

# 铍铝合金金相组织检验方法

## 编制说明

(送审稿)

西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司

2023. 11

# 《铍铝合金金相组织检验方法》

## 编制说明

### 1 工作简况

#### 1.1 任务来源

根据 2022 年全国有色金属标准化技术委员会“关于转发 2022 年第一批有色金属国家、行业、协会标准制（修）订项目计划的通知”工信厅科[2022]94 号文件精神，由西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司负责起草《铍铝合金金相组织检验方法》，项目计划编号 2022-0056T-YS，项目要求 2024 年度完成，归口单位为全国有色金属标准化技术委员会。

#### 1.2 项目背景

铍铝合金中铍的质量分数在 60%-69%，同时具有铍和铝的优点，具有质量轻、比强度高、比刚度高、热稳定性好、高韧性、抗腐蚀等许多优良的特性。国际上，铍铝合金已经在航空、航天工业、计算机制造业、汽车工业及高精、高速度电焊机器制造工业中得到了大量应用。在国内，铍铝合金也开始大量在航空航天器件上进行试用，潜在应用领域非常广泛。当前铍铝合金的制备工艺有铸造、粉末冶金等，铍铝合金的显微缺陷、显微组织分布、两相比例、均匀性等体现了产品铍铝合金的性能，均需要通过金相方式进行检测。

首先，由于铍在铝中的固溶度非常低(2%atm)，铍铝合金金相组织中铍铝两相基本不互溶，铍和铝独立成相。在铸造铍铝中，铍铝两相的存在形式为铍相和铝相；在粉末冶金铍铝合金中，铍铝两相的存在形式为铍颗粒和铝颗粒。由于铍相/铝相或颗粒等组织并非以晶粒形式存在，也没有明确定义，无法以晶粒度或晶粒尺寸来衡量大小，无法评价组织特征，不能对铍铝合金的性能分析和生产工艺提供有效支撑。

其次，目前尚未检测到国内公开发布的有关铍铝合金金相组织的检测标准，国际上由于涉及军事、核、航空，也无法查询到国外铍铝金相的检测标准；而现有国家与行业标准中金属金相组织的评定如晶粒度、平均截距等不适合铸造和粉冶铍铝的金相组织，没有可以参照的合适标准。

因此，铍铝合金金相组织评定方法标准亟待制定，建立一种检测评定铍铝金相组织的标准，确定其组织尺寸的测量方法，评价组织特征，保障产品的性能，能够满足扩展标准覆盖范围，满足铍铝新型结构材料的需求，推进铍铝制造技术法研究和进步，全面提高我国铍铝制造企业的产品质量和市场竞争力。

#### 1.3 主要参加单位和工作成员及所做工作

### **1.3.1 主要起草单位**

本文件起草单位：西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司、国标（北京）检验认证有限公司、长春长光智欧科技有限公司、国合通用（青岛）测试评价有限公司、广东省科学院工业分析检测中心中心。

西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司是中国有色集团成员单位，国家高新技术企业，国内唯一的铍材研究和生产基地，拥有宁夏唯一的中国工程院院士，享受政府特殊津贴专家 3 人，建有稀有金属特种材料国家重点实验室和稀有金属铍材行业重点实验室。公司主要从事金属铍及铍合金的科研、生产和销售，产品广泛应用于航空航天、核工业等高新技术领域。通过多年的自主研发，生产出符合用户需求的铍铝合金产品，各项指标均满足客户要求，目前在航空航天等领域应用较广泛。历年来，公司共完成国家和省部级科研课题 500 多项，先后荣获国家科技进步二等奖 3 项，三等奖 2 项，国家科技发明奖 1 项，省部级科技进步奖 27 项。公司在载人航天等多项国家级重点工程项目中受到表彰，先后三次被评为国防科技工业协作配套先进单位，获得 2007 年高技术武器装备发展建设工程突出贡献奖。

