



中国船级社

增材制造检验指南

2020

2020年10月

简要说明

CCS《增材制造检验指南》的制定依托 ISO 和 ASTM 关于增材制造的标准以及增材制造在船舶领域上的特殊要求，以金属材料为主进行相关研究并推出 CCS 相关检验指南/标准。从增材制造原理及工艺、增材制造设计原理、增材制造的认可以及增材制造产品的检验等四个方面首次提出了船舶增材产品以及增材修复在检验流程上的适用性，在 CCS 现有《钢质海船入级规范》、《材料与焊接规范》以及《产品检验指南》的基础上为船用增材设计、产品制造以及增材修复产业提供了检验及认可标准的补充。

为知高

目 录

第 1 章 通则.....	1
第 2 章 增材制造原理及工艺.....	3
第 3 章 增材制造设计原理.....	7
第 4 章 增材制造的认可.....	10
第 5 章 增材制造产品的检验.....	19
附录 A 增材制造认可提交文件.....	21

知网查重

第 1 章 通则

1.1 目的

1.1.1 增材制造是创新型新工艺制造或修复中发展迅速的新技术，为了保证产品制造或修理的整个过程所涉及的相关技术因素均得到适当控制，特制订本指南。

1.1.2 本指南为行业使用增材制造（3D打印）的产品提供检验指南。

1.1.3 任何通过增材制造设计，制造和检验的材料或产品都需要研究该部件的功能要求。其部件的验收要求以及增材制造的过程将由CCS特殊考虑。

1.1.4 任何通过增材制造设计，制造和检验的材料或产品凡未列入本指南者，其化学成分、力学性能和后期表面处理规程，经CCS同意，可按公认的其他标准验收。

1.2 适用范围

1.2.1 本指南适用于以粉末床熔融、电弧增材以及定向能量沉积为主的增材制造以及修复工艺，其他增材制造工艺和材料应经 CCS 特殊考虑。

1.2.2 增材制造及修复工艺的认可证书应包含需要向CCS提交的文件，见附录A。

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五种术语及定义：

(1) 增材制造：

以三维模型数据为基础，通过材料堆积的方式制造零件或实物的工艺；

(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) 电弧增材：

利用电弧聚热将丝材同步融化沉积的增材制造工艺；

(4) 定向能量沉积：

利用激光聚热将丝材同步融化沉积的增材制造工艺；

(5) 增材修复：

利用各类增材工艺对已成型产品进行沉积或熔融式修补的工艺；

