

《航空航天热等静压用球形钛及钛合金粉末》

编制说明

(征求意见稿)

一、工作简况

1.1 任务来源

根据《工业和信息化部办公厅关于印发 2021 年第三批行业标准制修订项目的通知》(文的要求, 行业标准《航空航天热等静压用球形钛及钛合金粉末》由全国有色金属标准化技术委员会(SAC/TC 243)提出并归口管理, 由西安欧中材料科技有限公司负责起草。项目计划编号为: 2021-1179T-YS。按计划要求, 本标准应在 2023 年完成。

1.2 产品概况

热等静压工艺是将粉末或制品放置到密闭的包套中, 通过向包套施加各向同等的压力, 同时施以高温, 在高温高压的作用下, 包套内的粉末或制品得以烧结和致密化的过程。热等静压是高性能材料生产和新产品开发不可或缺的手段, 相对于其他的钛合金制造工艺具有制件致密度高、组织均匀细小、力学性能优异、可以近净成形各种结构复杂的产品、提高材料利用率、降低生产成本的优势。

虽然热等静压成形钛合金制件具有组织均匀、各向同性、性能优异、材料利用率高等优点, 但该技术对工艺和设备要求较高, 产业化成本高。目前球形钛及钛合金粉末热等静压制件主要用于高端装备, 如航空航天领域的航空发动机、航天器、氢泵叶轮、薄壁舱体、空气舵翼骨架、贮箱、机匣; 海洋工程领域的阀门、阀体; 化工等领域的氢压缩机、冷却冷凝器、加热器、换热器、蒸发器、冷冻泵等。其中, 美国多用于军事和航空工程, 如: Pratt&whitne 公司F110发动机的连接杆, 战斧式巡航导弹F107发动机压缩机转子和叶轮, Sidewind导弹头罩以及Stinger防空导弹战斗部壳体等; 欧洲国家一直致力于发展航空和部分民用钛合金粉末冶金产品, 特别是航空结构件方面的技术和产品较多, 如: Messerschmitt-Bölkow-Blohm公司用预合金TC4粉末热等静压近净成形后再锻造生产制造的直升飞机叶片连杆接头和Airbus飞机的连接臂; 日本则大力开发民用钛合金产品。

我国在钛及钛合金粉末制备及其热等静压成形技术方面也开展了大量研究, 已成功开发出了TA7ELI、TA15、TC4、TC4ELI、TC11等钛合金粉末及其热等静压产品。相关单位主要有中科院金属研究所、北京航空材料研究院、航天材料及工艺研究所、西北有色金属研究院、中南大学、华中科技大学等。如中科院金属研究所通过热等静压工艺成功制备出了TA7ELI叶轮; 北京航空材料研究院使用热等静压工艺成形钛合金飞机结构件; 航天材料及工艺研究

