

团体标准
《稀土镁合金挤压舱体》
编制说明

2023 年 1 月

《稀土镁合金挤压舱体》

编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

航天飞行器的轻量化迫切要求采用高强韧稀土镁合金舱体，以满足装备高可靠度、高机动性、大射程、精确打击与高速度的发展需求。目前，中北大学采用先进的挤压成形工艺成形出高强韧镁合金舱体，并已经在航天一院、二院的多个型号上应用，效果非常好。下一步面临在其他型号上推广应用。但对于这种新研发的高强韧挤压舱体，设计及采购部门没有相对应的标准。本文件所使用本文件规定了稀土镁合金挤压舱体的一般规定，技术要求，试验方法，检验规则及其标志、包装、运输和贮存等要求。本文件适用于稀土镁合金 VW124、VW93 挤压成形的各种舱体、壳体等。

（二）起草单位

本文件起草单位：中北大学、中国航天科工集团第二研究院第二总体设计部、北京临近空间飞行器系统工程研究所、北京航天长征飞行器研究所、山西银光华盛镁业股份有限公司、山西中北睿智精诚科技有限公司、太原市康镁科技发展有限公司。

本文件主要起草人：张治民、于建民、王 强、于江祥、王云海、王胜、焦胜海、王泽晓、王宏伟、程 眉、李国俊、黄国栋、韩晶晶、黄有旺、聂璐、李延松、王纵坤、孟模、李旭斌、韩永茂、朱文睿。

分工：

中北大学张治民、于建民、王 强、孟模、李旭斌总体负责本标准所有内容的制定、起草。

中国航天科工集团第二研究院第二总体设计部的于江祥、王胜和北京临近空间飞行器系统工程研究所的王云海、黄国栋、韩晶晶与中北大学共同参与本标准 4.1.3、4.2、4.3、4.4、4.5、4.6、4.7、4.8、4.9 以及 5（试验方法）、6（检验规则）和 7（标志、包装、运输、贮存及

质量证明书)各部分的制定。

山西银光华盛镁业股份有限公司的王宏伟、王泽晓、王纵坤、与山西中北睿智精诚科技有限公司的程眉、李国俊和太原市康镁科技发展有限公司的韩永茂、朱文睿共同参与本标准 4.1.1、4.3、5.1。

(三) 主要工作过程

1. 起草阶段

2022 年 8 月,编制小组向中国国际科技促进会标准化工作委员会提交立项申请,并于 8 月 2 日成功立项,项目计划编号 CI2022182。随后编制小组经多次研讨,对以下关键内容达成一致意见,形成标准草案:

第一部分提出本标准的适用范围;第二部分列出本标准适用的规范性文件;第三部分对镁合金挤压成形舱体进行分类,并明确产品标记。明确镁合金挤压成形舱体所用材料 VW124、VW93 合金的化学成分及杂质允许含量。确定挤压舱体热处理、取样方式及不同类别挤压舱体应达到的室温和高温力学性能。明确挤压舱体低倍组织、氧化膜、化合物偏析应达到的规定。第四部分确定了挤压舱体的化学成分、力学性能、低倍组织以及外观质量的检验试验方法。第五部分确定了上述检验项目的检验规则。第六部分对挤压舱体的标志、包装、运输、贮存以及质量证明书进行了规定。

2. 征求意见阶段

10 月至 12 月,编制小组主要对文件封面、标题、前言、范围、规范性引用文件以及各部分的表述、表格的格式进行了修改,形成征求意见稿,并于 1 月上旬由中国国际科技促进会标准化工作委员会在全国团体标准信息平台上面向社会进行公开征求意见。

3. 审查阶段

4. 报批阶段

二、标准编制原则和确定标准主要内容的依据

(一) 标准的编写原则

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。

（二）提出本标准的依据

本文件技术内容是基于中北大学十多年来对高强耐热稀土镁合金的基础研究，以及开发的组织性能均匀的大规格坯料制备技术和大型薄壁件省力成形的关键技术提出的。围绕上述技术的核心专利有：①大规格大高径比镁合金铸棒短流程大变形制坯方法(ZL201911187252.9)；②一种大高径比大规格铸坯的一次镦粗成形方法(ZL201710858743.6)；③一种大高径比镁合金棒料均匀镦粗成形模具(ZL201610274130.3)；④Rotary Extrusion Producing Method for Producing Inner Ring Rib with Large Aspect Ratio Formed of Hollow Billet(US10265746B2)；⑤Rotary Extrusion Producing Mold for Producing Inner Ring Rib with Large Aspect Ratio Formed of Hollow Billet(US10265747B2)；⑥一种镁合金壳体类零件环筋的挤压成形方法(ZL201310270125.1)；⑦一种镁合金壳体类零件环筋的挤压成形模具(ZL201310270152.9)。

