指导性文件
GD019-2026

中　国　船　级　社

增材制造指南

2026

2026 年 9 月 1 日生效

北　京

简要说明

CCS《增材制造指南》是在《增材制造检验指南》2021 的基础上，依据增材制造的公认标准并结合船舶与海上设施的特殊要求，以金属材料为主研究制定。本指南介绍了增材制造原理和工艺、增材制造设计原理和评估、增材制造的认可以及增材制造产品的检验等四个方面，为船舶与海上设施增材产品设计、制造和增材修复提供检验和认可的标准。

目　　录

第 1 章 通则 1
1.1 目的 1
1.2 适用范围 1
1.3 术语与定义 1
1.4 增材制造原材料和产品认可流程 1
第 2 章 增材制造原理和工艺 2
2.1 一般规定 2
2.2 工艺特点 2
2.3 基本工艺分类 2
第 3 章 增材制造设计原理和评估 6
3.1 一般规定 6
3.2 增材制造设计评估 6
3.3 增材修复设计原理和评估 8
第 4 章 增材制造和修复的认可 9
4.1 一般规定 9
4.2 增材制造原材料的工厂认可 9
4.2.1 适用范围 9
4.2.2 等级和名称 9
4.2.3 工厂认可 9
4.2.4 型式试验 10
4.2.5 增材制造试板性能试验 11
4.2.6 认可保持和撤销 13
4.2.7 证书 14
4.3 增材制造产品的工厂认可和/或型式认可 14
4.3.1 适用范围 14

4.3.2 认可和认可项目 15
4.3.3 证书 16
4.4 增材修复工艺认可 16
第 5 章 增材制造产品的检验 22
5.1 一般规定 22
5.2 试样制取 22
5.3 增材制造产品附加特征 22
5.4 检验依据 22
5.5 测试报告 23
附录 A 增材制造/修复后处理工艺 24
附录 B 增材制造原材料、产品和修复工艺认可应提交的文件 25
附录 C 工业 CT 检测在增材制造中的应用流程图 26

第 1 章 通则

1.1 目的

1.1.1 本指南提供了增材制造（AM）工艺替代传统材料制造工艺（例如轧制、铸造、锻造、焊接）的认可检验框架以及依据。

1.1.2 通过增材制造设计、制造和修复的产品由CCS按本指南进行检验，凡未列入本指南者，其化学成分、力学性能和后期表面处理规程，经CCS同意，可按相关公认标准验收。

1.2 适用范围

1.2.1 本指南适用于以粉末床熔融、电弧熔丝沉积、定向能量沉积和/或粘结剂喷射为主的增材制造和修复工艺，其他增材制造工艺和材料需特殊考虑。

1.2.2 对于涉及逆向工程的情况和项目，需经过该产品的设计者、制造商和用户的同意。

1.3 术语与定义

1.3.1 以下列出了部分涉及增材制造技术的常用术语和定义：

（1）增材制造（Additive Manufacturing，AM）：以三维模型数据为基础，通过原材料堆积的方式制造零件或物体的工艺；

（2）粉末床熔融：通过热能选择性的熔化/烧结粉末床区域的增材制造工艺；

（3）电弧熔丝沉积：利用电弧聚热将丝材同步熔化沉积的增材制造工艺；

（4）定向能量沉积：利用激光聚热将粉末同步熔化沉积的增材制造工艺；

（5）粘结剂喷射：选择性喷射沉积液态粘结剂粘结粉末材料的增材制造工艺；

（6）立体光固化：通过光致聚合作用选择性地固化液态光敏聚合物的增材制造工艺；

（7）增材修复：利用各类增材制造工艺对已成形零件、产品进行沉积或熔融式修补的工艺；

（8）增材制造产品：采用增材制造工艺成形的功能件，是预期的完整产品或其部件；

（9）增材制造原型：采用增材制造工艺成形的第一批供试验或量产的增材制造产品；

（10）电脑辅助设计（Computer Aided Design，CAD)：一种利用计算机及其图形设备帮助设计人员进行工程和产品设计的技术。

1.3.2 本指南采用的其他术语定义可参考 GB/T 35351、ASTM F2792-12a 和 ISO 17296-1 或相关公认标准。

1.4 增材制造原材料和产品认可流程

1.4.1 增材制造原材料和产品认可流程见 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章的相关要求。

第 2 章 增材制造原理和工艺

2.1 一般规定

2.1.1 本章介绍了适用于船舶与海上设施产品增材和修复的不同增材制造原理和工艺。

2.1.2 其他增材制造原理和工艺可参考其他公认标准（如 ISO 17296-2）。

2.2 工艺特点

2.2.1 增材制造可应用于原型和产品。产品在生产的最后阶段反映出设计者的预期要求，且应根据产品的类型、应用范围、成本和交付周期等因素选择不同的工艺和原材料。

2.2.2 根据质量级别要求和可追溯性，对产品的质量等级从最高到最低进行划分。等级的具体划分方法和要求在相关的原材料、工艺和应用标准中给出。

2.2.3 增材制造工艺链的特点是基于电脑辅助设计（CAD）的产品三维数据进行直接制造，而不需要模具制造等中间过程。

2.2.4 增材制造工艺链可分为两类：

（1）单步工艺：用单步操作完成产品制造的增材制造工艺，可以同时得到产品预期的基本几何形状和基本性能。

（2）多步工艺：用两步或两步以上操作完成产品制造的增材制造工艺，通常第一步操作得到产品或实物的基本几何形状，通过后续操作使其达到预期的基本性能。

2.2.5 增材制造和增材修复都需进行适当的后处理使增材制造所得的产品达到最终效果，后处理工艺见附录 A。

2.2.6 考虑到增材制造/修复产品中残余应力的存在，制造厂经过 CCS 的同意可按相关公认标准进行热处理或其他应力消除处理。为了提升材料密度、消除产品中孔隙和空洞，制造厂经过 CCS 的同意可按相关公认标准进行热压工艺流程。