所通过热等静压制备出了TC4进气道整体构件和TC4筋板骨架结构件，部分钛及钛合金热等静压产品如图1所示。

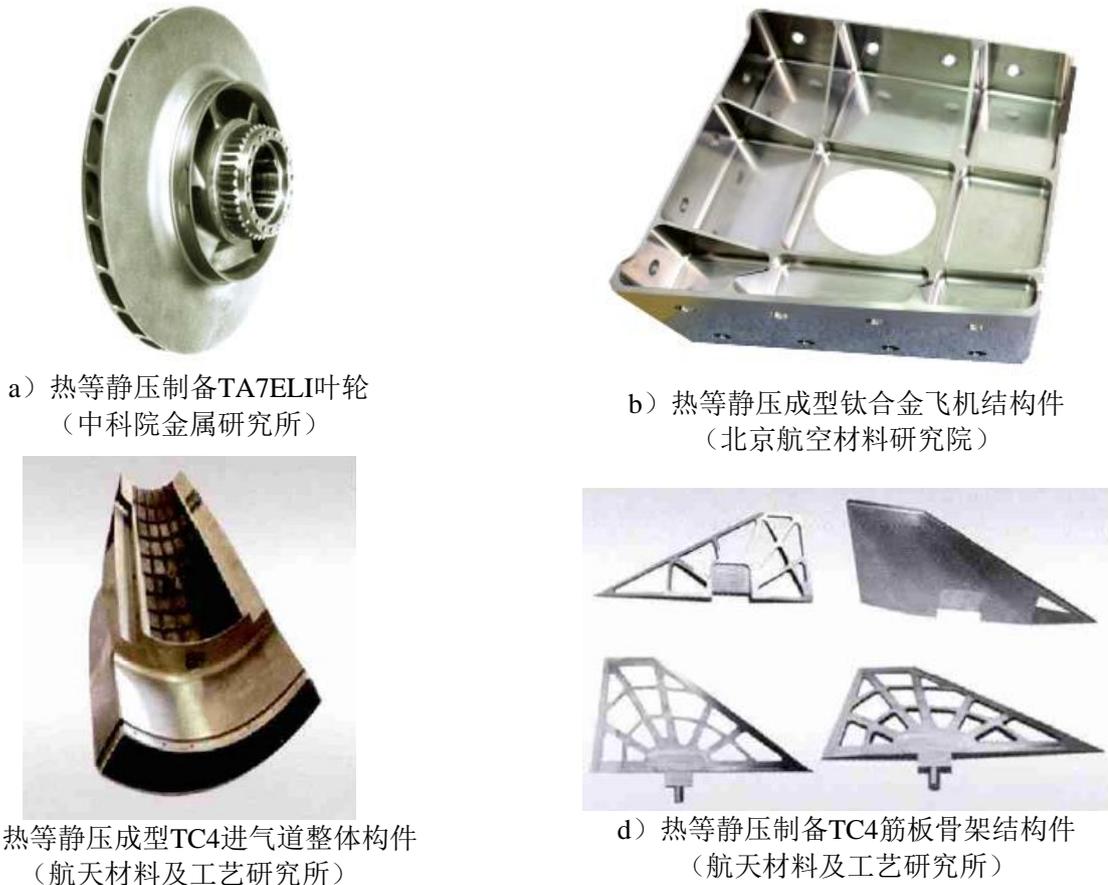


图1 热等静压制备钛及钛合金部件

目前国内标准涉及钛及钛合金粉末的有 GB/T 34486《激光成型用钛及钛合金粉》、HB 20514《钛合金构件激光直接沉积修复用粉末规范》、GJB 9577《增材制造用钛及钛合金粉末规范》三项标准，标准中对增材制造用的不同牌号的钛及钛合金粉末的化学成分、流动性、松装密度、振实密度、外观质量进行了规定。

本标准涉及航空航天热等静压用球形钛及钛合金粉末在对产品的化学成分、流动性、松装密度、振实密度、外观质量进行了规定，另外还对粉末的空心粉率及球形率进行了规定。

1.3 承担单位情况

西安欧中材料科技有限公司（简称欧中科技）是西北有色金属研究院（集团）下属的专业从事金属球形粉末及制件生产与服务的国家级高新技术企业。欧中科技通过“引进消化吸收再创新”，组建了具备国际先进水平的超高转速（30000rpm）等离子旋转电极雾化（SS-PREP®）金属球形粉末工业化生产线和高温合金粉末盘“超高转速 PREP 粉末+热等静压 HIP”（SS-PREP Disk®）短流程生产线，主要致力于钛合金、高温合金及其他金属球形粉末制备，

发动机叶片的精深加工服务，粉末冶金制件（高温合金粉末盘）、增材制造金属丝材的研发、生产及货物的进出口贸易等。产品涵括 TC4、TC11、TC18、TC21、TA15、Ti2AlNb、Ti-48Al-2Cr-2Nb、Ti17、Ti1023、Ti6242、Ti80、EP741NP、Inconel718（GH4169）、Inconel625、GH3536、316L、Co-28Cr-6Mo、AF1410、18Ni300 等 100 多种牌号的金属粉末和丝材以及高温合金粉末盘等，主要应用于航空航天、增材制造（3D 打印）、生物医疗等领域。

欧中科技组建了一支以工程院院士、全国杰出专业技术人才、新世纪百千万人才、国务院政府特殊津贴专家、国家万人计划百千万工程领军人才为带头人、以 7 名材料专业博士和 40 余名材料及机械专业硕士为骨干的专业技术创新研发团队，在高端新材料、新技术的研发和推广应用方面具有较强的自主创新能力。技术人员在国内外核心刊物发表学术论文 50 余篇；在钛合金、高温合金、不锈钢等特种金属球形粉末及粉末成型件制备技术、PREP 设备装置设计优化等方面掌握核心技术，申请发明专利 120 余项。

欧中科技先后被认定为国家级专精特新“小巨人”企业、国家级高新技术企业、全国科技型中小企业、陕西省“专精特新”中小企业、陕西省知识产权示范企业、西安市高新技术企业、西安市科技小巨人企业等。通过了国际质量管理体系（ISO9001）、国际宇航质量管理体系（AS9100）、国军标等质量体系（GJB9001）认证，主导及参与国家标准、行业、团体及地方标准 36 项，拥有丰富的标准制修订经验。