1.3.2 本指南采用的其他术语定义可参考 GB/T 35351-2017、ASTM F2792-a 以及 ISO 17296-1 公认标准。

1.4 CCS 增材制造产品/修复发证流程

1.4.1 对于增材制造原材料以及产品发证流程参考图 1.4.1。

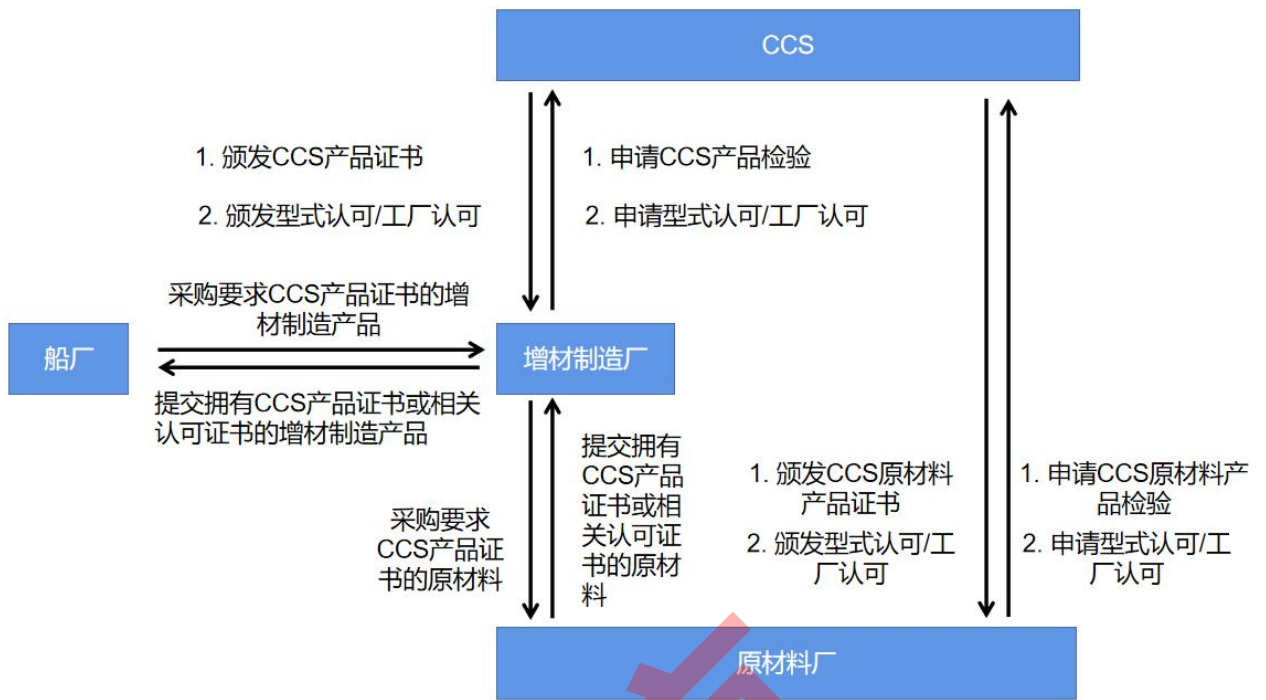


图 1. 4. 1 增材制造原材料以及产品发证流程

第 2 章 增材制造原理及工艺

2.1 一般规定

2.1.1 本章节对于适用于船用产品和修复的不同增材制造工艺进行了描述。

2.1.2 其他增材制造工艺要求及原理可参考公认标准 ISO 17296-2。

2.2 工艺特点

2.2.1 增材制造生产的产品可以用作原型和产品。产品在生产的最后阶段（环节）反映出设计者的预期要求。无论是原型还是最终产品，都应根据产品的类型、应用范围、以及成本和交付周期等因素选择不同的工艺和原材料类型。

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

2.2.4 增材制造工艺链的特点是基于产品三维（如 CAD 等格式）数据进行直接制造，不需要模具制造等中间过程。

2.2.5 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或实物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或实物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。

2.3 基本工艺分类

2.3.1 增材制造技术包含多种工艺类型，根据船舶产品适用的金属增材制造工艺，可以分为粉末床熔融、电弧增材、定向能量沉积以及增材修复。图 2.3.1 介绍了金属类增材制造产品在制造或修复中所涉及的状态、原材料、增材基理、熔融源以及工艺分类流程图。

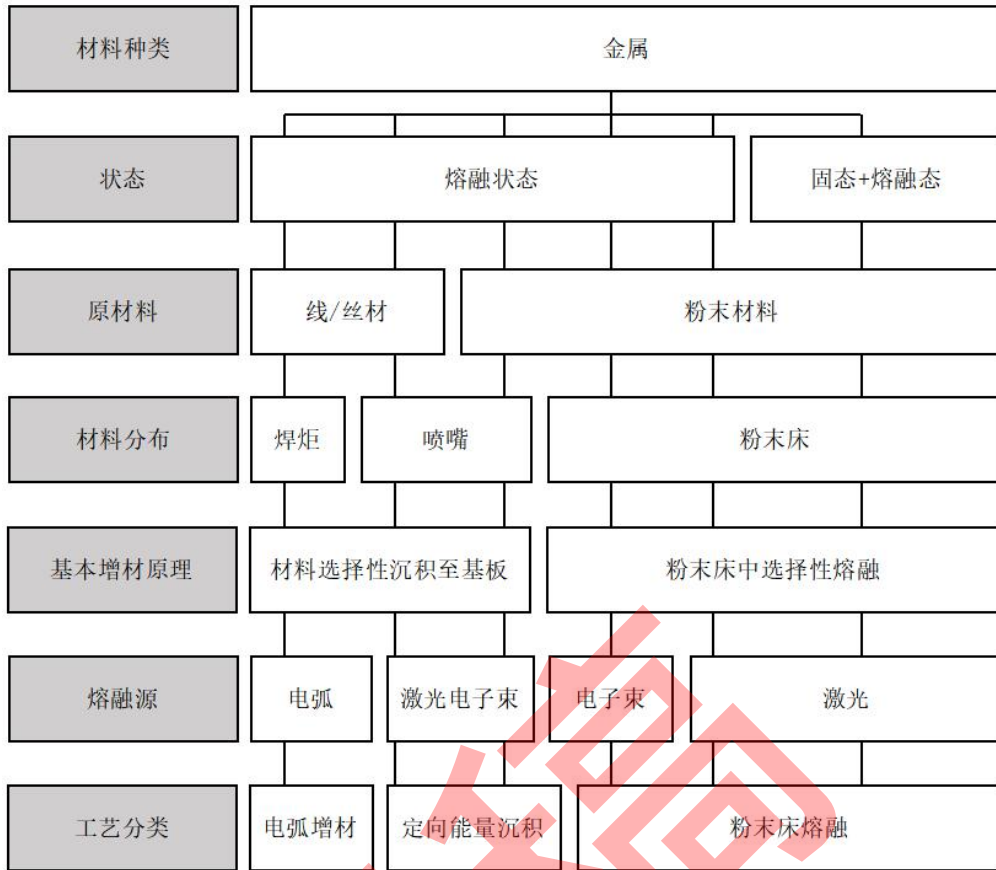


图 2.3.1 金属材料增材制造工艺流程图

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。

- (1) 原材料：各种不同粉末、热塑聚合物、纯金属或合金。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) 激活源：激光、电子束等热能；
- (4) 后处理：去除工件表面残留粉末和支撑材料，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。