2.2.7 增材制造/修复产品在移除夹装或支架过程中，制造厂应注意这些操作给产品完整性带来的各方面影响。后处理工艺在原型上也需同步进行。

2.2.8 通过粘结剂喷射或同等工艺制造的产品应仅限用于非疲劳产品。

2.3 基本工艺分类

2.3.1 增材制造技术包含多种工艺类型，适用于船舶与海上设施产品的金属增材制造/修复工艺，可以分为粉末床熔融、电弧熔丝沉积、定向能量沉积和粘结剂喷射。

2.3.2 粉末床熔融：通过热能选择性的融化、烧结粉末床区域的增材制造工艺，见本章示意图 2.3.2。

（1）原材料：热塑聚合物、纯金属或合金的粉末。根据工艺的不同，上述粉末在使用中可添加填充物和粘黏剂；

（2）结合机制：通过热反应融合；

（3）熔融源：激光、电子束等热源；

（4）后处理：去除工件表面和内部残留粉末和支撑部件，提高表面质量、尺寸精度和材料性能的各种工艺，例如喷丸、精加工、打磨、抛光和热处理。

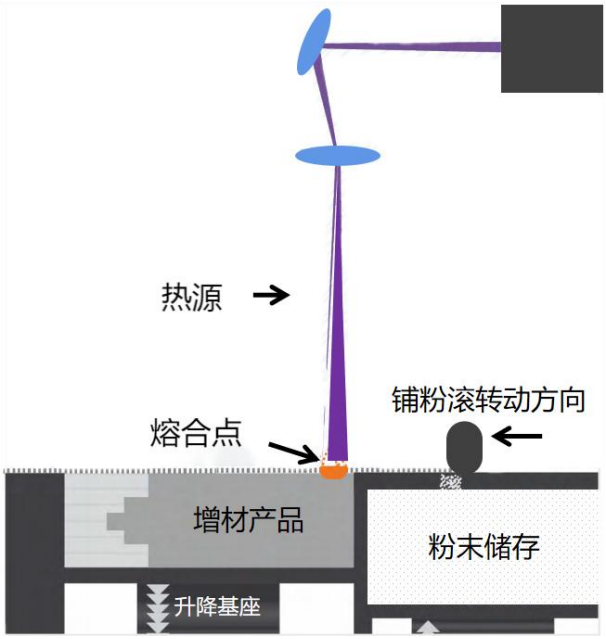


图 2.3.2 粉末床熔融工艺

2.3.3 电弧熔丝沉积：利用电弧聚热将丝材同步融化沉积的增材制造工艺，见本章示意图 2.3.3。

（1）原材料：焊接用丝材（一般为金属）。根据工艺的要求，丝材在使用中可添加其他材料；

（2）结合机制：通过热反应熔合；

（3）熔融源：电弧、电弧-激光复合热源；

（4）后处理：降低表面粗糙度，提高表面质量、尺寸精度和材料性能的各种工艺，例如喷丸、机加工、打磨、激光重熔、抛光和热处理。

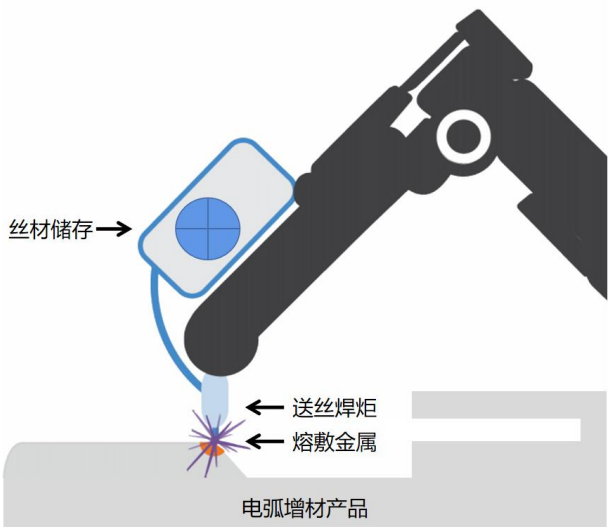


图 2.3.3 电弧熔丝沉积工艺

2.3.4 定向能量沉积（粉末增材）：利用激光聚热将粉末材料同步融化沉积的增材制造工艺，见本章示意图 2.3.4。

（1）原材料：粉末（一般为金属）。根据工艺的要求，粉末在使用中可添加填充陶瓷等颗粒；

（2）结合机制：通过热反应熔合；

（3）熔融源：激光、电子束或等离子束；

（4）后处理：降低表面粗糙度，提高表面质量、尺寸精度和材料性能的各种工艺，例如喷丸、机加工、打磨、激光重熔、抛光和热处理。

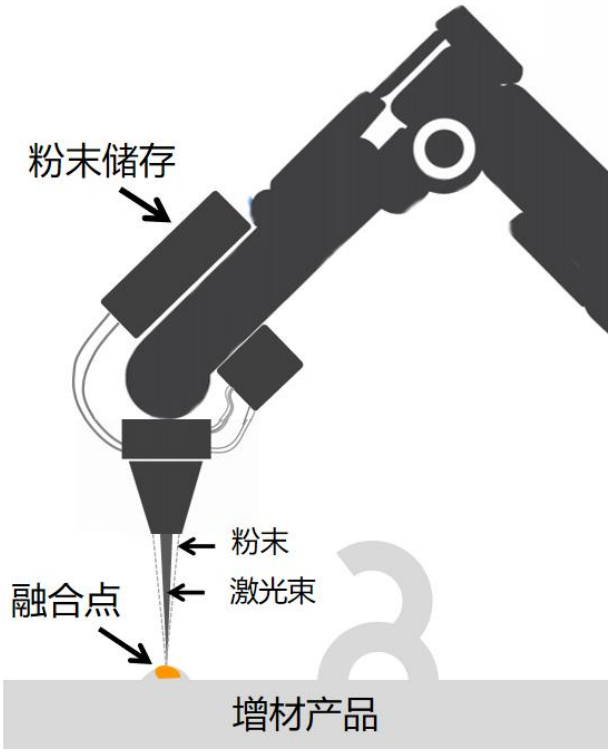


图 2. 3. 4 定向能量沉积工艺

2.3.5 粘结剂喷射：选择性喷射沉积液态粘结剂粘结粉末材料的增材制造工艺，见本章示意图 2.3.5。

（1）原材料：粉末、粉末混合物或特殊材料（金属粉末、砂/铸造粉末、聚合物粉末），以及液态粘结剂、交联剂；

（2）结合机制：通过化学反应和/或热反应固化黏结；

（3）熔融源：取决于粘结剂和/或交联剂，与所发生的化学反应相关；

（4）后处理：去除工件表面和内部残留粉末，根据所用粉末和用途选择合适的液态材料进行浸渍或渗透以强化，或者根据工艺要求进行高温强化。

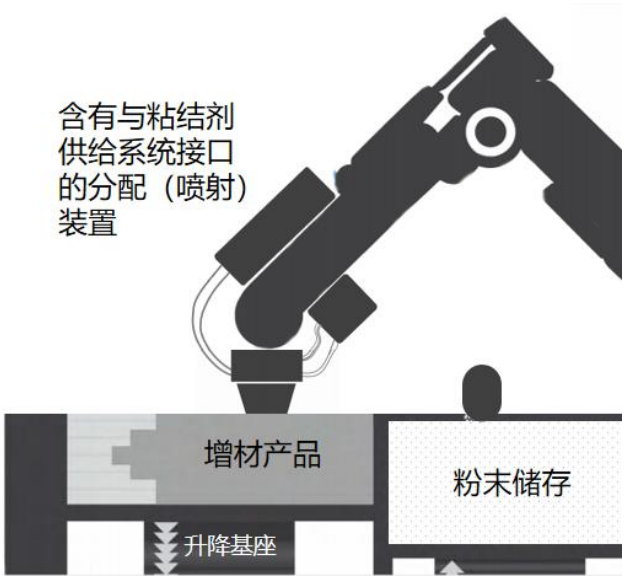


图 2.3.5 粘结剂喷射工艺

2.3.6 增材修复：以不同的填料方式在待修复基体表面上添加选择的涂层材料，经激光辐照使之和基体表面一薄层同时熔化，并快速凝固后形成稀释度极低并与基体材料成冶金结合的表面涂层，从而修复受损产品表面或显著改善基体材料表面的耐磨、耐蚀、耐热、 抗氧化和电气等特性的工艺方法。

（1）原材料：粉末与丝材；

（2）工艺包含了本条 2.3.2、2.3.3、2.3.4 和 2.3.5 的内容；

（3）修复处理：修复前应将所产生的凹槽打磨至顺滑过渡，修复后应通过磁粉检测或渗透检测验证是否完全清除了缺陷。

2.3.7 其他常见的增材工艺有：立体光固化、材料喷射、材料挤出，需经过 CCS 同意可参考相关公认标准执行。

第 3 章 增材制造设计原理和评估

3.1 一般规定

3.1.1 本章介绍了增材制造产品设计原理和评估，一般分为传统设计流程和新型设计流程。传统设计流程是经验设计和仿真校核相结合的方式进行设计；新型设计流程通过建立新型材料创新的基础设施采用高通量计算方式进行仿真驱动设计创新性设计，见本章图 3.1.1。

