兼顾了国内外大部分棒材生产厂家的现状。

通过文献检索，网上查询，国内没有专门的增材制造制粉用钛及钛合金棒材国家标准。而相关的国家标准有 GB/T 2965 钛及钛合金棒材。但本标准在化学成分、尺寸偏差等各项指标上明显优于 GB/T 2965，详见表 1。另外，由于 GB/T 2965 还对组织和力学性能有要求，而这两个指标不适用于增材制造用棒材，所以本标准在节能、避免过度加工浪费方面更优于 GB/T 2965。

表 1 本标准与 GB/T 2965-2007 标准各项指标的差异

项目		指标差异					
化 学 成 分 %	牌号	Fe		O		其他元素总和	
		本标准	GB/T 2965-2007	本标准	GB/T 2965-2007	本标准	GB/T 2965-2007
	TA1G	0.20	0.20	0.16	0.18	0.30	0.40
	TA2G	0.30	0.30	0.15~0.20	0.25	0.30	0.40
	TA7	0.50	0.50	0.18	0.20	0.30	0.40
	TA7ELI	0.25	0.25	0.10	0.12	0.30	0.30
	TA15	0.10	0.25	0.12	0.15	0.30	0.30
	TA18	0.25	0.25	0.10	0.12	0.30	0.30
	TA19	0.10	0.25	0.12	0.15	0.30	0.30
	TA28	0.30	0.30	0.13	0.15	0.30	0.40
	TC1	0.30	0.30	0.13	0.15	0.30	0.40
	TC2	0.30	0.30	0.13	0.14	0.30	0.40
	TC4	0.25	0.30	0.10	0.20	0.30	0.40
				0.11~0.16			
	TC4ELI	0.15~0.25	0.25	0.08	0.13	0.30	0.40
		0.25		0.11			
	TC6	—	—	0.16	0.18	0.30	0.40
	TC11	0.25	0.25	0.12	0.15	0.30	0.40
	TC17	0.25	0.25	0.07~0.11	0.08~0.13	0.30	0.30
	TC18	—	—	0.16	0.18	0.30	0.30
	TC20	0.25	0.25	0.16	0.20	0.30	0.40
	TC21	0.15	0.15	0.13	0.15	0.30	0.40

表 1（续） 本标准与 GB/T 2965-2007 标准各项指标的差异

项目	指标差异	
	本标准	GB/T 2965-2007
直径偏差 mm	± 0.1	± 0.5 ($\Phi > 25 \sim 40$) ± 0.6 ($\Phi > 40 \sim 60$) ± 0.6 ($\Phi > 60 \sim 90$)
长度范围 mm	300 ~ 1000	300~6000 (R) 300~3000 (M)
定尺偏差 mm	± 5 , 允许少量长度短于名义长度 (10~100) mm	(0, +20)
弯曲度 mm/m	≤ 0.7	≤ 4 ($\Phi < 35$) ≤ 5 ($\Phi \geq 35$)
超声检测	应符合 GB/T 5193-XXXX 中 A 级的规定	按照 GB/T 5193-XXXX 检测, 验收级别由双方协商决定

综上所述, 本标准的主要技术指标均达到国内先进水平。

五、与现行法律、法规、强制性国家标准相关标准协调配套情况

本标准符合我国目前法律法规的规定, 同时与其他相关标准没有矛盾之处。

六、重大问题的处理经过和依据

无。

七、标准作为强制性或推荐性行业标准的建议

建议该标准作为推荐性国家标准推广使用。

八、贯彻标准的要求和措施的建议

可以向生产厂家和客户推荐采用本标准。

九、废止现行有关标准的建议

无。

十、预期效果

本标准的制定, 填补了国内增材制造制粉用钛及钛合金加工行业的一项空白, 将规范国内增材制造制粉用钛及钛合金棒材的生产和使用, 有利于推动增材制造制粉用钛及钛合金行业的正常有序发展。按照本标准生产出的钛及钛合金棒材能够满足用户的使用要求, 从技术经济角度看, 提高了成品率和生产效率。从整体预期效果来看, 本标准在技术指标上是先进的, 应用合理。

十一、其它应注意的事项

本标准是我国钛合金增材制造系列标准之一, 不仅规范了国内增材制造制粉用钛及钛合金棒材的生产和使用, 而且完善了增材制造标准体系。可实现我国高品质增材制造制粉用钛及钛合金棒材的规模化生产, 不仅可提升军民用高品质增材制造制粉用钛及钛合金棒材的生产能力和技术水平, 而且以我国新材料产业“十三五”发展规划中的“稀有金属材料”高技术含

量深加工材料为基础，体现客户利益。标准制定时充分考虑了国内外相关生产企业实际质量水平，具有充分的先进性、科学性、普遍性、广泛性和适用性，其综合水平达到国际先进水平，完全满足国内外用户、市场及我国产品进出口的需求，更有利于提高我国增材制造制粉用钛及钛合金棒材的国际竞争力。

通过推广采用该标准，对增材制造制粉用钛及钛合金加工领域实施“中国制造”或“中国创造”的飞速发展，提升产品质量，促进产业发展，具有极大的政治意义、社会效益和经济效益。

编制组

2019年08月10日

国家标准意见汇总处理表

标准名称：增材制造制粉用钛及钛合金棒材 负责起草单位：西部超导材料科技股份有限公司 2019年08月10日

序号	标准条款	意见内容	提出单位	处理意见及说明
1	3.1 表 1	按照国标《激光成型用钛及钛合金粉》增加牌号	上海材料研究所，西北工业大学	采纳
2	3.1 表 1	去应力退火态（M） 应为“m”	全国有色稀有金属分标准化技术委员会	采纳
3	3.1 表 1	建议直径扩大到 100 mm	安徽颍元新材料科技有限公司	采纳
4	3.3.1	“ $\begin{smallmatrix} +0.1 \\ -0.1 \end{smallmatrix}$ mm” 建议改为“ ± 0.1 mm”	全国有色粉末冶金分标准化技术委员会	采纳
5	3.3.2	“ $\begin{smallmatrix} +5 \\ -5 \end{smallmatrix}$ mm” 建议改为“ ± 5 mm”	全国有色粉末冶金分标准化技术委员会	采纳。
6	3.3.4	“0.5 mm/支” 建议改为“0.5 mm/m”。	中国航发上海商用航空发动机制造有限责任公司	修改采纳 0.7mm/m
7	3.4	“不允许存在内部裂纹及夹杂等缺陷” 建议改为 “不应存在内部裂纹及夹杂等缺陷”。	广东致远新材料有限公司	采纳
8	3.6.1	删除“且清理部位的深度与宽度之比应不大于 1:8”	全国有色粉末冶金分标准化技术委员会	采纳
9	4.5	加上“必要时，采用相应精度的量具进行。”	全国有色粉末冶金分标准化技术委员会	采纳