1.4 参编单位及主要起草人工作情况（排名不分先后）

整个标准起草过程中各参编单位分工如表 1 所示。

表 1 参编单位及分工

序号	参编单位	分工
1	江西虔悦新材料有限公司	
2	有研增材技术有限公司	
3	钢铁研究总院	
4	西北有色金属研究院	
5	西安赛隆金属材料有限公司	
6	江苏威拉里新材料科技有限公司	

标准主要起草人以及分工见表 2。

表 2 标准主要起草人及分工

序号	姓名	单位	分工
1			
2			

3			
4			
5			

1.5 主要工作过程

1.5.1 起草阶段

根据《工业和信息化部办公厅关于印发 2021 年第三批行业标准制修订项目的通知》计划要求，本标准于 2022 年 5 月 7 日在全国有色金属标准化技术委员会粉末冶金分标准委组织召开的线上会议进行了任务落实，西安欧中材料科技有限公司立即成立了标准编制工作组，对目标任务进行分解，明确成员的任务要求，制定工作计划和进度安排。项目运行以来，项目组积极收集国内外航空航天热等静压用球形钛及钛合金粉末的生产、检验数据和应用信息，调研国内外航空航天热等静压用球形钛及钛合金粉科研单位、生产企业的基本情况，并对各类信息进行分析汇总，于 2022 年 08 月完成标准征求意见稿。

1.5.2 征求意见阶段

2022 年 09 月 20 日至 2022 年 09 月 22 日，由全国有色金属标准化技术委员会主持，在山西省太原市召开本标准的讨论会。来自全国有色金属标准化技术委员会、XXXX、XXXX 等 XX 家单位的 XX 位专家代表参加了会议。与会代表对本标准（征求意见稿）进行了认真、细致的讨论，并提出了宝贵的建议和修改意见。

2022 年 XX 月 XX 日至 2022 年 XX 月 XX 日，全国有色金属标准化技术委员会通过工作群、邮件向委员单位征求意见，并将征求意见资料在 www.cnsmq.com 网站上挂网。征求意见的单位包括主要生产、经销、使用、科研、检验等单位及大专院校，征求意见单位广泛且具有代表性，征求意见时间大于 3 个月。

2020 年 XX 月，标准编制工作组对收集到的意见进行整理，共收到了 XX 条意见，形成了《标准征求意见稿意见汇总处理表》。标准制定工作组对征求意见稿进行修改，形成标准预审稿及编制说明。

2022 年 XX 月 XX 日，由全国有色金属标准化技术委员会主持，在 XX 省 XX 市召开了本标准的预审会。来自 XXXX、XXXX 等 XX 多家单位 XX 余位专家代表参加了会议。与会代表对本标准（预审稿）进行了认真、细致的讨论。标准制定工作组根据讨论的意见，形成标准送审稿及编制说明，并提交标委会对标准进行审查。

1.5.3 审查阶段

2022 年 XX 月 XX 日，由全国有色金属标准化技术委员会主持，在 XX 省 XX 市组织召

开本标准审定会。来自 XXXX、XXXX 等 XX 多家单位的 XX 余名代表参加了会议，见《有色金属审定会参加单位及代表签名》。会议对西安欧中材料科技有限公司负责起草的行业标准《航空航天热等静压用球形钛及钛合金粉》（送审稿）进行了认真细致的审定并提出修改意见，见《有色金属标准审定会会议纪要》。标准编制组采纳了审定会意见，对标准送审稿进行了修改完善。

1.5.4 报批阶段

标准编制组对标准文本和编制说明进行修改完善，形成标准报批稿报送至全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC 243），现上报至中华人民共和国工业和信息化部审批、发布。

二、标准编制原则和确定主要内容的论据

2.1 标准编制原则

1) 本标准按照 GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

2) 本标准反映了当前国内航空航天热等静压用球形钛及钛合金粉末的生产水平，并且符合粉末冶金行业的市场应用需求，具有指导和规范市场的作用。

2.2 确定标准主要内容的论据

2.2.1 化学成分

本标准规定了批量化生产且在航空航天热等静压制造领域广泛使用的 TA7ELI、TA15、TC4、TC4ELI、TC11 五种牌号的钛及钛合金粉末。粉末化学成分参照 GB/T3620.1 的规定，同时针对热等静压成形工艺过程中氧增量较低的特点，本标准涉及粉末氧含量的确定如表 3 所示。

