

《再生钛锭》

讨论稿编制说明

一、工作简况

(一) 目的、意义

我国钛及钛合金的生产起步于 20 世纪 50 年代,1958 年开始实现海绵钛的工业化生产,1964 年实现了钛加工材的工业化生产。随着钛及钛合金冶金技术的发展和加工技术的进步,钛及钛合金在航空航天、石油化工、海洋工程、舰船、汽车、建筑、医疗器械、体育用品中均有广阔的应用前景。但是由于钛及钛合金具有较高的化学活性、低的导热系数,导致钛的提取、熔炼、变形加工、热处理等生产工艺十分困难,致使钛及钛合金产品生产成本居高不下、其昂贵的价格严重制约了钛及钛合金产品的大规模推广应用。据统计,在钛及钛合金产品的制造加工成本中,原材料海绵钛和合金元素分别占 39.7%和 6.7%、加工变形占 26.6%、铸锭熔炼占 20%、产品检验占 5%、热处理占 2%,原材料海绵钛和合金元素是钛及钛合金产品成本居高不下的主要原因。由此可见,有效回收利用钛及钛合金,实现再生钛及钛合金原料的循环利用,是降低钛及钛合金产品制造成本的主要手段。

由于钛及钛合金独特的加工工艺特点,加工材的成品率较低,一般在 50%左右,其生产过程会产生大量的工艺余料。在钛及钛合金工艺余料的回收利用方面,国外从 20 世纪 60 年代初就开始了研究工作,到 70 年代初,相继达到了工业规模的回收水平。在美国钛及钛合金回收料的再利用平均占铸锭生产的 35~45%。其他西方国家的钛公司和生产厂也相继完善了各具特色的钛及钛合金工艺余料的回收工艺及装备。我国最早研究钛及钛合金工艺余料的回收利用工艺始于 1968 年,在 2000 年之前,回收钛及钛合金工艺余料接近 5000 吨。在 2000 年之后,我国钛及钛合金工艺余料的回收利用实现了快速发展,每年回收利用钛及钛合金工艺余料超过 1000 吨,并于 2007 年建立了 GB/T 20927-2007《钛及钛合金废料》的国家标准。GB/T 20927-2007 自发布实施以来,在钛及钛合金回收料的分类分级和处理验收过程中发挥了主要作用,稳步促进了我国钛及钛合金工艺余料的回收储备,有效推动了我国钛及钛合金回收料的再生利用进程。

近年来,随着钛及钛合金加工产品的快速发展和市场需求的扩展应用,各生产企业对再生钛锭的生产需求也越来越大,利用回收钛原料的再生钛锭生产的钛及钛合金产品,有效降低了制造成本,也在各工业领域得到了大量应用推广,但我国尚未建立再生钛锭的相关标准,严重阻碍了钛及钛合金再生料回收利用的科学合理发展,现急需通过制定该国家标准,有效促进我国钛及钛合金再生钛原料的健康发展,在降低钛及钛合金产品制造成本的基础上,为其产品质量的稳步提升保驾护航。

(二) 主要参加单位和工作成员及其所作的工作

2.1 主要参加单位情况

标准主编单位宝鸡钛业股份有限公司在标准的编制过程中，能积极主动收集国内外再生钛锭相关技术资料，负责项目的总体实施和策划，能够带领编制组成员单位认真细致修改标准文本，征求多家企业的修改意见，编制征求意见稿，最终带领编制组完成标准的编制工作。

有色金属技术经济研究院有限责任公司为本标准提供理论研究基础，并为国内外再生钛锭标准对比工作提供有力支持。

宝钛集团有限公司积极参加标准调研工作，配合主编单位开展大量的现场调研、开展各种试验工作，为标准编写提供了真实有效的参考数据，针对标准的讨论稿和征求意见稿提出修改意见，并对再生钛锭的相关要求进行严格把关。

南京宝色股份公司、有研工程技术研究院有限公司、xxx 积极配合编制组开展再生钛锭的验证工作，承担了标准中第三方的试验验证工作，主要完成了再生钛锭相关要求的对比，为标准主要技术内容提供有力保障。