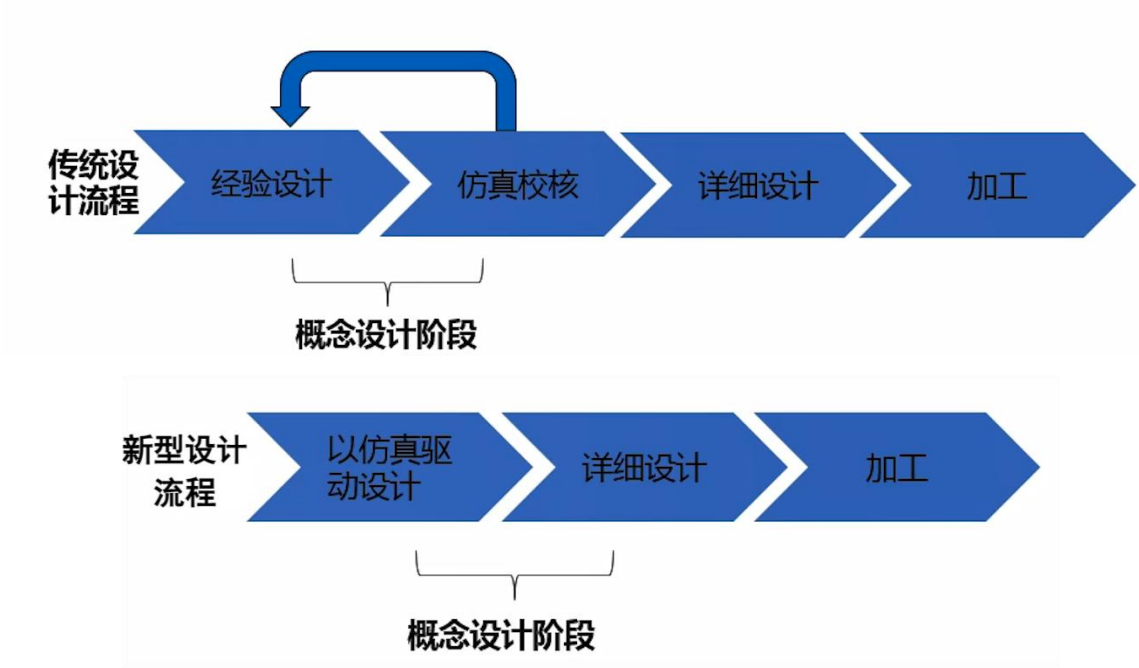


图 3.1.1 两种增材制造设计流程图示对比

3.1.2 在增材制造设计阶段，产品的要求和增材制造设计方案需进行详细规定并经 CCS 同意。增材制造设计方案需包括产品所选用的原材料、工艺方法、后处理和产品性能。

3.1.3 增材制造或修复设计公司需通过 CCS 质量体系核查要求，相关要求参见 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章第 9 节。

3.1.4 增材制造的 CAD 模型或图纸应包括符合相关公认标准（例如 ASME Y14.46、Y14.41、Y14.5）的最终几何形状、尺寸和公差要求。

3.2 增材制造设计评估

3.2.1 体系审核和设计评估：除有明确要求外，CCS 不要求进行增材制造设计认可，但需对设计公司进行体系审核和设计评估。客户在增材制造新产品和新技术开发过程中的体系审核和设计评估时需要提交以下技术资料作为备查，包括：

（1）定制服务方案；

（2）可接受的安全水平，用以减少产品后期不确定性；

（3）满足早期市场拓展的需求；

（4）通用设计和技术方案；

（5）替代设计方案；

（6）避免系统性能不合格风险的方案。

3.2.2 设计阶段控制评估：增材制造产品设计应建立有效的设计要求控制评估制度，并保证以下阶段得到控制。

（1）减少零件总数；

（2）功能/多功能设计完善并考虑漏粉孔；

（3）轻巧/简便优化；

（4）易于制造；

（5）材料降解或支架（故意设计的缺陷）的设计和对增材过程中变形的控制；

（6）混合设计解决方案。

3.2.3 在增材设计时必须定义必要的材料力学性能要求，以确保在考虑产品的功能、施加的负载、服务环境和故障模式后，产品的设计是合适的，通常包括但不限于：

（1）拉伸性能和硬度；

（2）断裂特性（通常是夏比 V 冲击试验值，裂纹尖端张开位移（CTOD）试验值）；

（3）疲劳特性（通常为 S / N 曲线和裂纹扩展速率），包括在特定环境中的特殊性能；

（4）适用于特定环境的耐腐蚀性（一般腐蚀、点蚀、缝隙和应力腐蚀开裂的量值）；

（5）Z 向性能（如有）。

3.2.4 增材制造设计过程中可考虑敏捷制造和智能制造理念，并应建立有效的有机融合方法（如数据库）保证其在设计和产品应用中合理有效。

3.2.5 增材设计最终数据应由设计公司选择性的提交 CCS，设计公司应向 CCS 提交用于相关产品的设计规则。在参考适用的分类规则时，应特别注意作为设计假设的材料数据的一致性。无损检测方案应提交 CCS 审查。该方案应包括磁粉检测或渗透检测、超声波检测、工业 CT 检测和射线检测，方案中应包括详细说明。

3.2.6 船舶与海工设施增材制造新型设计和制造一体化评估流程见本章图 3.2.6。

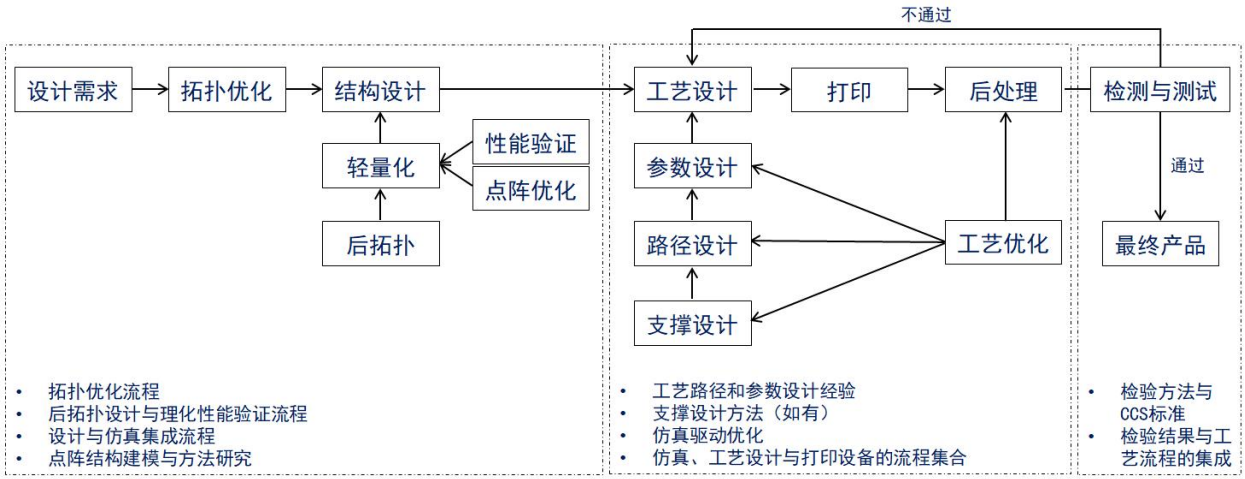


图 3. 2. 6 船舶与海工设施增材制造创新设计和制造一体化评估流程

3.2.7 除本条内容外，增材制造产品设计可参照 ISO 17296-4 或 ISO/ASTM 52915-13 等相关公认标准。

3. 3 增材修复设计原理和评估

3.3.1 增材修复相比传统修复工艺具有较低稀释率、热影响区小、冶金结合、熔覆件扭曲变形较小和过程易于实现自动化等优点，增材修复工艺设计流程见图 3.3.1 所示。

