

NACE（腐蚀工程师协会）标准

油田设备用抗硫化物应力腐蚀断裂和应力腐蚀裂纹的金属材料

NACE MR0175-2003

中核苏阀科技实业股份有限公司



目 录

- 1 总 则
 - 2 术语和定义
 - 3 碳钢、低合金钢、铸铁
 - 4 抗腐蚀合金 (CRAs) ——第 3 章中碳钢、低合金钢与铸铁除外的其他所有合金
 - 5 制造
 - 6 螺栓连接
 - 7 镀层和涂膜
 - 8 特殊零部件
 - 9 井口设备, 采油树, 阀门, 扼流器, 液面控制器
 - 10 井下套管、井下管材和井下设备
 - 11 矿井, 流体管线, 收集管线, 设备和现场加工设备
 - 12 钻探和矿井维护设备
 - 13 对第 3 章的补充材料: 碳钢、低合金钢和铸铁
 - 14 新增材料到 MR0175 第 4 章抗腐蚀合金 (CRAs) ——所有在第 3 章中除碳钢、低合金钢和铸铁以外的其他合金
 - 15 MR0175 中第 5 章至第 11 章的建议改动和增加: 制造, 焊接和具体设备
 - 16 不建议添加新材料至 MR0175 的具体应用案例的材料
- 附录 A — 计算 H_2S 局部压力的例子
- 附录 B — 测试数据表格的范例
- 附录 C — 用于表决所提交的数据
- 附录 D — 可接受的材料
- 图 1 : MR0175 路线图
- 图 A-1: 酸性气体系统 (见 1.4)
- 图 A-2: 酸性多相系统 (见 1.4)

第 1 章 总 则

1.1 范围

本标准涉及了在石油生产、钻探、采集、输送设备上以及用于含 H_2S 的烃类气体的油田加工设施上抗硫化物应力腐蚀断裂 (SSC) 或者应力腐蚀裂纹 (SCC) 的金属材料的要求。本标准适用于在表 1 中所列的材料标准化组织所规定的材料和/或设备。本标准并不包括也不旨在包括有关设计的规范。对于其它形式的腐蚀和其它类型的断裂破坏, 虽然并不属于本标准的范围, 但在设备的设计和作业时也应加以考虑。严重的腐蚀条件会导致非 SSC 或者 SCC 原因的构件的破坏, 因而要通过材料的选择和缓蚀措施来加以控制, 但这不属于本标准的范围。例如, 用于管线和容器的某些低强度钢会引起起泡 (blister) 腐蚀破坏或者由于硫化氢的作用而产生氢腐蚀 (逐级裂纹)。

表 1

材料标准机构

- | 材料标准机构 |
|---------------------|
| 1. 美国航空航天材料规范 (AMS) |
| 美国汽车工程师协会 (SAE) |
| 2. 美国钢铁学会 (AISI) |
| 3. 美国国家标准学会 (ANSI) |
| 4. 美国石油学会 (API) |
| 5. 美国机械工程师学会 (ASME) |
| 6. 美国材料与试验学会 (ASTM) |
| 7. 美国焊接学会 (AWS) |
| 8. 英国标准学会 (BSI) |
| 9. 加拿大标准协会 (CSA) |
| 10. 德国标准化协会 (DIN) |

1.2 采购

确定工作条件, 并规定本标准是否适用则是用户的责任。本标准包括的各种材料可以用于任何给定的零件。制造商的责任是确保所指定材料的冶金学要求, 用户的责任是确保所指定材料满足工况的要求。用户可以根据操作条件 (包括压力、温度、腐蚀性、流体的特性等) 来选择具体的材料。例如在选择螺栓紧固件时, 应考虑到法兰额定压力值的影响。下述内容可由用户加以规定: 1) 由制造厂使用本

标准中所列材料; 2) 由制造厂建议采用本标准中的材料并由用户批准

1.3 适用性

本标准适用于暴露于含硫酸性环境中的设备的所有零件。本标准适用的含硫环境还应是可能由 SSC 或者 SCC 引起的破坏而: 1) 导致设备在承压下不能正常作业, 2) 不能保证承压系统的完整性, 3) 导致设备的基本功能无法维持。常压下或低压下的构件的材料选择, 如水处理装置, 抽油杆和液下泵等均在其它 NACE 和 API 文献中有详细规定, 而不属于本标准范围。

1.4 MR0175 应用

SSC 受以下因素影响:

- 1) 受化学成分、热处理和微观结构等影响的冶金状态和强度;
- 2) 水相中的氢离子浓度 (活性) (pH 值);
- 3) H_2S 分压, 即 H_2S 浓度与总体绝对压力之比;
- 4) 总的拉伸应力 (应附加残余应力);
- 5) 温度;
- 6) 暴露于酸性环境的时间;
- 7) 蓄电效应;
- 8) 氯化物或者其他卤化物离子的浓度;
- 9) 氧化剂;
- 10) 非二次产生的流体 (包括那些用于酸性激励和封隔器的流体)。

SCC 受以下因素影响:

- 1) 受材料的化学成分、热处理、冷加工和微观结构影响的冶金状态和强度;
- 2) 水相中的氢离子浓度 (活性) (pH 值);
- 3) H_2S 分压, 即 H_2S 浓度与总体绝对压力之比;
- 4) 总的拉伸应力 (应附加残余应力);
- 5) 温度;
- 6) 暴露于酸性环境的时间;
- 7) 蓄电效应;
- 8) 氯化物或者其他卤化物离子的浓度;
- 9) 氧化剂;
- 10) 非二次产生的流体 (包括那些用于酸性激励和封隔器的流体)。

用户须判定环境条件是否属于本标准的范围。请参看附录 A 的计算。

1.4.1 MR0175 应当用于含水液体和 H_2S 含量超过 1.4.1.1 中所定范围的环境。值得注意的是, 敏感性材料即使在不太恶劣的环境下也可能失效。

1.4.1.1 所有气体、气态冷凝物、含硫酸性原油(1.4.2 所注释除外)当潮湿气体(水为液体)、气态冷凝物或原油介质的气相中 H_2S 绝对分压等于或超过 0.0003MPa (0.05psia)。

1.4.2 当下列条件满足时不必应用 MR0175 标准(应由用户决定):

1.4.2.1 低压气体

当总压低于 0.4MPa (65psia)

1.4.2.2 低压气油多相介质

当总压低于 1.83MPa(265psia), 最大气油比 142SCM: bbl (5000SCF: bbl), H_2S 含量小于 15mol%(摩尔百分比), H_2S 分压低于 0.07MPa(10psia)。

1.4.2.3 盐水井和盐水处理设备, 已在 NACE 标准 RP0475 说明;

1.4.2.4 精炼厂和化工厂。

1.4.2.5 承受压缩载荷的零件

1.5 SSC 和 SCC 的控制

1.5.1 SSC 或者 SCC 可以由下述一种或几种措施一起加以控制:

- 1) 采用本标准中所述的材料或工艺;
- 2) 控制环境;
- 3) 将零件与酸性环境相隔离。
- 4) 使用适当的阳极或阴极极化作用。

对 SSC 或者 SCC 敏感的金属, 在钻探和工艺过程中, 通过对钻探或加工流体的特性的控制, 也已有许多成功应用的例子。

1.6 MR0175 包含的材料

1.6.1 根据金属材料在实际应用、SSC 或者 SCC 实验室试验或同时在两种情况中表现出的抗 SSC 或者 SCC 能力, 已作为可接受的材料包括在本标准中。在 NACE 标准 MR0175 第一版中的许多合金材料已被证明可成功使用在酸性工况, 尽管这些材料可能在按 NACE TM0177 标准进行的 SSC 或者 SCC 实验室试验中失效。

1.6.2 本标准中包括的材料可在所有工况条件下抗 SSC 或者 SCC 但并不意味能免除该种腐蚀。不适当的设计, 制造, 安装设施, 选择材料, 加工处理都能导致耐腐蚀

材料变的敏感。

1.7 硬度要求

1.7.1 由于硬度试验是非破坏性的, 被制造商作为质量控制方法, 并被用户作为现场检查方法。精确的硬度试验要求严格按照相关的 ASTM 标准规定。

1.7.2 对于使用的材料或零件应经充分的硬度试验以确定其实际的硬度值。如果个别的硬度读数超过了本标准允许的值也是可以接受的, 只要所取读数的平均值不超过本标准的允许值, 并且每一读数都不超过所允许值的 2 个 HRC 值。测试区的数目和位置不属本标准的范围。

1.7.3 本标准采用 HRC 硬度值。按 ASTM E18⁵ 测量的洛氏硬度值应该被优先接受。可采用布氏硬度 (HBW)。维氏硬度 (HV) 5 千克或 10 千克, 的测试方法。当应用时, 把从其他测试方法获得的硬度值转换成 HRC 值, 应与 ASTM E 140 一致。得到用户认可的经验转换数据可以被接受。ASTM E 384 定义的用于微观硬度值测试的可接受标准, 是在本标准范围之外的。

1.8 怎样运用 MR0175 (路线图)

1.8.1 见图 1, 用户须决定用于酸性环境的材料, 是否适合采用 MR0175 标准。MR0175 的第 1 章是使用向导。MR0175 中用到的一些名词的解释可参看第 2 章。

1.8.2 如果用户选择 MR0175 来作为酸性环境中材料选择, 那么过程包括确定要使用的材料是否在标准范围之内, 材料的冶金学要求, 和材料的环境限制。

1.8.3 下列的步骤是用来选择可用的材料和他们在 MR0175 中的要求:

1.8.3.1 碳钢, 低合金钢, 和铸铁首先要熟悉第 3 节。这个章节包含了那些合金的广泛使用的最一般要求。

1.8.3.1.1 如果关于这些合金的问题在第 3 节中没有给予充分的解答, 或者一些关于这些合金的问题不在第 3 章的范围之内, 重新查看第 6、8、9、10、11 和 12 章中关于特殊型号设备的要求。

1.8.3.1.2 制造中的特殊要求, 包括焊接, 查看第 5 节。

1.8.3.1.3 这些合金的电镀和涂层要求参见第 7 章。

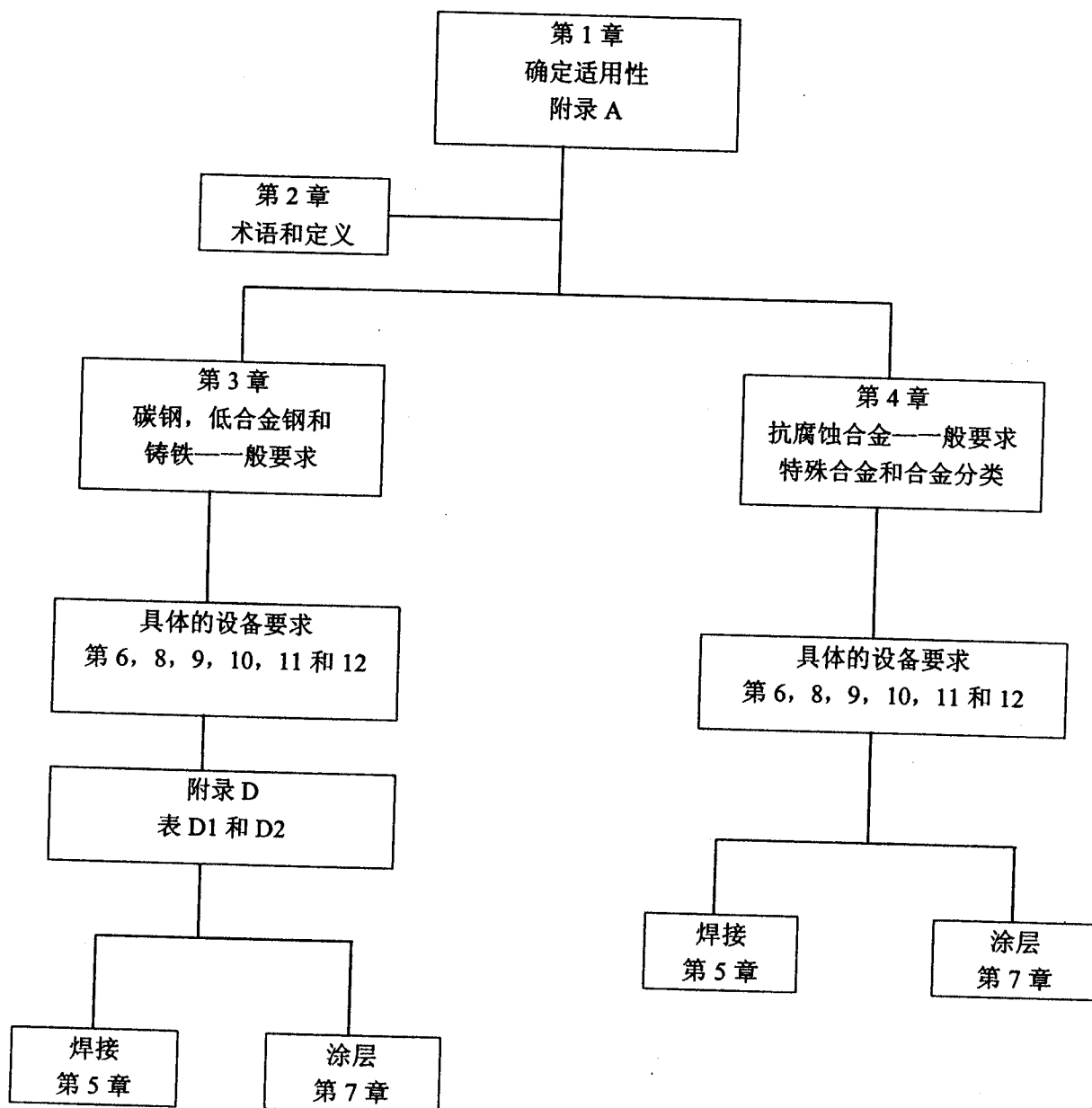


图 1 MR0175 路线图

1.8.3.2 耐蚀合金 (CRAs) 的选择的步骤也基本相同, 除了要先参看第 4 节中的一般要求。第 4 节中包含了具体合金和合金分组 (分类); 这些在 1.8.3.3 中有所论述。