2.2 主要工作成员所负责的工作情况

本标准主要起草人及工作职责见表 1。

表 1 主要起草人及工作职责

起草人	工作职责

(三) 工作过程

3.1 预研阶段

2022 年 10 月至 2023 年 4 月，由宝鸡钛业股份有限公司、宝钛集团有限公司、有色金属技术经济研究院有限责任公司对国内钛及钛合金加工产品的包装、标志、运输和贮存进行了现场调研，具体内容为：了解国内再生钛锭的实际情况，与企业技术人员深入讨论再生钛锭的具体要求，参观企业现场生产及检测情况，根据调研情况，由主编单位整理并编制形成了《再生钛锭》标准项目建议书、标准草案及标准立项说明等材料。

3.2 立项阶段

1) 2023 年 4 月，宝鸡钛业股份有限公司向全体委员会议提交了《再生钛锭》标准项目建议书、标准草案及标准立项说明等材料，全体委员会议论证结论为同意国家标准立项。由秘书处组织委员网上投票，投票通过后转报国标委，并挂网向社会公开征求意见。

3.3 起草阶段

2024年4月，由全国有色金属标准化技术委员会稀有金属分技术委员会在长沙市组织召开了《再生钛锭》修订任务落实与协调会议，主编单位对标准的主要技术要求以及编制进度进行了汇报，各相关单位对标准的技术指标进行了充分讨论，并确定了标准编制组：宝鸡钛业股份有限公司、宝钛集团有限公司、有色金属技术经济研究院有限责任公司、南京宝色股份公司、XXX。

依据此次会议精神，编制组及时修改了标准文本，形成了《再生钛锭》标准征求意见稿及编制说明。

二、标准编制原则

本标准在修订时，主要结合各生产检验单位现场调研情况，完成了标准文本的制定。同时，项目组确定按以下主要原则进行标准的编制工作。

a) 标准文本应严格按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定格式进行编写。

b) 标准规定内容全面覆盖我国再生钛锭的生产情况，确保技术要求的科学性和合理性。

三、标准主要内容的确定依据及主要试验和验证情况分析

(一) 确定标准主要内容的论据

1) 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

a)

钛及钛合金再生料 recycling materials for titanium and titanium alloy
除海绵钛之外的块状、屑状的钛及钛合金物料。

b)