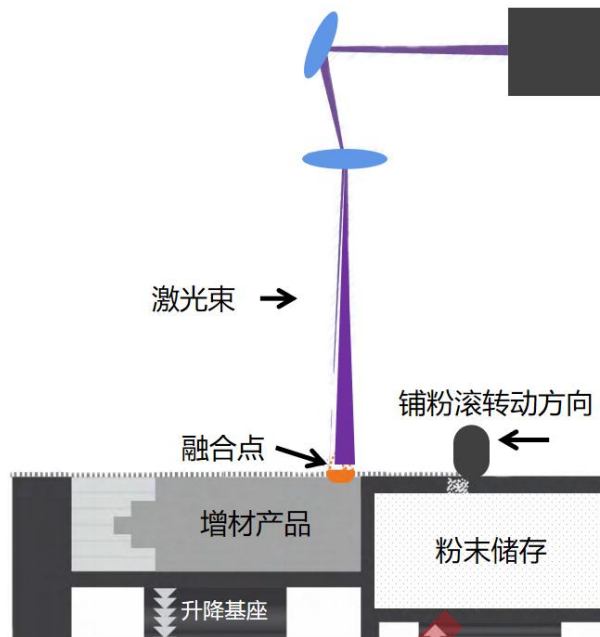


图 2.3.2 粉末床融合工艺示意图

2.3.3 电弧增材：利用电弧聚热将丝材同步融化沉积的增材制造工艺。

- (1) 原材料：焊接用丝材、一般为金属。根据工艺的不同，上述丝材在使用中可添加填充其他材料；
- (2) 结合机制：通过热反应固结；
- (3) 激活源：电弧、电弧激光复合；
- (4) 后处理：降低表面粗糙度工艺，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。

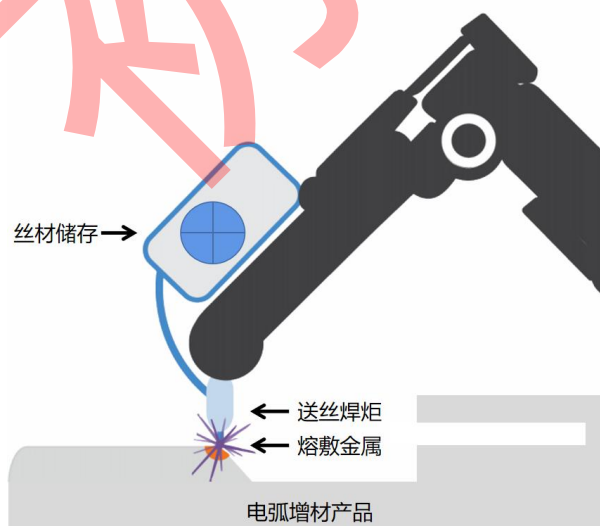


图 2.3.3 电弧增材工艺示意图

2.3.4 定向能量沉积（粉末增材）：利用激光聚热将丝材同步融化沉积的增材制造工艺。

- (1) 原材料：粉末、一般为金属。根据工艺的不同，粉末在使用中可添加填充陶瓷颗粒；
- (2) 结合机制：通过热反应固结；

(3) 激活源：激光、电子束或等离子束；

(4) 后处理：降低表面粗糙度工艺，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。

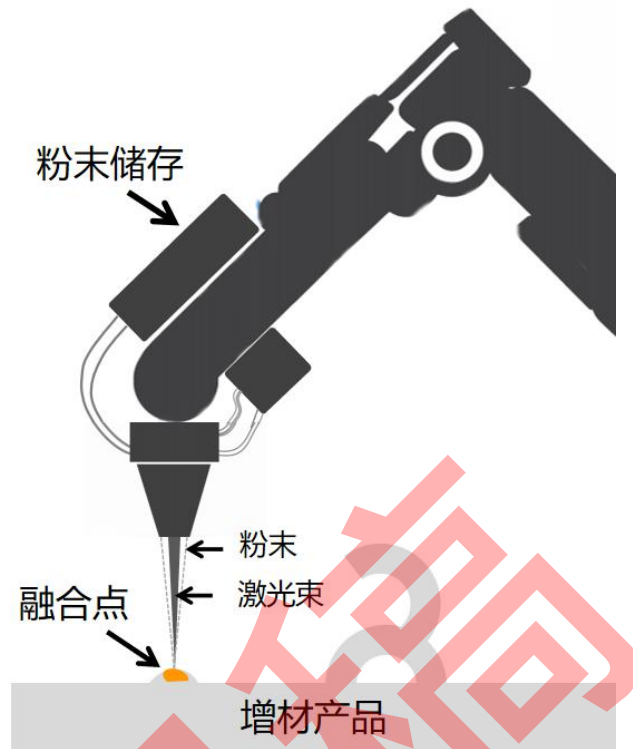


图 2.3.4 定向能量沉积工艺示意图

2.3.5 增材修复：是利用上述各类以及其他增材工艺对产品进行沉积式修补的过程。

(1) 原材料：粉末与丝材；

(2) 工艺包含了本节 2.3.2、2.3.3 以及 2.3.4 的内容；

(3) 修复后处理：修补后应将所产生的凹槽打磨平整，并应通过磁粉测试或渗透测试验证是否完全清除了有缺陷的材料。

2.3.6 其他常见的五类增材工艺有：立体光固化、粘黏剂喷射、材料喷射、材料挤出、复合材料制造，需经过 CCS 同意后参考相关公认标准执行。

2.3.7 增材制造以及修复都需进行适当的后期处理，一般指用降低表面粗糙度、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）使增材制造所得的产品达到最终效果的工艺。

2.3.8 考虑到增材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。为了提升材料密度、消除产品中孔隙与空洞，制造厂经过 CCS 的同意可按相关公认标准进行热压工艺。