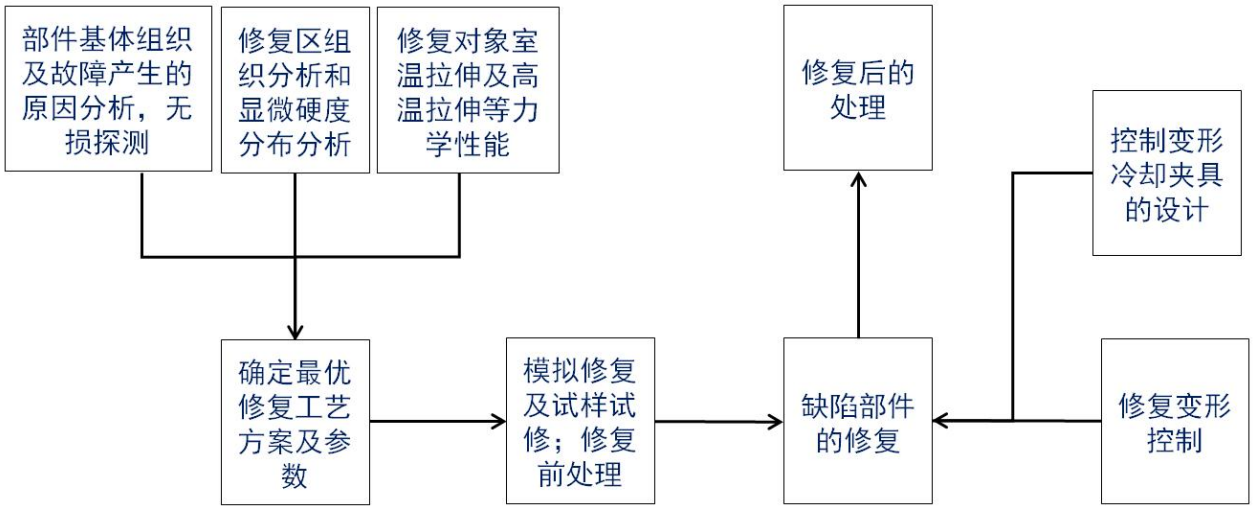


图 3.3.1 船舶增材修复设计和评估流程

3.3.2 增材修复一般是在零件或产品磨损腐蚀的位置进行的修复工艺，因此设计公司需将零件或产品本身的磨损或腐蚀情况提交 CCS 评估。

第 4 章 增材制造和修复的认可

4.1 一般规定

4.1.1 生产增材制造所用原材料的制造厂应取得 CCS 的工厂认可，生产增材制造产品应取得 CCS 的工厂认可和/或型式认可，增材修复工艺应取得 CCS 的工艺认可。

4.1.2 增材制造产品认可除了满足本指南第 5 章的检验要求外，还应满足 CCS《材料与焊接规范》和《钢质海船入级规范》和《产品检验指南》的要求。

4.1.3 除本章 4.4 外，增材修复工艺认可可参照 CCS《材料与焊接规范》所涉及的焊接工艺认可方式。

4.1.4 增材制造和修复工艺的认可应向CCS提交的文件，见本指南附录B。

4.2 增材制造原材料的工厂认可

4.2.1 适用范围

4.2.1.1 本条适用于按照 CCS 接受的公认标准的相关要求制造的增材制造原材料的工厂认可。

4.2.1.2 本条规定了金属丝材、粘结剂或粉末（以下均称原材料）的测试方法。适用于用于一般强度钢、高强度钢、超高强度钢、奥氏体/双相不锈钢、铝和青铜增材制造的丝材和粉末的工厂认可。经 CCS 同意，可以考虑其他类型的原材料。

4.2.1.3 除本条规定的原材料（金属）测试方法外，其他原材料（如非金属、陶瓷等）的测试方法可参考 ISO 17296-2、ISO 17296-3、ISO 52907 或相关公认标准。

4.2.1.4 制造厂应已获得认证机构颁发的基于 ISO 9000 或等效标准的质量管理体系认证证书并保持有效。制造厂应已获得安全管理体系认可证书并保持有效。

4.2.1.5 制造厂应对粘结剂和交联剂的质量和标准承担全部责任，它们是次要原材料，一般不需要进行工厂认可。但是需要由制造厂考虑材料等级、化学成分、粘度、表面张力、闪点、蒸发温度和固化温度等因素

4.2.2 等级和名称

4.2.2.1 通常情况下，根据沉积金属的机械性能、化学成分和其他理化性能，将原材料按不同种类分类。对于不同的产品或材料，可以视情况考虑使用其他等级的原材料。非金属材料应经 CCS 特殊考虑。

4.2.2.2 如需要使用保护气体，制造厂应向 CCS 提交使用的保护气体的类型。保护气体的分类应符合 ISO 14175 或相关公认标准。

4.2.3 工厂认可

4.2.3.1 制造厂应参照 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章第 5 节的相关要求将涉及原材料有关信息提交 CCS。

4.2.3.2 型式试验应在代表原材料的样品上进行。抽样程序应经 CCS 验船师同意。

4.2.3.3 测试样品的检验和测试应在 CCS 验船师在场的情况下进行。除非另有规定，试样和测试程序应符合 CCS 的要求或 CCS 接受的公认标准。

4.2.3.4 认可完成后，CCS 将向制造厂颁发工厂认可证书。认可证书上应标明原材料被批准的等级和证书有效期等信息。

4.2.3.5 原材料的生产方法和质量控制应确保制造过程合理，应提供足够坚固的外包装以抵抗常规的

运输和处理操作。制造厂应在出厂原材料的产品外包装上留下生产的标记。

4.2.3.6 制造厂应对原材料的质量和标准承担全部责任。制造厂应保留有关工厂认可原材料制造的生产记录，包括各批次生产历史和相关测试结果的详细报告以便 CCS 随时检查。

4.2.3.7 制造厂有责任在获得认可后，向 CCS 提交生产程序中引入的任何重大修改。当 CCS 认为这些重大修改可能导致原材料性能较大变化时(如等级变化等)，需要重新对该原材料进行认可试验。

4.2.4 型式试验

4.2.4.1 增材制造用原材料工厂认可型式试验一般包含丝材或粉末的理化性能试验和试板工艺性能试验。

4.2.4.2 粉末材料的理化性能试验：

增材制造工艺用粉末材料在选材、保存、运输和再利用时应考虑安全和健康因素，按本章表 4.2.4.2 中的标准进行认可试验，经 CCS 同意也可参考其他等效公认标准。其检查结果应符合相关公认标准或满足设计定下的验收标准。

粉末主要特性和公认标准测试方法 **表 4.2.4.2**

项目	金属①	塑料①
粉末粒度和分布	ISO 4497 ISO 8130-1 ISO 13319 ISO 13320	ISO 4610 ISO 13319 ISO 13320
形状/形态	ISO 9276-6	ISO 9276-6
密度	ISO 3923-1 ISO 3923-2	ISO 1068
流动性	ISO 4490	ISO 6186 ISO 4324
化学成分	相关公认标准②	-
含水量	GB/T 45676	-

① 本方法只用于增材制造的常见金属和塑料材料的检测标准，如增材制造设计方案中涉及其他材料，经 CCS 同意可参考相关公认标准；

② 如 ISO 7625 等，经 CCS 同意。

4.2.4.3 丝材材料的理化性能试验：

增材制造工艺用丝材材料在选材、保存、运输和再利用时应考虑安全和健康因素，按本章表 4.2.4.3 中的标准进行认可试验，经 CCS 同意也可参考其他等效公认标准。其检查结果应符合相关公认标准或满足设计定下的验收标准。

丝材主要特性和公认标准测试方法　　表 4. 2. 4. 3

项目	金属[①]	塑料[①]
外观表面质量	ISO 16348 ISO 1302 ISO 4288	ISO 16348 ISO 1302 ISO 4288 GB/T 42620
长度和角度尺寸公差	ISO 129-1 ISO 286-1 ISO 14405-1 ISO 1938-1C ISO 2768-1	ISO 129-1 ISO 286-1 ISO 14405-1 ISO 1938-1C ISO 2768-1 GB/T 42620
化学成分	相关公认标准[①]	GB/T 42620

① 如 ISO 7625 等，经 CCS 同意。

4. 2. 5 增材制造试板性能试验

4.2.5.1 增材制造工艺用粉末材料和丝材应按照增材制造厂推荐的工艺和工艺参数打印制造成试板进行性能试验。试板的尺寸应满足后续制取试样所需，并考虑复试的可能性。按本章表 4.2.5.1 中要求的拉伸、冲击和弯曲性能试验应从 X,Y,Z 三个试验方向各取相同数量的试样进行试验，试样方向坐标系应符合 ISO/ASTM 52921 或相关公认标准，三个方向的试验结果都应满足试板的最低性能要求。