表 3 各标准中氧含量对比表

牌号	其他相关标准中规定的氧含量 (%)				航空航天热等静压用球形钛及钛合金粉末
	GB/T 3620.1 钛及钛合金牌号和化学成分表	GBT 34486-2017 激光成形用钛及钛合金粉	GJB 9577-2018 增材制造用钛及钛合金粉末规范	HB 20514-2018 钛合金构件激光直接沉积修复用粉末规范	
TA7ELI	0.12	0.11	≤0.11	-	≤0.11
TA15	0.15	0.14	≤0.13	≤0.13	≤0.14
TC4	0.20	0.19	0.13~0.18	0.13~0.18	≤0.19
TC4ELI	0.13	0.12	≤0.11	-	≤0.12
TC11	0.15	0.14	-	≤0.13	≤0.14

粉末的化学成分分析按照 GB/T 4698(所有部分)《海绵钛、钛及钛合金化学分析方法》的规定进行。

西安欧中材料科技有限公司及参编单位西北有色金属研究院、钢铁研究总院、西安赛隆金属材料有限公司、XXX、XXX 各批次产品的化学成分分析结果统计如表 4 所示。

表 4 化学成分统计表

牌号	化学成分，%（质量分数）											
	主成分							杂质元素				
	Ti	Al	Si	V	Zr	Mo	Sn	Fe	C	N	H	O
TA7ELI	余量	4.50~5.75	-	-	-	-	2.0~3.0	0.25	0.05	0.035	0.0125	0.11
单位 1-1	余量	5.13	-	-	-	-	2.60	0.20	0.009	0.008	0.0023	0.10
单位 1-2	余量	5.08	-	-	-	-	2.54	0.194	0.006	0.003	0.0010	0.06
单位 2	余量	5.16	-	-	-	-	2.44	0.12	0.010	<0.003	0.0032	0.026
单位 1：西安欧中材料科技有限公司单位；单位 2：西安赛隆金属材料有限公司；												
牌号	Ti	Al	Si	V	Zr	Mo	Sn	Fe	C	N	H	O
TA15	余量	5.5~7.1	≤0.15	0.8~2.5	1.5~2.5	0.5~2.0	-	0.25	0.08	0.05	0.015	0.14
单位 1-1	余量	6.56	<0.02	1.78	2.09	1.39	-	0.043	0.013	0.012	0.0027	0.09
单位 1-2	余量	6.45	<0.01	2.15	1.97	1.40	-	0.02	0.015	0.014	0.0025	0.096
单位 1-3	余量	6.52	<0.02	1.89	1.98	1.38	-	0.032	0.011	0.008	0.0031	0.075
单位 2-1	余量	6.27	<0.010	1.00	1.98	0.91	-	0.04	0.005	0.005	0.0038	0.068
单位 2-2	余量	6.41	<0.010	1.03	1.97	0.99	-	0.03	0.010	0.005	0.0018	0.059
单位 2-3	余量	6.47	<0.010	1.01	1.95	1.00	-	0.03	0.007	0.006	0.005	0.068
单位 1：西安欧中材料科技有限公司单位；单位 2：西安赛隆金属材料有限公司；												
牌号	Ti	Al	Si	V	Zr	Mo	Sn	Fe	C	N	H	O
TC4	余量	5.50~6.75	-	3.5~4.5	-	-	-	0.30	0.08	0.05	0.015	0.19
单位 1-1	余量	6.24	-	4.00	-	-	-	0.17	0.012	0.006	0.0027	0.15
单位 1-2	余量	6.02	-	4.04	-	-	-	0.21	0.015	0.006	0.0026	0.136
单位 1-3	余量	5.99	-	4.08	-	-	-	0.19	0.011	0.01	0.0048	0.074
单位 1-4	余量	6.16	-	4.11	-	-	-	0.24	0.012	0.008	0.0022	0.063
单位 1-5	余量	5.87	-	3.97	-	-	-	0.168	0.014	<0.003	0.0028	0.14
单位 3-1	余量	5.69	-	3.82	-	-	-	0.059	0.025	0.025	0.0022	0.16

单位 3-2	余量	6.02	-	4.24	-	-	-	0.127	0.017	<0.003	0.0017	0.17
单位 3-3	余量	5.95	-	4.16	-	-	-	0.07	0.015	0.011	0.0010	0.18