国标（北京）检验认证有限公司是有色行业的材料研究和材料检测的权威机构。公司下属有国家有色金属质量监督检验中心，1990 年通过国家技术质量监督检验检疫总局的审查认可，2001 年通过实验室“三合一”认可。中心承接国家质量监督抽查、实施生产许可证产品的质量检验、方圆产品认证检验、产品质量鉴定、质量评价和仲裁检验等任务。同时，研究开发新的检验技术和方法，承担和参加国家标准、行业标准的制定和修订工作，负责和参与起草制订先后承担国家科技重大专项、国家科技支撑计划、国家自然科学基金等国家级科研项 34 项；获省部级/行业奖项 81 项；授权专利 144 项；制修订国际标准 5 项，国家标准 330 项，行业标准 385 项。

国合通用（青岛）测试评价有限公司是一家从事检验检测技术与服务的公司，承担国家新材料测试评价平台-主中心项目部分工作，是国务院国资委直属央企有研科技集团有限公司的子公司，是国家级第三方综合测试评价服务机构及新材料测试评价技术研究机构。公司拥有化学分析、性能测试、组织结构和无损检测四个专业实验室，提供专业、全面的技术咨询和高效的检测服务，建设有汽车整车及零部件实验室、轨道交通实验室、船舶与海洋工程实验室、环境实验室、食品实验室、纺织品实验室等专业实验室，重点对汽车、轨道交通、船舶、海洋工程等行业提供第三方检测服务，同时开展材料失效分析、应用评价、产品认证、专业技能培训等业务。

长春长光智欧科技有限公司是由长春光机所和光学设计研究团队自然人等合资组建的

高技术企业，已通过 ISO9001:2015 质量体系认证，军工产品备案与登记，入库吉林省科技型中小企业名单。公司重点围绕我国在生物科技、集成电路制造检测等领域亟需的高速、高精度光学在线检测技术，聚焦显微光学、金属基光学和导引光学等领域的科技成果转化及产业化。公司具备超高通量物镜及高端定制光学镜头制造能力，配置有多台高端定心车床、光学干涉仪、光学性能测试系统、定心仪和光学隔振平台等设备；具备高精度机械加工、单点金刚石光学加工、高效光学抛光、光学表面改性、高精度复杂面形检测等能力，相关技术水平及能力达到国家领先水平。

广东省科学院工业分析检测中心中心是广东省科学院院属研究机构，从事金属材料、冶金产品、化工产品、再生资源质量检测等检测、评价、咨询的专业机构。中心是获得国家市场监督管理总局批准的资质认定实验室（CMA），是中国有色金属工业华南产品质量监督检验中心，以及广东省金属材料综合利用检测和评价中心。多年来，参与多项国家级、省级科研项目，编制验证标准的制订。

西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司负责样品的收集和分发，分析方法的试验和确定，方法验证和比对分析工作，以及撰写标准文稿、编制说明和研究报告。

国标（北京）检验认证有限公司为第一验证单位，进行样品的方法验证，提供样品的检测数据，并负责一验工作，对标准文稿等提出技术性修改意见。

国合通用（青岛）测试评价有限公司、长春长光智欧科技有限公司为第二验证单位，进行样品的方法验证，提供样品的检测数据进行比对，并负责二验工作，对标准文稿等提出技术性修改意见。

### 1.3.2 本标准起草人员及其工作职责

本文件主要起草人：黄旭刚、张健康、谢垚、李军义、张新辉、马肖、刘淑凤、崔文明、姚远、刘兆刚、李美岁、李志年、孙洪涛、邵伟、邓巧娟、谢晓麟、郭鲤、谢咏馨。

各起草人在本标准编制过程中的工作职责见表 1。

表 1 工作成员及所做工作

起草人	所做工作
黄旭刚	标准修订工作的整体工作，包括试验方案的确定、试验实施、组织方法验证、标准及编制说明的编写修订等。
张健康 谢垚、李军义、	负责西材院标准修订工作的人员、样品、试验、应用的组织协调，并提出技术性修改建议。

张新辉	
刘淑凤	组织对样品的方法验证和对比检测，负责一验工作；提出技术性修改建议。
崔文明 姚远	组织对样品的方法验证和对比检测，负责二验工作；提出技术性修改建议。
刘兆刚、李美岁、 李志年	负责样品制备，协助进行试验实施、方法验证数据整理。
马肖	协助标准组工作的组织、修改建议汇总；协助标准文件和编制说明编写和修订。
孙洪涛、邵伟	协助进行标准文件和编制说明编写，提出技术性修改建议。
邓巧娟、谢晓麟	进行对样品的对比检测和方法验证，协助二验工作。
郭鲤、谢咏馨	协助进行标准文件和编制说明编写，提出技术性修改建议。