1.8.3.2.1 见附录 C 中预先设定的数据, 本附录给出被 MR0175 预先接受的数据信息。

1.8.3.3 具体合金 Vs. 合金分组

第 4 章列举了耐蚀合金的具体合金或者合金分组。合金 (CRA) 分组容许对相似合金的广泛描述。在第 4 章中的一个合金分组根据广泛包含的除了实际的化学组成, 制造过程和完成状态对一组合金进行定义。一种合金的全部化学组成都应该符合所给的耐蚀合金分组的所有要求, 从而可以包含在这个组中。

1.8.3.3.1 所有可用的环境限制都用来规定这个组中的所有合金。这些环境限制可以包括 H₂S 的最大容许分压, PH 值的最小容许值, 液体中的氯化物的最大容许含量, 温度, 和是否容许硫元素的存在。当环境限制条件在表格中列出时, H₂S 的分压, 温度等等之间容许插值。

1.8.3.3.2 一些组可能包括合金的特殊要求。

这些都是冶金要求的化学和硬度的典型限制。

1.8.3.3.3 耐蚀具体合金和合金分组的应用举例:

耐蚀具体合金举例: UNS J93254 (CK3MCuN) 在 4.3.2 中列出。关于这种合金的所有要求都设置在 4.3.2 下。

耐蚀合金分组举例: 铁素体不锈钢作为分组合金在 4.7.1 中列出。任何铁素体不锈钢都可以在本节中的环境限制条件下使用。具体合金不是必须被列出的。

特殊合金要求的耐蚀分组合金举例: 马氏体不锈钢作为有特殊合金要求的分组合金在 4.8 节。所有马氏体不锈钢的环境限制条件是相同的, 但是对组中的每一合金还规定了冶金学要求。

1.8.4 如果遇到的问题中的材料不在 MR0175 的范围内, 那么可能用到下面的各项:

1.8.4.1 看第 13, 14 和 15 节中对 MR0175 中各部分的增加和修改的建议。看附录 B

关于样本测试数据表格和从 I 到 VII 级的有效测试的定义。

1.8.4.2 不准备在 MR0175 中增加新的材料的情况下, 选择有特殊应用的材料的指导见第 16 章。

1.8.5 本标准中包含了四个附录:

1.8.5.1 附录 A 提供了 H₂S 分压的计算样例。

1.8.5.2 附录 B 提供了样例的测试数据表格。

1.8.5.3 附录 C 以表格的形式提供了随机提供的数据。

1.8.5.4 附录 D 提供了满足各种要求所对应的材料的列表。

1.9 MR0175 中的材料是按照独立的合金或者合金类别来分的。表决计划将遵照规定的方法。如果表决计划增加一个独立的合金或者修改一个合金的使用条件, 表决必须仅仅是独立的合金。反过来说, 如果表决计划是增加或者修改一个合金的要求, 则表决必须选择合金的类别。

1.10 MR0175 的更改要求对现有生产设备的影响

当新的限制加到本规范的材料上或者标准中的材料被删除时候, 从那时候起材料在使用时候就要优先参考修订后的标准, 且材料在应用中并不产生 SSC 和 SCC 失效, 且其仍是符合本标准的。

然而, 当这些材料不在他们的现场环境时, 如符合本规范, 替代材料必须在这个规范之内。

1.10.1 成功使用 MR0175 规定以外的材料可通过第 16 章的认证将其增加为 MR0175 的允许材料。

1.10.2 如果新的设备的设计基准没有变化使用者可能在现有的矿井种类或者在一个给定的新矿井领域选用替代材料。使用者将核对场地的环境条件是否符合新的替代材料所需规定, 替换材料也是一样的要求。

第 2 章 术语和定义

时效硬化:通过时效进行硬化(强化), 通常在快速冷却或冷加工后进行。

时效:冶金特性的转变, 一般在室温下缓慢

发生（自然时效）也可以在高温下快速发生（人工时效）。

退火：将金属加热至适当的温度，在该温度下保温适当的时间，然后以适当的速度冷却，其目的是降低硬度，改善切削性，或者获得期望的特性。

奥氏体：铁基或非铁基合金面心立方晶格。

奥氏体钢：室温下微观组织的主要组成是奥氏体的钢。

奥氏体化：通过对铁基金属加热到一定的转变温度的范围（部分奥氏体化）或加热到高于该转变温度范围（完全奥氏体化）。

防喷器：能保持压力的机械装置，用于钻井作业过程中的油井液体或钻井液体的控制。

钎焊：以低熔点的非铁基填充金属的薄层（毛细作用的厚度）流入金属间隙实现的金属间的连接。

布氏硬度：用 10mm 直径的淬硬钢（或碳化物）球测得的硬度值，通常加载 3,000kg 力，按 ASTM E10⁸ 规定。

抛光：在材料与其它一些硬质材料间以摩擦接触的方式磨光表面，例如淬硬的钢球。

碳钢：包含有不超过 2% 的碳以及不超过 1.65% 的锰和其它残留元素的铁碳合金，那些特意添加的特定量的还原剂（通常是硅和/或铝）不计在内。用于石油工业的碳钢含碳量通常低于 0.8%。

表面硬化：硬化铁基合金以使其外部或表面比内部或中心硬。典型的工艺方法是渗碳，氰化，碳氮共渗，渗氮，感应淬火，和火焰淬火。

铸造件（铸件）：熔化的金属在模子里凝固后形成最终外形或接近最终外形的一块金属。

铸铁：包含有大约为 2%~4% 含碳量的铁碳合金。铸铁可分为下述类别：

- (1) **灰口铸铁**—由于片状石墨存在而呈现灰色断口的铸铁。
- (2) **白口铸铁**—由于渗碳体的存在而呈现白色断口的铸铁。
- (3) **可锻铸铁**—对白口铸铁进行热处理使得大部分或全部渗碳体转变为石墨（回火碳）。
- (4) **球墨铸铁**—铸铁熔化时加以元素（通

常是镁或铈）使石墨球化；或

(5) **奥氏体铸铁**—在铸铁中加入足够量的镍以产生奥氏体微观组织。

烧结碳化物：碳化钨合金加入以钴或镍为主的粘结剂，压制成型并烧结成整块的碳化物合金。

冷变形：见冷加工

冷成形：见冷加工

冷轧：见冷加工

冷加工：在一定温度和形变速率下使金属塑性变形通常会产生形变硬化，但不是必然发生，在室温下。

CRA 合金：合金的分类，允许对相似的合金在较大的范围内描述，在第 4 章中对 CRA 类合金定义为按照较大范围而不是按必须的化学成分，制造工艺和精加工条件分类的一组合金。

设计要素：压力等级和设计系数/安全系数应与应用的工业规范和/或制造商的标准相一致。

二次回火：对正火钢或淬硬钢要求进行两个完全的回火周期（每一周期后冷却至某一合适的温度）的一种热处理，第二个回火周期在某一温度或低于第一回火温度的温度下进行。目的是调节可能在第一个回火周期中形成的马氏体。

双相不锈钢：一种不锈钢，其微观组织在室温下主要由奥氏体和铁素体混合组成。

弹性极限：材料能保持永久变形的最大应力值。

铁素体：铁基合金的体心立方晶格。

铁素体钢：在室温条件下微观组成主要是铁素体的钢。

铁素体金属：主要组元是铁的金属。

易切削钢：在钢中特意添加诸如硫、硒或铅以改善其切削性能的钢。

硬度：金属抵抗塑性变形的能力，通常通过压痕来判断。

热处理：对固态金属或合金进行加热并冷却以获得期望的性能。当加热作为热加工的唯一目的时不认为是热处理。

热影响区：基体金属在钎焊、切割或焊接过程中虽未熔化但微观组织和性能已发生变化的部分。

热等静压成型: (1) 压制坯块的工艺方法, 将粉末放进一个密封的有变形能力的金属薄板内或用玻璃围住, 然后在足够高的温度下使粉末在全方位受到相等的压力, 允许塑性变形和烧结的发生; (2) 使零件 (铸件, 粉末锻件等) 升至高温同时受到均衡压力作用的工艺方法。使用最多的加压气体是氩气。

热轧: 通过拉压模或轧辊对金属热加工以获得期望的形状。热轧并不包括热锻。

热加工: 金属在一定温度和形变速率下发生塑性变形, 伴随变形同时发生再结晶, 这样避免了机械加工硬化。

低合金钢: 钢中合金元素的总含量不超过 5%, 但应大于碳钢的规定含量。

下转变温度: 铁基金属在加热过程中奥氏体开始形成或冷却过程中奥氏体转变结束的温度。

制造商: 与部分或全部的零件制造或装配有关的公司或个人。例如, 某个公司曾进行过锻粗管的加工被认为是一个制造商。

马氏体: 碳溶于铁中的过饱和固溶体, 其微观组织特征是针叶状 (针状)。

马氏体钢: 钢中马氏体微观组织可通过淬火来获得, 淬火应以某一足够快的冷却速度进行避免形成其它微观组织。

微观组织: 通过对预制的试样进行显微检查显示的金属组织。

渗氮: 将氮渗入到金属材料 (多数为普通的铁基合金) 表面的一种表面硬化工艺方法。典型工艺包括液体渗氮, 气体渗氮和离子或等离子渗氮, 但不限于此。

非铁基金属: 金属的主要组成不是铁的元素。

正火: 加热铁基合金至转变温度 (奥氏体化) 以上适当温度, 保温适当的时间, 并在静止的空气中冷却至某一转变温度以下。

分压力: 理想状态下, 对于混合气体, 其中的每一组分处在与混合气体所占容积相同和温度相同的条件下产生压力。各组分的分压力等于总的绝对压力乘以它们在混合气体所占百分数。对于理想气体, 这个百分数等于该组分的容积百分数。

塑性变形: 由超过弹性极限的应力导致的永

久变形。

焊后热处理: 对焊接件进行加热和冷却以获得期望的性能。

沉淀硬化: 由于从过饱和固溶体中析出相导致的硬化。

PREN: 用于对添加的合金元素进行熔炼分析的一个计算值, 按公式 (1)。本标准中使用的 PREN 意指有类似成分的一组合金并不是指在酸性介质中有相似的耐蚀性。

$$\text{PREN} = \text{Cr}\% + 3.3 (\text{Mo}\% + 0.5\text{W}\%) + 16\text{N}\%$$

(1)

承压件: 预定功能失效会导致内部流体释放到大气中的零件。例如阀体, 阀盖和阀杆。

淬火并回火: 淬火后紧接着回火。

再结晶温度: 经过冷加工的金属在规定时间内产生新的自由变形的组织的最低温度

残余应力: 没有外力和温度梯度作用下存在的应力。

洛氏 C 硬度: 用锥形金刚石压头并加以 150kg 载荷获得的硬度值, 与 ASTM E18 相一致。

喷丸: 在控制条件下以选则的介质 (通常是钢丸) 冲击材料的表面产生压应力。

抽泥泵: 泵通常用来使钻取的流体经过钻杆流到钻井口的环状通路并且为了去除污泥和保持一定流体压力送至地上。

固溶体: 包含有两种或多种元素的单一晶体结构的相。

固溶处理 (固溶退火): 将金属加热到适当的温度并保温足够长的时间以使得一种或多种成分溶解为固溶体, 然后快速冷却以保持溶解成分的状态。

酸性环境: 一般来说, 环境中包含有水和 H_2S 就被认为是酸性环境。MR0175 中所用到的酸性环境在此定义。

不锈钢: 钢中含有 10.5% 或者更多的铬。为了获得特定的性能可添加其它元素。

气体的标准立方米: 气体在一个大气压 (0.10133Mpaabs [14.696 psia]) 下和温度是 16°C (60°F) 时占有的立方米量。

应力腐蚀裂纹: 材料在腐蚀和拉伸应力 (残余应力或施加应力) 的共同作用下导致的裂纹。对于 MR0175, 金属裂纹涉及到拉伸应力 (残余应力或施加应力) 和存在氯化物的阳极腐蚀和含有 H_2S , 氧化剂的水, 以

及温度的升高。

应力裂纹:对 MR0175 而言, 应力裂纹是一个倾向于包括应力腐蚀裂纹和硫化物应力裂纹的一般性术语。

应力消除(热的):将金属加热到适当的温度, 在该温度下保温足够长的时间以降低残余应力, 然后缓慢冷却使得新的残余应力在最小值。

硫化物应力裂纹:在拉伸应力和存在有水和 H₂S (氢致裂纹的一种形式) 的腐蚀的共同作用下产生的金属裂纹。对 MR0175 而言, 在有水和 H₂S 条件下的拉伸应力引起的阴极腐蚀加速了脆性断裂。

回火:对硬化加工过的钢或铸铁再加热至低于下转变温度的某个温度以降低硬度和提高韧性。这种方法有时也用于正火钢。

抗拉强度:在拉伸试验中, 最大载荷与初始横截面积之比 (见 ASTM A370⁹)。也称为“强度极限”。

拉伸应力:零件所受的所有应力—轴向或纵向应力, 周向或“环向”应力, 以及残余应力的合力是纯的拉应力。

转变范围:对钢而言指的是加热过程中奥氏体开始形成和冷却过程中奥氏体开始转变的一个温度范围。这两个温度范围有时会出现部分重叠, 但不可能是一致的。

管状零件:有一个或多个纵向孔的圆柱形零件。

用户:对安装和操作于油田的设备负有操作责任的人。

焊接:将两种或多种金属通过加热和/或加压, 使用或不使用填充金属, 使得基体金属局部熔化并在界面上凝固联结为一体。

焊件:零件进行过焊接操作的部分。焊件包括焊缝金属, 热影响区和基体金属。

焊缝金属:焊接过程中焊件被熔化的部分。

锻件:将固态金属加工 (轧制, 挤压, 锻打等) 成期望的形状, 通常要升至一定温度。

屈服强度:材料的应力应变比值出现减小时的应力。这个值可以通过变形量来描述, 可以用永久变形法 (通常是 0.2% 的变形量) 或载荷作用下的总伸长量法 (通常是 0.5% 的变形量)。(见 ASTM A370.)

