

《回收钛原料》

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、其昂贵的价格严重限制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, 实现回收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。在回收钛原料的回收利用方面, 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。在美国回收钛原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回收钛原料的回收工艺及装备。我国最早研究回收钛原料的回收利用工艺始于 1968 年, 在 2000 年之前, 生产回收钛原料接近 5000 吨。在 2000 年之后, 我国回收钛原料的回收利用实现了快速发展, 每年回收利用回收钛原料超过 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。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, 各生产企业对钛及钛合金回收料的需求量也越来越大, 对其质量水平的要求也发生了有较大变化。GB/T 20927-2007《钛及钛合金废料》已无法完全满足现阶段钛及钛合金回收料的质量水平, 严重阻碍了钛及钛合金工艺余料回收利用的科学合理发展, 现急需通过修订该国家标准, 促进钛及钛合金工艺余料回收利用技术的健康发展。

(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回收钛原料相关技术资料, 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，并为国内外回收钛原料的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，并对回收钛原料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回收钛原料的验证工作，承担了标准中第三方的试验验证工作，主要完成了回收钛原料相关要求的对比，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
马忠贤	负责标准的工作指导、标准的编写、试验方案确定及组织协调
冯军宁	负责标准中相关技术要求内容的编写及把关
庆达嘎	负责提供企业的现场调研及配合标准编写开展现场试验验证及数据积累
解晨、马佳琨	提供理论支撑，并对国内外钛及钛合金铸锭标准对比提供支持
胡志杰	提供第三方的检测服务，指导企业现场检验的规范化并编写标准试验验证数据的对比分析
张江峰、白智辉	标准编写材料的收集及标准部分内容的编写与把关
陈战乾、何书林	提供技术指导

(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回收钛原料进行了现场调研，具体内容为：了解国内回收钛原料的实际情况，与企业技术人员深入讨论回收钛原料的具体要求，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《回收钛原料》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 6 月，宝鸡钛业股份有限公司向全体委员会议提交了《回收钛原料》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。

2) 2024 年 6 月，国家标准化管理委员会下达了制定《回收钛原料》国家标准的任务，计划编号为 XXXX，完成年限为 XXXX 年，技术归口单位为全国有色金属标准化技术委员会。

3.3 起草阶段

2024年6月19日，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烟台市组织召开了《回收钛原料》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、有研工程技术研究院有限公司、XXX。

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

3.4 征求意见阶段

本标准以召开专题会议、发送标准邮件、标委会网站上公开挂网等多种形式和办法进行了广泛的征求意见。

3.5 补充调研阶段

为了准确、全面掌握回收钛原料生产、供货及质量控制等各方面实际情况和需求，编制组开展了全面广泛的GB/T 20927《回收钛原料》修订补充调研活动。调研覆盖面包括国内钛行业相关各生产单位、研究机构及相关管理机构，其中发函征集数据单位有宝鸡钛业股份有限公司、XXXX等共计XX家钛加工生产单位，提供试验数据单位共计XX家。调研内容主要包含基本信息（企业介绍、回收钛原料牌号、类别、来源范围、级别、外形尺寸、应用领域/预定用途）、回收钛原料化学成分实测数据及近三年产量情况等，共收集了XX份调研资料，合计XX组试验数据、XXX个样品。经大量实物供应及数据验证统计和汇总，本标准对回收钛原料的技术要求进行了科学合理的制定。

3.6 审查阶段

3.7 报批阶段

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回收钛原料的生产情况，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) 标准名称

目前, GB/T 20927-2007《钛及钛合金废料》已发布实施十余年, 对我国钛及钛合金工艺余料的回收利用发挥了主要作用, 但因标准名称为《钛及钛合金废料》, 导致标准使用者对其技术要求产生误解, 因此本项目计划将标准名称由《钛及钛合金废料》更改为《回收钛原料》。

2) 术语和定义

本文件为了保持标准内容与名称的一致, 将术语和定义中的“废料”修改为“回收料”, 同时为了准确界定回收钛原料的术语和定义, 增加了回收钛原料的术语和定义, 规定回收钛原料是指除海绵钛之外的块状、屑状的钛及钛合金物料, 简称回收钛原料。