#### 1.4 主要工作过程和内容

西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司在接到标准制订任务后，成立了《铍铝合金金相组织检验方法》标准编制组，召开了标准项目编制启动会议，对标准编写工作进行了部署和分工，主要工作过程经历了以下几个阶段。

##### 1.4.1 起草阶段

(1) 2022年4月，接到全国有色金属标准化技术委员会“关于转发2022年第一批有色金属国家、行业、协会标准制（修）订项目计划的通知”工信厅科[2022]94号文件。

(2) 2022年8月25日，全国有色金属标准化技术委员会稀有金属分标委在湖北省宜昌市组织召开了《铍铝合金金相组织评定方法》修订任务落实会。会上确定了由西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司牵头负责《铍铝合金金相组织评定方法》的起草工作，由中国工程物理研究院材料研究所、长春长光智欧科技有限公司、国标（北京）检验认证有限公司参与、国合通用（青岛）测试评价有限公司。

(3) 2022年9月-2022年10月，组建了《铍铝合金金相组织检验方法》标准编制组，明确了各成员的工作职能和任务，制定了工作计划和进度安排，并确定了标准编制原则。

(4) 2022年10月-2023年3月，编制组开展大量试验研究工作，形成方法研究报告、标准文本和编制说明的讨论稿。试验内容主要包含样品制备、样品图像处理方法试验、铍相平均尺寸测试方法试验、铍相/铝相面积比方法试验、铍相/铝相分布均匀性方法试验，并对标准和编制说明提出建议，进行技术性修改；

(5) 2023年4月-5月，编制组开展一验二验工作，制备了铸造铍铝和粉冶铍铝样品各9个，拍摄了方法验证用金相图像54个，选取其中铸造铍铝和粉冶铍铝样品各3个的11张图像进行验证，初步讨论了方法的影响因素，进行方法验证与比对，以及方法精密度

和准确度验证工作。

#### 1.4.2 征求意见阶段

编制组通过发函，全国有色金属标准化技术委员会将《铍铝合金金相组织评定方法》征求意见资料在中国有色金属标准质量信息网（[www.cnsmq.com](http://www.cnsmq.com)）上挂网，向社会公开征求意见。征求意见的单位包括主要生产、经销、使用、科研、第三方检验机构等单位及大专院校，征求意见单位广泛且具有代表性。

(1) 2023年5月29日-5月31日，编制组在标委会大理会议汇报了工作，获得了各与会专家的指导性建议，包括：将4. 原理详细化；6. 2样品制备细节直接按照引用标准，不再详述；7. 3定性分析中增加对定性分析的说明；7. 6和7. 7中图像处理的精简具体描述，采用更通用化、普适性的描述。编制组内部讨论提出了平均尺寸计算时要排除铝相占据的长度。按照收到的建议，编制组对编制说明和预审稿进行了修改和更新。

(2) 2023年7月19日-7月22日，编制组在标委会十堰会议汇报了工作，获得了各与会专家的指导性建议，包括：将项目背景和参编单位简介精炼一下；补上广东院的人员和信息；将标准主要内容及依据的内容整理，突出方法的合理性、依据；将符号如——改为单直线；标准中英文首字母小写；将本次意见加入意见汇总表。按照收到的建议，编制组对编制说明和预审稿进行了修改和更新。

