海安会 MSC.1/Circ.1622/Rev.1 通函
(2024 年 7 月 1 日)

经修订的散装运输液化气体船和使用气体或其它低闪点燃油的船舶用于低温环境的可替代金属材料认可指南

1　海上安全委员会在其第 102 届会议（2020 年 11 月 4 日至 11 日）上，认识到对用于低温燃料及货物载运船舶的建造和安全营运的可替代金属材料的潜在需求和在此方面指导的需求，批准了散装运输液化气体船和使用气体或其它低闪点燃油的船舶用于低温环境的可替代金属材料认可指南（MSC.1/Circ.1622 通函），该指南由货物和集装箱分委会（CCC）在其第 6 次会议（2019 年 9 月 9 至 13 日）上编制。

2　海上安全委员会在其第 105 届会议（2022 年 4 月 20 日至 29 日）上，批准了对该指南的修正案（MSC.1/Circ.1648 通函），该修正案由货物和集装箱分委会（CCC）在其第 7 次会议（2021 年 9 月 6 至 10 日）上编制。

3　海上安全委员会在其第 108 届会议（2024 年 5 月 15 日至 24 日）上，在认证高锰奥氏体钢用于氨环境并修订氨环境的附加兼容性测试要求后，批准了经修订的散装运输液化气体船和使用气体或其它低闪点燃油的船舶用于低温环境的可替代金属材料认可指南，其文本载于附件，该指南由货物和集装箱分委会（CCC）在其第 9 次会议（2023 年 9 月 20 至 29 日）上编制。

4　经修订的指南纳入了 MSC.1/Circ.1648 通函中的修正，并提供了有关如何记录替代金属材料的适用性和符合 IGC 和 IGF 规则的详细指南，以及评估和批准用于低温环境的替代金属材料的框架。

5　提请各成员国使所有相关方注意到经修订的本附件指南。

6　本通函替代 MSC.1/Circ.1622 通函，并废除 MSC.1/Circ.1648 通函。

附件

经修订的散装运输液化气体船和使用气体或其它低闪点燃油的船舶用于低温环境的可替代金属材料认可指南

第一部分
总则

1 简介

1.1 散装运输液化气体船舶应符合经修正的 MSC.370(93)决议通过的 IGC 规则的要求。使用气体或其他低闪点燃料的船舶应遵守经修正的MSC.391(95)决议通过的IGF 规则的要求。

1.2 根据 IGC 和 IGF 规则建造的船上低温应用金属材料的要求分别包含在 IGC 规则的表 6.2、6.3 和 6.4 以及 IGF 规则的表 7.2、7.3 和 7.4 中。两个规则中的要求相同，并根据化学成分，机械性能和热处理规定了特定材料的最低设计温度。这些批准的材料自制定之日起便已纳入规则中，并提供了 40 多年的满意服务经验。

1.3 最近有关注将新的金属材料添加到本规则已涵盖的金属列表中。通过了《用于低温环境的高锰奥氏体钢应用临时指南》，并作为 MSC.1/Circ.1599 发布。在制定临时指南的过程中，获得了对该替代材料进行评估的丰富经验。MSC.1/Circ.1599 中包含的建议用作这些指南的基础。

2 应用

2.1 本指南适用于分别未在 IGC 规则表 6.2、6.3 和 6.4 和 IGF 规则表 7.2、7.3 和 7.4 中列出的金属材料。根据 IGC 规则第 1.3 节中包含的等效性规定或 IGF 规则第 2.3 节中包含的替代设计要求，此处规定的测试要求为替代金属材料的接受提供了指导。本指南仅适用于 IGC 规则第 19 章中所列产品的材料或经本组织批准的 MSC 通函，或 IGF 规则所涉及的燃料。