单位 1: 西安欧中材料科技有限公司单位; 单位 3: 西北有色金属研究院;

牌号	Ti	Al	Si	V	Zr	Mo	Sn	Fe	C	N	H	O
TC4ELI	余量	5.5~6.5	-	3.5~4.5	-	-	-	0.25	0.08	0.03	0.012	0.12
单位 1-1	余量	5.89	-	3.98	-	-	-	0.166	0.011	0.02	0.0031	0.082
单位 1-2	余量	5.70	-	3.90	-	-	-	0.18	0.015	0.005	0.0056	0.096
单位 1-3	余量	6.09	-	4.21	-	-	-	0.164	0.011	0.016	0.0028	0.08
单位 1-4	余量	6.18	-	3.96	-	-	-	0.175	0.019	0.015	0.0063	0.087
单位 1-5	余量	6.25	-	3.92	-	-	-	0.172	0.02	0.006	0.006	0.097
单位 2-1	余量	6.21	-	3.94	-	-	-	0.05	0.011	0.004	0.0015	0.056
单位 2-2	余量	6.15	-	4.15	-	-	-	0.11	0.007	0.006	0.0023	0.081
单位 2-3	余量	6.28	-	3.93	-	-	-	0.07	0.010	0.008	0.0021	0.067
单位 3-1	余量	6.20	-	4.23	-	-	-	0.084	0.018	0.021	0.0014	0.11
单位 3-2	余量	6.32	-	4.28	-	-	-	0.058	0.016	0.018	0.0010	0.11
单位 3-3	余量	6.09	-	4.23	-	-	-	0.12	0.019	0.004	0.0012	0.10

单位 1: 西安欧中材料科技有限公司单位; 单位 2: 西安赛隆金属材料有限公司; 单位 3: 西北有色金属研究院;

牌号	Ti	Al	Si	V	Zr	Mo	Sn	Fe	C	N	H	O
TC11	余量	5.8~7.0	0.20~0.35	-	0.8~2.0	2.8~3.8	-	0.25	0.08	0.05	0.012	0.14
单位 1-1	余量	6.45	0.248	-	1.67	3.30	-	0.029	0.008	0.004	0.0024	0.11
单位 1-2	余量	6.31	0.32	-	1.65	3.53	-	0.041	0.006	0.005	0.0019	0.098
单位 1-3	余量	6.65	0.243	-	1.65	3.42	-	0.032	0.008	0.005	0.005	0.13

单位 1: 西安欧中材料科技有限公司单位;

根据表 4 中各参编单位产品化学成分检测结果, 本标准确定航空航天热等静压用球形钛及钛合金粉末化学成分如表 5 所示。

表 5 化学成分

牌号	化学成分, % (质量分数)													
	主成分							杂质元素						
	Ti	Al	Si	V	Zr	Mo	Sn	Fe	C	N	H	O	其他元素	
													单一	总和
TA7ELI	余量	4.50 ~ 5.75	-	-	-	-	2.0 ~ 3.0	0.25	0.05	0.035	0.0125	0.11	0.05	0.30
TA15	余量	5.5 ~ 7.1	≤0.15	0.8 ~ 2.5	1.5 ~ 2.5	0.5 ~ 2.0	-	0.25	0.08	0.05	0.015	0.14	0.10	0.30
TC4	余量	5.50 ~ 6.75	-	3.5 ~ 4.5	-	-	-	0.30	0.08	0.05	0.015	0.19	0.10	0.40
TC4ELI	余量	5.5 ~ 6.5	-	3.5 ~ 4.5	-	-	-	0.25	0.08	0.03	0.012	0.12	0.10	0.30
TC11	余量	5.8 ~ 7.0	0.20 ~ 0.35	-	0.8 ~ 2.0	2.8 ~ 3.8	-	0.25	0.08	0.05	0.012	0.14	0.10	0.40

注 1: Si 元素仅规定上限值时为杂质元素。

注 2: 其他元素一般包括: Al、V、Sn、Mo、Cr、Mn、Zr、Ni、Cu、Si、Y (该牌号中含有的合金元素应去除)。Y 含量为不大于 0.005%。

注 3: 出厂时供方可不检验其他元素, 用户要求并在合同中注明时可予以抽检。

注 4: 如需方有其他特殊要求, 由供需双方协商确定, 并在订货单中注明。

2.2.2 粒度

根据热等静压工艺对粉末粒度的使用要求, 将航空航天热等静压用球形钛及钛合金粉的粒度规格确定为 45~250 μm 。

粒度检测按照 GB/T 1480《金属粉末 干筛分法测定粒度》的规定执行。

参编单位产品的筛分粒度组成测试结果统计如表 6 所示。从检测数据可以看出 45~250 μm 的粒度组成中 $\leq 45\mu\text{m}$ 的质量百分比介于 0.02%~3.88%之间, $> 250\mu\text{m}$ 的质量百分比介于 0.00%~1.56%之间, 故本标准确定了粒度组成的指标为 $\leq 45\mu\text{m}$ 不大于 5%, $> 250\mu\text{m}$ 不大于 5%。当需方对粒度分布有特殊要求时, 由供需双方协商确定。