（三）制定本标准的基础

中北大学拥有材料科学与工程一级博士点、博士后流动站，以及国防特色学科和山西省重点学科——材料加工工程。依托该学科，先后建成“山西省集成精密成形工程研究技术中心”、“复杂构件挤压国防科技工业创新中心”、“镁基材料深加工教育部教育部工程中心”、“镁合金关键技术国家地方联合工程中心”、“山西省镁基材料深加工工程研究中心”以及“太原市铝镁合金精密成形工程技术中心”。围绕国防建设和地方经济发展，中心一直致力于复杂构件精密成形领域的基础问题和应用难题研究，近年来，团队承担国防“973”、国家“863”、国家自然科学基金重点项目、国防基础科研、山西省自然科学基金、山西省科技攻关等项目40余项，企业横向合作项目、重点型号产品配套等项目60余项。在新技术开发、成果转化、工程化应用、人才培养、技术服务等方面取得了一定的成果。研发的轻质大型构件控制成形技术，实现了大型复杂轻合金构件的形性一体化控制成形，解决了武器装备多个重点型号超重无法定型的难题，已应用于60多个型号产品。开发的钢质复杂零件温挤压成形技术，解决了材料利用率低、能耗大、产品性能低的难题，建立了多条示范生产线。年均节约优质合金近万吨，减少能耗50%以上，

提高了企业的技术水平和产品竞争力，在 30 多个型号产品中得到应用。取得了良好的社会经济和军事效益。

中国航天科工集团第二研究院第二总体设计部是我国最早从事尖端科学技术研究的单位，在飞行器设计开发方面具有国内国际领先水平，对先进材料有着强烈需求，是牵引国内先进材料发展的重要单位。在铝、镁、钛等轻质合金方面有着丰富的应用经验，具有新材料应用研究与考核验证的完备体系。对本标准中涉及的稀土镁合金材料开展了大量应用研究和考核验证工作，具体工作包括材料性能指标体系的需求论证，面向挤压成型工艺的飞行器舱体结构构型优化设计，挤压成型舱体毛坯金属流线要求，毛坯取样要求，不同温度下的性能指标，缺陷类型及其影响分析，机械加工工艺性，舱体表面处理要求，稀土镁合金材料表面耐热涂层体系环境适应性等。与中北大学先后申请了国防基础科研、装发部工艺集成项目、军品配套项目等，对稀土镁合金材料及其挤压成型工艺进行了系统而逐渐深化的基础研究，完成了直径 700mm、高度 850mm 尺度大尺寸复杂舱体挤压成型，通过地面静力、静热（温度达到 300℃）联合试验考核，性能优异，相较上一代镁合金和当前主流铝合金比获得了明显的减重效果；开展了舱体级的微弧氧化表面工艺试验和陶瓷涂层固化试验，完成了硅基耐热涂层和陶瓷涂层界面结合力及湿热环境考核试验；开展了级间分离的火工切割试验等。相关研究获得了大量的研究成果，材料应用日渐成熟。中北大学已经实现稀土镁合金挤压成型舱体批量供货，典型舱体毛坯采取本体取样测试，达到 100% 的合格率。舱体在型号中得到装机应用，经历常规静力静热试验、振动试验和序列化飞行试验，均达到了总体的指标要求。研究表明了本标准相关牌号镁合金用挤压成型工艺制备航天产品舱体结构已经达到的 7 级技术成熟度，已经进入到了可以大范围推广应用阶段。

北京临近空间飞行器系统工程研究所是我国临近空间飞行器总体设计中心，是我国航天首家临近空间飞行器总体研究所。作为一个综合性、多学科性、前沿基础科学研究与航天工程应用紧密耦合、技术力量雄厚、数字化设计手段先进的总体研究与系统集成的研制开发单位，本所拥有临近空间飞行器总体设计、控制、环境、仿真等几十个研究设计专业。

太原市康镁科技发展有限公司技术力量雄厚，制造功能完善，具有较强的研发能力及资源整合能力，拥有先进的镁合金生产及深加工相关设备，主要设备有模具设计加工设备 130 余台、镁合金压铸生产线 5 条、镁合金挤压生产线 3 条、镁合金前处理生产线一条、镁合金产品喷涂生产线两条以及镁合金深加工配套的其他相关设备，建有企业技术中心，拥有光谱试验室、化学分析试验室、力学性能检测室、信赖性试验室、精密监测试验室等。公司生产设备、生产线、检测设备在同行业属领先水平。公司近三年产品销售收入平均增长率达到 30%以上。主要产品有镁铝合金材料、镁铝合金压铸产品、镁铝合金挤压产品及各类精密模具。主要客户都具有较高的行业知名度，如：美国苹果铝业、韩国浦项制铁、德国宝马和博世、富士康科技集团、小米科技、摩拜、滴滴、雅迪、富士达、爱玛、榆次经纬纺机、北京现代等等；军工方面有 203、204、207、247、518、198 等军工企业和军工研究所。