2.3.9 同时增材制造/修复产品在移除夹装或支架过程中，CCS 需谨慎考虑这些操作给产品完整性带来的各方面影响。后期处理工艺在试样上也需同步进行。

第 3 章 增材制造设计原理

3.1 一般规定

3.1.1 本章介绍了增材制造产品设计原理，一般分为传统设计流程与创新设计流程。传统设计流程是经验设计与仿真校核相结合的方式进行设计；创新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方案，见图 3.1.1。

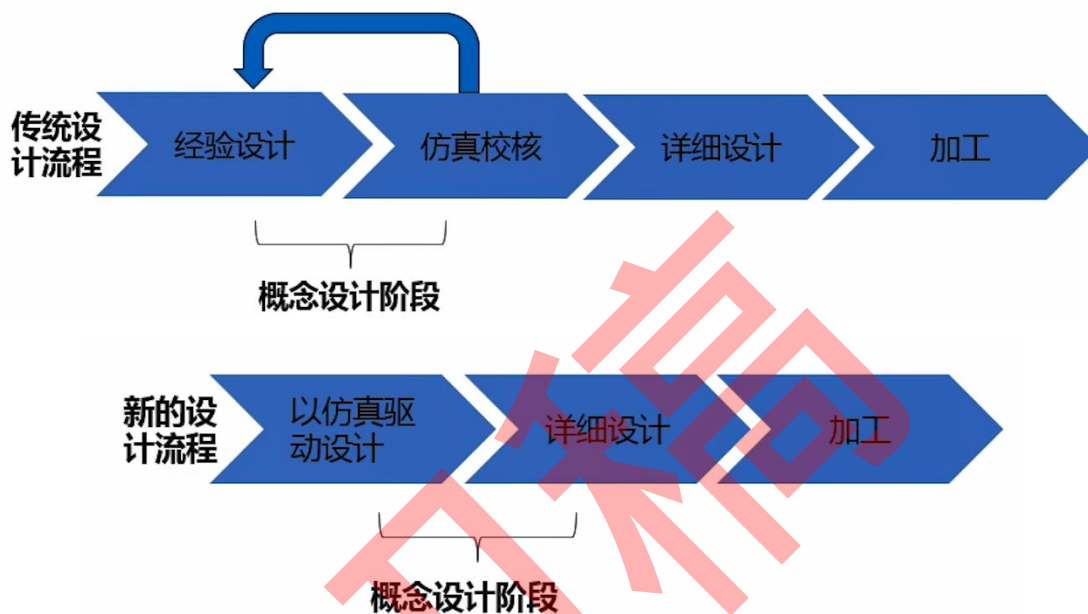


图 3.1.1 增材制造设计流程图示

3.1.2 在增材制造设计和订单阶段，产品的要求需进行详细规定并经 CCS 同意。增材制造设计方案需决定产品所选用的原材料、工艺方法、后期处理以及所需表现性能。

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，具体要求参见《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章第 9 节。

3.2 增材制造设计原理

3.2.1 体系认证服务：除规范有明确要求外，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。增材制造设计体系审核是客户在新产品新技术开发过程中自愿要求 CCS 提供的技术体系认证服务，CCS 可提供如下服务：

- (1) 提供定制服务方案；
- (2) 保证可接受的安全水平，减少后期不确定性；
- (3) 满足早期市场拓展的需求；
- (4) 通用技术方案的批准；
- (5) 替代设计方案的批准；
- (6) 避免系统性能不合格风险。

3.2.2 设计环节控制：增材制造产品设计应建立有效的设计要求控制制度，并保证以下环节得到控制。

- (1) 减少零件总数；
- (2) 功能设计/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（缺陷）的设计以及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，以确保在适当考虑产品的功能，施加的负载，服务环境和故障模式后，产品的设计是合适的，通常是：

- (1) 拉伸性能以及硬度；
- (2) 断裂特性（通常是夏比 V 冲击试验，CTOD 试验，无损探测）；
- (3) 疲劳特性（通常为 S/N 曲线，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）；
- (5) Z 向性能（如有）；

3.2.4 增材设计最终数据应在设计公司选择性的提交给 CCS，设计公司应向 CCS 描述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。无损探测方案应提交 CCS 审查。该计划应包括磁粉探伤或渗透检测，超声波检测以及射线检测，计划中应包括详细说明。

3.2.5 除本节内容外，增材制造产品设计可参照 ISO 17296-4 或 ISO/ASTM 52915-13 等公认标准。

3.3 增材修复设计原理

3.3.1 激光熔覆技术是指以不同的填料方式在被涂覆基体表面上放置选择的涂层材料，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，从而显著改善基体材料表面的耐磨、耐蚀、耐热、抗氧化及电器特性等的工艺方法。

3.3.2 增材修复相比传统修复工艺具有具有较低稀释率、热影响区小、与基面形成冶金结合、熔覆件扭曲变形比较小、过程易于实现自动化等优点。增材修复工艺方案设计流程见图 3.3.3 所示：

3.3.3 增材修复激光修复一般是在零件或产品磨损腐蚀的位置进行的工艺，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。

