

团体标准

T/CCPMA XXXXX—2024T/CSTM XXXXX—2024(IDT)

增材制造 高强韧双相 (α - γ) 钛合金成形件

High-strength and ductile dual-phase (α - γ) titanium alloy components by
additive manufacture

202X-XX-XX 发布

实施

202X-XX-XX

粉末冶金产业技术创新战略联盟

中关村材料试验技术联盟

联合发布

前 言

本文件按照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》的规定起草，GB/T 20001.10《标准编写规则 第10部分：产品标准》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容有可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由粉末冶金产业技术创新战略联盟和中国材料与试验标准化委员会粉末冶金标准化领域委员会（CSTM/FC90）共同提出。

本文件由粉末冶金产业技术创新战略联盟和中国材料与试验标准化委员会粉末冶金标准化领域委员会（CSTM/FC90）共同归口。

本文件为首次发布。

本文件起草单位：北京科技大学、宁波钛钽新材料技术有限公司、辽宁材料实验室、百琪达智能科技（宁波）股份有限公司。

本文件主要起草人：陈刚、曲选辉、秦明礼、曲昊、刘畅、张海玥、沈峻平、张沛。

引 言

钛合金具有低密度、高比强度、优异耐蚀性、良好生物相容性以及无磁等特点，在航空航天、海洋工程、生物医用等领域得到了广泛应用。钛合金按照组织结构通常可分为 α 型钛合金、 β 型钛合金和 α - β 型钛合金三种类型，尽管 α - β 型钛合金综合性能较好，但通常依赖钒（V）、铝（Al）、钼（Mo）、铬（Cr）等金属相稳定元素合金化而成，成本高，能耗大，消耗战略资源。

针对上述问题，本标准发起单位提出了高强韧钛合金成形件的素化设计新策略，创造出一种新型组织结构—— α （HCP）- γ （FCC）的双相钛合金。该合金中 γ 相的体积分数 $\geq 10\%$ ，均匀弥散分布于 α 基体中，且两相界面可呈共格结构。应力条件下，纳米 γ 相内部会产生堆垛层错以及应力诱导孪晶（TWIP）效应，加上其第二相弥散和氧原子固溶的协同强化作用，使得合金强度得到大幅提升的同时，仍保持了优异的塑性，其室温抗拉强度为 $\geq 895\text{MPa}$ ，屈服强度为 $\geq 825\text{MPa}$ ，断裂延伸率为 $\geq 10\%$ ，断面收缩率为 $\geq 15\%$ ，力学性能与应用最为广泛的 Ti-6Al-4V 合金（ α - β 型钛合金）相当，展现出优异的强韧性。

特别是，该新型钛合金中并未使用钒（V）、铝（Al）、钼（Mo）、铬（Cr）等金属合金化元素，仅使用了通常认为对钛合金塑性“有害”的氧（O）元素进行组织调控，使合金内部生成 γ 相。所创造的 α - γ 双相钛合金，丰富了钛合金材料的家族。特别是，不使用稀有或昂贵金属合金元素，只使用微量的氧元素进行组织性能调控，不仅颠覆了“氧不利于钛塑性”的传统认知，实现了高性能钛合金的素化设计，而且打破了强度与塑性的制衡关系，所制备 α - γ 双相钛合金展现出优异的强韧性。

本文件的制定旨在确立 α - γ 双相钛合金的成分设计规范及性能评价体系，解决现有钛合金成本高、严重依赖稀有金属合金化等问题，推动该材料在航空航天轻量化装备、医疗植入体、化学工程、海洋装备等领域的规模化应用，推动钛合金向低成本、高性能、可持续性的方向发展。

增材制造 高强韧双相（ α - γ ）钛合金成形件

1 范围

本文件规定了高强韧双相（ α - γ ）钛合金成形件的化学成分、物相组成、力学性能要求、检测方法
及质量评价规范。
本文件适用于采用粉末近净成形技术制备的钛合金制品，其 γ 相的体积分数 $\geq 10\%$ ，抗拉强度
 $\geq 895\text{MPa}$ ，屈服强度为 $\geq 825\text{MPa}$ ，断裂延伸率 $\geq 10\%$ ，断面收缩率 $\geq 15\%$ ，主要应用于航空航天、生物医
疗、消费电子等高端装备。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，
仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本
文件。
GB/T 18907 微束分析 分析电子显微术 透射电镜选区电子衍射分析方法
GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
GB/T 4472-2011 采用静水力学称量法测量测定固体密度
GB/T 4698（所有部分）海绵钛、钛及钛合金化学分析方法
GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

3 GB/T 8180 钛及钛合金加工产品的包装、标志、运输和贮存术语与定义

下列术语与定义适用于本文件。

3.1 双相（ α - γ ）钛合金 Dual-phase (α - γ) titanium alloy

双相（ α - γ ）钛合金：经增材制造、粉末成形等粉末近净成形技术成形所得钛合金成形件，该钛合
金成形件同时具有 α （HCP）、 γ （FCC）两种晶体结构组织，其中 γ 相的体积分数 $\geq 10\%$ 。

4 牌号命名

增材制造 双相（ α - γ ）钛合金成形件的牌号命名见表1。

表1 增材制造 双相（ α - γ ）钛合金成形件牌号命名

牌号	钛合金成形件类型	γ 相含量 （体积分数）/%
TD1	α - γ 双相钛合金	≥ 10

5 技术要求

5.1 化学成分

α - γ 双相钛合金成形件的化学成分应符合表 2 的规定。

表2 化学成分

牌号	化学成分（质量分数）/wt.%						
	主要成分		杂质，不大于				
	Ti	O	Fe	C	N	H	其余
TD1	余	0.50~0.70	0.40	0.10	0.05	0.035	0.50

