

团 体 标 准

T/CMES XXXX—202X

增材制造 金属粉末生产过程控制要求

Additive manufacturing—Process control requirements for
metal powder feedstock production

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会标准化管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

T/CMES 1.1—201X

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路9号主语国际4座11层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 技术要求..... 1

 4.1 质量体系认证..... 2

 4.2 过程控制文件..... 2

 4.3 熔炼环境..... 3

5 质量保证规定..... 3

 5.1 检验责任..... 4

 5.2 批准..... 4

 5.3 测试分类..... 4

 5.4 取样和测试..... 4

 5.5 重新取样和重新测试..... 8

6 拒收..... 9

前 言

本文件依据 GB/T 1.1-2020 给出的规则起草。

考虑到本文件中的某些条款可能涉及专利，中国机械工程学会不负责对任何该类专利的鉴别。

本文件起草单位：XXXXXXXXXXXXXXXX, XXXXXXXXXXXXXXXX, XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX, XXXXXXXXXXXXXXXX, XXXXXXXXXXXXXXXX, XXXXXXXXXXXXXXXX。

本文件起草人：XXXXXXXXXXXXXXXX, XXXXXXXXXXXXXXXX, XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX, XXXXXXXXXXXXXXXX, XXXXXXXXXXXXXXXX, XXXXXXXXXXXXXXXX。

中国机械工程学会标准

增材制造 金属粉末生产过程控制要求

1 范围

本文件规定了增材制造用金属粉末生产过程控制中的技术要求、质量保证规定及拒收条件，仅适用于从原材料到粉末制备及粉末出货准备阶段，不适用于粉末运输、收货后的处理（需方）及其回收再利用。

本文件适用于增材制造粉末床熔融和定向能量沉积工艺用金属粉末生产过程控制，不限于特定的粉末生产方法，按照本规范生产的粉末通常是但不限于铁、镍、钴、铝、铜或钛基合金或工业纯金属粉末。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3500 粉末冶金 术语
GB/T 5314 粉末冶金用粉末 取样方法
GB/T 19001 质量管理体系 要求
GB/T 35351 增材制造 术语

3 术语和定义

GB/T 3500 和 GB/T 35351 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

被认可的工程机构 cognizant engineering organization; CEO

对粉末生产系统或产品负责的机构。

注：该机构包括设计人员、材料、工艺、设备、检测验收或质量组织以及其他相关的人员。

3.5

粉末批 powder lot

一次熔炼的粉末或两次及两次以上单独熔炼粉末的混合物。

3.7

关键工艺变量 key process variables

粉末生产过程中可能影响满足指定要求的因素。

注：指定要求通常包括物理、化学、冶金、机械性能或尺寸。

4 技术要求

4.1 质量体系认证

4.1.1 粉末生产商

粉末生产商应建立相关的质量管理体系要求确保粉末生产的可重复性，至少应满足 GB/T 19001 中的相关要求。

4.2 过程控制文件 (Process Control Documentation, PCD)

4.2.1 通则

粉末制造过程应固定并记录在版本受控的过程控制文件 (PCD) 中。PCD 应包括 CEO 认可的配置控制方法，至少应包含关键工艺变量 (见 4.2.2)、工艺设置验证 (见 4.2.3)、工艺及产品清洁度 (见 4.2.4) 和熔炼环境 (见 4.3)。

注：配置控制是配置管理的一个重要功能，旨在确保对复杂系统的所有更改都是在管理层知情和同意的情况下执行的。

4.2.2 关键工艺变量

对于每个粉末制造商标识或产品编号，粉末供应商应识别影响粉末生产的关键参数，使生产的粉末始终符合适用的材料规范和本规范的要求。这些原料、控制、过程和生产参数应构成经批准的粉末生产程序并用于后续粉末的生产。

参数应包括但不限于附录 A 中列出的项目。经 CEO 批准，附录 A 中列出的变量和术语可以省略或修改。

任何在 PCD 中受控并被认为是供应商专有的生产过程和设备设计，都可以被指定为代码以保护知识产权。过程或它控制的任一项变更后，都应被重新附码。

4.2.3 工艺设置验证

PCD 应包括检查表、步骤及相关人员监管等要求，便于操作员选择正确的机器设置和参数。

4.2.4 工艺及产品清洁度

4.2.4.1 通则

粉末供应商应制定粉末污染控制计划 (如过程失效模式影响分析或质量体系规定的其他方面)，以对粉末生产过程中的潜在污染源进行识别并建立相关的程序 (如标准操作程序 (SOP) 和过程控制文件)。粉末污染控制计划应包括但不限于：