2.2 如果主管机关授权，本指南还适用于最低设计温度在 0℃至-165℃或更低之间的替代金属材料，如果该金属材料在批准过程中测试的最小和最大厚度范围内，最大厚度不超过 40 mm。厚度超过 40 mm 时，应经主管机关或代表其行事的认可组织批准。除了批准最低设计温度为-165℃外，还可以批准其他金属材料用于中间最低设计温度为-55℃、-60℃、-65℃、-90℃和-105℃。在较低温度下合格的替代金属材料适用于中等最低设计温度。

2.3 本指南仅适用于通过轧制、挤压、铸造或锻造形成或制造的替代金属材料。

2.4 根据本指南批准的替代金属材料可用于根据IGC规则第4章或或燃油舱的类似部分，IGF 规则第 6 章或 IGC 规则第 5.12 节中的管道系统，以及 IGF 规则的 7.4.1.2 节建造货物围护和管道系统。根据其设计温度及其与货物或燃料的相容性，应将其批准用于 IGC 或 IGF 规则中列出的特定货物或燃料。本指南未涉及构成船体结构部分的材料。

3 定义

3.1 替代金属材料：通过热轧，冷轧，挤压，铸造或锻造形成的在任何方向上成分均一的均质铁和非铁合金，其成分或热处理分别未在 IGC 规则的表 6.2、6.3 和 6.4 中以及 IGF 规则的表 7.2、7.3 和 7.4 中列出。

3.2 已有金属材料：分别列于 IGC 规则表 6.2、6.3 和 6.4 和 IGF 规则表 7.2、7.3 和 7.4 或 IMO MSC 通函中列出的金属材料。

3.3 等效的替代金属材料：具有等同或优于已分别获得批准的 IGC 规则表 6.2、6.3 和 6.4 和 IGF 规则表 7.2、7.3 和 7.4 所列化学和机械性能的替代金属材料，这些材料均经过指南认可。

3.4 其他替代金属材料：具有不符合 IGC 规则表 6.2、6.3 和 6.4 以及 IGF 规则表 7.2、7.3 和 7.4 所列机械性能的替代金属材料。

3.5 公认标准：主管机关可接受的适用国际或国家标准，或由公认组织制定和维护的标准。

3.6 主管机关：该船有权悬挂其国旗的国家的政府。

第二部分
材料规格和测试要求

4 材料规格

4.1 所有替代金属材料应具有公认的低温服务标准，以供本指南考虑。该标准应涵盖所批准材料的特定形式，包括板材，型材，铸件，锻件或管道，并应规定热处理和晶粒结构。该标准应符合 IGC 规则第 6.2 节的范围和一般要求。认可标准中未发现的微合金元素可考虑经主管机关批准。

4.2 替代金属材料，包括板，铸件和锻件，应使用公认标准指定的认可方法进行连接。在使用时，应规定符合公认标准并符合 IGC 规则 6.5 章和 IGF 规则 B-1 部分第 16.3 节中所规定程序的常规焊接程序，以进行替代金属材料的焊接。焊接程序应规定热输入以及焊前和焊后热处理。

4.3 应为所有替代金属材料规定焊接程序和无损检测（NDT）。这些程序应符合公认的标准，并符合 IGC 规则第 6.5 章和 IGF 规则 B-1 部分第 16.3 节中规定的测试要求。

5 测试

5.1 本指南附录中提供了测试要求，这些要求基于 IGC 规则第 6.3 节和 IGF 规则 B-1 部分第 16.2 节。

5.2 根据设计温度，应按照 IGC 规则第 6 章和 IGF 规则第 7 节中提供的适用表中的脚注进行夏比 V 型缺口测试。

5.3 经主管机关批准，可考虑提供等效安全水平的替代试验方法。除非有有效的技术依据，否则不应放弃测试要求，或者可以通过另一种测试方法确认材料性能。如果 IGC 规则第 4 章，IGF 规则第 6 节中的特定储罐类型不要求，或者对于类似的已有金属材料不要求，则可以放弃测试要求。