再生钛锭 recycling titanium ingots
完全或部分采用各种钛及钛合金再生料，经电子束冷床炉或真空自耗电弧炉生产的钛锭。

2) 分类和标记

a) 产品分类

产品的牌号、状态、规格、级别应符合表2的规定。

表2 牌号、状态和规格

牌 号	供应状态 ^{a)}	规格
-----	--------------------	----

		mm	
		直径或宽度	长度
TA1、TA2、TA3、TA4、TA10、TC4、TC11	铸态 (Z)	200mm ~ 1040mm	1000mm~ 5000

b) 产品类别

2. b. 1 产品应按生产铸锭时添加钛及钛合金再生料的质量百分比进行分类，类别应符合表 2 的规定。

2. b. 2 当需方要求并在合同中注明时，再生钛锭应提供钛及钛合金再生料的添加比例。

表 3 类别

质量分数%

类别	I 类	II 类	III 类
再生料添加比例	<50	50~70	>70~100

c) 产品标记

产品标记按产品名称、牌号、状态、规格、文件编号的顺序表示。

示例：用TA1牌号制造的、状态为铸态、直径为620mm，长度为3000 mm的钛锭，标记为：
锭 TA2 Z 620×3000 GB/T XXXX—XXXX

3) 技术要求

a) 化学成分

3. a. 1 再生钛锭的化学成分应符合表 3 的规定，其他要求应符合 GB/T 3620.1。

表 4 化学成分

质量分数%

牌号	类别	主要成分							杂质，不大于						
		Ti	Al	V	Mo	Zr	Ni	Sn	Fe	C	N	H	O	其他元素	
		余量												单一	总和
TA1	I 类	余量	—	—	—	—	—	—	0.10	0.08	0.03	0.015	0.10	0.10	0.40
	II 类	余量	—	—	—	—	—	—	0.15	0.08	0.03	0.015	0.15	0.10	0.40
	III 类	余量	—	—	—	—	—	—	0.20	0.08	0.03	0.015	0.18	0.10	0.40
TA2	I 类	余量	—	—	—	—	—	—	0.20	0.08	0.03	0.015	0.15	0.10	0.40
	II 类	余量	—	—	—	—	—	—	0.25	0.08	0.03	0.015	0.20	0.10	0.40
	III 类	余量	—	—	—	—	—	—	0.30	0.08	0.03	0.015	0.25	0.10	0.40
TA3	I 类	余量	—	—	—	—	—	—	0.20	0.08	0.05	0.015	0.25	0.10	0.40
	II 类	余量	—	—	—	—	—	—	0.22	0.08	0.05	0.015	0.30	0.10	0.40
	III 类	余量	—	—	—	—	—	—	0.30	0.08	0.05	0.015	0.35	0.10	0.40

TA4	I类	余量	—	—	—	—	—	—	0.30	0.08	0.05	0.015	0.30	0.10	0.40
	II类	余量	—	—	—	—	—	—	0.40	0.08	0.05	0.015	0.35	0.10	0.40
	III类	余量	—	—	—	—	—	—	0.50	0.08	0.05	0.015	0.40	0.10	0.40
TA10	I类	余量	—	—	0.2~ 0.4	—	0.6~ 0.9	—	0.20	0.08	0.03	0.015	0.15	0.10	0.40
	II类	余量	—	—	0.2~ 0.4	—	0.6~ 0.9	—	0.25	0.08	0.03	0.015	0.20	0.10	0.40
	III类	余量	—	—	0.2~ 0.4	—	0.6~ 0.9	—	0.30	0.08	0.03	0.015	0.25	0.10	0.40
TC4	I类	余量	5.50~ 6.75	3.5~ 4.5	—	—	—	—	0.20	0.08	0.05	0.015	0.10	0.10	0.40
	II类	余量	5.50~ 6.50	3.5~ 4.5	—	—	—	—	0.25	0.08	0.05	0.015	0.15	0.10	0.40
	III类	余量	5.50~ 6.00	3.5~ 4.5	—	—	—	—	0.30	0.08	0.05	0.015	0.20	0.10	0.40
TC11	I类	余量	5.8~ 7.0	—	2.8~ 3.8	0.8~ 2.0	—	0.25~ 0.35	0.15	0.08	0.05	0.012	0.15	0.10	0.40
	II类	余量	5.8~ 6.5	—	2.8~ 3.8	0.8~ 2.0	—	0.25~ 0.35	0.20	0.08	0.05	0.012	0.15	0.10	0.40
	III类	余量	5.8~ 6.3	—	2.8~ 3.8	0.8~ 2.0	—	0.25~ 0.35	0.25	0.08	0.05	0.012	0.15	0.10	0.40

3. a. 2 需方从产品上取样进行化学成分复验分析时，其成分允许偏差应符合 GB/T 3620.2 的规定。

b) 外形尺寸及允许偏差

3. b. 1 再生钛锭的直径允许偏差应为 $\pm 30\text{mm}$ 。

3. b. 2 再生钛锭的宽度和长度允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$ 。

3. b. 3 再生钛锭头、尾两端棱角（扁锭侧棱）应进行倒角处理，倒角应为 $\geq 20\text{mm} \times 40^\circ \sim 50^\circ$ 。

3. b. 4 再生钛锭切斜度应不大于 10mm 。

c) β 转变温度

TC4 和 TC11 再生钛锭应进行 β 转变温度的测定，报实测值。

d) 超声检测

再生钛锭应进行超声检测以确定缩孔距铸锭头部距离，并以对铸锭表面无破坏的方式醒目、牢固的标出缩孔位置。

e) 表面粗糙度

再生钛锭表面粗糙度应不大于 $12.7\mu\text{m}$ 。

f) 外观质量

3. f. 1 再生钛锭应以机加工表面交付，经机加工后的钛锭表面应光滑、平整。

3. f. 2 再生钛锭侧表面不允许残留冷隔、夹层、疏松等缺陷，不允许有机加工台坎。允许有少量的气孔存在，但气孔的深度和直径不大于 5mm 。允许采用刨铣或打磨的方法清除局部污染、裂纹、气孔等缺陷，清理后应保证铸锭允许的最小尺寸，且清理部位应圆滑过渡，无台坎和棱角，清理部位的深宽比不大于 $1:10$ ，清理深度不大于 10mm 。