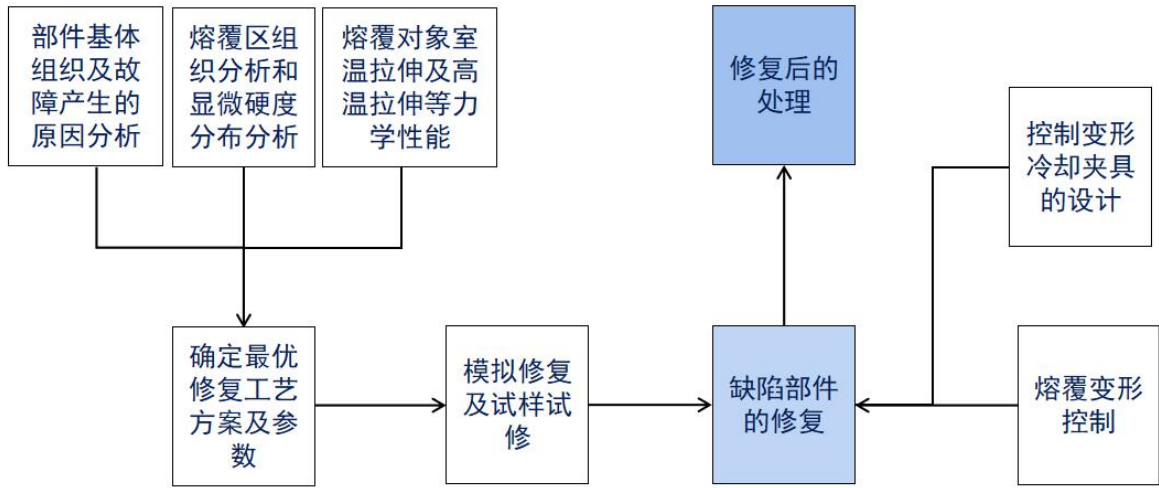


图 3.3.3 船舶增材修复设计流程

为知高

第 4 章 增材制造的认可

4.1 一般规定

4.1.1 生产增材制造所用的原材料应取得 CCS 的工厂认可；生产增材制造产品的产品厂应取得 CCS 的工厂认可或型式认可；增材修复工艺都需经过 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》、《钢质海船入级规范》以及《产品检验指南》的要求。

4.1.3 增材修复工艺认可与 CCS《材料与焊接规范》所涉及的焊接工艺认可方式相似。

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 本小节适用于按照 CCS 认可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及产品检验。

4.2.1.2 除本节规定外原材料的测试方法，其他原材料（如非金属、陶瓷等）可参考 ISO 17296-3 或其他公认标准，并经 CCS 同意。

4.2.1.3 本节规定了丝材或粉末（以下均称原材料）的测试方法。适用于增材制造工艺中用于一般强度和高强度钢、超高强度钢、奥氏体和双相不锈钢以及铝青铜的丝材与粉末的工厂认可。在 CCS 的同意下，可以考虑其他类型的原材料。

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和化学性质，将原材料按等级分类。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。其他非金属材料应经 CCS 特殊考虑。

4.2.2.2 如需要使用保护气体。应向 CCS 报告使用的保护气体的类型。保护气体的分类应符合公认标准 ISO 14175。

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 节内容将与原材料有关的具体信息提交给 CCS。

4.2.3.2 型式试验应在代表原材料的样品上进行。抽样程序应经过 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 认可的公认标准。

4.2.3.4 认可顺利完成，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以及证书有效期等信息。

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。制造厂应在每个出厂原材料上保证留下每次生产的标记。

4.2.3.6 获得 CCS 的认可后，制造商均应对原材料的质量和标准承担全部责任。制造厂应保留有关型式认可原材料制造的最新记录，包括单次生产历史和相关测试结果的详细报告方便 CCS 随时检查。

4.2.3.7 制造厂有责任在获得认可后，向 CCS 报告生产程序中引入的任何重大修改。当制造厂的考虑原材料等级的变化时，需要重新对该原材料进行认可试验。

4.2.4 工厂认可型式试验

4.2.4.1 增材制造工艺用原材料认可型式试验一般包含丝材或粉末的理化性能试验及试板工艺性能试验。

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、运输以及再利用时考虑安全和健康因素，按表 4.2.4.2 中的相应公认标准进行认可试验,经 CCS 同意也可等效参考其他公认标准。

粉末主要特性和公认标准测试方法

表 4. 2. 4. 2

项目	金属*	塑料*
粉末粒度及分布	ISO 4497	ISO 4610
	ISO 8130-1	ISO 13319
	ISO 13319	ISO 13320
	ISO 13320	
形状/形态	ISO 9276-6	ISO 9276-6
比表面积	ISO 9277	ISO 9277
密度	ISO 3923-1	ISO1068
	ISO 3923-2	
流动性	ISO 4490	ISO 6186
		ISO 4324
化学成分	ISO 7625	-

*该指南只列出了比较常见的金属与塑料材料，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

4.2.4.3 丝材材料的理化性能试验：

增材制造工艺用丝材应进行尺寸精度、外观表面质量及化学成分检查，其检查结果应符合公认标准。

4. 2. 5 增材制造工艺试板性能试验

4.2.5.1 增材制造工艺用粉末材料及丝材应按照增材制造厂推荐的工艺参数制造试板进行后续的性能试验。工艺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。其中按表 4.2.6.1 要求拉伸、冲击、弯曲性能试验应从 X,Y,Z 三个试验方向进行试验。

增材制造工艺试板试验项目及标准

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》
射线/超声波检测	ISO 5579
渗透测试/磁粉检测	ISO 3452-1, ISO 3452-2/ ISO 9934-1