3) 处理方式、类别、级别

本文件依据目前情况, 在2007版基础上, 规定“回收钛原料按形状分为块状回收钛原料和屑状回收钛原料2个类别, 按来源范围分为7个类别”。并按回收钛原料的可利用程度不同, 增加回收钛原料处理方式为“可直接回收”、“处理后可回收”和“不可回收”三种; 并细化分回收钛原料的级别, 根据目前的需求, 按处理方式、氧化程度的不同由原来的三个级别修改为四个级别, 具体要求见表2。

表2 回收钛原料级别及要求

级别	一级	二级	三级	四级
处理方式	可直接回收	可直接回收	处理后可回收	不可回收
氧化程度	不限氧化程度	表面未氧化 或不带热加工氧化皮	表面氧化 或带热加工氧化皮	不限氧化程度
类别、来源范围及要求	屑状回收钛原料	1. 二次或三次铸锭的扒皮车屑。 2. 各类成品、半成品及钛设备机械加工屑。	同左, 但表面氧化或有热加工氧化皮的。	1. 化学成分不合格的铸锭及其加工材的机械加工屑。 2. 未转正式生产的合金锭及其加工材的机械加工屑。 3. 试样样品分析产生的屑。 4. 带锯屑及细绒屑。 5. 刨面屑。
	熔炼、铸造回收钛原料	-	铸锭的切冒口、切底。	1. 化学成分不合格的铸锭废品。 2. 未转正式生产的合金铸锭顶、底端切头及铸锭废品。 3. EB炉合金锭切底(燕尾槽)。 3. 合金电极碎块。 4. 熔炼时掉下的电极。
	棒、丝材回收钛原料	尺寸或表面不合格的棒、丝材回收钛原料。	经碱酸洗、磨光或表面机加工的轧棒、锻棒、挤压棒的切头、切尾及尺寸或表面不合格的棒、丝材。	同左, 但表面氧化或有热加工氧化皮的。 1. 化学成分不合格的棒、丝材废品及其切头、切尾。 2. 未转正式生产的合

				<ul style="list-style-type: none"> 金棒材切头、切尾及棒材废品。 3. 挤压棒压余。 4. 含有冶金缺陷的废料。 5. 表面分层或有压褶的棒材回收钛原料。 6. 弯曲缠绕无法处理的堆钢棒料。 7. 直径小于 5mm 的棒、丝材。 8. 直径小于 20mm 且长度小于 50mm 的棒、丝材。
锻造回收钛原料	<ul style="list-style-type: none"> 1. 板坯、棒坯和管坯的锻造切头等。 2. 尺寸或表面不合格的锻件。 	经碱酸洗、磨光或表面机加工的锻饼、锻环和板坯、棒坯、管坯的锻造切头及尺寸或表面不合格的锻件。	同左，但表面氧化或有热加工氧化皮。	<ul style="list-style-type: none"> 1. 化学成分不合格的锻造废品及其切头、口条等回收钛原料。 2. 未转正式生产的合金锻造成品、半成品的切头、口条及锻造废品。 3. 含有冶金缺陷的废料。 4. 表面分层或有压褶的锻造残废料。 5. 长度或厚度小于 30mm 的锻造切头。
板带材回收钛原料	尺寸或表面不合格的板、带材。	<ul style="list-style-type: none"> 1. 冷轧板、带的切边、切头及尺寸或表面不合格的冷轧板、带。 2. 热轧板的切边、切头及尺寸或表面不合格的热轧板，但经过酸洗的。 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 同左第 1 种回收钛原料，但表面氧化的。 2. 同左第 2 种回收钛原料，但表面有热加工氧化皮的。 3. 表面无氧化且宽度小于 30mm 板条。 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 化学成分不合格的板、带材废品及其切边、切头。 2. 未转正式生产的合金板、带材切边、切头及板、带材废品。 3. 含有冶金缺陷的部分。 4. 表面分层或有碱液残余的残废料。 5. 表面氧化且宽度小于 30mm 板条。
管材回收钛原料	尺寸或表面不合格的管材	<ul style="list-style-type: none"> 1. 冷轧管的切头、切尾及尺寸或表面不合格的冷轧管。 2. 挤压、穿孔的管材、管坯的切头、切尾、穿孔回收钛原料及尺寸或表面不合格的挤压管。 3. 经过酸洗的挤压管压余（无粘铜、夹杂）。 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 同左第 1 种回收钛原料，但表面有热加工氧化皮的。 2. 同左第 2 种回收钛原料，但表面有热加工氧化皮的。 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 化学成分不合格的管材废品及其切头、切尾。 2. 未转正式生产的合金管材切头、切尾及管材废品。 3. 挤压管压余（有粘铜、夹杂）。 4. 含有冶金缺陷的废料。 5. 表面分层或有碱液