5.4 替代金属材料的测试应至少采用以下形式之一：板、铸件、锻件或管道。任何形式的测试均应符合 IGC 规则第 6.4 节和 IGF 规则第 7.4 节对采样和样本位置的要求。应在反映替代金属材料应用形式的表格上进行初始测试。批准仅限于提供测试结果的表格；但是，不必考虑所有形式来批准替代金属材料。如果要求免除焊后热处理的要求，应提供额外的焊后热处理的焊接样品，以供比较。

5.5 在不锈钢和其他奥氏体钢中可能会发生腐蚀敏化。在这种情况下，主管机关可能需要进行其他腐蚀测试，例如晶间腐蚀测试（例如 ASTM A262）和应力腐蚀开裂测试（例如 ASTM G36 或 ASTM G123）。

6 验收标准

6.1 本指南的附录中提供了测试验收标准，该标准基于 IGC 规则 6.3 节和 IGF 规则 B-1 部分第 16.2 节。

6.2 替代金属材料在特定设计中的应用应基于材料对设计载荷承载的充足性和材料特性对意向用途的合适性，这些原则应与 IGC 规则第 4.18 条和 IGF 规则第 6.4.12 节规定的设计条件一致。

6.3 对于具有令人满意的测试结果的每种形式的材料，应批准使用替代金属材料。

7 新颖设计和等效布置

根据 IGC 规则第 4.27 条和 IGF 规则第 6.4.16 条，可以在新颖的围护系统设计中使用其他金属材料。IGC 规则附录 5 中的第 2.1 节和 IGF 规则第 A-1 部分附件中的第 2.1 节要求使

用成熟的金属材料。设计中不应考虑使用其他替代金属材料。

第三部分
应用

8 认可程序

8.1 在适当形式的测试令人满意地完成并接受结果后，就本指南而言，替代金属材料被认为是可接受的等效替代金属材料。

8.2 认可应具体说明在批准使用的替代金属材料的固有属性中已经确定的任何限制，在使用中可能需要考虑这些限制。这些属性可能包括但不限于：

.1 焊缝的不匹配/过度匹配；

.2 焊前和焊后热处理；

.3 腐蚀；

.4 具体的无损检测要求或限制；和

.5 焊接烟雾的毒性。

8.3 IGC 规则的表 6.2、6.3 和 6.4 以及 IGF 规则的表 7.2、7.3 和 7.4 可以进行修改以包含新的替代金属材料，但须遵守以下规定：

.1 材料应符合本指南的要求；

.2 应证明所有拟定货物的材料相容性；

.3 应记录船上任何类型的液货舱的相关制造经验；

.4 材料应至少在船上具有 5 年的服务经验或等于一个特别检验周期；

.5 服务经验应在营运船舶上进行，并与材料的未来使用有关；和

.6 如果使用模拟，则可在完成第一次中间检验后将认可给予缩短的服务期限。该检验的范围应符合储罐的第一次特别检验（包括无损检测）的要求。

9 应用

主管机关应根据 IGC 和 IGF 规则中有关镍钢，碳锰钢，奥氏体钢或铝合金的安全系数来分配经批准的安全系数。

10 参考

MSC.1/Circ.1599/Rev.3《用于低温环境的高锰奥氏体钢应用临时指南》。

附录 1

材料测试要求和验收标准

1 基准材料测试

1.1 **材料规格**：化学成分和机械性能符合用于低温服务的替代金属材料的公认标准。

验收标准：符合公认的标准。

1.2 **显微检查**：应按照 IGC 规则第 6.3.4 节的规定，使用公认的标准（例如 ASTM E112）进行测试。

验收标准：微观结构包括晶粒尺寸。应报告没有沉淀，偏析和开裂。验收应使主管机关满意。

1.3 **拉伸试验**：应按照 IGC 规则 6.3.1 的规定进行试验。样品应在室温和低温下（其温度等于替代金属材料的最低设计温度）从不同成分的三种炉中获取。样本数量应足以提供统计上有效的结果。