## 2 标准编制原则

**2.1 符合性：**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》、GB/T 20001.4-2015《标准编写规则 第4部分：试验方法标准》的要求对本部分进行了编写。

**2.2 合理性：**满足国内铍铝合金金相组织的分析检测的需要为原则，提高标准的适用性；以与实际相结合为原则，提高标准的可操作性；充分考虑国家法律、安全、卫生、环保法规的要求。

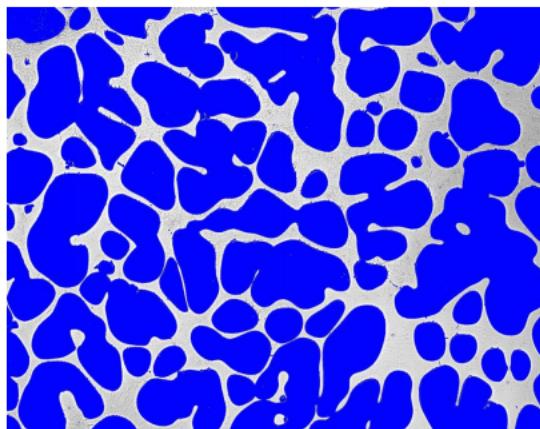
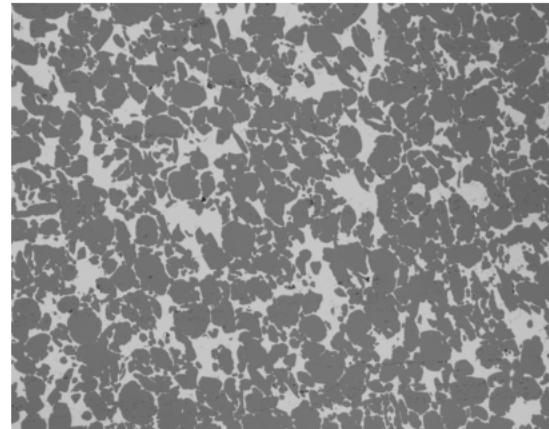
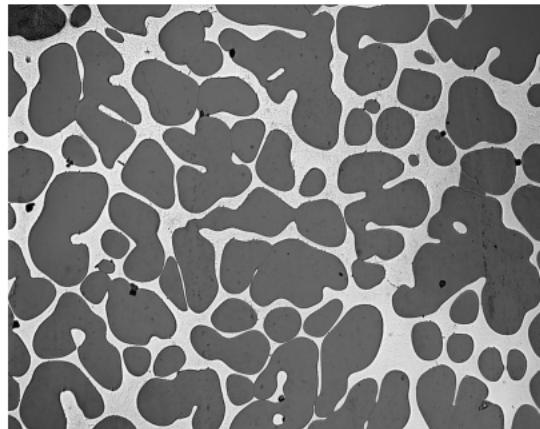
**2.3 先进性：**本方法对铍铝合金金相组织先定义，后检测，操作规范且方便，准确度和精度满足分析方法要求。

## 3 标准主要内容及依据

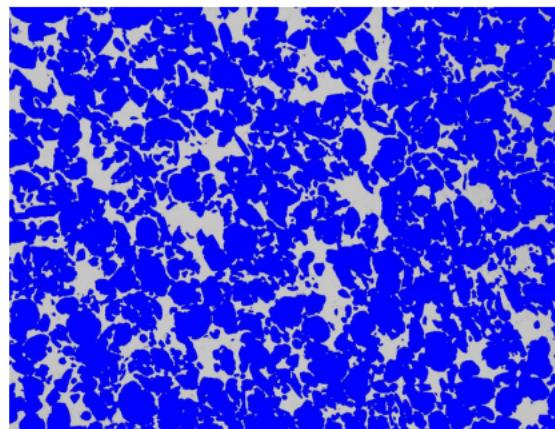
本文件描述了铍铝合金金相组织的试验方法的范围、规范性引用文件、术语和定义、原理、仪器设备、试样准备、试验步骤、实验数据处理、试验报告。本文件适用于粉末冶金工艺和真空铸造工艺生产的铍含量在60%-69%的铍铝合金的金相组织评定方法。

### 3.1 方法的适用性

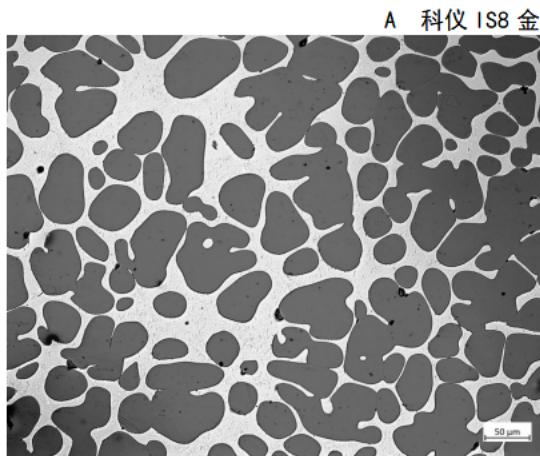
方法的适用性：经试验，对铸造铍铝、粉冶铍铝，多款常见的金相软件均能够排除干扰，对铍相铝相准确识别，适合本方法的应用实施。