3.1 总则

3.1.1 碳钢, 低合金钢和铸铁如果暴露于酸性环境下时候要符合这章的条件。焊接和制造参看 MR0175 第五章增加的条件。设备说明需要参看第 6 到 12 章。

3.1.2 热处理、冷作或两者兼施对这些金属的 SSC (硫化物应力腐蚀断裂) 敏感性影响极大。下面各段落叙述了那些已经证实具有良好抗 SSC 性能的特定材料的热处理。

3.2 碳钢和低合金钢

3.2.1 所有容许使用的碳钢和低合金钢要求硬度 ≤ 22 HRC, 且满足 1) 镍含量小于 1%; 2) 满足 3.2.2, 3.2.3 及第五章要求; 3) 在下列的任一热处理状态下使用:

- a) 热轧 (仅对碳钢而言);
- b) 退火;
- c) 正火;
- d) 正火和回火;
- e) 正火、奥氏体化、淬火和回火;
- f) 奥氏体化、淬火和回火。

3.2.1.1 按 ASTM A105/A105M¹⁰ 制造的锻件在最大硬度不超过 187HBW 时允许使用。

3.2.2 在轧制、冷锻或其它制造过程中形成的外层纤维形变超过 5% 时, 对该金属必须进行热应力消除。除最小应力释放温度为 595°C (1100°F) 外, 须按 ASME BPV-VIII-1 要求进行。零件除应后的最高硬度不得超过 HRC22。

3.2.2.1 该要求不适用于附录 D 中表 D2 所列的管材牌号以及按适用的规范进行的压力试验而产生的冷作。仅在 API 规范允许下, 冷回转校直管才可使用。ASTM A53/A53M B 级、ASTM A106 B 级、API 5L X-42 级或具有相似化学成分的低强度钢号的冷作的干线用管附件, 在冷变形不超过 15% 且在形变区的硬度不超过 190HBW 的前提下允许使用。

3.2.3 易切削钢

3.2.3.1 不允许采用易切削钢。

3.3 铸铁

3.3.1 灰铸铁、奥氏体铸铁及白口铸铁是不允许制作承压部件的。在征得买方同意的

前提下, 这些材料可以用作 API 及其相应标准有关的内部非承压零件。

3.3.2 当 API、ANSI 和/或其它工业标准认可的情况下, 符合 ASTM 395/A 395M¹⁵ 规定的铁素体球墨铸铁可应用于设备上。

第 4 章 抗腐蚀合金 (CRAs) —第 3 章中碳钢、低合金钢与铸铁除外的其他所有合金

4.1 概要

4.1.1 抗腐蚀合金必须满足本章的要求。焊接和制造中的附加要求见第 5 章。设备具体要求见第 6 章及第 8 章至第 12 章。这些设备具体要求可以允许用于本章抗腐蚀合金以外的其他合金。同样, 这些设备具体要求也适用于在特殊环境下工作的高强度等级合金。设备的使用者有责任告知设备的供应者工作环境的条件情况, 特别是当设备将在酸性条件下使用的时候。

4.1.2 抗腐蚀合金在这里是以单独的一种合金和根据化学成分、制造过程以及完成条件来分类的合金的形式出现的。这些抗腐蚀合金的分类可以考虑到 H₂S 的局部压力、PH 值、氯化物、温度、硫元素的存在等环境约束。见 1.8 的详细论述。

4.1.3 MR0175 为这些合金提供了材料要求和 SSC/SCC 合格的环境, 不论作为合金分类或是单独的合金。MR0175 并不是想把规定中所有合格的抗腐蚀合金都进行列表, 而是把它们单独分类。标准设定了 SSC 和/或 SCC 在酸性环境下的最小值。可接受的特殊环境并不考虑氧气对于 SCC 和 SSC 的影响, 而许多合格环境的保持可能要求是否有氧气的存在。一般腐蚀、点状腐蚀, 以及其他类型的腐蚀, 或者机械的裂纹不属于本标准的范围。

4.1.3.1 在 H₂S 的局部压力、温度以及数据要点之间进行插值计算来建立每种合金抗腐蚀的分类是允许的。

4.2 奥氏体不锈钢 (特殊要求的合金分类)
不含任何马氏体的奥氏体不锈钢, 化学成分见 4.2.1, 在固溶退火和淬火或退火和稳定化处理后的最大硬度不超过 22HRC, 且不进行冷加工的条件下, 允许用于 4.2.2 定义的环境。易切削奥氏体不锈钢产品 (包括铅、硒、硫等可改善机加工性能的合金

元素) 是不合格的。奥氏体不锈钢产品满足下列成分范围和力学要求时允许用于酸性环境。

4.2.1 奥氏体不锈钢至少包含这些元素在下列的范围之内: 碳最大 0.08%, 铬最小 16%, 镍最小 8%, 磷最大 0.045%, 硫最大 0.04%, 锰最大 2.0%和硅最大 2.0%。其他合金元素不作要求。

4.2.1.1 UNS S30900 和 S31000 中的高含碳量可以达到它们各自规定的限制范围。

4.2.2 H₂S 的最大局部压力在最高温度为 60 °C (140°F), 氯化物不作限制, 且不含硫元素时, 可以达到 100kPa 绝对压力 (15psi)。如果氯化物的含量小于 50 毫克/升, 那么 H₂S 的局部压力小于 350kPa 绝对压力 (50psi)。

4.3 奥氏体不锈钢——单独的合金

4.3.1 UNS S20910 (单独的合金)

奥氏体不锈钢 UNS S20910 在没有硫元素存在, 66°C (150°F) 温度下, H₂S 的局部压力为 100kPa 绝对压力 (15psi) 的环境中, 退火或热辊压榨 (热/冷加工) 状态, 并在最大硬度为 35HRC 的条件下是合格的。

4.4 镍%+2 钼%≥30 并且钼最小为 2%的高合金奥氏体不锈钢 (合金分类)

在这个类别中的高合金奥氏体不锈钢都是镍%+2 钼%≥30 并且钼最小为 2%。所有高合金奥氏体不锈钢都是应用于固溶退火条件下, 易切削高合金奥氏体不锈钢是不合格的。这些合金的限制如下:

4.4.1 最高温度为 60°C (140°F), 氯化物不作限制, 且不含硫元素时的 H₂S 的局部压力为 100kPa 绝对压力 (15psi)。如果氯化物的含量小于 50 毫克/升, 那么 H₂S 的局部压力小于 350kPa 绝对压力 (50psi)。

4.5 PREN≥40 的高合金奥氏体不锈钢 (合金分类)

在这个类别中的高合金奥氏体不锈钢都是 PREN≥40 的。所有高合金奥氏体不锈钢都是应用于固溶退火条件下, 易切削高合金奥氏体不锈钢是不合格的。这些合金的环境限制如下:

4.5.1 最高温度为 121°C (250°F), H₂S 的最大局部压力为 700kPa 绝对压力 (100psi), 氯化物最大含量 5,000 毫克/升, 并且没有

游离的硫元素。

4.5.2 最高温度为 149℃ (300°F), H₂S 的最大局部压力为 310kPa 绝对压力 (45psi), 氯化物最大含量 5,000 毫克/升, 并且没有游离的硫元素。

4.5.3 最高温度为 171℃ (340°F), H₂S 的最大局部压力为 100kPa 绝对压力 (15psi), 氯化物最大含量 5,000 毫克/升, 并且没有游离的硫元素。

4.6 高合金奥氏体不锈钢 (单独的合金)

4.6.1 UNS N08926 (单独的合金) 以固溶退火状态, 在最高温度为 121℃ (250°F) 的 H₂S 的最大局部压力为 0.7MPa 绝对压力 (100psi), 氯化物最大含量 60,700 毫克/升, CO₂ 的最大局部压力为 1.4MPa 绝对压力 (200psi), 并且没有游离的硫元素的环境中允许使用。

4.6.2 UNS J93254 (单独的合金)

与 ASTM A351/A351M¹⁶, A743/A743M¹⁷, 或 A744/A744M¹⁸ 相一致的铸件 UNS J93254 固溶热处理, 且硬度不大于 100HRB 时, 允许使用在不含硫的环境中。

4.7.2 UNS J95370 的铸件以固溶热处理和水淬, 且硬度不大于 94HRB 时, 允许使用在不含硫的环境中。

4.7 铁素体不锈钢 (合金分类)

4.7.1 铁素体不锈钢在 H₂S 的局部压力为 10kPa 绝对压力 (15psi), PH 值 ≥ 3.5, 退火条件下硬度不大于 22HRC 的合适环境下是合格的, 同时符合第 5 章的标准。

4.8 马氏体不锈钢 (有特殊要求的合金类别)

铸造或锻造的马氏体不锈钢与 4.8.1, 4.8.2 和 4.8.3 的使用相一致的是合格的。与本标准相一致的马氏体不锈钢被用于一些酸性环境的应用。这些材料在 NACE TM0177 的实验室试验中显示出其极限应力低于本标准中的其他材料。不允许采用易切削马氏体不锈钢。

H₂S 的局部压力为 10kPa 绝对压力 (1.5psi) 并且 PH 值 ≥ 3.5 的环境下可以使用。

4.8.1 马氏体不锈钢 UNS S41000、S42000、J91150 (CA15) 和 J91151 (CA15M), 无论铸造或锻造, 在硬度不大于 22HRC, 且

满足第 5 章的要求时允许使用。

4.8.1.1 UNS S41000、J91150 和 J91151 的热处理程序如下 (三步):

(1) 奥氏体化和淬火后空冷。

(2) 最小温度达到 621℃ (1,150°F) 的回火, 然后冷却到环境温度。

(3) 最小温度达到 621℃ (1,150°F) 的回火, 但低于第一次回火温度, 然后冷却到环境温度。

4.8.1.2 UNS S42000 必须为淬火+回火状态。

4.8.2 低碳马氏体不锈钢

12Cr4NiMo 低碳马氏体不锈钢, 无论是铸件 UNS J91540 (CA6NM) 还是锻件 S42400, 经过与 4.8.2.1 相一致的热处理, 且硬度不大于 23HRC 时是合格的。

4.8.2.1 低碳马氏体不锈钢的热处理程序 (三个步骤) 如下:

(1) 最低 1,010℃ (1,850°F) 下奥氏体化, 然后空冷或油冷至环境温度。

(2) 649 到 691℃ (1,200 到 1,275°F) 下, 回火后空冷至环境温度。

(3) 593 到 621℃ (1,100 到 1,150°F) 下, 回火后空冷至环境温度。

4.8.3 UNS S41425 (单独合金)。锻造低碳马氏体不锈钢 UNS S41425 通过奥氏体化, 淬火, 回火条件, 且硬度不大于 28HRC, 允许用于不含硫的环境中。

4.9 30 ≤ PREN ≤ 40 (合金分类) 的双相不锈钢

4.9.1 双相不锈钢的化学组成和热处理状态在特殊的环境下可以阐述为一种单独的合金。双相不锈钢可以进行固溶退火和液体淬火处理。时效热处理是被禁止的。铁素体含量达 35~65 vol%。

4.9.2 对冷加工双相不锈钢的要求参见 10.4。

4.9.3 30 ≤ PREN ≤ 40 (合金分类) 的锻造和铸造双相不锈钢产品在固溶退火和淬火状态中所用的最高温度达 232℃ (450°F) 和 H₂S 部分的最大压力达 10kPa 绝对压力 (1.5 psi) 是合格的。

4.9.4 热等静压生产的双相不锈钢 UNS S31803 若固溶退火和水淬, 且硬度不大于 25HRC 时是合格的。

4.10 PREN>40 (合金分类) 的双相不锈钢

4.10.1 双相不锈钢的化学组成和热处理状态在特殊的环境下可以阐述为一种单独的合金。双相不锈钢可以进行固溶退火和液体淬火处理。时效热处理是被禁止的。铁素体含量达 35~65 vol%。

4.10.2 对冷加工双相不锈钢的要求参见 10.4。

4.10.3 $40 \leq \text{PREN} \leq 45$ 的锻造和铸造双相不锈钢产品在固溶退火和淬火状态中所用的最高温度达 232°C (450°F) 和 H₂S 部分的最大压力达 20kPa 绝对压力 (3 psi) 是合格的。

4.11 固熔镍基合金 (合金分类)

锻造和铸造固熔镍基合金应为固溶退火状态。

4.11.1 这些合金的化学成分是:

19.0%Cr	最低含量,
29.5%Ni+Co	最低含量, 并且
2.5%Mo	最低含量。
或者	
14.5% Cr	最低含量,
52%Ni+Co	最低含量, 并且
12%Mo	最低含量。

4.11.2 没有关于 H₂S 分压和硫元素的环境限制。

4.12 钴镍铬钼合金 (特殊合金要求的种类)

没有关于 H₂S 分压和硫元素的环境限制。

4.12.1 UNS R30003, R30004, R30035 合金和英国标准的太空系列材料 HR3 在硬度不大于 35HRC (除非另有说明) 时允许使用。

4.12.2 附加补充, UNS R30035 在冷轧和热处理时效中使用下面的时效热处理, 且硬度不大于 51HRC 时是合格的:

最短时间 (小时)	温度
4	704°C (1, 300°F)
4	732°C (1, 350°F)
6	774°C (1, 425°F)
4	788°C (1, 450°F)
2	802°C (1, 475°F)
1	816°C (1, 500°F)

4.12.3 UNS R31233 锻件采用固溶退火, 且硬度不大于 22HRC 时是合格的。

4.13 钴镍铬钨合金 (特殊合金要求的分类)

没有关于 H₂S 分压和硫元素的环境限制。

4.13.1 UNS R30605 所允许的最大硬度为 35 HRC。

4.14 钛合金 (特殊合金要求的分类)

没有关于 H₂S 分压和硫元素的环境限制。

本标准指定的每一种钛合金都必须遵循特殊的指导方针, 以使成功应用。例如, 在温度高于 80°C (176°F) 含有 H₂S 的水介质下, 钛合金会与某些活跃金属 (如碳钢) 组成电偶从而导致钛合金产生氢脆。一些钛合金在氯化物环境下可能对隙间腐蚀和/或 SSC 敏感。尽管硬度与对 SSC/SCC 的敏感并不相关联, 但高强度合金的硬度限制被包括在没有发生失效的最大测试水平和热处理条件 (当适用时) 的显示中。

4.14.1 UNS R53400 在退火条件下是合格的。热处理要在 774°C ± 14°C (176°F ± 25°F) 退火保持两小时并空冷。最大硬度 92HRB。

4.14.2 UNS R58640 在最大硬度为 42HRC 条件下合格。

4.14.3 UNS R50400 在最大硬度为 100HRB 条件下合格。

4.14.4 UNS R56260 在最大硬度为 45HRC 并符合下列任一条件下合格: (1) 退火; (2) 固溶退火; (3) 固溶退火和时效硬化。

4.14.5 锻件 UNS R56403 在退火条件下最大硬度为 36HRC 是合格的。

4.14.6 UNS R56404 在退火条件下最大硬度为 35HRC 是合格的。

4.14.7 UNS R56323 在退火条件下最大硬度为 32HRC 是合格的。

4.15 沉淀硬化镍基合金 I (特殊要求的合金分类)

4.15.1 到 4.15.7 中的沉淀硬化镍基合金在表 2 所示环境下是合格的, 除非这些章节中有其他的标注。

4.15.1 铸件 UNS N09925 在环境中没有硫元素存在, 固溶退火和时效硬化并且最大硬度为 35HRC 的条件下合格。

4.15.2 铸件 UNS N07718 在固溶退火和时效硬化并且最大硬度为 40HRC 的条件下合格。

表 2: 4.15.1 到 4.15.7 沉淀硬化镍基合金的合格环境

温度	H ₂ S 局部压力	硫元素
最大 232℃ (450°F)	最大 0.2MPa 绝对压力 (30 psi)	无
最大 204℃ (400°F)	最大 1.4MPa 绝对压力 (200 psi)	无
最大 149℃ (300°F)	最大 2.7MPa 绝对压力 (400 psi)	无
最大 135℃ (275°F)	没有限制	有 ^(A)

^(A) 更多限制见 4.14.1 到 4.14.7

4.15.3 锻件 UNS N07031 在符合下列任一条件下合格: (1) 固溶退火条件下最大硬度为 35HRC; (2) 在 760 到 871℃ (1,400 到 1,600°F) 温度下固溶退火和时效硬化最多 4 小时且最大硬度为 40HRC。

4.15.4 锻件 UNS N07773 在固溶退火和时效硬化条件下最大硬度为 40HRC 是合格的。

4.15.5 锻件 UNS N09777 在固溶退火和时效硬化条件下最大硬度为 40HRC 是合格的。

4.15.6 锻件 UNS N07048 在固溶退火和时效硬化条件下最大硬度为 40HRC 是合格的。

4.15.7 锻件 UNS N07924 在固溶退火和时效

硬化条件下最大硬度为 35HRC, 与表 B1 第 VI 等级相一致的没有硫元素, 温度最大为 175℃ (347°F) 的环境下应用是合格的。

4.16 沉淀硬化镍基合金 II (特殊要求的合金分类)

4.16.1 至 4.16.2 中的沉淀硬化镍基合金在表 3 所示环境下是合格的。

表 3: 4.16.1 到 4.16.2 沉淀硬化镍基合金的合格环境

温度	H ₂ S 局部压力	硫元素
最大 232℃ (450°F)	最大 0.2MPa 绝对压力 (30 psi)	无
最大 204℃ (400°F)	最大 1.4MPa 绝对压力 (200 psi)	无
最大 199℃ (390°F)	最大 2.3MPa 绝对压力 (330 psi)	无
最大 191℃ (375°F)	最大 2.5MPa 绝对压力 (360 psi)	无
最大 149℃ (300°F)	最大 2.8MPa 绝对压力 (400 psi)	无
最大 135℃ (275°F)	没有限制	有

4.16.1 锻件 UNS N09925 符合下列五个条件中的任一条件就算合格: (1) 冷加工到最大硬度为 35HRC; (2) 固溶退火到最大硬度为 35HRC; (3) 固溶退火和时效硬化到最大硬度为 38HRC; (4) 冷加工和时效硬化到最大硬度为 40HRC; (5) 热加工和时效硬化到最大硬度为 40HRC。

4.16.2 锻件 UNS N07718 符合下列四个条件中的任一条件就算合格: (1) 固溶退火到最

大硬度为 35HRC; (2) 热加工到最大硬度为 35HRC; (3) 热加工和时效硬化到最大硬度为 35HRC; (4) 固溶退火和时效硬化到最大硬度为 40HRC。

4.17 沉淀硬化镍基合金 III (特殊要求的合金分类)

4.17.1 到 4.17.2 中的沉淀硬化镍基合金在表 4 所示环境下是合格的。

表 4: 4.17.1 到 4.17.2 沉淀硬化镍基合金的合格环境

温度	H ₂ S 局部压力	硫元素
最大 232℃ (450°F)	最大 1.0MPa 绝对压力 (150 psi)	无
最大 220℃ (425°F)	2.1MPa 绝对压力 (300 psi)	有
最大 204℃ (400°F)	最大 4.1MPa 绝对压力 (600 psi)	无
最大 177℃ (350°F)	没有限制	有

4.17.1 锻件 UNS N07716 在固溶退火和时效硬化条件下最大硬度为 43HRC 是合格的。

4.17.2 锻件 UNS N07725 在固溶退火和时效硬化条件下最大硬度为 43HRC 是合格的。

4.17.3 UNS N07626, 一个粉末冶金热压紧的过程, 在固溶退火 (最小 927℃ [1,700°F]) 加时效硬化 (538 到 816℃ [1,000 到 1,500°F]) 或者直接时效硬化 (538 到 816℃ [1,000 到 1,500°F]) 条件下最大硬度为 40HRC 并且最大抗拉强度为 1,380MPa (200ksi) 是合格的。

4.18 奥氏体沉淀硬化不锈钢 (单独的合金)

4.18.1 化学成分与 UNS S66286 (单独的合金) 相一致的奥氏体沉淀硬化不锈钢无论在固溶退火和时效硬化条件或是固溶退火和双时效硬化条件下, 最大硬度为 35HRC 为合格。合金在 H₂S 的最大局部压力为 0.1MPa 绝对压力 (15 psi), 最大温度为 65℃ (150°F), 并且没有硫元素的条件合格。

4.19 铝基合金 (分类)

环境限制还没有建立。

4.20 铜合金 (分类)⁽¹⁰⁾

环境限制还没有建立。

4.21 商业纯钽 (单独的合金)

UNS R05200 在退火+气钨电弧焊+退火的条件下最大硬度达到 55HRB 为合格。

第 5 章 制造

5.1 总则

如果材料暴露在酸性环境中, 则材料及其制造工艺应满足本章的要求。

5.2 堆焊层

5.2.1 在碳钢、低合金钢或马氏体不锈钢上通过热加工工艺如焊接, 银钎焊或喷涂金属粉末堆焊可以适用于酸性环境, 只要在焊

接的过程中基体温度不超过下临界温度。如果高于下临界温度, 零件必须进行热处理或用能够使基体金属硬度恢复到规定的标准的工艺来去除热应力。

5.2.2 满足 5.2.1 中所述条件的碳化钨合金和陶瓷也适用。

5.2.3 允许采用不同类材料的结合体, 如将烧结碳化物和合金钢用银钎焊连在一起。钎焊后基体金属应满足 5.2.1 的要求。

5.2.4 第 4 章所列的材料, 只要其满足 5.2.1 的要求, 都允许作为堆焊材料。

5.2.5 镍基合金、钴基合金只要其满足 5.2.1 的要求, 都允许作为耐磨堆焊材料。

5.3 焊接⁽¹¹⁾

5.3.1 焊接工艺规程应保证焊接件满足第三章和第四章对基体金属硬度的要求。焊接工艺规程和焊接工必须按 AWS、API、ASTM 或其它适用的工业规范进行资格评定。

5.3.1.1 在焊接工况下, 附录 D 中表 D2 所列的具有最小屈服强度为 360MPa (52ksi) 或强度更小的管产品和 ASME BPV-IX 中按 P-N01 分类的第 1 组或第 2 组所列的压力容器钢, 应满足 5.3.1 的要求。任何使用的焊接工艺规程都应按 AWS、API、ASME 或其它适当的工业规范进行评定并符合规定。

5.3.1.2 碳钢和低合金钢的焊接程序可控制焊接参数从而得到最大硬度为 22HRC 的焊件。这种控制涉及到基体金属, 填充金属的化学成分和焊接参数等。焊接工艺评定应证实在焊缝金属区、HAZ 区和基体金属上的硬度不超过 22HRC, 最终的焊接工艺应如何将如何确保硬度不大于 22HRC 所控制的参数文件化, 并在实际焊接中按规定操作。

⁽¹¹⁾ 维氏硬度测量 (HV5 或 10kg) 可以采用, 但不是必须。

5.3.1.3 碳钢和低合金钢焊件的生产没有基体金属和填料金属的化学成分的限制, 焊接参数按 5.3.1.2, 并在最低温度为 621°C (1150°F) 下进行焊后热处理以实现最大硬度为 22HRC。

5.3.1.4 在 3.2.1 提及的碳钢和低合金钢, 不允许使用含 Ni 超过 1% 的焊条、电极、溶剂和填充金属。

5.3.2 马氏体不锈钢的焊接

这一段主要阐述了基体金属为马氏体不锈钢与名义上的匹配消耗品进行焊接。

5.3.2.1 第 4.8.1 节中定义的马氏体不锈钢的焊件要在最低 621°C (1150°F) 的温度下进行焊后热处理, 以使 HAZ 区和焊缝金属区的硬度符合本标准中指定的基体金属要求。

5.3.2.2 第 4.8.2 节中定义的低碳马氏体不锈钢焊件, 应进行一个或多个循环的焊后热处理, 且在前一个焊后热处理应冷却到 38°C (100°F) 后进行后一个 PWHT。

(1) 单独一次焊后热处理应在 579°C (1075°F) 至 621°C (1150°F) 之间进行。

(2) 多循环焊后热处理应在 671°C (1240°F) 至 691°C (1275°F) 之间进行, 接着在加热到 579°C (1075°F) 至 621°C (1150°F) 间之前冷却到 38°C (100°F) 以下。

5.3.3 奥氏体不锈钢, 双相不锈钢和镍基合金钢焊件。

这一段是对属于奥氏体不锈钢, 双相不锈钢和镍基合金钢的焊接的要求, 在固溶退火的条件下进行固溶强化, 和焊接到基体合金上。这些焊件可以分为两类: (1) 那些使用匹配的填充材料的, 或者 (2) 那些使用比基体金属更大的 PREN 高合金含量的填充材料。

奥氏体不锈钢, 双相不锈钢和镍基合金钢的焊接的进行应该与 5.3.1 中的要求相一致。HAZ 区焊后的硬度不应该超过基体合金的最大允许硬度, 而且焊缝金属的硬度也不应该超过对用于焊接消耗的对应合金的最大硬度值。

5.3.3.1 奥氏体不锈钢的焊接

5.3.3.1.1 当指定采用奥氏体不锈钢的 “L” 型的熔化焊条时, 其最大的碳含量为 0.03%。

5.3.3.2 双相不锈钢的焊接

5.3.3.2.1 焊接工艺评定记录 (PQR) 要确保焊接的所有区域都含有 30-70vol% 的铁素体。

5.3.3.3 固溶退火的镍基合金钢的焊接。

5.3.3.3.1 对于固溶退火的镍基合金钢的焊接和固溶退火的镍基合金钢的焊缝金属没有硬度要求。

5.3.4 沉淀硬化不锈钢和镍基合金钢的焊接

这一段的要求是针对第 4 节中允许的适用沉淀硬化不锈钢和镍基合金钢的焊接。

焊后基体金属的硬度不应该超过基体合金的最大允许值, 焊缝金属的硬度也不应该超过对用于焊接的对应合金的最大硬度的限制值。

5.4 识别标记

5.4.1 作为识别标记用的低应力打印 (圆冲、振动打印、圆角 V 型钢印) 是允许的。

5.4.2 在低应力区如法兰的外径, 采用常规的尖角 V 型钢印是允许的。除非随后进行在最小 595°C (1100°F) 温度下的除应力处理, 在高应力区用尖角 V 型钢印是不允许的。⁽¹²⁾