- a) 粉末生产过程；
- b) 材料 (或等级) 变化 (材料牌号或成分的变更)；
- c) 粉末处理 (球化整形等)；
- d) 气流分级、筛选；
- e) 混粉、包装；
- f) 辅助设备。

污染控制计划应包括在 PCD 中。

4.2.4.2 粉末处理和储存

应建立粉末处理和储存方法，减少粉末表面吸湿和环境水分在粉末表面的冷凝。

4.3 熔炼环境

4.3.1 通则

除非适用的粉末规范另有规定，用于生产粉末的原料应在真空或惰性气体气氛下的密闭容器中熔炼。如果真空熔化，则允许使用惰性气体回填。

如果活性组分的元素满足以下条件之一，允许使用受控的反应性或还原性气体气氛（5.4.3）。

——受适用粉末规范或 CEO 批准的 PCD 中限值的控制；

——被界定为体活性或表面活性元素，且在经需方批准的 PCD 中有规定。

4.3.2 输入气体的纯度

如果在熔炼过程中使用指定气体，则熔炼过程中使用的每种指定气体的纯度应不低于 99.9%，并应符合行业标准或内部采购规范。气体的露点应为-60°F(-51°C)或更低，露点温度或水分含量应在气体证书中指定。应确保输送气体的管道等气体输送辅助设备应无污染。

应至少每年一次或当输送系统被改变或干扰时，检查系统是否有泄漏，气体纯度和/或露点是否有污染。取样的位置应能代表进入炉腔的气体。

气体组分应进行认证，并记录在内部文件中。

应对回收系统的气体进行监控，并在 PCD 中对回收气体的湿度和氧气的控制限度进行规定。

注 1：活性气体不应在所有情况下都使用，而应只适用于希望发生反应或无害反应的情况（如 N_2 ，316 不锈钢），在某些情况下，活性气体可能是熔炼过程的核心（如 H_2 ，等离子体熔炼）。过程控制、成分范围及检查至关重要。

注 2：本部分内容是对熔炼过程中输入气体的控制，4.2.2 和附录 A 是熔炼环境本身的其他控制要求。

4.3.3 过程中断

任何不满足 PCD 要求的中断应视为熔炼结束。恢复后，应指定一个新的熔炼标识符。

4.3.4 非连续粉末生产进料

所有用于非批量(非连续熔炼)粉末熔炼的进料(丝材、铸锭或棒材)应符合适用粉末规范中列出的成分要求，除非：

a) 在适用的粉末规范中提供了每次进料的成分范围，或

b) 粉末生产商已开发并证实了该成分偏差，粉末生产商通过粉末生产过程，指定了成品粉末的化学成分和偏差及其粒度分布。

4.3.5 粉末化学均匀性

所有用于混合的粉末熔炼批应符合适用粉末规范中列出的化学成分要求，除“其他元素”外，粉末熔炼批的任何元素超出规定范围，都不应将其用于粉末批的混合。不允许成分掺杂。测试记录的保存时间应由供需双方在产品购买时约定。

4.3.6 粉末尺寸均匀性

粉末分布应为自然分布，不应被其他粉末熔炼、较窄的粒度组分所取代或转移。除非需方同意，不允许有尺寸偏差。

注：该要求旨在确保粉末原料的可重复供应，并不强制粉末特定的分布，也不禁止所有的多模态或非自然分布。只有需方批准的过程控制文件中包含了公差，粉末才可能设计成非自然分布（多模态分布或偏态分布）。

5 质量保证规定

5.1 检验责任

粉末供应商应提供出厂测试的所有样品，并应对所有要求的测试性能负责。需方保留取样和执行任何必要测试的权利，以确保粉末符合规范的要求。

5.2 批准

PCD(4.2)应由供方建立并需方批准。PCD的任何变更应在实施前经需方批准。

5.3 测试分类

当粉末成分、工艺或成分及工艺发生变更而需按如 5.2 中的要求进行重新批准，或当需方要求进行必要的符合性试验时，应在粉末首次出厂销售至需方之前或出厂时对每批粉末进行预生产测试。