化学成分	相关公认标准
------	--------

4.2.5.2 一般强度钢与高强度钢、奥氏体、双相不锈钢以及铝合金、青铜试板的力学性能应符合表 4.2.5.2 的要求：

力学性能要求 表 4.2.5.2

钢级	拉伸测试			冲击测试	
	屈服强度不小于 R_{eH} 或 $R_{p0.2}$ (N/mm ²)	屈服强度不小于 R_m (N/mm ²)	伸长率不小于 A (%)	测试温度 (°C)	平均冲击功不小于 (J)
A	305	400-560	22	+20	34
B、D				0	
E				-20	
AH32、AH36	375	490-660	22	+20	34
DH32、DH36				0	
EH32、EH36				-20	
FH32、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				-20	
EH690	690	770-940	17	-40	69
FH690				-60	
奥氏体不锈钢					
304L、316L、 317L、309L	270	500	25	-20	27
304LN、 316LN、 317LN、347	290	550	22	(当奥氏体不 锈钢用于深冷 条件时。在 -196℃条件下 进行冲击试验)	
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		

4.2.5.3 铝合金、青铜原材料的化学成分分析、金相检查以及力学性能应满足《材料与焊接规范》要求，经 CCS 同意可参考公认标准 ISO 24373。

4.2.5.4 认可试验结束后工厂应向 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、原材料预处理状态；
- (2) 原材料认可等级、牌号、型号、规格；
- (3) 增材工艺；
- (4) 增材设备型号、保护气体成分；
- (5) 各项试验的结果；
- (6) 试板制造现场记录表

4.2.6 认可保持

4.2.6.1 经过认可的增材制造原材料应每年进行一次年度检查和试验，以继续保持该原材料的认可。

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

- (1) 年度检查和试验不合格者；
- (2) 无特殊理由而未进行年度检查和试验者；
- (3) 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。

(4) 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；

- (5) 没有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；
- (6) 未向 CCS 交纳有关费用。

4.2.7 证书

4.2.7.1 增材制造原材料工厂认可中应至少包含以下内容：

- (1) 订货方的名称和合同号；
- (2) 材料级别、规格、用途；
- (3) 炉号或批次号；
- (4) 化学成分、理化性能试验结果；
- (5) 高、低金相检查结果（若进行时）；
- (6) 验收依据（规范、标准、技术协议等）；
- (7) 交货状态；
- (8) 原材料推荐储存环境条件以及适用打印机型号；
- (9) 危险及安全事项（粉末材料）；
- (10) CCS 验船师签署、盖章的位置。

4.3 增材制造产品的工厂认可与型式认可

4.3.1 适用范围

4.3.1.1 本小节适用于按照 CCS《材料与焊接规范》、《钢质海船入级规范》以及《产品检验指南》要求制造的增材制造产品的工厂认可和产品检验。

4.3.1.2 增材制造产品的工厂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。CCS 要求工厂认可的产品，见《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章附录。

4.3.1.3 制造厂应已获得认证机构颁发的基于 ISO9000 或等效标准的质量管理体系认证证书并保持有效。

4.3.1.4 增材制造产品的工厂认可与型式认可参照 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章的内容。

4.3.2 认可和认可项目

4.3.2.1 增材制造产品进行认可项目时除了满足相应产品在 CCS《材料与焊接规范》、《钢质海船入级规范》以及《产品检验指南》所要求的认可项目外，还应满足本指南第 5 章的试样制备要求、增材制造产品的特殊性能即表 4.3.2.1 中的内容。

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	
		金属	塑料
外观及几何特性	长度及角度尺寸公差	ISO 129-1	ISO 129-1
		ISO 286-1	ISO 286-1

		ISO 14405-1 ISO 1938-1C ISO 2768-1	ISO 14405-1 ISO 1938-1C ISO 2768-1
	外观及显微结构检测	-	-
机械特性	硬度	ISO 6506-1 ASTM E10	ISO 2039 ISO 868
	疲劳性能	ISO 1099 ASTM E606	ISO 13003 ISO 15850
无损检测	磁粉检测*	ISO 9934-1	-
	渗透测试	ISO 3452-1 ISO 3452-2	ISO 3452-1 ISO 3452-2
	涡流测试	ASTM E2884	-
*仅适用于铁磁性材料			
*经 CCS 同意也可等效参考其他公认标准			