5.2 物相组成

双相（ α - γ ）钛合金成形件中的 γ 相体积分数 $\geq 10\%$ 。

5.3 致密度

双相（ α - γ ）钛合金成形件致密度 $\geq 99\%$ 。

5.4 力学性能

双相（ α - γ ）钛合金成形件的室温拉伸性能应符合表3的规定。

表3 双相（ α - γ ）钛合金成形件的室温拉伸性能

牌号	室温拉伸性能，不小于				备注
	抗拉强度（ R_m ）	规定塑性延伸强度（ $R_{p0.2}$ ）	断后伸长率（ A ）	断面收缩率（ Z ）	
	MPa	MPa	%	%	
TD1	895	825	10	15	

5.5 外观质量

双相（ α - γ ）钛合金成形件的表面应光洁、平整，不应有影响使用的分层、划伤、腐蚀、油斑、印痕、起皮、金属或非金属压入物、黑条及其他影响进一步加工的缺陷。

6 试验方法

6.1 化学成分

双相（ α - γ ）钛合金成形件的化学成分测试按GB/T 4698的规定进行。

6.2 物相组织

γ 相的判定按照GB/T 18907的规定进行。 γ 相的晶粒尺寸小于100nm，应通过TEM中的电子衍射斑点来确定 γ 相的晶体结构为面心立方，再利用软件（ImageJ software）统计10张以上TEM图片对确定为 γ 相的体积分数进行测定，最后取平均值。

6.3 致密度

根据GB/T 4472-2011中规定的阿基米德排水法测量双相（ α - γ ）钛合金成形件的致密度。

6.4 力学性能

双相 (α - γ) 钛合金成形件的拉伸性能按GB/T 228.1的规定进行。

6.5 外观质量

在自然光下，目视检查外观质量，无明显的瑕疵和缺陷。

7 检验规则

7.1 检查和验收

产品应由供方进行检验，保证产品质量符合本文件及订货单的规定，并填写随行文件。需方可对收到的产品按本文件及订货单的规定进行检验，若检测结果与本文件及订货单的规定不符，则应在收到产品的1个月内向供方提出，由供需双方协商解决。

7.2 组批

产品应成批提交验收，每批应由同一牌号、同一生产周期以及同一生产方法生产的产品组成。

7.3 检验项目及取样

产品检验项目及取样应符合表5规定。

表5 检验项目及取样

检验项目	取样规定
化学成分	每批1件
物相组织	每批1件
致密度	每批3件
力学性能 ^a	每批3件
外观质量	逐件
^a 力学性能试验在陪样上进行，需方有特殊要求时，由供需双方协商确定。	

7.4 检验结果判定

产品的检测结果按GB/T 8170的规定修约；当产品化学成分、物相组织、力学性能不合格时，应在该批次产品中另取双倍数量的试样对该不合格项进行重复检验，若重复检验仍有结果不合格时，判该批产品为不合格；外观质量检验结果不合格时，判该件产品为不合格。

8 标志、包装、运输、贮存及随行文件

8.1 标志

8.1.1 产品标志

在检验合格的产品上应做如下标志（或贴标签）：

- a) 牌号；
- b) 产品批号。

8.1.2 包装标志

- a) 生产厂名称、地址；
- b) 产品名称；
- c) 牌号；
- d) 批号；
- e) 净重（或件数）；
- f) 生产、检验日期。

8.2 包装

产品包装应符合GB/T 8180的规定。

8.3 运输

产品应在有遮盖物的环境下进行运输，运输过程应防止雨淋受潮、严禁剧烈碰撞和机械挤压，搬运过程应轻装轻卸、切勿倒置，严禁接近火种及火源。

8.4 随性文件

每批产品应附有随行文件，其中除应包括供方信息、产品信息、本文件编号、出厂日期或包装日期外，还宜包括：

- a) 产品检测报告，内容如下：
 - 检测项目及其对应的检测结果；
 - 检测项目及其对应的检测数量；
- b) 产品合格证，内容如下：
 - 批量、批号；
 - 检验日期；
 - 检验员签名或盖章。
- c) 其他。

9 订货单内容

需方可根据自身的需要，在订购本文件所列产品的订货单内，列出如下内容：

- a) 产品名称；
- b) 牌号；
- c) 净重（或件数）；
- d) 本文件编号；
- e) 其他。

附录 A
(资料性)
起草单位和主要起草人

本文件起草单位：北京科技大学、宁波钛钽新材料技术有限公司、辽宁材料实验室、百琪达智能科技（宁波）股份有限公司。

本文件主要起草人：陈刚、曲选辉、秦明礼、曲昊、刘畅、张海玥、沈峻平、张沛。

参 考 文 献

- [1] GB/T 18907 微束分析分析电子显微术透射电镜选区电子衍射分析方法
 - [2] GB/T 228.1 金属材料拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法
 - [3] GB/T 3850 致密烧结金属材料与硬质合金密度测定方法
 - [4] GB/T 4698 （所有部分）海绵钛、钛及钛合金化学分析方法
 - [5] GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定
 - [6] GB/T 8180 钛及钛合金加工产品的包装、标志、运输和贮存
 - [7] ISO 23515:2022(E) Titanium and titanium alloys — Designation system
 - [8] GB/T 3620.1-2016 钛及钛合金牌号和化学成分
-