3. f. 3 再生钛锭头、尾部端面应平整，不允许有机加工台坎、火割、飞溅物、熔瘤等痕迹存在，不允许有开放性缩孔存在。

3. f. 4 当需方要求并在合同中注明时，再生钛锭应去除冒口。

(二) 主要试验（或验证）情况分析

本标准经过了大量实物供应及数据验证，对再生钛锭的技术要求进行了科学合理的制定，主要验证数据如下：

牌号	熔炼方式	返回炉料 添加比例 (%)	成品规格 (mm)	化学成分范围 (wt%)		
				Fe	O	
TA1G	EB+VAR	0%	Φ820	0.040	0.04	
		50%		0.04	0.06	
		60%		0.04	0.07	
		70%		0.04	0.07	
		100%		0.04	0.08	
物料种类		化学成分(wt/%)				添加重量(kg)
		Fe	O			
电极块		0.040	0.04			0.00
回收钛 原料	TA1 块 料	0.04	0.070			850.00
	纯钛 A 板类板 边	0.05	0.14			100.00
合计		0.0411	0.0774			950.00

牌号	熔炼方式	返回炉料 添加比例 (%)	成品规格 (mm)	化学成分范围 (wt%)		
				Fe	O	
TA2G	EB+VAR	0%	Φ820	0.040	0.14	
		50%		0.04	0.14	
		60%		0.04	0.14	
		70%		0.04	0.14	
		100%		0.04	0.14	
物料种类		化学成分(wt/%)				添加重量 (kg)
		Fe	O			
电极块		0.040	0.14			0.00
回收	TA2 块料	0.04	0.140			850.00

钛原料	纯钛A板类板边	0.05	0.14				100.00	
合计		0.0411	0.1400				950.00	

牌号	熔炼方式	返回炉料 添加比例 (%)	成品规格 (mm)	化学成分范围 (wt%)		添加重量 (kg)	
				Fe	O		
TA3G	EB+VAR	0%	Φ820	0.170	0.23		
		50%		0.15	0.23		
		60%		0.15	0.23		
		70%		0.15	0.24		
		100%		0.15	0.24		
物料种类		化学成分 (wt%)					
		Fe	O				
电极块		0.170	0.23			0.00	
回收钛原料	TA3块料	0.17	0.255			850.00	
	纯钛A板类板边	0.05	0.14			100.00	
合计		0.1574	0.2429			950.00	

牌号	熔炼方式	返回炉料 添加比例 (%)	成品规格 (mm)	化学成分范围 (wt%)		添加重量 (kg)	
				Fe	O		
TA4G	EB+VAR	0%	Φ820	0.330	0.295		
		50%		0.26	0.32		
		60%		0.26	0.32		
		70%		0.26	0.33		
		100%		0.26	0.33		
物料种类		化学成分 (wt%)					
		Fe	O				
电极块		0.295	0.33			0.00	
回收钛原料	TA4块料	0.29	0.355			850.00	
	纯钛A板类板边	0.05	0.14			100.00	
合计		0.2647	0.3324			950.00	

牌号	熔炼方式	返回炉料 添加比例(%)	成品规格 (mm)	化学成分范围 (wt%)			
				Ni	Mo	O	
TA10	EB+VAR	0%	Φ 820	0.750	0.34	0.12	
		50%		0.65	0.30	0.12	
		60%		0.65	0.30	0.12	
		70%		0.64	0.30	0.12	
		100%		0.63	0.30	0.11	
物料种类		化学成分 (wt%)				添加重量 (kg)	
		Ni	Mo	O			
电极块		0.81	0.34	0.12		0.00	
回收 钛原 料	TA10块 料	0.77	0.33	0.11		850.00	
	纯钛 A 板类板 边			0.14		100.00	
合计		0.6889	0.2953	0.0984		950.00	