5.5 螺纹

5.5.1 车削的螺纹

5.5.1.1 采用车削的螺纹是允许的。

5.5.2 冷成形 (轧制) 螺纹

5.5.2.1 螺纹在冷作成形之后, 螺纹零件的材料应满足第 3 章或第 4 章规定的热处理状态和硬度要求。

5.6 冷加工工艺

5.6.1 采用冷作效果不比常规机加工方法如车或镗、滚压、攻丝、钻孔等有更明显的冷作硬化的冷变形工艺, 诸如磨削等, 是允许的。

5.6.2 符合本标准规定的基体材料, 采用可控喷丸硬化的冷成形加工方法, 当钢丸极限尺寸为 2.0mm (0.08in.), 最大 10C Almen 密度时是允许的。工艺应按 AMS-S-13165²⁰ 规范的最新版进行控制。

⁽¹²⁾ 用户须清楚这种应力消除对某些合金是不合适的。

第 6 章 螺栓连接

6.1 总则

如材料暴露在酸性环境中, 则其应满足本章的要求。

6.2 裸露的螺栓连接

6.2.1 直接裸露于酸性环境中, 或者具有埋入地下、保温、法兰保护器或其它避免直接裸露于大气的措施的螺栓连接应符合 6.2.1.1、6.2.1.2 或 6.2.1.3 的规定。设计者和使用者应该意识到, 在使用低强度螺栓的情况下, 有必要降低螺栓承受的额定压力。对于 API 6A 法兰所使用的裸露螺栓连接, 参见 API 6A 标准。

6.2.1.1 允许使用的螺母和螺栓材料应满足第 3 章和第 4 章的要求。

6.2.1.2 螺栓材料应满足 ASTM A 193/A 193M B7M, 最小屈服强度为 550 兆帕 (80000psi) 和硬度不大于 22HRC; B8A 的 1A 级和 B8AM 的 1A 级, 最小屈服强度为 200 兆帕 (30000 psi) 和硬度不大于 90HRB, ASTM A320/A 320M L7M 等级, 最小屈服强度为 550 兆帕 (80000 psi) 和硬度不大于 22 HRC; B8A 的 1A 级和 B8AM 的 1A 级, 最小屈服强度为 200 兆帕 (30000 psi) 和硬度不大于 90HRB。

6.2.1.3 螺母应满足 ASTM A 194/A 194M 2HM 等级(最大硬度为 22HRC); 8A 和 8MA 等级(最大硬度 90HRB), 或者参看 6.2.1.1。

6.3 非裸露的螺栓连接

6.3.1 未被直接裸露于酸性环境的或未被埋地、保温、法兰保护器及其它不直接裸露于大气的螺栓连接, 其材料可按适用的标准、如 ASTM A 193/A 193M B7 级来提供。

第 7 章 镀层和涂膜

7.1 总则

如材料暴露在酸性环境中, 则其应满足本章的要求。

7.1.1 金属的镀层和涂膜(如电镀或化学镀), 化学覆层, 以及塑料涂层或者衬层, 不可用来防止基体金属的 SSC 或者 SCC 腐蚀。为其它目的而采用这类涂层, 则不属本标准范围。

7.2 渗氮

7.2.1 在低于材料的下临界温度的环境中, 采用液体或气体对其表面进行渗氮, 渗氮深度不超过 0.15mm(0.006 in.)时是允许的, 但不能作为防止 SSC 或者 SCC 的措施

第 8 章 特殊零部件

8.1 总则

特殊零部件, 包括仪表, 控制装置, 密封件, 轴承以及弹簧等材料, 如果在正常作业期间直接裸露于酸性环境中, 应满足本章的要求。1.4 节给出了确定用于特定场合的标准适用范围的指导原则。

8.2 轴承

8.2.1 直接裸露于酸性环境中的轴承, 应采用第 3 章和第 4 章规定的材料制造。

8.2.2 镍-铬-钼-钨合金 UNS N10276 如轴承销等滚动中心销等都在冷加工状态下, 硬度不大于 45HRC 时是合格的。

8.2.3 除 8.2.2 注明的例外, 用其它材料制造的轴承, 为能良好工作, 则须与酸性环境相隔绝。

8.3 弹簧

8.3.1 直接裸露于酸性环境中的弹簧, 应采用第 3 章和第 4 章规定的材料以及 8.3.2, 8.3.3 和 8.3.4 中的材料来制造。

8.3.2 钴-镍-铬-钼合金 UNS R30003, 在冷作加时效硬化状态下硬度不超过 60 HRC 时用作弹簧材料是允许的。而对于 UNS R30035, 只要时效温度不低于 649°C (1200°F) 时间不少于 4 小时, 那么, 在冷作加时效硬化状态下硬度不超过 55 HRC 时用作弹簧材料也是允许的。

8.3.3 镍-铬合金 UNS N07750, 在冷作加时效硬化状态下硬度不超过 50 HRC 时是用作弹簧材料是允许的。

8.3.4 UNS N07090 在冷作加时效硬化状态下硬度不超过 50 HRC 时可用作压缩机阀门的弹簧材料。

8.4 仪表和控制设备

8.4.1 仪表和控制设备的零部件, 如果直接裸露于酸性环境中, 则应采用第 3 章至第 4 章规定的材料制造。

8.4.1.1 4.2、4.5 和 4.11 节并不打算排除使

用 UNS S31600 奥氏体不锈钢、高合金奥氏体不锈钢或者是镍基合金钢制造的受压缩零件、屏蔽设备、仪表或控制管件。尽管这些元件并不满足相应章节的要求。

8.4.2 隔膜、压力测量设备和压力密封件。

8.4.2.1 隔膜、压力测量设备以及压力密封件若直接裸露于酸性环境中,应采用第 3 章和第 4 章规定的材料以及 8.4.2.2、8.4.2.3 和 8.4.2.4 中的材料来制造。

8.4.2.2 钴-镍-铬-钼合金 UNS R30003 和 UNS R30004 硬度不超过 60 HRC 时用作隔膜、压力测量设备和压力密封件材料是允许的。

8.4.2.3 钴-镍-铬-钼-钨合金 UNS R30260 硬度不超过 52 HRC 时用作隔膜、压力测量设备及压力密封件材料是允许的。

8.4.2.4 压力密封件应根据第 3 章和第 4 章的要求制造,或者可以采用硬度不超过 53 HRC 的锻态钴-镍-铬-钼合金 UNS R30159 制造,只要材料为受压方式或承压方向与锻件的纵向或轧制方向平行。

8.4.3 锻制的 UNS N08904 在退火状态下,硬度不大于 HV10 时,可用于制作仪表的管件材料。

8.5 密封环和垫圈

8.5.1 直接裸露于酸性环境中的密封环,应采用第 3 章和第 4 章规定的材料制造。

8.5.2 采用锻造或离心浇铸的 ASTM A351/A351M CF8 或 CF8M 材料制造的 API 中的奥氏体不锈钢压力密封环,在材料处于铸态或固溶退火状态且硬度不超过 160HBW (HRB83) 时是允许的。

8.6 开口环(又称弹性挡环)

8.6.1 除 8.6.2 注明的例外,直接裸露于酸性环境中的开口环,应采用第 3 章和第 4 章规定的材料制造。

8.6.2 沉淀硬化不锈钢 UNS S15700 制造的开口环,在其固溶加时效状态下硬度初始值为 RH950,经按下述的参数作进一步的热处理至硬度为 30-32 HRC 是允许的:

8.6.2.1 热处理程序(3 步工艺法)

1) 在 621℃ (1150°F) 温度下进行 4 小时 15 分钟的回火,然后于静止的空气中

冷却至室温;

2) 在 621℃ (1150°F) 温度下再次进行 4 小时 15 分钟的回火,然后于静止的空气中冷却至室温;

3) 在 566℃ (1050°F) 温度下进行 4 小时 15 分钟的回火,然后于静止的空气中冷却至室温。

8.7 轴承销

8.7.1 UNS N10276 制成的轴承销如滚动中心销,在冷作状态,硬度不大于 45HRC 时可使用。

8.8 特殊工艺零件⁽¹³⁾

8.8.1 钴-铬-钨合金和镍-铬-硼合金不论采用铸造、粉末冶金或热加工均是允许的。

8.8.2 碳化钨合金,无论采用铸造或烧结均是允许的。

第 9 章 井口设备,采油树,阀门,扼流器,液面控制器

9.1 总则

如材料暴露在酸性环境中,则其应满足本章的要求。

9.2 井口设备和采油树

9.2.1 直接暴露在酸性环境中的部分的制造应该与第 3 章至第 8 章行所要求的保持一致。不直接暴露在酸性环境中或者暴露在受控的钻孔条件下的井口设备不在本标准范围之内。

9.2.2 由 UNS S41000, S42000, S42400, J91150(CA15), J91151(CA15M) 和 J91540 (CA6NM) 制成的组件可以被用在 PH 值大于等于 3.5 的酸性环境下。合金的加工处理要与 4.8.1 和 4.8.2 中所要求的保持一致。可以采用这些材料制造的零件不包括套管悬挂器,油管悬挂器和阀杆。

9.2.3 由镍基合金钢制成的组件要与 4.11.1 或者 4.15 保持一致,并与 API spec 6A 保持一致才是可利用的。

9.2.4 符合 9.2.4.1 和 9.4.2.2 的由沉淀硬化不锈钢制成的组件(除了阀体和阀盖)可应用在每个合金列出的环境限制条件下。

9.2.4.1 马氏体沉淀硬化不锈钢

⁽¹³⁾ 用于抗磨损的某些材料可能是脆性的,当这些材料受拉力可能产生环境裂纹。

UNS S17400, 一种最大硬度限制在 33HRC 的锻制沉淀硬化不锈钢, 适用于 PH 值 4.5 或更大的, H_2S 分压为 3.4kPa 绝对压力 (0.50psi) 的环境。这种合金应采用下面列出的热处理条件中的一种。

9.2.4.1.1 621℃ (1150°F) 下的双重时效硬化热处理

- (1) 在 $1038 \pm 14^\circ\text{C}$ ($1900 \pm 25^\circ\text{F}$) 固溶退火, 空冷或者液体淬火到 32°C (90°F) 以下。
- (2) 在 $621 \pm 14^\circ\text{C}$ ($1150 \pm 25^\circ\text{F}$) 进行第一次沉淀硬化, 并在这个温度保持至少 4 小时, 空冷或者液体淬火到 32°C (90°F) 以下。
- (3) 在 $621 \pm 14^\circ\text{C}$ ($1150 \pm 25^\circ\text{F}$) 进行第二次沉淀硬化, 并在这个温度保持至少 4 小时, 空冷或者液体淬火到 32°C (90°F) 以下。

9.2.4.1.2 改进的双重时效硬化热处理

- (1) 在 $1038 \pm 14^\circ\text{C}$ ($1900 \pm 25^\circ\text{F}$) 固溶退火, 空冷或者液体淬火到 32°C (90°F) 以下。
- (2) 在 $760 \pm 14^\circ\text{C}$ ($1400 \pm 25^\circ\text{F}$) 进行第一次沉淀硬化, 并在这个温度保持至少 2 小时, 空冷或者液体淬火到 32°C (90°F) 以下。
- (3) 在 $621 \pm 14^\circ\text{C}$ ($1150 \pm 25^\circ\text{F}$) 进行第二次沉淀硬化, 并在这个温度保持至少 4 小时, 空冷或者液体淬火到 32°C (90°F) 以下。

9.2.4.2 钼改进的马氏体沉淀硬化不锈钢

UNS S45000, 一种最大硬度限制在 31HRC (相当于合金的 306HBW) 的钼改进的马氏体沉淀硬化不锈钢, 适用于 PH 值 3.5 或更大的, H_2S 分压为 10kPa 绝对压力 (1.5psi) 的环境。这种合金的热处理过程如下:

- (1) 固溶退火
- (2) 在 $621 \pm 8^\circ\text{C}$ ($1150 \pm 15^\circ\text{F}$) 进行沉淀硬化, 并在这个温度保持至少 4 小时。

9.2.5 由锻制的 UNS N05500 制成的, 最大硬度 35HRC 的组件 (除了阀体和阀盖) 适用于 H_2S 分压最大 10kPa 绝对压力 (1.5psi),

PH 值 4.5 或更大的下列各种情况: (1) 热加工和时效硬化; (2) 固溶退火; 和 (3) 固溶退火和时效硬化。

9.3 阀门和振流器

阀门和振流器制造所用材料按第 3 章至第 9 章的要求。

9.4 轴、阀杆和销轴

轴、阀杆和销轴应采用第 3 章第 4 章以及第 9 章规定的材料和 9.4.1 中的材料来制造。

9.4.1 奥氏体不锈钢 UNS S20910 在冷作后进行固溶退火的前提下, 在冷作状态下硬度不超过 35 HRC 时用作阀轴、阀杆和销轴的材料是允许的。

9.5 阀门, 压力调节器和液面控制器的内部元件。

9.5.1 与 ASTM A747/A747M 一致的 H1150 DBL 条件下的铸件 CB7Cu-1 和 CB7Cu-2 在硬度不大于 310HBW (30HRC) 时, 可用于非承压零件。符合本标准的马氏体沉淀硬化不锈钢, 在某些酸性环境下, 可以很好地使用。尽管这些材料在 NACE 标准 TM0177 的实验室试验中显示的临界应力水平要低于这个标准中包含的其他材料。

9.5.2 锻件 UNS S17400 和 S15500 马氏体沉淀硬化不锈钢, 在按 9.2.4.1.1 和 9.2.4.1.2 节进行热处理, 且硬度不大于 33HRC 时, 可用于非承压元件。符合本标准的马氏体沉淀硬化不锈钢, 在某些酸性环境下, 可以很好地使用。尽管这些材料在 NACE 标准 TM0177 的实验室试验中显示的临界应力水平要低于这个标准中包含的其他材料。

9.5.3 锻件 UNS S45000 马氏体沉淀硬化不锈钢, 在进行下面的热处理, 且硬度不大于 31HRC 时, 可用于非承压元件:

- (1) 固溶退火
- (2) 在 $621 \pm 8^\circ\text{C}$ ($1150 \pm 15^\circ\text{F}$) 进行沉淀硬化, 并在这个温度保持至少 4 小时。

9.5.4 锻件 UNS S45000 在进行下列任一热处理, 且硬度不大于 35HRC 时, 可用于非承压元件: (1) 热加工和时效硬化; (2) 固溶退火; (3) 固溶退火和时效硬化。

9.5.5 锻件 UNS N07750 在下列任一热处理状态, 且硬度不大于 35HRC 时, 可用于非

承压元件: (1) 固溶退火和时效; (2) 固溶退火; (3) 热加工 (4) 热加工和时效。

9.5.6 由锻制的 UNS N05500 制成的, 硬度限制和热处理条件与 9.2.5 一致的元件 (除了阀体和阀盖) 已经用来作为井口以上环境的短期维护工具。对于这些合金的使用, 还没有建立一个正确使用的限制。

9.5.7 硬度限制和热处理与 9.2.4.1 一致的 UNS S17400 当工作时的应力小于最小屈服强度的 60% 时, 已经用做井口以上的维护工具。对这种合金的使用还没有建立环境限制。

第 10 章 井下套管、井下管材和井下设备

直接暴露在酸性环境中的套管和管材应符合附录 D 中表 D2 的要求。不暴露在酸性流体或仅控制钻井流体环境的套管则不在本标准范围之内。合格的材料应符合现行国家规范以及标准文本。

10.1 碳钢、低合金钢管件

10.1.1 铬-钼低合金钢 (美国钢铁学会 (AISI) 41XX 系列和其改进型材料) 管件在淬火和回火状态下最大硬度 HRC 26 是合格的。

10.1.2 铬-钼低合金钢 (美国钢铁学会 (AISI) 41XX 系列和其改进型材料) 管件在淬火和回火状态下最大硬度 30HRC 以及最小屈服应力 (SMYS) 等级 690、720、760MPa (100、105、110ksi) 是合格的。每个级别的最大屈服强度比相应最小屈服应力 (SMYS) 高 100MPa (10ksi)。应用 NACE TM0177 的方法 A 进行抗 SSC/SCC 试验, 其最小临界应力应为 SMYS 的 85%。对于高强度低合金钢, 在 NACE 测试方法和试验结构结果中没有相关资料, 也没有资料支持其有限的限制性的使用。在这种情况下, 这些合金钢应归类于 MR0175, 其基本用途是井下局部 H_2S 绝对压力小于 7kPa (1psia) 的保护罩。

10.1.3 当这些合金的硬度大于 22HRC 时, 化学成分和热处理需要特别注意以确保其抗 SSC/SCC 性能。因此, 当硬度大于 22HRC 时用这些合金, 应当通过抗 SSC/SCC 试验 (按 1.6 节) 来确定材料等同于在抗 SSC/SCC 性能上满足酸性环境的类似材料。

10.1.4 如果管件在不高于 510°C (950°F) 冷矫直而成, 则应在最低温度 482°C (900°F) 消除应力。如果管件是冷变形而成, 且外纤维永久变形大于 5%, 冷作区域应在最低温度 593 °C (1100°F) 消除应力。冷作的高强度管件连接头硬度在 22HRC 以上时, 应在最低温度 593 °C (1100°F) 消除应力。

10.2 高合金奥氏体不锈钢管状元件

高合金奥氏体不锈钢管件最少应包含这些元素并且符合随后的章节中的 PREN 和 Ni+2Mo 要求: C: 最大 8%, Cr: 最小 16%, Ni: 最小 8%, P: 最大 0.03%, S: 最大 0.030%, Mn: 最大 2%, 硅: 最大 0.5%。其它合金元素是允许的。

10.2.1 Ni%+2Mo%>30 且 Mo%>2%

在这个目录下的是那些 Ni%+2Mo%>30 且 Mo%>2% 的高合金奥氏体不锈钢。所有的高合金奥氏体不锈钢在固溶化退火和冷加工条件下, 硬度不大于 35HRC 时是可用的, 而易切削合金是不可用的。环境限制如下:

10.2.1.1 Ni%+2Mo%>30 且 Mo%>2% 的高合金奥氏体不锈钢可用于最大 H_2S 局部压力为 100kPa (15psia) 最高温度 60°C (140°F) 且没有硫元素, 对氯离子没有限制。如果氯离子的含量小于 50mg/L, 则 H_2S 局部压力应小于 350kPa (50psia)。

10.2.2 PREN>40

在这个目录下的是那些 PREN>40 的高合金奥氏体不锈钢。所有的高合金奥氏体不锈钢在固溶化退火和冷加工条件下, 硬度不大于 35HRC 时是可以用的, 而易切削合金是不可用的。环境限制如下:

10.2.2.1 在最大温度 121°C (250°F), 最大 H_2S 局部压力为 700kPa (100psia), 氯化物的含量不高于 5000mg/L, 且没有硫元素。

10.2.2.2 在最大温度 149°C (300°F), 最大 H_2S 局部压力为 310kPa (45psia), 氯化物的含量不高于 5000mg/L, 且没有硫元素。

10.2.2.3 在最大温度 171°C (340°F), 最大 H_2S 局部压力为 100kPa (15psia), 氯化物的含量不高于 5000mg/L, 且没有硫元素。

10.2.3 UNS N08926 (单独合金)

UNS N08926 在固溶化退火和冷加工条件下, 硬度不大于 35HRC 时是可用的, 其

环境限制为：最高温度 121℃ (250°F)，最大 H₂S 局部绝对压力为 700kPa (100psia)，氯化物的含量不高于 60700mg/L，最大 CO₂ 局部压力 1.4MPa (200psia)，且没有硫元素。

10.3 马氏体不锈钢管件

10.3.1 API 规范 5CT/5CTM²⁶ 等级 L-80 型 13Cr 的管件适用于最大 H₂S 局部压力为 10kPa (1.5psia) 的产出水 PH≥3.5 的生产环境。

10.3.2 UNS S41426 管件在淬火并回火，且硬度不大于 27HRC，其环境限制为：屈服强度不大于 724MPa (105ksi) 是可用的，最大 H₂S 局部绝对压力为 10kPa (1.5psia)，的产出水 PH≥3.5 的生产环境。

10.3.3 15%Cr 管状元件

UNS S42500 (15Cr) 在淬火和两次回火，且硬度不大于 22HRC 时是可用的，其环境限制为：最大 H₂S 分压 10kPa (绝对) (1.5psia) 的产出水 PH≥3.5 的生产环境作为管件和壳体用。

10.3.3.1 奥氏体化 900℃ (1652°F) 或更高温度
 淬火 空气冷却淬火或油淬
 一次回火 最低 730℃ (1346°F) 然后冷却至室温
 二次回火 最低 620℃ (1148°F) 然后冷却至室温

10.4 双相不锈钢管件

双相不锈钢管件 (铁素体体积含量在 35%-65%之间) 在固溶化退火，淬火，冷作状态下是可用的，并符合下列限制：

10.4.1 PREN 在 30 至 40 之间的双相不锈钢硬度不大于 36HRC 时可用于 H₂S 局部绝对压力为 2kPa (0.3psia) 或更低的环境。

10.4.2 PREN 在 40 至 45 之间的双相不锈钢硬度不大于 36HRC 时可用于 H₂S 局部绝对压力为 20kPa (0.3psia) 和氯化物含量在 120000mg/L 或更低的环境。

10.5 镍基管件

用于井下套管、管材和相关设备 (悬挂器、井下组件和井下组件零件) 的镍基管件应符合第四节对合金的通用要求，用户也可选择符合本节的要求。这些合金分成两部分：

- (1) 固溶化退火和冷作合金
- (2) 固溶化退火和沉淀硬化合金

10.5.1 管件

固溶化退火和冷作合金在硬度不大于

40HRC 时可用。这些合金根据合理的环境参数按性能分类，目的是使管件之间的强度和环境要求相匹配。高级别的可以用于低级别的。

10.5.1.1 第一组 —— 最大屈服强度为 1030MPa (150-ksi)

化学成分：这些合金的化学成分如下：

19.5% Cr	最小
29.5% Ni+Co	最小
2.5% Mo	最小

环境限制见表 5。

10.5.1.2 第二组 —— 最大屈服强度为 1030MPa (150-ksi)

化学成分：这些合金的化学成分如下：

19% Cr	最小
45% Ni+Co	最小
6% Mo +W	最小

环境限制见表 6。

10.5.1.2 第 3 组 —— 最大屈服强度为 1240MPa (180ksi)

化学成分：这些合金的化学成分如下：

14.5% Cr	最小
52% Ni+Co	最小
12% Mo +W	最小

环境限制见表 7。

表 5：第一组管件的适用环境

温度	H ₂ S 局部压力	是否含硫
232℃ (450°F)	0.2MPa (30psia) 最大	不
218℃ (425°F)	0.7MPa (100psia) 最大	不
204℃ (400°F)	1.0MPa (150psia) 最大	不
177℃ (350°F)	1.4MPa (200psia) 最大	不
132℃ (270°F)	无限制	是

表 6：第二组管件的适用环境

温度	H ₂ S 局部压力	是否含硫
218℃ (425°F)	2.0MPa (300psia) 最大	不
149℃ (300°F)	无限制	是

表 7：第三组管件的适用环境

温度	H ₂ S 局部压力	是否含硫
232℃ (450°F)	7.0MPa (1000psia) 最大	是
204℃ (400°F)	无限制	是

10.6 人工举升设备**10.6.1 有杆泵和抽油杆**

10.6.1.1 在酸性介质中用的有杆泵和抽油杆不在本标准范围之内, 属于 NACE 其他国际标准和 API 标准。(参考 NACE MR0176²⁷ 规范。)

10.6.2 气举设备

10.6.2.1 地上和地下设备应遵从第 3 章至第 8 章要求, 套管和管材应遵从第 10 章要求。

10.6.2.2 奥氏体不锈钢、高合金不锈钢和镍铜合金 (UNS N04400 和 UNS N04405) 可用于气举条件。还没建立这些合金的应用于这些情况的使用限制。

10.6.3 其它人工举升设备

10.6.3.1 其它人工举升设备不在本标准范围只内。

10.7 采油封隔器和其它地下设备

10.7.1 不管形状, 当用于指定条件、硬度和环境限制, 附录 D 表 D1 中所列以及第 3、第 4、第 8 和第 10 章所包含的材料适用于采油封隔器和其它地下设备。

10.7.1.1 当最大硬度、热处理和环境限制满足 9.2.4.1 和 9.2.4.2 要求时, 沉淀硬化马氏体不锈钢可适用于采油封隔器和其它地下设备。

10.7.1.2 420M 型 (化学成分符合 API 规范 5CT/5CTM 等级 L-80 型号 13Cr) 在淬火并回火到最大硬度 22HRC、最大 H_2S 局部绝对压力为 10kPa (1.5psia) 的产出水 $PH \geq 3.5$ 的生产环境中, 可适用于采油封隔器和其它地下设备。

10.7.1.3 由锻件, 低碳马氏体不锈钢 UNS S41427 棒材制成的元件经奥氏体化, 淬火和两次回火达到最大硬度 29HRC, 可适用于最大 H_2S 局部绝对压力为 10kPa (1.5psia) 的产出水 $PH \geq 3.5$ 和 $NaCl \leq 1.0\%$ 的生产环境, 其热处理应按 10.7.1.3.1 规定。

10.7.1.3.1 热处理过程 (三步程序)

(1) 在 900 到 980°C (1652 到 1796°F) 奥氏体化随后空冷或油淬至室温。

(2) 在 600 到 700°C (1112 到 1292°F) 回火随后空冷至室温。

(3) 在 540 到 620°C (1004 到 1148°F) 回火随后空冷至室温。

10.7.2 奥氏体不锈钢 (如 UNS S31600 和 UNS N08020) 和镍钼合金 (如 UNS N08825)

成功地用于井下过滤网、控制线管材、紧固件 (如: 固定螺丝等)、注入管材和比在 MR0175 中应用更多环境的。还没建立这些合金的应用于这些情况的环境限制。

10.7.3 锻造的镍铜合金 (符合第 9.2.5 节的硬度极限和热处理条件的 UNS N05500, 以及 UNSN04400 和 UNS N04405) 已经用于井下流动、安装和临时使用的维修工具。还没建立这些合金的应用于这些情况的环境限制。

10.7.4 符合第 9.2.4.1 节的硬度极限和热处理条件的 UNS S17400 已经用于临时钻探和井下维修设备, 在工况下其应力值应小于屈服应力的 60%。还没建立这些合金的应用于这些情况的环境限制。

10.8 索线头

10.8.1 索线头不在本标准范围之内。

第 11 章 矿井, 流体的管线, 收集管线, 设备和现场加工设备**11.1 总则**

材料使用于生产设备和现场加工安装将会碰上暴露在酸行环境下时候必须遵守本章, 并按第 5 章要求制造。

11.2 流体的管线和收集管线

原料和制造过程将必须遵守第 3 至 8 章。

11.3 生产设备**11.3.1 油和汽处理加工和注入设备**

11.3.1.1 原料和制造过程将必须遵守第 3 至 8 章。

11.3.1.2 分离后的操作过程中如果氯化物在水溶液中的含量是知道的或者控制的很低 (氯化物含量少于 50mg/L), 则奥氏体不锈钢 (4.2 节), 高合金奥氏体不锈钢 ((4.5 节), 双相不锈钢 (4.9 和 4.10 节), 镍基合金 (4.11 节) 可以有比本标准规定的更大使用范围。此工况下这些合金的使用还没有建立有效的使用限制。