（四）实验内容

实验内容每批挤压舱体均应进行化学成分、力学性能、低倍组织、断口组织、外观质量、尺寸偏差和重量检验实验。

合金化学成分检验按 GB/T 13748.8-2013 的规定执行。

室温拉伸性能检验按 GB T228.1-2010 的规定进行。

低倍组织按 GB/T 4297 规定的方法进行。

超声波探伤按 GB/T 6519 规定的方法进行。

（五）实际应用效果

中北大学与航天一院十四所合作开展大规格高性能稀土镁合金锥形壳体本体取样轴向平均抗拉强度达到 415MPa，平均屈服强度 290MPa，平均伸长率达到 12%；切向平均抗拉强度达到 394MPa，平均屈服强度 276MPa，平均伸长率达到 13.5%；径向平均抗拉强度达到 383MPa，平均屈服强度 239MPa，平均伸长率达到 9.5%；大尺寸壳体各向异性基本消除，探伤达到 A 级标准。该种型号已通过小批生产定型，成品率达 90%以上，无质量问题。该技术在国内属于领先水平。

与航天二院二部合作进行稀土镁合金舱体挤压成形的研究，室温和 250℃高温力学性能表现优异，各向异性基本消除，提高了产品可靠性，

应用取得良好效果。本体取样力学性能如下：室温轴向平均抗拉强度达到 440.3MPa，平均屈服强度 285.3MPa，平均伸长率达到 11.2%；切向平均抗拉强度达到 430.7MPa，平均屈服强度 284.3MPa，平均伸长率达到 9.3%。250℃高温轴向平均抗拉强度达到 272MPa，平均屈服强度 224.3MPa，平均伸长率达到 36.2%；切向平均抗拉强度达到 272.3MPa，平均屈服强度 227.3MPa，平均伸长率达到 37.5%。

三、主要试验或验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

（一）主要试验或验证的分析

化学成分

合金化学成分检验按 GB/T 13748.8-2013 的规定执行。在保证分析精度的条件下，允许使用其它方法。

力学性能

室温拉伸性能检验按 GB T228.1-2010 的规定进行。高温拉伸性能检验按 GB T228.2-2015 的规定进行。数值修约规则按 GB/T 8170 的规定执行或由供需双方商定。

低倍组织

低倍组织按 GB/T 4297 规定的方法进行。

内部缺陷

超声波探伤按 GB/T 6519 规定的方法进行。

外观质量

外观质量用目视检查。对缺陷深度不能确定时，可用打磨法测量。

（二）预期的经济效果

无。

（三）真实性验证

无。

四、采用国际标准和国外先进标准的程度

无。

五、与现行的法律、法规和强制性国家标准的关系

遵守和符合相关法律法规和强制性标准要求。规范性引用文件包括：

GB T228.1-2021 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法

GB T228.2-2015 金属材料 拉伸试验 第2部分：高温试验方法

GB/T 4297-2004 变形镁合金低倍组织检验方法

GB/T 5153-2016 变形镁及镁合金牌号和化学成分

GB/T 6519-2013 变形铝、镁合金产品超声波检验方法

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 13748.8-2013 镁及镁合金化学分析方法 第8部分：稀土含量的测定 重量法

GB/T 16865-2013 变形铝、镁及其合金加工制品拉伸试验用试样及方法

GB/T 26637-2011 镁合金锻件

GB/T 32792-2016 镁合金加工产品包装、标志、运输、贮存

GJB 1330-91 军工产品批次管理的质量控制要求

ASTM B951-11 (2018) Standard practice for codification of unalloyed magnesium and magnesium alloys, cast and wrought

六、重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧。

七、贯彻标准的要求和建议措施（组织实施、技术措施、过渡办法等）

编制组成立了标准实施检查和考核小组，负责领导组织标准实施、检查和考核工作。

目前高强耐热稀土镁合金挤压成形舱体尚无可参考的标准，对典型壳体成形的应保证具体实施方案及技术措施到位。技术人员及质量检测人员要做好试制及生产现场的服务指导工作。实行挤压全过程的跟踪、检查。保证挤压生产的舱体达到该标准的要求，试验方法及检验规则满足航天实际工况要求。

八、其他应予说明的事项。

本标准立项时，使用名称为《稀土镁合金挤压成形舱体》，在标准编制过程中，考虑到挤压本身就是一种成形工艺，挤压和成形一起出现在名称中，略显累赘，经编制小组多次讨论，一致同意其更名为《稀土镁合金挤压舱体》。

九、标准中涉及专利的情况说明

无。

标准编制小组
2023年1月