2.1 验证分析结论

2.1.1 经对各牌号再生钛锭多批次试验验证，化学成分均满足规定要求。

四、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题

五、预期达到的社会效益等情况

(一) 项目的必要性简述

钛合金材料的成本高一直是限制其获得更广泛大量应用的瓶颈问题。美国波音公司从大量统计结果得出：钛合金板材或棒材产品的成本构成中，海绵钛的成本约占总成本的40%，材料熔炼、加工的成本约占总成本的47%，添加合金元素的成本在总成本中占比不足7%。多年来，各国为了降低成本，进行了钛提取新工艺的尝试，但都未获得实际的工业应用，基本仍处于实验室研究阶段。目前来看，海绵钛制备的Kroll工艺还将是以后很长时

间内工业提取钛的主导工艺，其生产成本在短期内不可能大幅下降。上世纪八十年代中后期出现的钛合金冷床炉熔炼工艺技术可以大量使用回收钛原料生产再生钛锭，有效的降低了钛合金材料的原料成本，是目前降低钛合金材料成本并且实现钛资源循环利用的最有效技术手段。另外，与传统的真空自耗熔炼相比，冷床炉熔炼还可有效的去除铸锭中的高、低密度夹杂，铸锭的冶金质量优良。目前，国外航空等重要用途钛合金材料中，回收钛原料添加比例已超过了 60%，材料成本至少降低了 20%。包括民机及发动机转动件等性能及稳定性要求很高的部件中也获得广泛应用，应用非常成熟。国外飞机结构主承力构件以及发动机转动件的钛合金材料规范中也都明确规定可以使用添加回收钛原料的钛合金材料制造，但我国至今尚未建立再生钛锭的相关国家标准。

（二）项目的可行性简介

美国早于上世纪八十年代先后开展了大量利用回收钛原料生产再生钛锭的研究工作，依附专业的钛加工企业建立了众多钛及钛合金回收钛原料专业处理公司，这些专业公司建有专用的回收钛原料处理成套设备、工艺技术水平高，规模大、产品质量稳定，已形成了相应的工艺体系、管理程序和回收钛原料回收标准及测试手段，并且都通过了宇航认证，实现了利用回收钛原料生产再生钛锭的工业化进程。如美国 Timet 公司、Morgan 分部、RMI、科洛尼公司、环球合金公司以及 TMA 下属的 SOS 公司等，年处理回收钛原料总量达 5000 吨以上，目前在美国航空领域中，新生产的钛合金加工材，60%以上都添加了回收钛原料。俄罗斯及乌克兰原来主要是采用真空自耗电弧炉和凝壳炉回收利用钛合金回收钛原料。近年来引进了冷床炉熔炼设备后，亦开始对回收钛原料进行大量的回收利用。俄罗斯 VSMP O 公司生产的大尺寸航空锻件，在进行粗加工后再交付客户，机加工产生的屑状回收钛原料可以做到 100%回收利用，从而使得锻件的价格更具有竞争力。目前，国外的钛材生产商几乎在所有的钛及钛合金铸锭熔炼中都要添加回收钛原料生产成本更低的再生钛锭。

我国主要的钛加工企业，在“六五”期间就承担了国家科技攻关“残钛回收工艺研究”的任务，当时由于没有冷床炉熔炼设备，主要采用真空自耗炉回收利用回收钛原料，添加回收钛原料的比例可以达到 30%。601 所对真空自耗熔炼添加回收钛原料的材料进行了性能评估，评估结论为材料的基础性能与不添加回收钛原料的材料没有显著差异。十余年前，国外逐步对我国放开了钛合金冷床炉熔炼设备的出口限制，我国的钛合金材料加工企业逐步引进了冷床炉熔炼设备，亦同步开展了添加回收钛原料的钛及钛合金冷床炉熔炼工艺技术探索。2008 年，宝钛和北京有色金属研究总院共同承担了科技部支撑计划“钛冶炼与钛合金加工关键技术开发”中的“钛合金回收钛原料回收利用技术开发”课题。通过此课题，宝钛率先在国内建立了专用的钛合金回收钛原料回收生产线，实现了利用回收钛原料生产再生钛锭的批量工业化。目前，国内民用的纯钛中添加回收钛原料的比例已可超过 50%，甚至接近 100%。国内的相关企业也开展了添加回收钛原料的电子束冷床炉熔炼 Ti-6Al-4V 合金的工艺研究。宝钛生产的添加回收钛原料的纯钛及 Ti-6Al-4V 合金的部分加工材也实现了一定量的出口，例如向空客供货的 Ti-6Al-4V 合金板材就添加了 15%的回收钛原料，