11.3.2 低温气体处理加工设备

11.3.2.1 含镍量超过 1% 的合金钢可以用于低温条件下从而预防脆性断裂。因为没有水的条件下, 这些合金钢是可以使用的, 只要在启动和关闭过程中有足够的预防措施 (禁止使用此方法来保护设备)。这些典型的钢材有: ASTM A 333/A 333M 中的 3, 4, 7, 8, 9 级; A 334/A 334M; A 203/A 203M; A 420/A 420M 中的 WPL-3, WPL-6 和

WPL-8 级; A 350/A 350M 中的 LF3 级; A 353/A 353M; 和 A 689。

11.3.3 水注入和水处理设备

11.3.3.1 关于水处理设备的材料选择不在本规范的范围内。请查阅 NACE 标准 RP0475。

11.4 压缩机和泵

11.4.1 暴露于酸性环境下的材料应该遵守第 3 到 8 章的要求, 除了 11.4.2 和 11.4.3 规定的以外。

11.4.2 灰口铸铁 (ASTM A 278/A 278M 中 35 到 40 级) 和球墨铸铁 (ASTM A 395/A 395M) 是允许使用在压缩机滚筒, 轴瓦, 活塞和气门。铝合金 355, 回火 T-7 (ASTM B 26/B 26M), 是可以使用于活塞的。铝, 软的碳素钢和软的含碳量低的铁可用于压缩机处理酸性气体的垫圈。

11.4.3 UNS G43200 和其改良型, 当含碳量在 0.28-0.33% 最大屈服强度为 620Mpa (90ksi) 并且按照下面的三步处理过程进行热处理后是可以用作压缩机的推进器:

(1) 奥氏体化和淬火

(2) 在不低于 621°C (1150°F) 但是不超过最低临界温度下回火。在二次回火之前冷却到环境温度。

(3) 在不低于 621°C (1150°F) 但是不超过第一次回火温度下回火。冷却到环境温度。

11.4.4 铸造或锻造马氏体不锈钢合金 UNS S41000, S42400, J91150 (CA15), J91151 (CA15M), J91540 (CA6NM), 在不超过 4.8 节规定硬度并且热处理方法同 4.8.1.1 和 4.8.1.2 一致的情况下是允许被使用于压缩机在酸性环境下工作。

11.4.4.1 在高强度等级下使用这些合金做推进器必须在一个同预先的工作环境的 PH 值, H₂S 局部压强, 和氯化物含量相同的情况下保证其临界应力为其实际屈服强度的 95%。

11.4.5 锻态 UNS S17400 和 S15500 马氏体沉淀硬化不锈钢使用 9.2.4.1.1 或者 9.2.4.1.2 的热处理方法下保证它们的最大硬度不超过 33HRC 时候是可以用于压缩机上, 在酸性环境下工作的。

11.4.5.1 在硬度 > 33HRC 等级下使用这些合金做推进器必须在一个同预先的工作环境的 PH 值, H₂S 局部压强, 和氯化物含量相同的情况下保证其临界应力为其实际屈服强度的 95%。

11.4.6 锻态 UNS S45000 马氏体沉淀硬化不锈钢在使用 9.5.3.1 的热处理方法下保证起最大硬度不超过 31HRC (相当于 306HBW) 时候是可以用于压缩机上, 在酸性环境下工作的。

11.4.7 符合 4.2 节的奥氏体不锈钢, 允许用于压缩机上, 在酸性环境下工作。

11.5 管配件

11.5.1 符合 ASTM A105/A105M 或者 A234/A234M 中 WPB 和 WPC 级的碳钢, 其热加工条件不超过下面的硬度: A105/A105M (187HBW); A234/A234M WPB 和 WPC (197HBW) 时允许使用。

第 12 章 钻探和矿井维护设备

12.1 总则

金属材料使用于暴露在酸性环境下的钻探和矿井维护设备必须满足本章条件, 其制造要符合第 5 章, 除非另有说明。

12.2 钻探和矿井维护环境的控制

12.2.1 在钻探和矿井维护操作中的工作应力, 通常要求材料的硬度比在第 3 章中对碳钢和低合金钢的允许值更大。当这些材料用于钻探作业或在酸性环境下工作时, 避免 SSC/SCC 的首要手段是控制钻探或矿井维护的环境, 当工作应力和材料硬度增加时, 钻探流体的控制就非常重要。

12.2.2 钻探环境的控制是通过维护钻井泥浆的静压头和流体密度而使地层流体的流量最小或者是使用下面的一条或者几条:

(1) 保持 PH 值不小于 10 从而中和地层中的 H₂S;

(2) 使用硫化物净化剂; (3) 采用连续相的钻井泥浆。

12.2.3 当钻杆用铝做的时候, 钻井泥浆的 PH 值不应超过 10.5 以避免加速因腐蚀引起的质量损失。

12.3 钻探设备

12.3.1 钻杆

12.3.1.1 钻管, 钻具接头, 钻环和其他的管状组件。

12.3.1.1.1 如果钻探环境是受控的 (见 12.2) 列出的符合 API 规范的附录 D 中的表 D2 钢管部件是可以使用的。为了达到最佳的抗 SSC/SCC 能力, 对于最小屈服应力大于 660MPa (95ksi) 的钢制件应进行淬火+回火

的热处理。

12.3.1.2 钻管和钻具接头的焊接

12.3.1.2.1 焊缝和热影响区必须进行热处理: 先奥氏体化, 冷却到最小转变温度以下, 在 593°C(1100°F)以上温度回火。

12.3.1.3 表面硬化

12.3.1.3.1 管状钻探元件的表面硬化处理仅用于那些截面积增加, 工作应力减少的部分。这些表面硬化处理无需热处理。

12.3.2 钻头

12.3.3.1 钻头不在本标准规定范围。

12.3.3 其他的钻探部件

12.3.3.1 其他的钻探部件(抽泥泵, 转环, 主动钻杆等等)使用的材料要符合第 3 章至第 8 章。这些部件中同酸性钻液隔离或者暴露于控制钻液环境(见 12.2.2)的零件不在本标准规定范围。

12.4 防喷器(BOP)

12.4.1 防喷器的阀体和零件(除撞杆和撞杆剪切刀片外)应符合第 3 章至第 8 章的要求。

12.4.2 防喷器的剪切刀片

12.4.2.1 撞杆剪切刀片要求采用高强度和高硬度的钢材制造, 以使在紧急情况下, 可以剪断钻杆。但是这些材料对 SSC/SCC 有很高的敏感性。

12.4.3 撞杆

12.4.3.1 符合第 3 章至第 8 章的低合金钢, 允许用来制造撞杆, 铬-钼等级(及其改良型)的低合金钢, 在淬火+回火状态下, 硬度不超过 26HRC 时, 允许用来制造撞杆。这些合金的硬度大于 22HRC 时, 要特别注意其化学成分和热处理要求, 以确保其抗 SSC 能力。应进行 SSC 测试, 以确认其与那些在酸性环境下, 可以满意使用的材料, 有相当的抗 SSC 性能。

12.5 节流歧管, 节流阀, 抑制管线

12.5.1 歧节流管, 节流阀, 抑制管线应遵守第 3 章至第 8 章要求。

12.6 钻杆测试

12.6.1 钻杆测试通常不在受控制的钻探环境中操作。钻杆测试材料应遵守从第 3 章至第 10 章, 以及 12.2.1 节的要求。

12.6.2 可以使用列举在附录 D 中的表 D2 里面的材料, 但是在操作程序中, 要考虑到 1.4 节所列举的各种因素, 如缓蚀剂的使用, 进口端限制、时间限制、压力限制、冶金学或

设计参数等。这种操作程序是不在本标准的范围之内的(参看 API RP 7G。)

12.7 地层测试工具

12.7.1 地层测试工具所用材料应遵守第 3 章至第 10 章和 12.2.1 节的要求。

12.8 浮动钻探操作

12.8.1 防喷器(BOP)

12.8.1.1 防喷器应遵守 12.4 节的要求。

12.8.2 钻探冒口系统

12.8.2.1 如果酸性地层流体在海底防喷器处通过节流阀和抑制管线分流, 则钻探立管, 整流片的竖端连接, 丝锥接套或者皮线接缝, 和伸缩接缝不在本标准规定范围。尽管如此, 如果冒口系统暴露于酸性环境则材料使用要符合第 3 章至第 8 章和表 D1 的要求。

12.8.3 节流阀和抑制管线

12.8.3.1 节流阀和抑制管线和歧管的材料应遵守第 3 至 8 章要求。

12.9 钻井维护设备

12.9.1 流体采样器皿

12.9.1.1 加压至生产环境压力的器皿要符合本标准要求。

12.9.2 井底维护工具

12.9.2 井底维护工具是不包含在本标准范围之内的。使用者必须确保它的材料的使用受限在预先工作环境下。

12.9.3 绳索

12.9.3.1 井口维护中使用的绳索, 在可能接触到酸性流体时, 应该遵守 10.1 节的条件或者可适用 12.3。仅暴露在受控钻液环境下的绳索在本标准的规定范围。

12.9.4 防喷器

12.9.4.1 防喷器应遵守 12.4 节的要求。

12.9.5 节流器和抑制管线

12.9.5.1 节流器、抑制管线和歧管应符合第 3 章至第 9 章的要求。

12.9.6 生产测试设备

12.9.6.1 生产测试设备应遵守第 3 章至第 8 章要求。

12.9.7 钢丝绳润滑装置

12.9.7.1 钢丝绳润滑器和辅助设备应遵守第 3 章至第 8 章和附录 D 中表 D1 要求。

第 13 章 对第 3 章的补充材料: 碳钢、低合金钢和铸铁

13.1 表决标准: 硬度大于 22HRC 碳钢、低

合金钢和铸铁没有被本标准包括,除非其符合以下的最小表决标准方可纳入本标准范围。这些表决标准是最小的必要条件。

13.1.1 补充材料成功地用于实验室和现场测试,并且依据本标准的要求成功地表决通过。

13.1.2 对本标准的修改要求应按《NACE 技术委员会出版物手册》以书面形式寄到 NACE 总部。这些要求应具体地提出所建议的更改,要有合理的文档支持,包括完整的材料过程或描述,实验室或现场试验数据或使用性能,或其他的技术证明。要求会按《NACE 技术委员会出版物手册》审查和表决。

13.1.3 候补的钢必须按 NACE 标准 TM0177 所设的测试程序进行测试。在 NACE 标准 TM0177 中所述的拉力试棒、C 环、弯曲梁和双挑梁是可接受的测试样本。这些样本都将被使用。

13.1.4 至少应有三件从三个不同的炉中选取的样品。在热处理状态下进行测试,以便为纳入 MR0175 而作表决,每炉的化学成分和采用的热处理应作为表决的一部分。候补的材料组成成分范围并且/或者 UNS 数字及其为纳入 MR0175 而要求的热处理状态须包含在表决中。

13.1.5 作为表决的一部分,每件测试样品的洛氏硬度必须确定,并出具报告,最小测试样品的硬度,应为用于表决的那次热处理而获得。候补材料为纳入 MR0175 而要求的最大硬度应在表决中具体指定并有数据支持。

13.1.6 对每一所实施的测试,测试细节应出具报告,作为表决的一部分。

13.1.7 测试数据的表格的范例和可用的测试等级 I 到 VII 级的定义见附录 B。测试等级是根据温度,CO₂ 的最小含量,H₂S 的最小含量,NaCl 的最小含量,Hp 值和其他的变量来定义的。附录 C 提供了先前提供的可能被用做参考的已表决的数据。

第 14 章 新增材料到 MR0175 第 4 章抗腐蚀合金 (CRAs) —所有在第 3 章中除碳钢、低合金钢和铸铁以外的其他合金

14.1 新的单独材料(合金)和/或者与单独合金相关的新工艺应根据测试等级进行表决。每一测试级别对应一个列在附录 B,表 B1 中的环境恶劣性的等级;对于所表决的测试等级下的最小环境约束,表决者可以自

由增加测试环境的恶劣性。对于仅基于实验室数据的新材料或工艺的表决,应包含至少来自三个炉次的样品的测试结果。

14.1.1 补充材料成功地用于实验室和现场测试,并且依据本标准的要求成功地表决通过。

14.1.2 对本标准的修改要求应按《NACE 技术委员会出版物手册》以书面形式寄到 NACE 总部。这些要求应具体地提出所建议的更改,要有合理的文档支持,包括完整的材料过程或描述,实验室或现场试验数据或使用性能,或其他的技术证明。要求会按《NACE 技术委员会出版物手册》审查和表决。

14.1.3 对补充材料的要求见第 13 章和第 15 章以及第 14 章的其它段落。

14.1.4 测试数据的表格的范例和可用的测试等级 I 到 VII 级的定义见附录 B。测试等级是根据温度,CO₂ 的最小含量,H₂S 的最小含量,NaCl 的最小含量,Hp 值和其他的变量来定义的。附录 C 提供了先前提供的可能被用做参考的已表决的数据。

14.2 奥氏体和二相不锈钢,镍基合金钢和钛合金在升高温度的情况下容易产生裂纹。这些合金在测试等级 II 和 III 级中的测试数据只能提供在室温下使用的资格。如果使用的温度升高,那么应提供在测试等级 IV、V、VI、VII 下的数据。如果高于 III 级的一个测试等级被表决,那么表决的项目应包括与测试等级 III 级的要求保持一致的在室温下的测试结果。某些双相不锈钢的裂纹被钢的电耦合作用所抑制,因此,双相不锈钢在室温下的评估,可以采用测试等级 II 级。

14.3 与 NACE 标准 TM0177 和 TM0198 要求一致的实验室数据提供了两个实验室测试信息要求的接受基础。其他的测试方法也可以采用。这些测试环境不是为了阐述实际的工作条件。必须采用有测试细节的测试结果。附录 B 中表 B2 的数据不作为应用的准则或者是材料可能的使用环境的限制,例如:拉力试验、裂纹发生的应力阈值或者失效/断裂没有发生的最大应力,都将与测试材料和测试环境一起列出。用户的责任是确保材料满足指定工作环境的要求。NACE 总部会就服从 NACE 标准的表决数据进行公认的审查。附录 C 包含了最近几年才纳入的材料的表决数据。