表 6 筛分粒度组成统计表

粉末规格 (μm)	牌号	要求: $\leq 45\mu\text{m}$ 不大于 5%, $> 250\mu\text{m}$ 不大于 5%						
		单位 1-1	单位 1-2	单位 2-1	单位 2-2	单位 2-3	单位 3-1	单位 3-2
	TA7ELI	$\leq 45\mu\text{m}$:3.88 $> 250\mu\text{m}$:1.56	$\leq 45\mu\text{m}$:1.20 $> 250\mu\text{m}$:0.65	$\leq 45\mu\text{m}$:0.80 $> 250\mu\text{m}$:1.2	-	-	-	-
	TA15	$\leq 45\mu\text{m}$:0.49 $> 250\mu\text{m}$:0	$\leq 45\mu\text{m}$:0.21 $> 250\mu\text{m}$:0	$\leq 45\mu\text{m}$:0.8 $> 250\mu\text{m}$:0	$\leq 45\mu\text{m}$:0.65 $> 250\mu\text{m}$:0	$\leq 45\mu\text{m}$:0.85 $> 250\mu\text{m}$:0	-	-
	TC4	$\leq 45\mu\text{m}$:0.95 $> 250\mu\text{m}$:0.03	$\leq 45\mu\text{m}$:0.63 $> 250\mu\text{m}$:0.07	-	-	-	$\leq 45\mu\text{m}$:3.26 $> 250\mu\text{m}$:0.02	$\leq 45\mu\text{m}$:2.98 $> 250\mu\text{m}$:0.01
	TC4ELI	$\leq 45\mu\text{m}$:0.92 $> 250\mu\text{m}$:0	$\leq 45\mu\text{m}$:0.16 $> 250\mu\text{m}$:0	$\leq 45\mu\text{m}$:0.75 $> 250\mu\text{m}$:0	$\leq 45\mu\text{m}$:1.2 $> 250\mu\text{m}$:0	$\leq 45\mu\text{m}$:1.0 $> 250\mu\text{m}$:0	$\leq 45\mu\text{m}$:2.83 $> 250\mu\text{m}$:0.01	$\leq 45\mu\text{m}$:2.91 $> 250\mu\text{m}$:0
	TC11	$\leq 45\mu\text{m}$:0.02 $> 250\mu\text{m}$:0.55	$\leq 45\mu\text{m}$:0.77 $> 250\mu\text{m}$:0.8	-	-	-	-	-

单位 1: 西安欧中材料科技有限公司单位; 单位 2: 西安赛隆金属材料有限公司; 单位 3: 西北有色金属研究院;

	TA7ELI	2.88	2.87	2.80	-	-	-	-
	TA15	2.87	2.86	2.80	2.83	2.82	-	-
	TC4	2.93	2.91	-	-	-	3.05	2.98
	TC4ELI	2.88	2.87	2.70	2.72	2.73	2.90	2.86
	TC11	2.97	2.87	-	-	-	-	-
单位 1: 西安欧中材料科技有限公司单位; 单位 2: 西安赛隆金属材料有限公司; 单位 3: 西北有色金属研究院;								

2.2.5 流动性

流动性是指以一定量粉末流过规定孔径的标准漏斗所需要的时间，通常采用霍尔流速漏斗，流动性单位为 s/50g，表征粉末流动的难易程度，数值越小流动性越好。粉末的粒度、湿度、静电以及粉末是否为球形均会影响粉末的流动特性。对于粉末热等静压，粉末的流动性会影响装粉过程和制件性能。流动性检测按照 GB/T 1482《金属粉末流动性的测定 标准漏斗法(霍尔流速计)》的规定执行。

参编单位产品流动性的实测结果统计如表 9 所示。从检测数据可以看出粉末的流动性介于 21.9~29.4s/50g 之间，故本标准确定了产品的流动性应≤35s/50g。