注：该指南只列出了比较常见的金属与塑料材料，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

4.3.2.2 增材制造产品厂所能够生产的产品都应按不同类型分别进行认可。

4.3.2.3 在增材制造产品厂增材制造同一种类型的产品时，当本指南表 2.3.1 中原材料、材料分布以及增材工艺发生改变时应进行重新认可。

4.3.2.4 增材制造产品认可证书中应额外包含以下内容：

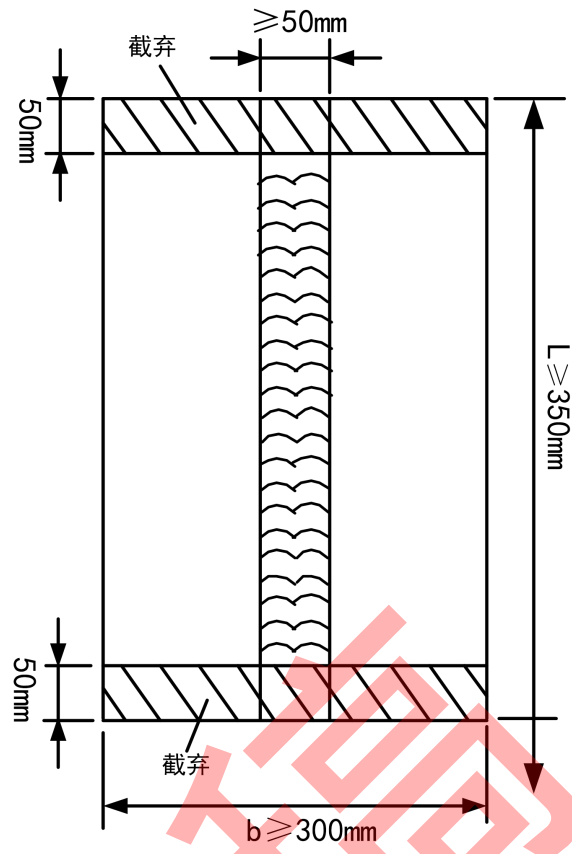
- (1) 试样制备方式：成型方向、成型位置（随产品打印或单独打印）等；
- (2) 原材料及保护气体选择；
- (3) 增材使用熔融源以及工艺分类；
- (4) 增材制作支架去除方案（如有）。

4.4 增材修复工艺认可

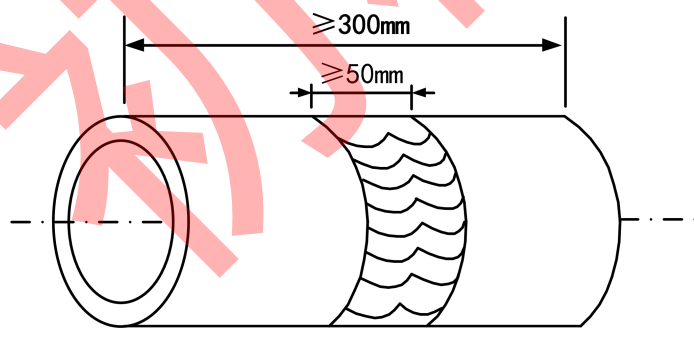
4.4.1 本小节适应于船用泵，阀门及钢套等的船用金属零部件再制造增材修复工艺模拟现场试验的认可。在进行增材修复再制造前，应根据本节内容进行试验以确定修复工艺。

4.4.2 常用修复工艺技术方法有：电弧增材修复技术，激光熔覆技术，等离子熔覆技术，热喷涂修复技术，电沉积修复技术等。

4.4.3 试件的装配形式应根据具体的修补形式确定。试件的尺寸及取样位置见图 4.4.3-(1)所示。坡口形式如图 4.4.3-(2)所示。具体的试板装配形式应由制造厂家拟定后提交 CCS 审核。

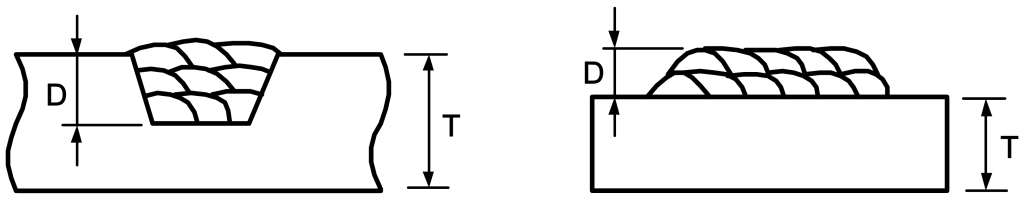


(a) 平版试样



(b) 圆形试样

图 4.4.3-(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 4.3.3-(2) 试件坡口形式

4.4.4 在条件允许的情况下应对被修复产品进行 100%表面和内部无损检测。验收标准参考 CCS《材料与焊接规范》以及相关公认标准、设计技术要求。

4.4.5 工艺认可试验项目应根据设计技术要求进行相关的试验。增材工艺理化试验方法见表 4.4.5-(1)。试验的项目可以选取但不限于表 4.4.5-(2)的试验项目。具体的试验的项目应由制造厂家拟定后提交 CCS 审核。

增材修复工艺理化试验方法 表 4. 4. 5-(1)

试验类型	取样与试验过程	试验结果要求
(a) 拉伸试验 (室温及高温)	参考 CCS《材料与焊接规范》或其他公认标准	最小抗拉强度不低于母材值, 或满足设计技术要求
(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, 或设计技术要求
(d) 硬度试验		修复层满足设计技术要求, 热影响区及母材符合公认标准
(e) 宏观试验		熔合良好, 无缺陷
(d) 腐蚀试验		满足设计技术要求
(f) 化学成分		满足设计技术要求
(g) 金相组织		满足设计技术要求

增材修复工艺认可试验项目 表 4. 4. 5-(2)

材质	试验项目
结构钢及结构用有色金属修复	(a) (b) (c) (d) (e)
耐腐蚀层修复	(d) (b) (f)
耐磨层修复	(d) (e) (f)
其他材料修复	依据设计技术要求