验收标准：屈服强度，拉伸强度和伸长率应符合本附录 1.1 中所规定的化学成分公认标准。

1.4 **夏比冲击试验**：应按照 IGC 规则 6.3.2 节的规定进行试验。样品应从三种不同成分的热量中获取，无论是在室温还是与要求的测试温度相等的低温下进行的。由于缺乏经验，奥氏体钢的冲击试验不应忽略。测试温度应如下：

材料厚度（mm）	测试温度（℃）
t<25	低于设计温度 5℃（仅铁素体钢）
25<t≤30	低于设计温度 10℃
30<t≤35	低于设计温度 15℃
35<t≤40	低于设计温度 20℃

验收标准：除非材料规范要求更高的值。

材料	试件	最小平均能量（KV）
铁合金板	横向	27J
铁合金型材和锻件	纵向	41J
有色合金		无要求，由主管机关认可

1.5 **对应变时效试样的夏比冲击试验：**应按照公认的标准（例如 ASTM E23）进行试验。根据 IACS UR W11，应变时效包括在 250℃下 5%变形 1 小时。样品应在室温和等于最低测试温度的低温条件下，从三种不同成分的热量中取样。由于缺乏经验，奥氏体钢的冲击试验不应忽略。测试温度应如下：

材料厚度（mm）	测试温度（℃）
t<25	低于设计温度 5℃（仅铁素体钢）
25<t≤30	低于设计温度 10℃
30<t≤35	低于设计温度 15℃
35<t≤40	低于设计温度 20℃

验收标准：除非材料规范要求更高的值。

材料	试件	最小平均能量（KV）
铁合金板	横向	27J
铁合金型材和锻件	纵向	41J
有色合金		无要求，由主管机关认可

1.6 **落锤试验：**仅适用于包括铁素体-奥氏体（双相）级的铁素体钢。该测试的目的是确定零延性转变温度（NDTT）。样品应在室温和等于最低测试温度的低温条件下，从三种不同成分的热量中取样。该测试应根据公认的标准进行，例如铁素体钢的 ASTM E208。

验收标准：在低于设计温度 10℃的温度下无断裂。

1.7 **疲劳试验：**记录足够疲劳性能（S-N 曲线）的依据应符合 IGC 规则 4.18.2.4.2 的规定。疲劳测试的程度基于与公认的金属材料 S-N 曲线的比较（例如 IIW 或 DNVGL-RP-C203 或 BS 7608）。

疲劳测试应基于每个应力水平下至少五个测试样本。对于“单斜率 S-N 曲线”，应测试至少三个应力水平。附加应力水平将针对“两个斜率 S-N 曲线”进行测试。作为指导，应选择应力水平以达到 10^5 至 10^8 个循环。

验收标准：疲劳测试结果应至少等于或优于参考 S-N 曲线。

1.8 **CTOD（裂纹尖端开口位移）测试：**测试应根据公认的标准进行，例如 ASTM E1820、BS 7448 或 ISO 12135。

验收标准：CTOD 最小值应符合设计规范，以便在室温和低温下进行的测试等于材料的最低设计温度。在室温和低温下至少应进行三个成功的测试。作为指导，通常要求最小 CTOD 值为 0.2 毫米。

1.9 **腐蚀测试：**腐蚀测试的类型取决于材料、焊缝类型和 IGC 或 IGF 规则所列出的特定货物或燃料。测试应包括一般腐蚀，晶间腐蚀和应力腐蚀，且应按照 ASTM A262、ASTM G31、ASTM G36、ASTM G58、ASTM G123 或其他相关公认标准进行测试。若没有针对特定货物或燃料的相关公认标准，则测试程序应符合此处所列公认标准的腐蚀测试的一般原则。

验收标准：经主管机关批准的有关材料预期用途的公认标准。如没有针对特定货物或燃料的相关公认标准，结果应与其他公认标准一致，且预计腐蚀速率和测试结果应使主管机关满意。