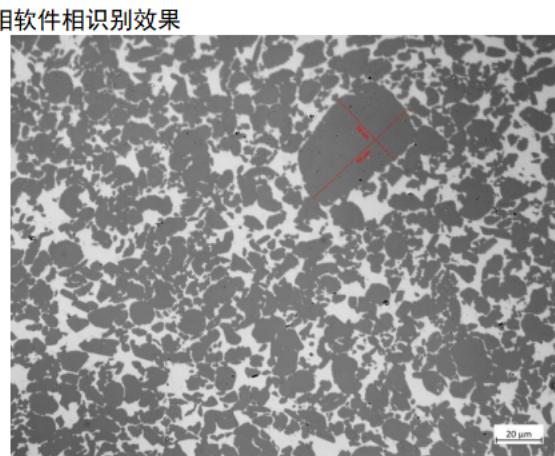
A1 铸造铍铝图像  
A3铸造铍铝相识别效果

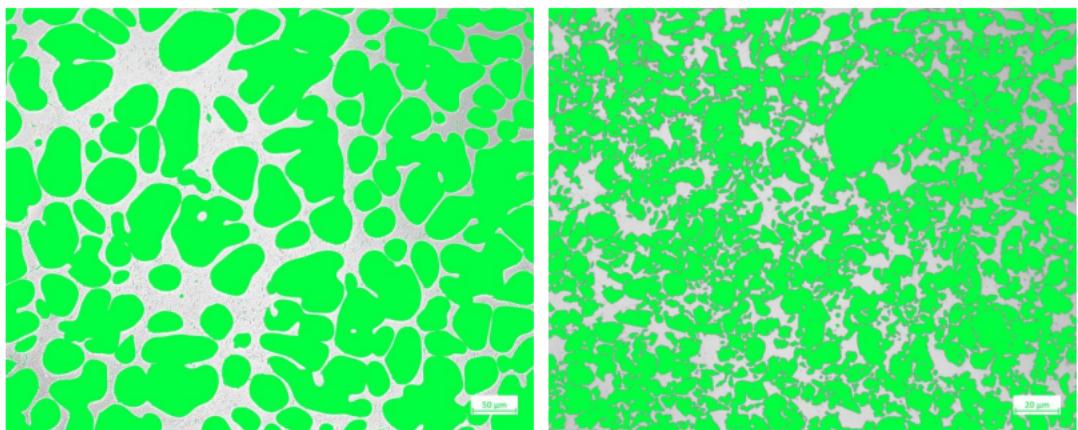


A2 粉冶铍铝图像  
A4粉冶铍铝相识别效果



A 科仪 IS8 金相软件相识别效果

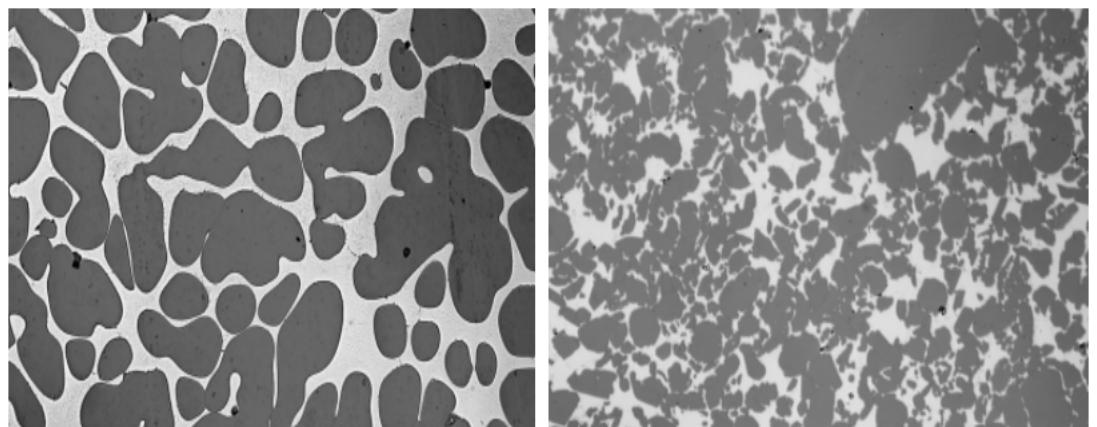




B1 铸造镀铝图像  
B3铸造镀铝相识别效果

B ZONE金相软件相识别效果

B2 粉冶镀铝图像  
B4粉冶镀铝相识别效果



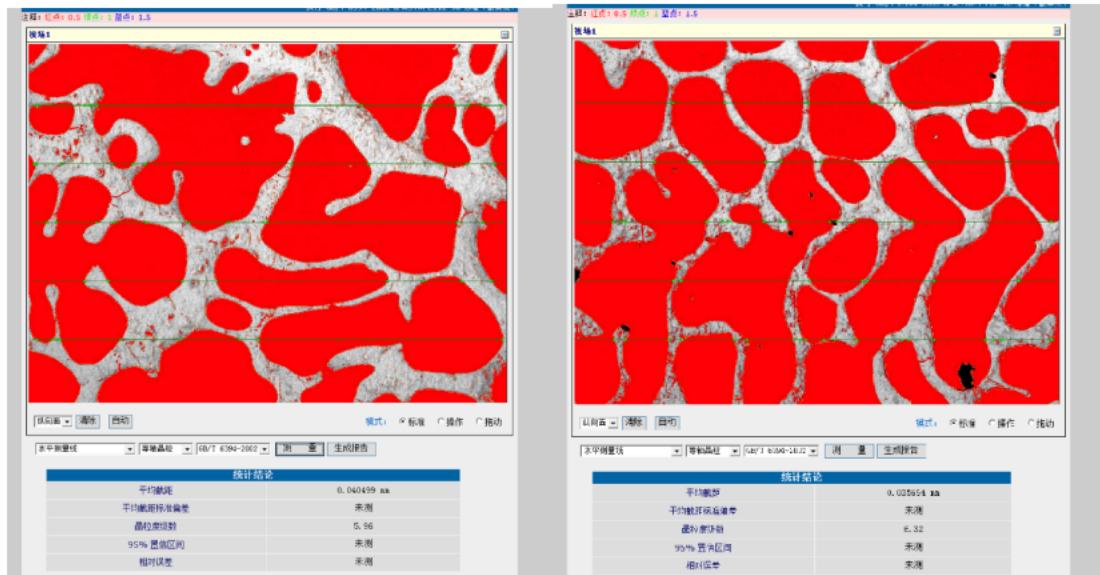
C1 铸造镀铝图像  
C3铸造镀铝相识别效果

C2 粉冶镀铝图像  
C4粉冶镀铝相识别效果

C ProImaging金相软件相识别效果

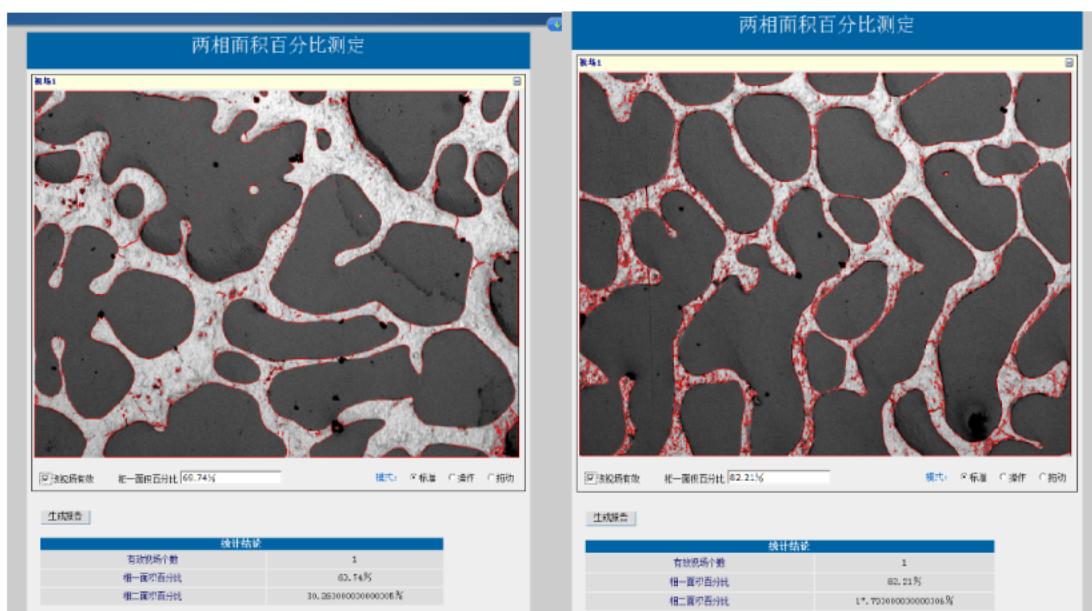
### 3.2 方法的快捷性

经试验，使用本方法检测过程自动化程度高，可快捷获得检测结果，适合本方法的应用实施，如图为检测信息及结果。



铍相平均尺寸实验报告 1

铍相平均尺寸实验报告 2



铍相面积比实验报告 1

铍相面积比实验报告 2