增材制造工艺试板试验项目和标准　　表 4. 2. 5. 1

项目	参考标准
拉伸性能	《材料与焊接规范》
冲击性能	《材料与焊接规范》
弯曲试验	《材料与焊接规范》或相关公认标准
射线检测	ISO 5579
超声波检测	ISO 11666 或相关公认标准
渗透检测/磁粉检测	ISO 3452-1，ISO 3452-2/ ISO 9934-1
化学成分	相关公认标准[①]

① 如 ISO 7625 等，经 CCS 同意。

4.2.5.2 一般强度钢与高强度钢、奥氏体/双相不锈钢的力学性能应符合本章表 4.2.5.2 的要求：

一般强度钢与高强度钢、奥氏体/双相不锈钢力学性能要求　　表 4.2.5.2

钢级	拉伸测试			冲击测试	
	屈服强度 R_{eH} 或 $R_{p0.2}$ 不小于（N/mm²）	抗拉强度 R_m 不小于（N/mm²）	伸长率 A 不小于（%）	测试温度（℃）	平均冲击功不小于①（J）
A	305	400-560	22	+ 20	34
B、D				0	
E				-20	
AH32	335	440-600	22	+ 20	34
DH32				0	
EH32				-20	
FH32				-40	
AH36	375	490-660	22	+ 20	34
DH36				0	
EH36				-20	
FH36				-40	
DH40	400	510-690	22	0	39
EH40				-20	
FH40				-40	
DH420	420	530-680	20	-20	47
EH420				-40	
FH420				-60	
DH460	460	570-720	20	-20	47
EH460				-40	
FH460				-60	
DH500	500	610-770	18	-20	50
EH500				-40	
FH500				-60	
DH550	550	670-830	18	-20	55
EH550				-40	

FH550				-60	
DH620	620	720-890	18	-20	62
EH620				-40	
FH620				-60	
DH690	690	770-940	17	-20	69
EH690				-40	
FH690				-60	
奥氏体不锈钢					
304L、316L、317L、309L	270	500	25	-20（当奥氏体不锈钢用于深冷条件时，则应在-196℃条件下进行冲击试验）	27
304LN、316LN、317LN、347	290	550	22		
304、316、317、309	290	550	25		
双相不锈钢					
S2205	450	620	25	-20	27
S2550	550	690	15		
S2750	550	790	15		

注：① 除订货方或CCS有要求外，冲击试验方向一般不作要求。

4.2.5.3 铝合金和青铜原材料的化学成分分析、金相检查和力学性能应满足《材料与焊接规范》相关要求。经 CCS 同意可参考 ISO 24373 或其他公认标准。

4.2.5.4 认可试验结束后制造厂应向 CCS 提交原材料认可试验报告，试验报告内容应包括下列内容：

（1）试验日期、试验环境和原材料预处理状态；

（2）原材料认可等级、牌号、型号和规格；

（3）增材工艺；

（4）增材设备型号和保护气体成分；

（5）各项试验的结果；

（6）试板制造现场记录表；

（7）试样的坐标系表示。

4.2.6 认可保持和撤销

4.2.6.1 经过工厂认可的增材制造原材料应每年进行一次年度检查，以继续保持该原材料的认可。凡得到 CCS 认可的增材制造原材料，通常每年应由验船师到场进行年度检查，年度检查应包括下列内容：

（1）粉末材料：粉末材料理化性能满足 4.2.4.2 的要求，同时按本章 4.2.5 的规定，制作 1 个工艺试板，进行工艺试板的各项试验；

（2）丝线材料：丝线材料理化性能满足 4.2.4.3 的要求，同时按本章 4.2.5 的规定，制作 1 个工艺试板，进行工艺试板的各项试验。

4.2.6.2 在下列情况下,CCS 将通知增材制造原材料制造厂，撤销对其的认可：

（1）无特殊理由而未进行年度检查；

（2）抽样检查表明产品质量比认可时有明显下降以至不合格者；

（3）管理体系中出现严重缺陷，且没有采取妥善的纠正措施，不能保证检测试验结果的准确性、可靠性和公正性；

（4）未按照认可的试验程序、标准等进行增材制造原材料检测、试验；

（5）未向 CCS 缴纳有关费用。

4.2.7 证书

4.2.7.1 增材制造原材料工厂认可证书中应至少包含以下内容：

（1）材料名称、牌号、规格和用途；

（2）验收依据（规范、标准、技术协议等）；

（3）交货状态。

4.2.7.2 经过认可的增材制造原材料应附上 1 份质量说明书，该说明书应至少包含以下内容：

（1）牌号及认可等级；

（2）制造厂的名称或标志；

（3）采用保护气体的种类；

（4）原材料推荐储存环境条件；

（5）危险和安全事项（粉末材料）；

（6）生产日期和批号；

（7）尺寸或颗粒大小（如有）；

（8）粘结剂种类（如有）。

4.3 增材制造产品的工厂认可和/或型式认可

4.3.1 适用范围

4.3.1.1 本条适用于制造的增材制造产品的工厂认可和/或型式认可。增材制造产品及产品部件按 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章的要求进行认可。

4.3.1.2 相关增材制造产品的认可除了满足 CCS《材料与焊接规范》和《产品检验指南》的规定外还应满足本章 4.3 节要求。

4.3.1.3 增材制造产品的工厂认可和型式认可适用于通过增材制造技术开展连续型工艺批量生产，或完全根据产品生产工艺、生产过程控制来保证产品质量的产品。

4.3.1.4 制造厂应已获得 CCS 认可的认证机构颁发的基于 ISO 9000 或等效标准的质量管理体系认证

证书并保持有效。

4.3.2 认可和认可项目

4.3.2.1 增材制造产品进行认可时除了满足相应产品在 CCS《材料与焊接规范》和《钢质海船入级规范》和《产品检验指南》所要求的认可项目外，对于不同产品相应的检测标准还应满足本指南第 5 章的试样制备要求和增材制造产品认可项目标准即本章表 4.3.2.1 中的要求。

增材制造产品认可项目测试（包括型式试验） **表 4.3.2.1**

特性	项目	除 CCS《材料与焊接规范》外的可参考公认标准①	
		金属	塑料
外观和几何特性	长度和角度尺寸公差	ISO 129-1 ISO 286-1 ISO 14405-1 ISO 1938-1C ISO 2768-1	ISO 129-1 ISO 286-1 ISO 14405-1 ISO 1938-1C ISO 2768-1
	外观和显微结构检测	相关公认标准③	相关公认标准③
	粗糙度	相关公认标准③	相关公认标准③
机械特性	硬度	ISO 6506-1 ASTM E10	ISO 2039 ISO 868
	疲劳性能（如有）	ISO 1099 ASTM E606	ISO 13003 ISO 15850
无损检测	磁粉检测	ISO 9934-1	-
	渗透检测	ISO 3452-1 ISO 3452-2	ISO 3452-1 ISO 3452-2
	涡流检测	ASTM E2884	-
	工业 CT 检测②	ASTM E1441	ASTM E1441
	射线检测	CB/T 3558	相关公认标准③
	超声检测	相关公认标准③	相关公认标准③

注：① 本方法只用于增材制造的常见金属和塑料材料的检测标准，如增材制造设计方案中涉及其他材料可经过 CCS 同意参考相关公认标准；

② 工业 CT 检测在增材制造中的应用流程图见附录 C；

③ 经 CCS 同意。

4.3.2.2 在增材制造厂增材制造同一种类型的产品时，当原材料种类、基本增材基理、熔融源和/或增材工艺发生改变时应进行重新认可。本章图 4.3.2.2 介绍了金属类增材制造产品在制造或修复中所涉及的原材料种类、基本增材基理、熔融源和增材工艺流程图。