1.10 **氨兼容性腐蚀测试：**应按附录 2 规定的测试要求进行附加测试，以符合氨使用条件。

验收标准：应符合附录 2 规定的验收标准。

2 焊接条件测试（包括热影响区）

2.1 **显微检查：**应按照 IGC 规则第 6.3.4 节的规定，使用公认的标准（例如 ASTM E112）进行测试。

验收标准：应报告微观结构，包括晶粒尺寸，无沉淀，偏析和开裂。验收应使主管机关满意。

2.2 **硬度测试：**应根据公认的标准（例如 ISO 6507-1），按照 IGC 规则的 6.3.4 节和 6.5.3.4.5 段进行测试。

验收标准：硬度值应使主管机关满意。

2.3 **交叉焊缝拉伸试验：**该试验应按照 IGC 规则 6.5.3.4.1 的规定进行。可以使用公认的标准，例如 ASTM E8 / E8M。

验收标准：符合 IGC 规则 6.5.3.5.1 段。根据 IGC 规则 4.18.1.3.1.2 的规定，在预期的应用中应考虑不匹配焊缝的存在。

2.4 **夏比冲击试验：**该试验应按照 IGC 规则的 6.3.2 节和 6.5.3.4.4 进行。

验收标准：符合 IGC 规则 6.5.3.5.3 的规定。

2.5 **CTOD（裂纹尖端开口位移）测试：**应根据公认的标准（例如 ASTM E1820 或 ISO 15653）进行测试。测试中引入的缺口应位于断裂韧性最低的微观结构中。

验收标准：CTOD 最小值应符合设计规范，以便在室温和低温下进行的测试等于材料的最低设计温度。在室温和低温下至少应进行三个成功的测试。作为指导，通常要求最小 CTOD 值为 0.2 mm。

2.6 **延性断裂韧性测试（J_{Ic}）**：应根据公认的标准（例如 ASTM E1820、ASTM E2818、ISO 15653 或 ISO 12135）进行测试。测试中引入的缺口应定位在断裂韧性最低的微观结构中。主管部门可酌情以 2.5 的 CTOD 试验替代延性断裂韧性试验。

验收标准：符合公认标准。在室温和低温下至少应进行三个成功的测试。

2.7 **弯曲测试**：应按照 IGC 规则第 6.3.3 节的规定进行测试。

验收标准：按照 IGC 规则第 6.5.3.4.3 条和第 6.5.3.5.2 条的规定，在焊接材料弯曲 180° 后，不应有任何断裂。

2.8 **疲劳测试**：记录足够疲劳性能（S-N 曲线）的依据应符合 IGC 规则 4.18.2.4.2 的规定。疲劳测试的程度基于与公认的金属材料（例如 IIW 或 DNVGL-RP-C203）的 S-N 曲线的比较。疲劳测试应基于每个应力水平下至少五个测试样本。对于“单斜率 S-N 曲线”，应测试至少三个应力水平。要测试“两个斜率 S-N 曲线”的其他应力水平。作为指导，应选择应力水平以达到 10^5 至 10^8 个循环。

验收标准：疲劳测试结果应至少等于或优于参考 SN 曲线。

2.9 **腐蚀测试**：腐蚀测试的类型取决于材料、焊缝类型和 IGC 或 IGF 规则所列出的特定货物或燃料。测试应包括一般腐蚀，晶间腐蚀和应力腐蚀，且应按照 ASTM A262、ASTM G31、ASTM G36、ASTM G58、ASTM G123 或其他相关公认标准进行测试。若没有针对特定货物或燃料的相关公认标准，则测试程序应符合此处所列公认标准的腐蚀测试的一般原则。

验收标准：经主管机关批准的有关材料预期用途的公认标准。如没有针对特定货物或燃料的相关公认标准，结果应与其他公认标准一致，且预计腐蚀速率和测试结果应使主管机关满意。