4.4.6 增材修复工艺认可试验适用范围见表 4.4.6。

增材修复工艺认可试验适用范围 表 4. 4. 6

参数	适用范围	
母材材质	材质	适用材质
	结构钢	参考 CCS《材料与焊接规范》
	不锈钢及有色金属	与认可试验相同

母材厚度	T<25mm	≥T
	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	仅适用于对增材工艺认可试验中使用的填充材料（包括材料化学成分，材料形状）	
修复工艺参数	与增材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%	
预热与层间温度（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	工艺试验使用的焊后热处理	

4.4.7 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，对于其他试验项目及复试不合格的应重新制定修复工艺并重新进行认可试验。

4.4.8 工艺试件的修复过程以及试样的试验，应在 CCS 现场验船师监督下完成。试验过程中的参数应记录在试验报告中，提交 CCS 认可。

4.4.9 制造厂应在增材修复工艺认可的基础上，编写完整的焊接工艺，包括但不限于以下内容。母材的材质，厚度；修复填充材料的型号，形式及规格；修复设备的型号及主要功能参数；坡口设计；主要修复工艺参数；预热及温度控制；热处理及消应力处理等。

4.4.10 制造厂在具与试验相同的技术和管理条件下的车间进行产品修复。若修复工艺规程参数有改动，则需要将工艺规程重新提交 CCS 认可。

第 5 章 增材制造产品的检验

5.1 一般规定

5.1.1 考虑到增材制造工艺与传统工艺的区别，本章介绍了除传统工艺通过增材制造工艺生产的产品的试样制取办法、主要特性、测试方法和测试报告等内容。

5.2 试样制取

5.2.1 对于粉末床融合工艺，试样一般可与产品分开打印，在认可时需在产品上打印试样。

5.2.2 对于电弧增材与定向沉积工艺，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、疲劳以及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除满足 CCS《材料与焊接规范》相关要求外，经 CCS 同意可参考相关公认标准。

5.3 增材产品附加特征

5.3.1 通过增材制造工艺制造的产品主要除了一般力学性能与理化性能外还应考虑如下特殊附加性能，需按表 4.3.2.1 与表 5.4.1 的要求进行认可试验或检验：

- (1) 表面特性：外观以及表面粗糙度；
- (2) 几何形状：尺寸、长度及角度公差等；
- (3) 机械特性：硬度以及疲劳性能等。

5.4 检验依据

5.4.1 增材制造的相关产品检验除了满足表 5.4.1 中的公认标准外还应满足 CCS《材料与焊接规范》、《钢质海船入级规范》以及《产品检验指南》中各类产品的要求。

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	
		金属	塑料
外观及几何特性	外观检测	-	-
机械特性	硬度	ISO 6507	ISO 2039 ISO 868
无损检测	磁粉检测*	ISO 9934-1	ISO 9934-1
	渗透测试	ISO 3452-1	ISO 3452-1

		ISO 3452-2	ISO 3452-2
*仅适用于铁磁性材料			
*经 CCS 同意也可等效参考其他公认标准			

注：该指南只列出了比较常见的金属与塑料材料，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 验收标准

5.5.1 增材制造制备的产品的验收标准应考虑原材料类型、增材制造工艺以及产品类型提交 CCS 评估。

5.6 测试报告

5.6.1 由于每个增材制造制备的产品特性具有独特性，因此测试报告中的样品、加工和后处理等描述信息均需记录并提交 CCS 验船师。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 应向制造商颁发证书，并附上有关细节。

5.6.2 通过增材制造工艺成型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) 试样在成型室内的方向和位置；
- (3) 试样的制备加工和调节过程及各项工艺参数；
- (4) 试样的测试方向；
- (5) 如测试试样经过后处理过程，应记录后处理过程信息。后处理包括但不限于去支撑、应力消除、产品组合、热处理和表面加工；
- (6) 所使用的标准；
- (7) 各项测试的结果及日期；

附录 A 增材制造认可提交文件

A.1 范围

本附录提供了制造厂需要提交的增材制造产品及增材修复 CCS 认可文件。

A.2 特定文件

(1) 原材料与保护气体

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 提交描述输入控制，存储、处理条件及其对粉末或焊丝原材料和保护气体监控的文件。

(2) 增材制造设备

制造厂应当向 CCS 提交描述增材制造机器的文件，包括送丝系统，相关限制，可控制的参数以及相关的生产记录系统。

制造厂应该向 CCS 提交描述增材制造机器维护计划的文件。

(3) 增材制造设备操作员

制造厂应当向 CCS 提交描述增材制造设备操作员资格管理过程的文件。

(4) 数据控制

增材制造的所有工艺步骤都有计算机辅助完成，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、速度以及其他参数。监控的必要性和范围由工艺的可重复性和需要的产品质量决定。制造厂应向 CCS 提交描述用于增材制造产品及相关管理的文件。同意还应提交用于生成 3D 模型的软件模型，增材制造设备的生产文件以及机器参数的记录。

(5) 工艺资质

制造厂应向 CCS 提交描述授予制造厂的增材制造工艺资格的文件。

(6) 质量控制

制造厂应向 CCS 提交产品在增材制造之前，之中和之后进行的一般检查和测试的文件。

(7) 后期处理

制造厂应向 CCS 提交后期处理（通常为热处理）的文件

(8) 检测机构

制造厂应选择 CCS 认可的第三方检测机构对增材制造产品进行检测。