5.4 取样和测试

5.4.1 通则

所有测试都应从最终的混合粉末批次中按 GB/T 5314 取样。每个批次应取足够的粉末进行所有要求的试验，且每次取样应有留样。

5.4.2 粉末规范

适用粉末规范至少应包括：

- a) 成分要求，包括每个指定元素的分类，块体非活性元素、块体活性元素或表面活性元素(见 5.4.3)；
- b) 熔炼环境和转换(雾化)气体要求，包括与材料相容的惰性气体的定义(如果适用)；
- c) 粒度要求；
- d) 如果指定，用于成分、粒度和任何其他粉末属性的测试方法。

5.4.3 化学分析取样

5.4.3.1 通则

应在粉末生产过程的适当时机对元素进行测试：

- a) 块体非活性元素，其成分不依赖于温度或比表面积的变化，应在以下任一情况下测量：
 - 母合金熔炼时的熔蘸样；
 - 松散的、固结的或重熔的粉末。
- b) 块体活性元素，应以松散或固结粉末形式测量。
- c) 表面活性元素，应在成品粉末粒度分布时进行测量。

注：活性元素在加工过程中可能会增加或减少，该过程发生在已知条件的预雾化(将已知成分的预合金棒或丝熔化时，或者当熔样被取出且其化学成分被分析时)与金属实际被雾化并凝固为小颗粒的时间内。

- d) 在 5.4.3.3.2 或适用粉末规范中定义的“其他元素”应以松散或固结粉末形式测量。

5.4.3.2 粉末熔炼批混合为粉末批

当多个单独的粉末熔炼批混合成一个粉末批时，在混合前，除“其他元素”外，应对每个单独粉末熔炼批的所有成分进行测试。

如在去除细粉之前进行过程中混合，则在去除粗颗粒(即顶部切割)后应满足表面活性元素的要求。

如果任何表面活性元素超过规定的最大限值，则应在混合前除去细粉。除非供应商已经开发和证实了过程中的和最终的产品表面活性元素化学偏移偏差，且偏移量被确定为 99%的置信区间，材料在细粉去除后可满足最终的化学要求，那么可以在细粉去除之前混合。

如果所有表面活性元素都低于规定的最大限值，则允许在细粉去除之前进行混合。

CEO 或需方和供应商可能同意放弃单独粉末熔炼批的测试要求。

5.4.3.3 “其他元素”

如果适用的粉末材料规范规定了限值要求，但没有具体定义要测量的“其他”元素是什么时(即“其他所有元素”、“其他元素”、“微量元素”等)，应测量表 1 中的元素。

表 1 不同基体合金进行常规分析时需测的元素

合金 元素	铝基	钴基	铁基	镍基	钛基
Al	N/A	X	X	X	X
B		X	X	X	X
Be	X				
Bi	X				
Co	X	N/A	X	X	X
Cr	X	X	X	X	X
Cu	X	X	X	X	X
Fe	X	X	N/A	X	X
Ga	X				
Hf				X	

表 1 不同基体合金进行常规分析时需测的元素（续）

Mg	X	X	X	X	
----	---	---	---	---	--

Mn	X				X
Mo		X		X	X
Nb (Cb)				X	
Ni	X	X	X	N/A	X
Pb	X				
Si	X	X	X	X	X
Sn	X				X
Sr	X				
Ta				X	
Ti	X	X	X	X	N/A
V	X			X	X
W				X	
Y					X
Zn	X				
Zr	X	X	X	X	X

5.4.3.3.1 未指定元素的验收：除上述(5.4.3.3)或适用粉末材料规范所述外，不需要对这些元素进行分析。但如果进行分析并发现了这些元素，则应按如下所述进行报告和验收：

a) 如果粉末材料规范对“其他元素”有允许限值，则应按如下要求进行验收：

1) 如果分别对其他元素定义了允许限值，则必须报告有确定百分比的元素，(见5.4.3.3.1b.1)；

2) 如果只对其他元素整体定义了允许限制，则应报告有确定百分比的元素(见 5.4.3.3.1.b.1 和 5.4.3.3.1.b.2)。

b) 如果发现的其他元素不超过以下限制，则不需要报告：

1) 在元素含量小于 0. xxx (“0. xxx”表示测试方法的最小(校准)检出限)的情况下，当最低检出限高于 0.001 且检测到元素时，应在分析记录中报告；