					残余的残废料。 6.长度小于 100mm 的薄壁管头。
	回收钛原料	物检试样回 尺寸适宜的块状回收钛原料等	加工试样时的块状回收钛原料及机加工报废的试样	同左第 1、2 种回收钛原料，但表面氧化或有热加工氧化皮的。	未转正式生产的合金试样回收钛原料

4) 化学成分

本文件考虑到各生产企业实际回收钛原料情况，并结合目前使用方的实际需求，增加了化学成分要求，规定回收钛原料化学成分应符合 GB/T 3620.1 或 GB/T 15073 的规定。需方从回收钛原料上取样进行化学成分复验时，化学成分允许偏差应符合 GB/T 3620.2 的规定。以便于目前国内成熟应用的钛及钛合金牌号均可按实际需要回收，资源有效利用，利于行业生态循环发展。

5) 外形尺寸

本文件依据调研结果及现有回收钛原料的外形尺寸，规定“屑状回收钛原料应经破碎，长度不大于 100mm。块状回收钛原料的大小由供需双方协商确定。”，以便于明确工序双方对于回收钛原料进行准确处理和需求沟通适宜。

6) 外观质量

为了防止回收钛原料因处理不彻底，导致加工产品中残留目视可见的表面氧化皮、机械加工油污、铜包套、石墨，以及包覆层等金属或非金属异物，本文件规定回收钛原料表面应洁净，应清除表面的氧化膜、油污、玻璃润滑剂、铜包套、石墨，以及包覆层等金属或非金属异物。

7) 内在质量

为了防止回收钛原料因处理不彻底，导致加工产品中混合有硬质合金刀头、铁类物质等外来夹杂物，本文件规定回收钛原料应无高密度夹杂物、铁类物质和其他外来物质，特别是高密度夹杂，以有效控制其夹杂物所带来的质量隐患。

(二) 主要试验（或验证）情况分析

根据各单位调研提供材料，目前工艺成熟、批量化生产回收钛原料主要涉及 TA1、TA2、TA1G、TA2G、TA3G、TA4G、TA8、TA9、TA10、TA15、TC1、TC4、TC4ELI、TC11、TC18、TC21 等 16 个牌号，而国家标准 GB/T 3620.1-2016 所包含牌号共计 102 个，回收钛原料牌号占比 15.6%，牌号数量达到一定规模，已初步形成行业需求趋势。

2.1 验证分析结论

经对各牌号回收钛原料多批次试验验证，本文件规定范围内的回收钛原料类别、级别、

化学成分、外形尺寸、外观质量、内在质量等均满足规定要求。

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回收钛原料，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回收钛原料的相关国家标准。

(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回收钛原料的研究工作，依附专业的钛加工企业建立了众多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回收钛原料的工业化进程。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 VSMPO 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回收钛原料。

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“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回收钛原料回收生产线, 实现了利用回收钛原料生产回收钛原料的批量工业化。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回收钛原料的研制、生产、应用、验证, 完全具备修订回收钛原料国家标准的条件。

(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, 亦同步开展了回收钛原料的处理工艺技术探索。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%。国内开展高性能回收钛原料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。本标准的修订过程将对我国回收钛原料的处理工艺技术研究及后续再生钛锭、钛材的化学成分、组织、性能的开展全面统计评估, 并根据需求设计不同级别的回收钛原料技术要求, 进而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。最终建立高质量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及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回收钛原料的一致性、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

鉴于本标准规定的回收钛原料，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《回收钛原料》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

经标准编制组对回收钛原料的全面调研和充分讨论，制定的回收钛原料技术要求全面、科学、适用。本标准发布实施后，将使我国回收钛原料更具一致性和科学性。

《回收钛原料》标准编制组