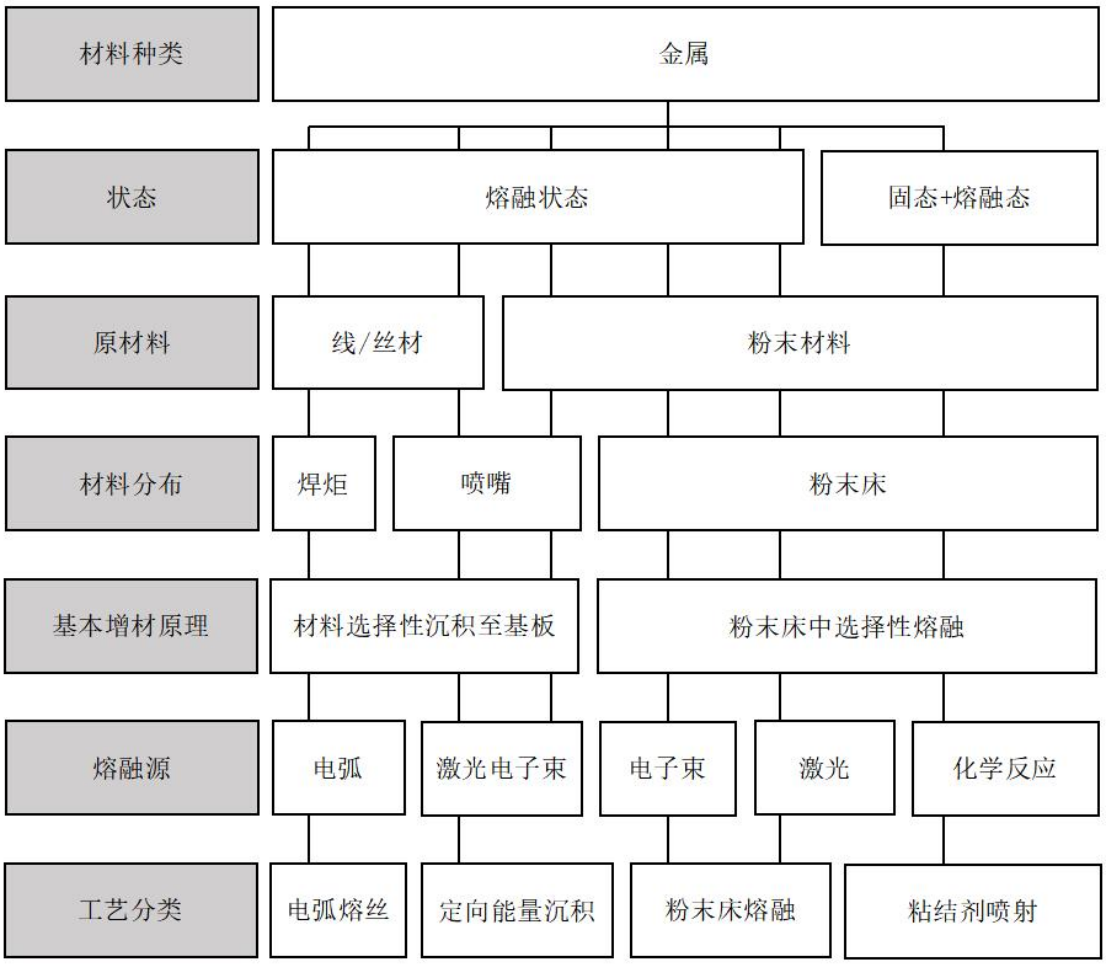


图 4.3.2.2 金属材料增材制造工艺流程图

4.3.3 证书

4.3.3.1 增材制造产品认可证书中除满足该类产品应包含的相关内容外还需额外包含以下内容：

（1）试样制备方式：成形方向、成形位置（随产品打印或单独打印）等；

（2）原材料和保护气体选择；

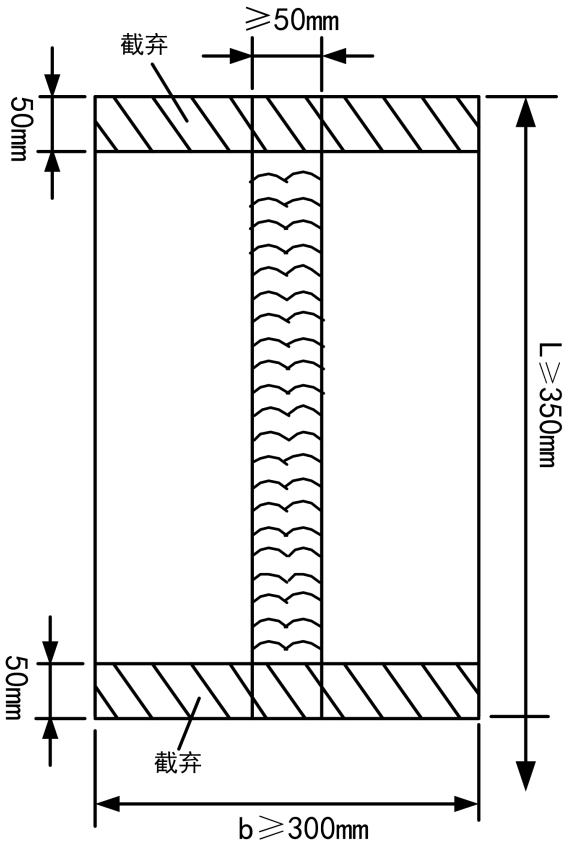
（3）增材使用熔融源和工艺分类；

（4）增材制作支架去除方案（如有）。

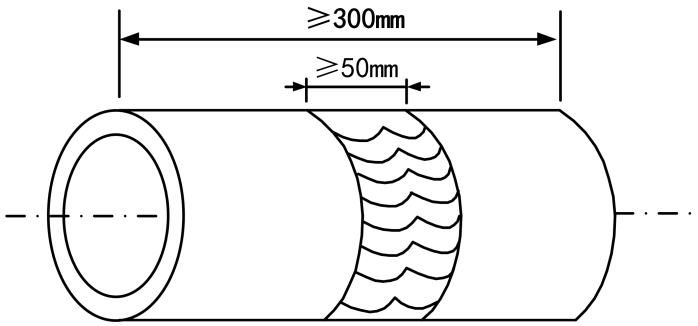
4.4 增材修复工艺认可

4.4.1 本条适用于采用增材修复方法对船用泵，阀门和缸套等船用金属零部件进行再制造修复的工艺认可。在进行增材修复再制造前，应根据本节内容进行试验以确定修复工艺。

4.4.2 试件的形式应根据具体的修补形式确定。试件的尺寸和取样位置见本章图 4.4.2(1)所示。坡口形式见本章图 4.4.2(2)所示。扣槽深度/堆焊厚度 D 不小于 15mm，或根据设计要求。

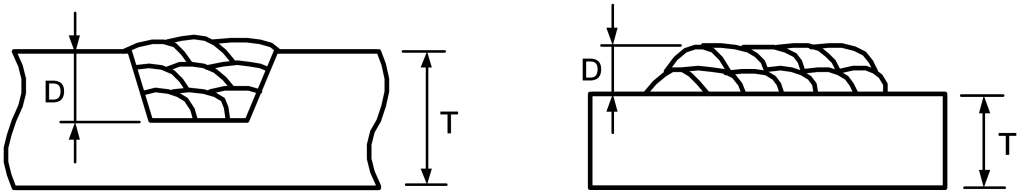


（a）平板试件



（b） 圆形试件

图 4.4.2-(1) 增材修复认可工艺试验试件尺寸

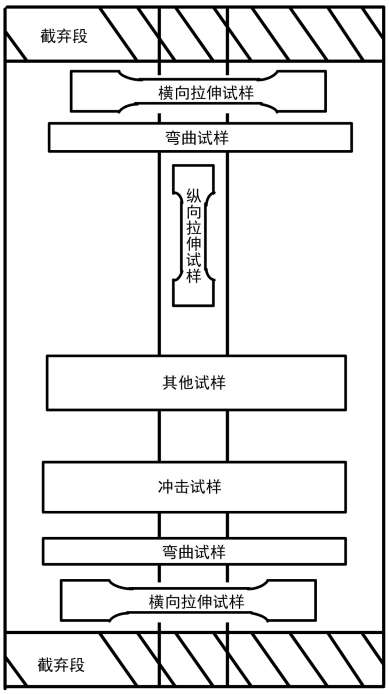


（a）扣槽形式　　（b） 平面无坡口形式

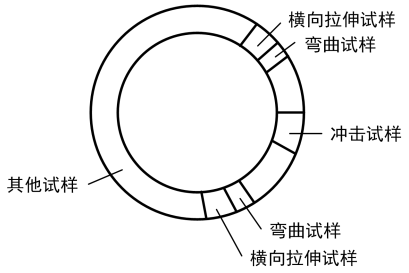
图 4.4.2-(2) 试件坡口形式

4.4.3 在条件允许的情况下应对修复试件进行 100%表面和内部无损检测。验收标准参考 CCS《材料与焊接规范》、相关公认标准和设计技术（要求）等。

4.4.4 试样的取样位置按照本章图 4.4.4 所示。制造厂应根据设计要求，按本章表 4.4.4-(2)(也不限于此表)选取适当的试验项目。试验方法和试验结果应满足本章表 4.4.4-(1)的要求。对受尺寸影响无法取样的情况，经 CCS 同意可免做相关试验。