2.10 **氨兼容性腐蚀测试**：应按附录 2 规定的测试要求进行附加测试，以符合氨使用条件。

验收标准：应符合附录 2 规定的验收标准。

附录2
氨应用的附加兼容性测试要求

氨应用的附加兼容性应按照公认标准如ASTM B858进行测试。该标准适用于铜合金，并未明确也适用于高锰奥氏体钢。因此，应进行以下附加的非标准测试：

1　应按 ISO 7539-2 和 ISO 16540 标准制备试样。应在恒定应变下采用四点弯曲试验，在测试前应弯曲试样。试样的总最大应变应等于材料在大气温度下的屈服强度。应使用应变仪来测量施加的应变。对于焊接试样，应在焊接接头的每一侧应用应变仪。在测试过程中应约束试样以保持其形状。详情见试样制备。

2　应将36个试样（在每个氨环境中三个焊接试样和三个母材）分别浸入以下四种氨环境中30天：

.1　液相氨环境，在稍低于氨沸腾温度的温度（如-33.5℃）和大气压下，通过冷却氨获得，具备以下液氨成分：

.1　0.1%重量的水和2.5 ppm的氧；和

.2　2.5 ppm的氧。

.2　环境温度（+25℃）和大气压下的气相氨环境，具备以下气氨成分：

.1　纯氨（≥99.99%）；和

.2　0.9%体积的氧和99.1%体积的氨；

.3　-20℃和大气压下的气相氨环境，具备以下气氨成分：

.1　纯氨（≥99.99%）；和

.2　0.9%体积的氧和99.1%体积的氨。

应按ISO 7539和ISO 16540标准的要求进行应力腐蚀裂纹测试。

3　测试报告应按ISO 16540标准提供所有程序、设置数据、检查、环境信息，包括：

.1　试样的方向、类型和尺寸；

.2　材料描述：

.1　母材的化学成分和拉伸性能；

.2　焊接材料的化学成分和拉伸性能；

.3　焊接类型、焊接金属的硬度和热影响区；

.4　四点弯曲试验设置数据；

.5　目标应力和施加挠度；

.6　应变测量程序；

.7　加载程序；和

.8　测试环境（温度、含水量和含氧量、和pH）。

测试验收标准

浸泡后，应在适当放大的光学显微镜下检查所有试样的应力腐蚀裂纹。应说明裂纹的位置和数量，并在必要时进行荧光渗透测试以确认结果。对于焊接接头，裂纹的位置应记录为位于母材、焊缝或热影响区。若没有观察到表面裂纹，应在两个不同位置进行纵向切割，并