### 3.3 精度实验

使用本方法对，大晶粒、缺项等直接测量尺寸项目，对5个试样分别由三家实验室进行分析，结果如表1。

分析方法对铍合金缺陷测定相对标准偏差（RSD）小于3%，表明方法精密度满足分析要求。

表 1 缺陷尺寸的精密度试验

样品 编号	最大直径 $\mu\text{m}$			相对标准偏差/%	
	测定值 1	测定值 2	平均值 $\mu\text{m}$	测定值 1	测定值 2

大颗粒 1	89	89	89	0.00%	0.00%
大颗粒 2	39	38	38.5	1.30%	-1.30%
缺陷 1	44	43	43.5	1.15%	-1.15%
缺陷 2	94	94	94	0.00%	0.00%
缺陷 3	48	47	47.5	1.05%	-1.05%

铍相平均尺寸等识别图像的测量尺寸项目，对2种6个试样由三家实验室分别进行分析，结果如表2。

表 2 铍相平均尺寸的精密度试验

样品 编号	铍相平均尺寸, $\mu\text{m}$			相对标准偏差/%	
	测定值 1	测定值 2	平均值 $\mu\text{m}$	测定值 1	测定值 2
粉冶 1#	4.6	4.6	4.6	0.00%	0.00%
粉冶 2#	5.3	4.6	4.95	7.07%	-7.07%