2) 若测定值小于适用粉末规范中规定的“其他元素”或“其他元素整体”，则每个元素的最大限值或其他元素总计最大限值如表 2 所示。

表 2 不需要报告的最大检测结果表

合金 元素	铝基	钴基	铁基	镍基	钛基
Al	N/A	0.05%	0.05%	0.05%	
B		0.015%	0.005%	0.015%	
Be					
Bi					
Co		N/A	1.00%	1.00%	
Cr				0.15%	
Cu				0.15%	
Fe			N/A	0.15%	
Ga					
Hf				0.15%	
Mg		0.015%		0.015%	
Mn					
Mo		0.50%		0.15%	
Nb (Cb)				0.15%	
Ni		1.00%	1.00%	N/A	

表 2 不需要报告的最大检测结果表（续）

Pb					
----	--	--	--	--	--

Si					
Sn					
Sr					
Ta				0.15%	
Ti				0.15%	N/A
V				0.15%	
W				0.15%	
Y					
Zn					
Zr		0.05%	0.05%	0.05%	
B + Mg*		0.015%		0.015%	
Al + Zr*		0.010%	0.010%	0.010%	
Ti+V+Cr+Cu+Fe+Nb (C b)+Hf+Ta+W+Mo*				0.30%	
Ni+Co*		1.00%	1.00%		

*如果适用粉末规范的成分表中指定了其中一种元素，则该元素不再包括在其他元素整体计算中。如果检测到的整体值高于最大值，则所有元素都应单独报告。

注 1：由于常规验收测试对“其他元素”的要求只在最后的粉末批中进行，或者根本不需要，所以在多次熔炼混合前，“其他元素”的要求不适用，除非是自愿对粉末熔炼批进行测试。在这种情况下，“每个其他元素”和“其他元素整体”只适用于那些自愿测量的元素。

注 2：5.4.3.3 中的元素列表是基于合金元素或金属行业中普遍存在的原材料杂质，这些杂质通常在特定合金中出现的概率更高，但它并不全面，供应商还应在他们的测试计划中加入额外的“其他元素”，以测量来自以下来源的污染：a) 特定于产品和工艺的原材料或废料流；b) 从之前熔炉或坩埚中携带的元素；3) 来自之前辅助设备(如搅拌机、筛机、料斗、气流分级机等)的交叉污染。

5.5 重新取样和重新测试

任何用于验收或符合性测试中的试样若不符合规定要求，则其处理可依据对原始不合格试样增加

的三个试样的试验结果进行。任何复检样品未能达到规定要求的应被拒收。所有测试结果均应报告。不符合分析方法的测试可以进行一对一的替换测试。

6 拒收

不符合本规范的粉末将被拒收。

中国机械工程学标准

附 录 A
(资料性)
关键工艺变量

表 A.1 粉末生产关键工艺变量

参数	示例与说明
订单信息	
粉末生产商 ID 或产品名称	通用名称(XYZ 625 公司)
粉末生产商 ID 或产品编号：适用版本	生产商编号(123456-78 版次 9)
预雾化和熔炼	
化学成分及炉料组成	输入材料、化学成分和采购规范。等离子丝材、EIGA、RSR 或(P)REP 用棒材或丝材尺寸规范。
熔炼环境和箱体真空度	SOP，真空度范围
气体成分及纯度	用于回填
金属喷嘴	喷嘴图或标识符及公差
金属温度	最小值或范围
气体喷嘴	喷嘴图或标识符及公差
雾化器、加热炉或反应器	内部名称或序列号
雾化	
雾化动能(气体流量，气体压力，或气雾化及丝材雾化用气体流量和压力，离心雾化每分钟转数(RPM))	依据工艺要求的目标和控制限
雾化气体种类及纯度	用于雾化和凝固
金属流速、进料速率或金属流速及进料速率	依据计量流速方法的目标及控制限(例如，喷嘴孔、送丝速率)

表 A.1 粉末生产关键工艺变量（续）

后处理	
筛分	
筛孔尺寸及规范	
振动器，超声波，或振动器和超声波设置(如需要)：	
混粉参数(如需要)	最小，最大，或最小和最大填充重量范围，时间，rpm
气流分级	
粉末进料	进料器设置或测得的进料速率的目标及控制限
风速	筛分器中分离用逆流控制参数的目标及控制限
转速	转速控制参数的目标和控制极限
包装	包装 SOP，环境要求
储存	环境要求，储存 SOP
注：熔炉和特定产品-每个熔炉-产品组合应有单独的过程控制文件。	

ICS 号

中国标准文献分类号

关键词：中国机械工程学会、模板