（a） 平板试件①②③



（b） 圆形试件①②③

注：
①拉伸试样：通常取修复层的全厚度纵向试样 1 个，圆形试件或有技术要求时可取横向试样 2 个。
②弯曲试样：通常取修复层的 2 个正弯试样，2 个背弯试样，若修复层厚度大于等于 12mm，可改取 4 个侧弯试样。
③冲击试样：通常取修复层的试样 1 组（3 个），如有技术要求可增加热影响区的试样，对于平面无坡口试件可免做热影响区冲击试验。

图 4.4.4 试件取样位置

增材修复工艺理化试验方法 表 4.4.4(1)

试验类型	取样和试验过程	试验结果要求
（a）拉伸试验（室温和高温）	参考 CCS《材料与焊接规范》或相关公认标准	最小抗拉强度不低于母材值，或满足原设计要求
（b）弯曲试验		试样受拉表面不应有超过 3mm 的开裂
（c）冲击试验		满足母材要求，或满足原设计要求

（d）硬度试验		修复层满足原设计要求，热影响区和母材符合公认标准
（e）宏观断面检测		熔合良好，无缺陷
（f）腐蚀试验		满足原设计要求
（g）化学成分		满足原设计要求
（h）金相组织		满足原设计要求
（i）疲劳试验		满足原设计要求
（j）界面结合强度试验		满足原设计要求

增材修复工艺认可试验项目 **表 4.4.4(2)**

材质	试验项目
结构钢和结构用有色金属	（a）（b）（c）（d）（e）（i）
耐腐蚀层	（f）（g）（h）
耐磨层	（d）（e） (g) （j）
其他材料	依据设计技术要求

4.4.5 增材修复工艺认可试验适用范围见本章表 4.4.5。

增材修复工艺认可试验适用范围 **表 4.4.5**

参数	适用范围	
母材材质	试验材质	适用材质
	碳钢	参考 CCS《材料与焊接规范》
	不锈钢和有色金属	与认可试验相同
母材厚度	T＜25mm	T~2T
	T≥25mm	≥25mm
修复位置	仅适用于与试验相同的修复位置。当同时试验最大和最小热输入位置时，则可用于除立向下以外的所有修复位置。	
修复工艺方法	仅适用于增材修复工艺认可试验中使用的工艺方法。	
填充材料	仅适用于对增材修复工艺认可试验中使用的填充材料（包括材料化学成分，材料几何形状）。	

修复工艺参数	与增材修复认可试验相同的工艺参数，包括所用的电参数，激光参数，速度等主要工艺参数。
热输入（如有时）	批准的热输入上限比修复试验时的热输入上限高 25%。 批准的热输入下限比修复试验时的热输入下限低 25%。
预热和层间温度（如有时）	最低预热温度不得低于修复试验中使用的最低预热温度。 最高层间温度不得高于修复试验中使用的最高层间温度。
热处理	修复工艺试验使用的焊后热处理。

4.4.6 如认可试验不合格应参考 CCS《材料与焊接规范》中相关的项目进行复试，复试不合格的应重新制定修复工艺并重新进行认可试验。

4.4.7 在进行增材修复工艺认可试验前，制造厂应根据上述 4.4.2、4.4.3 及 4.4.4 编写增材修复工艺认可计划书提交 CCS 审核。增材修复工艺认可试验过程中的增材修复工艺试件的制作过程和试样的试验，应在 CCS 现场验船师见证下完成。试验过程中的参数应记录在增材修复工艺认可试验报告中，验船师应在试验报告上签署。 除另有规定外，根据实际的试验要求，试验报告一般应包含以下内容：

（1）目视检查结果；

（2）尺寸检查结果；

（3）表面及内部缺陷检查结果；

（4）拉伸试验结果（包括：取样位置、试样尺寸、屈服强度、抗拉强度、断口类型和断裂位置）；

（5）冲击试验结果（如有）（包括：取样位置、试样尺寸和冲击功值）；

（6）弯曲试验结果；

（7）金相组织结果；

（8）化学分析结果；

（9）耐腐蚀试验结果（如有）；

（10）疲劳试验结果（如有）。

4.4.8 制造厂应根据增材修复工艺认可试验结果，编写完整的增材修复工艺规程，并附以试验报告一起提交 CCS 认可，并由验船师签署。增材修复工艺规程包括但不限于以下内容：

（1）母材的材质和厚度；

（2）修复填充材料的型号（规范或标准号）、形式和规格；

（3）修复设备的型号和主要功能参数；

（4）坡口设计；

（5）主要修复工艺参数；

（6）预热和温度控制；

（7）热处理和应力消除处理等。

4.4.9 制造厂应在与修复认可试验相同的技术和管理条件下的车间进行产品修复。若船舶或海工设施处于漂浮修复状态，需考虑船舶空间、安全和船舶晃动等条件下工艺参数调整并经 CCS 同意。若认可的增材修复工艺规程参数有改动，应将所改动的内容提交 CCS 审核。CCS 根据改动的具体内容决定是否重新进行修复工艺认可试验。

4.4.10 产品修复前，制造厂应提交相关信息和详细的检查和测试计划（ITP）并获得批准，包括：

（1）制造厂的概况，包括质量管理体系、生产设施、组织和质量控制责任；

（2）制造厂的修复能力；

（3）修复前对损坏零件的检查和评估程序；

（4）制造厂的维修工艺和报告以及先前取得的证书或修复数据；

（5）零件修复过程中及修复后的检验和测试计划。

4.4.11 制造厂应按照认可的修复工艺进行修复，修复完后应提交以下资料：

（1）损坏部分的概况，包括基底的原始尺寸、材料等级、允许的损耗和缺陷清除的方法和证明；

（2）操作者的资格记录；

（3）建造规范和修复工艺；

（4）检验计划中批准的试验类型、试验标准和试验结果；

（5）生产过程记录和无损检测结果。

第 5 章 增材制造产品的检验

5.1 一般规定

5.1.1 本章规定了除传统工艺外通过增材制造生产的产品的试样制取办法、附加特性、测试方法和测试报告等内容。

5.2 试样制取

5.2.1 对于粉末床熔融工艺，试样一般可与产品分开制造，如在认可时需在产品上制造（打印）试样。

5.2.2 对于电弧熔丝沉积、粘接剂喷射和定向沉积工艺，试样需在产品上附带打印。

5.2.3 其中由于增材制造产品具有的各向异性的特点，拉伸、冲击、疲劳和弯曲试样的取样方向应取垂直于粉末或丝材的送出/挤出方向，即在增材制造产品力学性能较差的方向进行取样。增材制造试样制备的方向和位置应符合 ISO/ASTM 52921 中的规定。

5.2.4 试样的取样组批要求应满足 CCS《材料与焊接规范》相关要求，经 CCS 同意可参考相关公认标准。

5.3 增材制造产品附加特征

5.3.1 通过增材制造工艺制造的产品除了一般力学性能和理化性能外还应考虑如下特殊附加性能，需按表 4.3.2.1 要求进行检验：

（1） 表面特性：外观和表面粗糙度；

（2） 几何形状：尺寸、长度和角度公差等；

（3） 机械特性：硬度和疲劳性能（如有）等。

5.4 检验依据

5.4.1 增材制造的相关产品检验除了满足本章表 5.4.1 中的公认标准外还应满足 CCS《材料与焊接规范》和《钢质海船入级规范》和《产品检验指南》中的相关要求。