表 9 流动性统计表

粉末规格 (μm)	牌号	要求: $\leq 35\text{s}/50\text{g}$						
		单位 1-1	单位 1-2	单位 2-1	单位 2-2	单位 2-3	单位 3-1	单位 3-2
	TA7ELI	23.6	22.5	28.9	-	-	-	-
	TA15	21.9	21.9	29.4	28.9	29.1	-	-
	TC4	22.7	22.0	-	-	-	23.5	23.1
	TC4ELI	23.7	23.5	28.3	28.1	28.3	24.4	24.7
	TC11	22.8	23.1	-	-	-	-	-
单位 1: 西安欧中材料科技有限公司单位; 单位 2: 西安赛隆金属材料有限公司; 单位 3: 西北有色金属研究院;								

2.2.6 空心粉率

空心粉率是表征金属粉末性能的指标之一。在雾化制粉过程中，雾化气体可能进入金属液滴中，在冷却过程中气体来不及排出残留在粉末中形成空心粉。空心粉在热等静压过程中可能无法完全闭合，会残留在产品中，降低产品的疲劳性能。空心粉率的测定按照 GB/T XXXX 的规定进行。

各参编单位 TA7ELI、TA15、TC4、TC4ELI、TC11 粉末产品的空心粉率检测数据统计如表 10 所示，从统计数据可以看出粉末的空心粉率介于 0.06~0.61%之间，故本标准确定了产品的空心粉率应≤1%。

表 10 空心粉率统计表

粉末规格 (μm)	代号	要求: $\leq 1\%$				
		单位 1-1	单位 1-2	单位 3-1	单位 3-2	单位 X
粉末规格 (μm)	TA7ELI	0.12	0.20	-	-	
	TA15	0.23	0.30	-	-	
	TC4	0.45	0.75	0.61	0.43	
	TC4ELI	0.38	0.26	0.35	0.20	
	TC11	0.66	0.12	-	-	
	单位 1: 西安欧中材料科技有限公司单位; 单位 3: 西北有色金属研究院;					

2.2.7 球形率

球形率是表征金属粉末外观质量的参数，是衡量金属粉末满足热等静压工艺要求的指标之一。各参编单位 TA7ELI、TA15、TC4、TC4ELI、TC11 粉末球形率的检测数据统计如表 11 所示，从检测数据可以看出粉末的球形率介于 91.0~99.7%之间，故本标准确定了产品的球形率应 $\geq 90\%$ 。

球形率检测按照 YS/T 1297《钛及钛合金粉末球形率测定方法》的规定执行或由供需双方商议确定。

表 11 球形率统计表

粉末规格 (μm)	代号	要求: $\geq 90\%$				
		单位 1-1	单位 1-2	单位 2	单位 3-1	单位 3-2
粉末规格 (μm)	TA7ELI	99.1	99.7	>97.0	-	-
	TA15	98.9	98.3	>97.0	-	-
	TC4	91.0	98.7	-	94.1	92.8
	TC4ELI	95.9	91.8	>97.0	93.0	91.6
	TC11	99.0	98.3	-	-	-
	单位 1: 西安欧中材料科技有限公司单位; 单位 2: 西安赛隆金属材料有限公司; 单位 3: 西北有色金属研究院;					

2.2.8 标志、包装、运输、贮存

产品在包装、运输和贮存过程中可能会吸附空气中的氧、氮等气体元素而降低品质，且易吸附水汽而受潮导致粉末性能受到影响。因此本文件对产品的标志、包装、运输、贮存做出如下规定：

7.1 标志

产品每个最小包装单位上应有标志，注明：

TA7ELI												
批次 1-1												
批次 1-2												
批次 1-3												
TA15												
TC4												
TC4ELI												
TC11												

2.3.2 粒度

XXX 对 TA7ELI、TA15、TC4、TC4ELI、TC11 粉末的两个批次产品的粒度组成进行了验证。两家验证单位的验证数据统计如表 13 所示，检测结果基本一致，且符合标准中的规定。

表 13 筛分粒度组成统计表

	牌号	要求: $\leq 45\mu\text{m}$ 不大于 5%, $> 250\mu\text{m}$ 不大于 5%					
		单位 1-1	单位 1-2	单位 X	单位 X	单位 X	单位 X
粉末规格 (μm)	TA7ELI						
	TA15						
	TC4						
	TC4ELI						
	TC11						
	验证单位:						