粉冶 3#	4.3	4.2	4.25	1.18%	-1.18%
铸造 1#	30.1	30.4	30.25	-0.50%	0.50%
铸造 2#	30.1	29.9	30	0.33%	-0.33%
铸造 3#	31.5	31.1	31.3	0.64%	-0.64%

分析方法对铍合金铍相平均尺寸测定相对标准偏差 (RSD) 小于 10%，表明方法精密度满足分析要求。

以上实验结果表明：本方法具有适用性，以及较好的精密度和准确度，能够满足铍铝合金相组织检验的要求，因此推荐为有色金属行业标准。

#### 4 标准中涉及专利的情况

本文件不涉及专利问题。

#### 5 预期达到的社会效益等情况

##### 5.1 标准的必要性

铍铝合金具有质量轻、比强度高、比刚度高、热稳定性好、高韧性、抗腐蚀、结合了铍的低密度与铝的易加工性和高韧性等许多优良特性，表 1。九十年代以来，铍铝合金的生产进入工业化阶段。国际上，铍铝合金已经在航空、航天工业、计算机制造业、汽车工业及高精、高速度电焊机器制造工业中得到了大量应用。在国内，铍铝合金应用已经开启了开端，目前主要在航空航天器件上进行试用，潜在应用领域非常广泛。目前，国内没有铍铝合金金相组织的分析检测标准。而现有标准中金属金相组织的评定如晶粒度、平均截距等不适合铸