增材制造产品检验测试依据 **表 5.4.1**

特性	项目	除 CCS《材料与焊接规范》外的可参考公认标准③	
		金属	塑料
外观和几何特性	外观检测	相关公认标准②	相关公认标准②
机械特性	硬度	ISO 6507	ISO 2039 ISO 868
无损检测	磁粉检测①	ISO 9934-1	-

	渗透检测	ISO 3452-1 ISO 3452-2	ISO 3452-1 ISO 3452-2
① 仅适用于铁磁性材料； ② 经 CCS 同意； ③ 本指南只列出了比较常见的金属和塑料材料，如增材制造设计方案中涉及其他材料可经过 CCS 同意参考相关公认标准。			

5.5 测试报告

5.5.1 由于每个增材制造制备的产品特性具有独特性，因此测试报告中的每批次产品试样、加工和后处理等描述信息均需记录并提交 CCS。通过增材制造工艺制备的产品试样的测试报告可按下述要求记录所需要的数据和信息。取得满意的结果后，CCS 应向制造厂颁发证书，并附上有关细节。

5.5.2 通过增材制造工艺成形的产品的测试报告应至少包括以下内容，如双方另有约定应经 CCS 验船师同意：

（1）试样的形状、尺寸和允许的公差；

（2）试样在成形室内的方向和位置；

（3）试样的制备加工、调节过程和各项工艺参数；

（4）试样的测试方向；

（5）如试样经过后处理，应记录后处理过程信息。后处理包括但不局限于去支撑、应力消除、产品组合、热处理和表面加工等；

（6）所使用的标准；

（7）各项测试的结果和日期。

附录 A　增材制造/修复后处理工艺

A.1 范围

本附录介绍了制造厂增材制造/增材修复后处理的具体工艺。

A.2 粉末清除

使用粉末床熔融和粘结剂喷射工艺所剩下的残留粉末可能会给后处理步骤中的工作人员带来健康和安全问题，制造厂应根据相关程序去除零件中的松散粉末。

A.3 热处理

制造厂有责任选择适当的热处理工艺，以满足增材制造或增材修复产品的设计和应用要求。为避免变形，零件在热处理过程中应得到充分的支撑。

A.4 拆卸支撑结构

制造厂有责任在取出产品时拆卸支撑结构，需考虑下述因素：

（1）合适的平台温度；

（2）验证粉末去除情况；

（3）适用的工具；

（4）拆卸具体步骤。

一般为了减少残余应力，在零件拆卸前应进行消除应力热处理。 由于尺寸原因，大型零件在消除应力热处理之前拆卸支撑结构时，需经 CCS 验船师同意。

A.5 表面处理

增材制造和增材修复都需进行适当的后处理使增材制造所得的产品达到最终效果，一般为用来降低表面粗糙度、提高表面质量、尺寸精度和材料性能的各种工艺（例如喷丸、机加工、打磨、激光重熔、抛光和热处理等方法）。

附录 B　增材制造原材料、产品和修复工艺认可应提交的文件

B.1 范围

本附录规定了制造厂需要提交的增材制造产品和增材修复的认可文件。

B.2 增材制造原材料、产品和修复工艺认可应提交的文件

（1）原材料和保护气体：原材料的性能会极大的影响产品的特性，原材料的储存环境、重复利用和批次的不同会导致产品特性发生明显变化。因此，原材料制造厂应向 CCS 提交输入控制、存储、处理条件、真空度和其对粉末或丝材等原材料和保护气体监控的文件。

（2）增材制造设备：增材制造设备的文件，包括主要结构，相关限制，可控制的参数和相关的生产记录系统。描述增材制造设备维护计划的文件。

（3）增材制造设备操作员：增材制造设备操作员资格管理的文件。

（4）数据控制及数据库建立：增材制造的所有工艺步骤都由计算机辅助完成，因此，相关重要的工艺数据的记录和统计分析都是必要的，比如工艺温度、环境条件、工艺进度、速度和其他参数。工艺的可重复性和产品质量决定了监控的必要性和范围。制造厂应向 CCS 提交描述用于增材制造产品和相关管理的文件。还应提交用于生成 3D 模型的软件类型、增材制造设备的生产文件和设备参数的记录。

（5）工艺资质：授予制造厂的增材制造工艺资格的证明文件。

（6）质量控制：产品在增材制造全流程中进行的一般检查和测试的文件。

（7）后处理：后处理的文件。

附录 C　工业 CT 检测在增材制造中的应用流程图

C．1 本附录介绍了适用于增材制造的工业 CT 检测应用流程图。

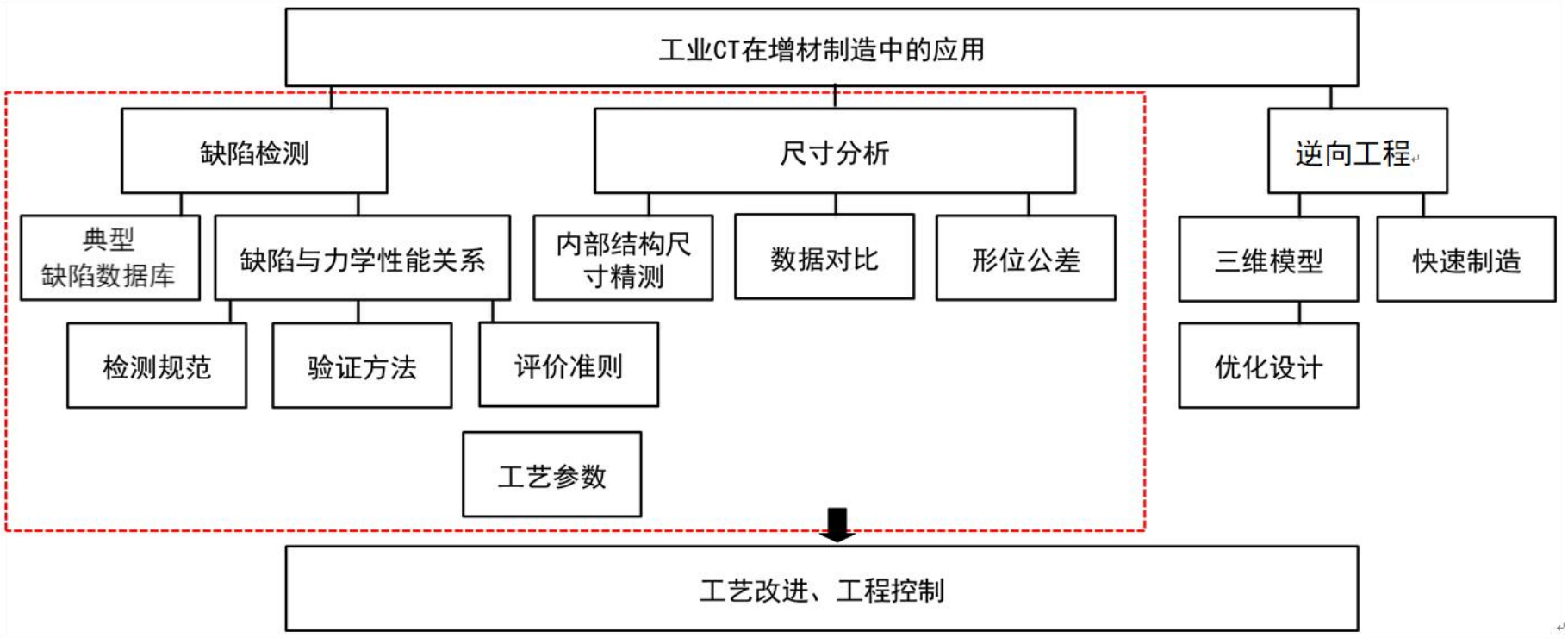


图 C.1 增材制造的工业 CT 检测应用流程图