进行适当放大的横截面检查。并应记录任何存在的点蚀腐蚀及其最大深度。结果应由主管机关批准。

加载夹具

图1中显示了外滚轮间距为85 mm的耐腐蚀合金制成的加载夹具，用于对试样施加恒定的挠度。为了避免不必要的电化学腐蚀，试样与陶瓷滚轮电气隔离。

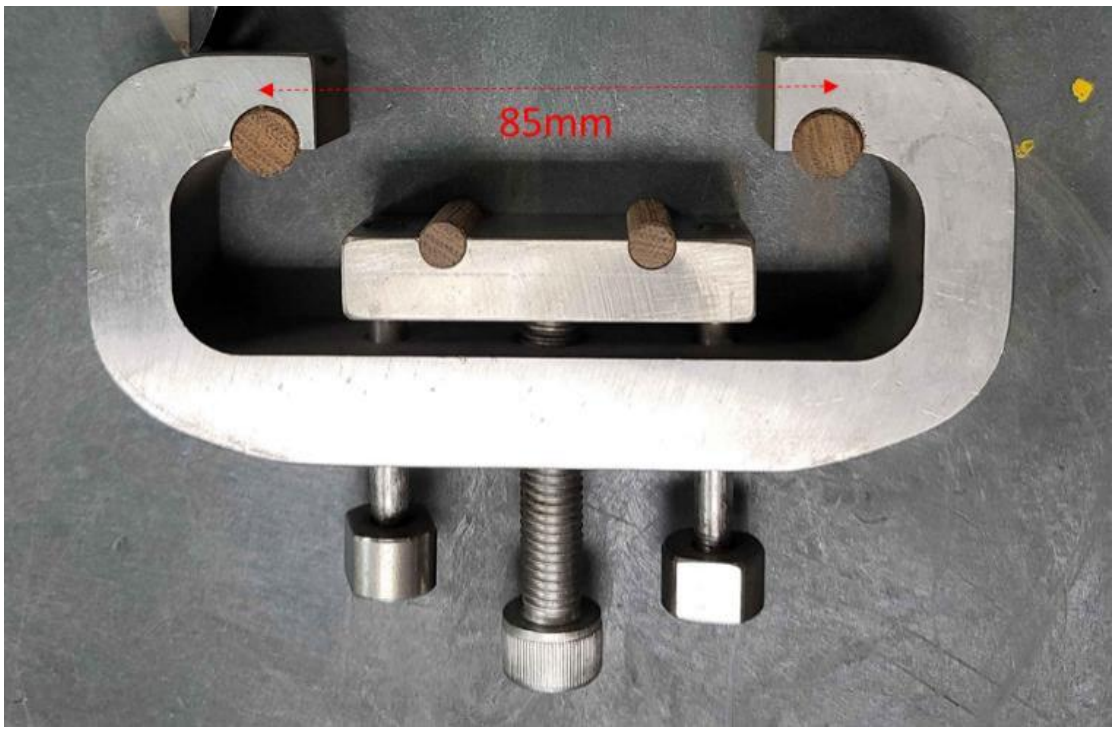


图1：四点弯曲加载夹具设计

试样制备

这些试样由40 mm厚的热轧板加工而成，且未进行焊后热处理。承受弯曲的试样的外半径为热轧板的原始表面。它们在测试前进行弯曲，而在液罐中会暴露于氨的表面未进行加工。

四点弯曲试样为均匀矩形截面和均匀厚度的扁条，但在焊接状态下测试单面焊接试样的情况除外，如图2所示。要观察的是40 mm热轧板的原始表面（焊接试样时为表面焊道）。对于焊接件，要测试的表面焊道是焊帽。

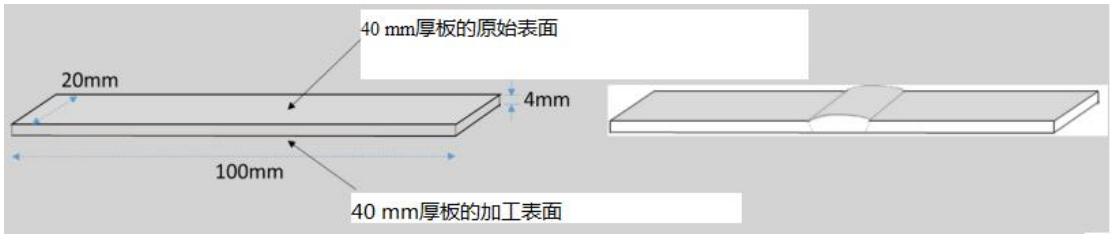


图2：四点弯曲试样（母材试样和焊接试样）

应变测量

安装刻度仪，用于测量表面中心在张力下的挠度。试样的载荷是其达到所需的屈服强度水平，然后约束试样以在测试期间保持其形状。根据ISO 16540的规定，挠度y按如下公式计算：

$$Y = \frac{(3H^2 - 4A^2)\sigma}{12Et}$$

式中，σ 为所需应力（此处为屈服强度），E为弹性模量，t为试样厚度，A为内外支间距，H为外支间距。在四点弯曲之前，将进行40 mm厚板的单轴拉伸试验，以确定计算挠度所需施加的屈服强度。为简化焊接试样试验，应设置与母板相同的挠度。