造和粉冶铍铝的金相组织，定量金相中对相的定义也和铍铝合金的金相组织不能很好对应，没有可以参照的合适标准。

因此，铍铝合金金相组织评定方法标准亟待制定，建立一种分析评定铍铝金相组织的标准，确定其组织尺寸的测量方法、评价组织特征，保障产品的性能，能够满足扩展标准覆盖范围，满足铍铝新型结构材料的需求。从而推进铍铝制造技术法研究和进步，推进铍铝合金的应用，全面提高我国铍铝制造企业的产品质量和市场竞争力。

## 5.2 标准的预期作用

本文件充分考虑了国内铍铝合金生产及使用企业和用户单位的检测设备和技术水平。本文件颁布执行后，将进一步规范铍铝合金金相组织的检测工作，更好地指导相关行业铍铝合金金相组织分析检测和应用水平；有利于生产采用统一的分析方法开展产品质量检验工作，有利于市场公平交易环境的形成，具有较大的社会效益。

## 6 采用国际标准和国外先进标准的情况

### 6.1 采用国际标准和国外先进标准的程度

经查，国外无相同类型的国际标准。

### 6.2 国际、国外同类型标准水平的对比分析

经查，国外无相同类型的国际标准。

### 6.3 与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

无。

## 7 与现行法律、法规、强制性国家标准及相关标准协调配套情况

本文件与有关的现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。

本文件与现行标准及制定中的标准无重复交叉情况。

## 8 重大分歧意见的处理经过和依据

编制组严格按照既定编制原则进行编写，本文件制订过程中未发生重大的分歧意见。

## 9 标准作为强制性或推荐性标准的建议

本标准建议作为推荐性行业标准，供相关组织参考采用。

## 10 贯彻标准的要求和措施建议

本文件规范了铍铝合金金相组织的测定，有利于整个行业分析水平的提升。生产企业和相关部门、单位应按照产品质量控制及分析检验的要求，认真贯彻实施本文件内容。

本文件在发布和实施的过渡期间，生产企业可以组织宣贯会，以及通过销售部门向采购单位和使用单位提供本文件，保证本文件能够得到及时推广和应用。

## **11 废止现行有关标准的建议**

本文件为新制定文件，无废止其他标准的建议。

## **12 其他应予以说明的事项**

无。

《铍铝合金金相组织检验方法》

标准编制组

2023.12

**附件：**

### **标准征求意见稿意见汇总处理表**

标准项目名称：铍铝合金金相组织检验方法

承办人：马肖 标准项目负责起草单位：西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司

电话：0952-2098378 2023年7月16日填写 共2页第1页

序号	标准章 条编号	意见内容	提出单位	处理 意见	备注
1	1	建议与GB中铍铝合金铍含量一致	五矿铍业股份有限公司	采纳	
2	1	建议修改为“...铍铝合金产品的金相组织的评定。”	厦门钨业有限公司	采纳	
3	3.1	建议铝相的定义再精炼一些	遵义钛业股份有限公司	采纳	
4	5	建议精炼对制样设备的描述	安泰科技股份有限公司	采纳	

5	6. 1	建议注意引导语及悬置段设置	新疆湘润新材料科技有限公司	采纳	
6	6. 2	建议磨抛的具体过程若有标准参考，直接引用	厦门钨业有限公司	采纳	
7	7. 3	建议将“1) 2) ”改为“a) b) ”	中铼新材料有限公司	采纳	
8	7. 3	建议将“注意”改为“注”	有研亿金新材料有限公司	采纳	
9	7. 6. 1	建议修改 7. 6. 1 悬置段格式	有色金属金属经济研究院有限责任公司	采纳	
10	7. 6. 2	建议指出在计算铍相平均尺寸时，要用铍相对应的总线长计算	中核北方核燃料元件有限公司	采纳	
11	8. 1	建议将公式的%改为插入格式%。	江西省钨与稀土产品质量监督检验中心	采纳	
12		无意见	宝鸡钛业股份有限公司	采纳	
13		无意见	格林美股份有限公司	/	
14		无意见	赣州有色冶金研究所	/	
15		无意见	金堆城钼业股份有限公司	/	

说明（1）发送《征求意见稿》的单位数：14个；

（2）收到《征求意见稿》后，回函的单位数：14个；

（3）收到《征求意见稿》后，回函并有建议或意见的单位数：11个；

（4）没有回函的单位数：0个。