采用 VAR 熔炼。北京有色金属研究总院和宝钛针对低成本钛合金复合装甲的需求，按照国外钛合金装甲板的生产工艺流程添加 70%回收钛原料，采用一次电子束冷床炉熔炼的 Ti-6Al-4V 合金扁锭，未经锻造直接轧制了 8~22mm 厚的装甲板材。

通过多年添加回收钛原料生产再生钛锭的研制、生产、应用、验证，完全具备建立再生钛锭国家标准的条件。

(三) 标准的先进性、创新性、标准实施后预期产生的经济效益和社会效益。

近年来，我国相继引进了多台套的钛合金冷床炉熔炼设备，亦同步开展了添加回收钛原料的钛及钛合金冷床炉熔炼工艺技术探索。现在民用的纯钛及 Ti-6Al-4V 合金中添加回收钛原料的比例已可超过 50%。国内开展高性能钛合金回收钛原料回收利用的硬件条件已经具备。国内钛材生产商在民用钛材市场激烈竞争的外部环境下，针对民用钛材降成本的需求已经开展了回收钛原料的回收利用技术研究，而且每年的产量增幅明显。本标准的制定过程将对我国开展添加回收钛原料的熔炼工艺技术研究及多炉批次加工棒材和板材的组织、性能的统计评估，设计不同载荷形式的构件，开展添加不同比例回收钛原料所制备材料与不同载荷构件的应用匹配性研究。最终建立高性能钛合金回收钛原料来源及分类处理的严格质量管理体系及专用生产线。可有力推动国内添加回收钛原料的高性能钛合金材料制备工艺技术的进步，切实降低钛合金材料的成本，为添加回收钛原料的高性能钛合金在国防军事领域特别是航空领域获得更广泛大量的应用奠定基础。

六、采用国际标准和国外先进标准的情况

经查询，尚未查询到相关标准。

七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性国家标准的协调配套情况

本标准从技术上保证了再生钛锭的一致性、安全性和可靠性，条文精炼表述清楚，具体要求全面、准确、科学、合理；标准的格式和表达方式等方面完全执行了现行的国家标准和有关法规，符合 GB/T 1.1-2020 的有关要求。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧意见。

九、标准性质的建议说明

鉴于本标准规定的再生钛锭，不涉及人身及设备安全的内容，其属基础标准，不属于安全性标准。依据标准化法和有关规定，建议本标准的性质为推荐性国家标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

1、首先应在实施前保证标准文本的充足供应，使每个制造厂、设计单位以及检测机构等都能及时获取本标准文本，这是保证新标准贯彻实施的基础。

2、本次制定的《再生钛锭》，不仅与生产企业有关，而且与应用单位直接相关。对于

标准使用过程中容易出现的疑问，起草单位有义务进行必要的解释。

3、可以针对标准使用的不同对象，如制造厂、应用单位、质量监管等相关部门，有侧重点地进行标准的培训和宣贯，以保证标准的贯彻实施。

4、建议本标准批准发布 6 个月后实施。

十一、废止现行有关标准的建议

本标准是新制定国家标准，无废止相关标准。

十二、其他应予说明的事项

经标准编制组对再生钛锭的全面调研和充分讨论，制定的再生钛锭技术要求全面、科学、适用。本标准发布实施后，将使我国再生钛锭更具一致性和科学性。

《再生钛锭》标准编制组