2.3.3 松装密度

XXX 对 TA7ELI、TA15、TC4、TC4ELI、TC11 粉末的两个批次产品的松装密度进行了验证。验证数据统计如表 14 所示，检测结果基本一致，且符合标准中的规定。

表 14 松装密度统计表

粉末规格 (μm)	代号	要求: $\geq 2.4\text{g}/\text{cm}^3$			
		批次 A		批次 B	
		单位 X	单位 X	单位 X	单位 X
	TA7ELI				
	TA15				

	TC4				
	TC4ELI				
	TC11				
验证单位:					

2.3.4 振实密度

XXX 对 TA7ELI、TA15、TC4、TC4ELI、TC11 粉末的两个批次产品的振实密度进行了验证。验证数据统计如表 15 所示，检测结果基本一致，且符合标准中的规定。

表 15 振实密度统计表

粉末规格 (μm)	代号	要求: $\geq 2.7\text{g/cm}^3$			
		批次 A		批次 B	
		单位 X	单位 X	单位 X	单位 X
TA7ELI					
TA15					
TC4					
TC4ELI					
TC11					
验证单位:					

2.3.5 流动性

XXX 对 TA7ELI、TA15、TC4、TC4ELI、TC11 粉末的两个批次产品的流动性进行了验证。验证数据统计如表 16 所示，检测结果基本一致，且符合标准中的规定。

表 16 流动性统计表

粉末规格 (μm)	代号	要求: $\leq 30\text{s}/50\text{g}$			
		批次 C		批次 D	
		单位 X	单位 X	单位 X	单位 X
TA7ELI					
TA15					
TC4					
TC4ELI					
TC11					
验证单位:					

2.3.6 空心粉率

XXX 对 TA7ELI、TA15、TC4、TC4ELI、TC11 粉末的两个批次产品的空心粉率进行了

验证。验证数据统计如表 17 所示，检测结果基本一致，且符合标准中的规定。

表 17 流动性统计表

粉末规格 (μm)	代号	要求: $\leq 1\%$			
		批次 C		批次 D	
		单位 X	单位 X	单位 X	单位 X
TA7ELI					
TA15					
TC4					
TC4ELI					
TC11					
验证单位:					

2.3.7 球形率

XXX 对 TA7ELI、TA15、TC4、TC4ELI、TC11 粉末的两个批次产品的球形性进行了验证。验证数据统计如表 18 所示，检测结果基本一致，且符合标准中的规定。

表 18 球形率统计表

粉末规格 (μm)	代号	要求: $\geq 90\%$			
		批次 C		批次 D	
		单位 X	单位 X	单位 X	单位 X
TA7ELI					
TA15					
TC4					
TC4ELI					
TC11					
验证单位:					

三、标准水平分析

3.1 采用国际标准和国外先进标准的程度

经过检索，国外无针对航空航天热等静压用球形钛及钛合金粉末的标准。

3.2 与国际标准及国外同类标准水平的对比

在航空航天热等静压用粉末材料的标准化方面，对于高端装备热等静压用钛及钛合金粉末，尚无相关标准。针对粉末冶金新技术的发展，本标准结合当前实际生产水平和应用需求，以及成熟企业的企业标准和技术要求，对热等静压用球形钛及钛合金粉末的化学成分、粒度分布、流动性、松装密度、振实密度、空心粉率、球形率进行了规定，可以满足我国对航空

航天热等静压用球形钛及钛合金粉末产品的需求。

综上所述，本标准的主要技术指标均达到国内先进水平。

3.3 与现有标准及制定中的标准协调配套情况

本标准的制订与现有的标准及制订中的标准协调配套，无重复交叉现象。

3.4 涉及国内外专利及处置情况

经过检索，本标准不涉及国内外专利。

四、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准与有关的现行法律、法规和强制性国家标准具有一致性，无冲突之处。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

六、标准作为强制性或推荐性国家（或行业）标准的建议

本标准建议作为推荐性国家标准。

七、贯彻标准的要求和措施建议

本标准建议发布后 6 个月实施。

八、废止现行有关标准的建议

无。

九、其他应予以说明的事项

无。

十、预期效果

本标准实施后，我国航空航天热等静压钛及钛合金领域将会更加合理规范，能够促进钛及钛合金粉末在航空航天热等静压制造领域的应用，并整体提高热等静压钛及钛合金零件的品质，达到发达国家的应用水平，满足航空航天关键领域的应用需求。

可积极向生产厂家及国内外用户推荐本标准。

《航空航天热等静压用球形钛及钛合金粉末》标准编制组

2022 年 09 月