14.3.1 只有当合金被单独列出时,才能改变

一个单位合金的环境使用限制(温度, 氯化物, PH 值, H_2S 的局部压力或者是否含有硫元素)。

14.4 仅当表决数据证明这些改变适用于整个合金分类, 才能增加一个合金分类或者是改变一个合金分类使用环境的限制(温度, 氯化物, PH 值, H_2S 的局部压力或者是否含有硫元素)。因此, 改变包含在一个合金分类中的一个单独合金的环境的使用条件(温度, 氯化物, PH 值, H_2S 的局部压力或者是否含有硫元素)只有通过改变整个合金分类的使用条件方可实现。

第 15 章 MR0175 中第 5 章至第 11 章的建议改动和增加: 制造, 焊接和具体设备

对这些章节的改动和增加要求按第 13 章和/或第 14 章进行表决。作为选择, 用户也可按第 16 章进行。

第 16 章 不建议添加新材料至 MR0175 的具体应用案例的材料

没有在 MR0175 中具体列出的材料就可以按照具体应用案例的标准。本章提供了符合具体应用案例标准的最低要求:

- (1) MR0175 之外的具体分类的合金
- (2) MR0175 中的合金, 但是用于 MR0175 可接受的环境
- (3) 没有在 MR0175 中列出的和没有包括在具体分类中的合金

16.1 一般要求

用于特殊应用(例如井和现场), 合金的使用应有实验室测试或现场经验数据的支持。支持文件要提交 NACE 国际总部, 并公开。NACE 国际总部将不会复查和批准这些文件。评估和决定支持文件数据的适用性是用户的责任。

新的合金组成和适合的环境不被投票表决不能成为 MR0175 的一部分。MR0175 限制了: (1) 制造工艺 (2) 环境。在本标准要求之外的合金的使用是用户自己的责任。

展宽合金的使用仅限于支持文件中的每一化学成分和材料状态(合金化学成分参见 UNS 牌号), 设备的使用者要决定不同制造工艺方法的产品的实用性(例如, 锻件对铸件, 大小和形状, 热/冷加工等)。

16.2 测试要求

应从与实际应用具有相似的尺寸和形状的产品上切取的样品上进行测试。化学成分应指定和测试, 并应在此合金的化学成分范围内。用户要指定在实验室数据基础上建立的产品最大强度和硬度。为了进行环境测试, 下面是为测试样本所做的记录:

- 测试样本的大小, 测试样本的类型和测试样本在零件上的位置。
- 零件的形状和完整的工艺流程。这包括锻件或铸件, 大小和形状, 热/冷加工和任何热处理。

16.2.1 扩大适用范围

确认测试的引证是与想要的使用要求是否相关是用户的责任。测定 SCC 和 SSC 敏感度的适当的温度和环境的选择是有要求的。NACE 标准 TM0177 和 EFC 出版物 #17 提供了实验室测试的指导。典型的, 展开的环境限制可能是 H_2S 的局部压力限制的增加, 也可能是与低氯化物, PH 值的限制或者是温度的限制有关联。

16.2.2 测试规约

EFC 出版物 #16 对低合金钢的测试方法和接受的评定标准建议作为在适当的 SCC/SSC 测试环境中合格的合金的基础性方法和接受准则。接受测试程序和验收标准是用户的责任。

16.2.3 现场经验

基于现场经验的扩大使用范围应限制在: 合金的化学成分和制造元件的配制与那些已被证明可以成功使用的现场经验下, 具有相似的环境和应力条件。

基于现场经验的扩大使用范围的记录文档要求一个元件暴露在环境中足够的时间以证明其可以抵抗 SCC/SSC。影响 SCC/SSC 的因素的充分信息(例如: 应力等级、流体和气体成分, 操作条件、电耦合等)应被记录下来。

翻译: 何 柱等

校核: 李军业

2004.7.

附录 A

计算 H₂S 局部压力的例子

图 A-1 提供 1.4 节描述的局部压力关系的图示法，适用于酸性气体系统。

图 A-2 提供 1.4 节描述的局部压力关系的图示法，适用于酸性多相系统。

局部压力可以通过系统的绝对压力乘以 H₂S 的摩尔分数来算得。例如，在一个 69Mpa abs (10000psia)，H₂S 气体的摩尔分数为 10 mol% 的系统中，H₂S 的局部压力为：

$$\frac{10}{100} \times 69 = 6.9 \text{ Mpa abs}$$

$$\frac{10}{100} \times 10000 = 1000 \text{ psia}$$

井下流体原油系统操作在没有平衡气体混合物的起泡点压力之上时，H₂S 的局部压力可以被决定通过使用 H₂S 的摩尔分数在气相中的起泡点压力。例如，油起泡点压力有 34.5Mpa abs (5000psia)，H₂S 在气相中的起泡点压力的摩尔分数为 10 mol%，H₂S 的局部压力为：

$$34.5 \times \frac{10}{100} = 3.45 \text{ Mpa abs}$$

$$5000 \times \frac{10}{100} = 500 \text{ psia}$$

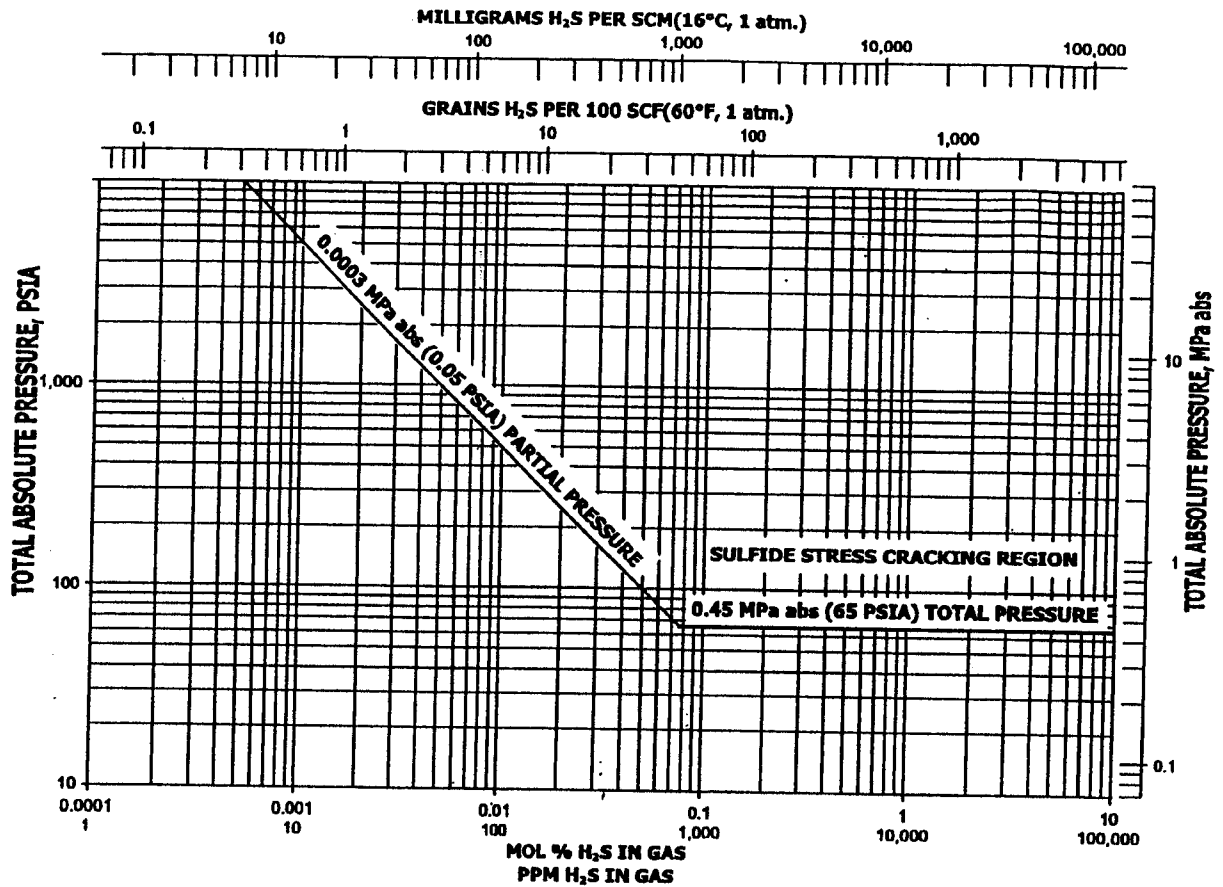


Figure A-1: Sour Gas Systems (see Paragraph 1.4)

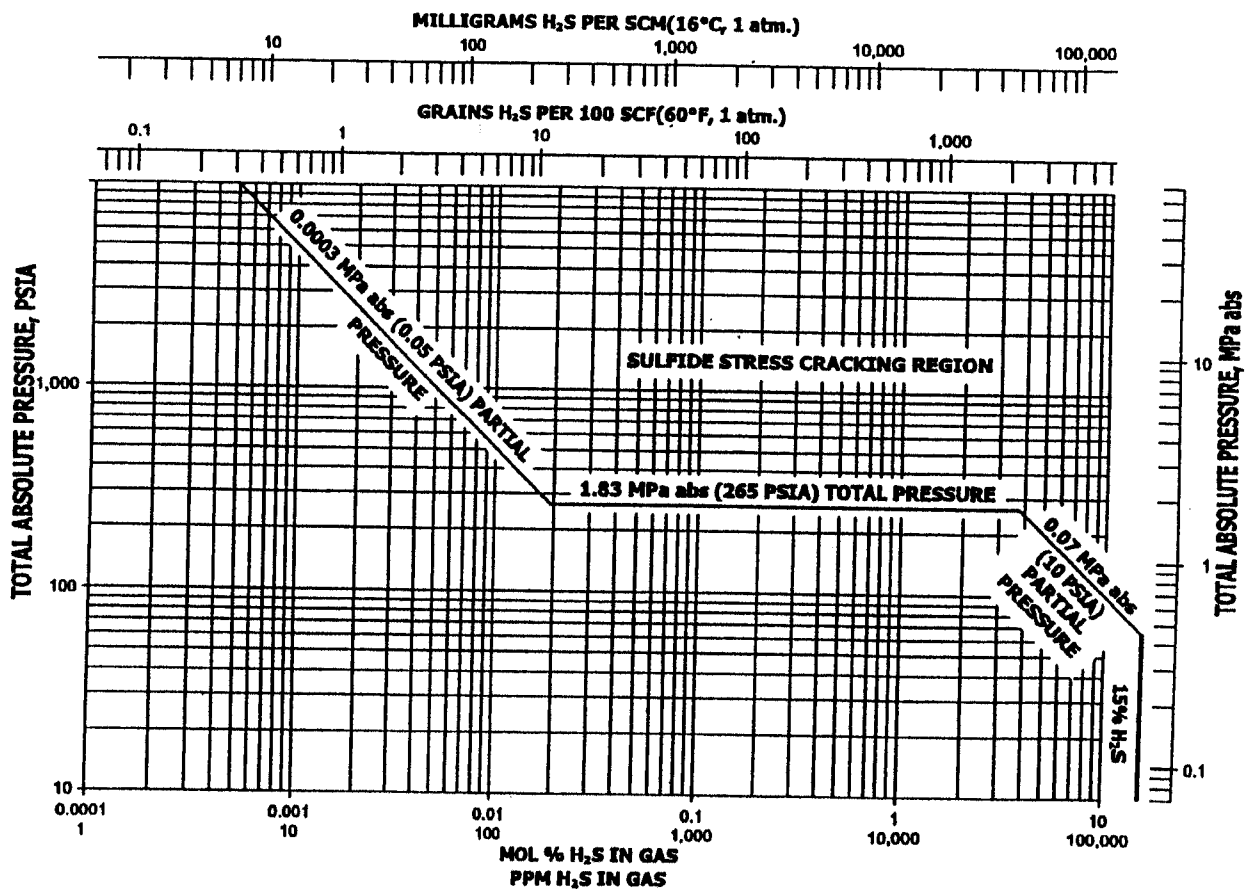


Figure A-2: Sour Multiphase Systems (see Paragraph 1.4)

附录 B
测试数据表格的范例

表 B1 测试等级的描述

试验级别		I	II	III	IV	V	VI	VII
试验条件	温度	25±3℃(77±5°F)	25±3℃(77±5°F)	25±3℃(77±5°F)	90±5℃ (194±9°F)	150±5℃ (302±9°F)	175±5℃ (347±9°F)	205±5℃ (401±9°F)
	CO ₂ 最低含量	无	无	无	0.7MPa (100psi)	1.4MPa (200psi)	3.5MPa (500psi)	3.5MPa (500psi)
	H ₂ S 最低含量	(列出)	TM0177	TM0177	0.003MPa (0.4psi)	0.7MPa (100psi)	3.5MPa (500psi)	3.5MPa (500psi)
	NaCl 最低含量	(列出)	TM0177	TM0177	150,000 mg/L	150,000 mg/L	200,000 mg/L	250,000 mg/L
	PH 值	(列出)	TM0177	TM0177	(列出)	(列出)	(列出)	(列出)
	其它 ^(A)	(列出)	无	钢耦合	(列出)	(列出)	(列出)	(列出)
试验方法		(列出)	(列出 TM0177 方法)	(列出 TM0177 方法)	(列出)	(列出)	(列出)	(列出)
材料牌号与状态		报告：化学成分、UNS 编号和采用的工艺、热处理						
材料性能		报告：屈服强度、拉伸强度、延伸率(%)和硬度						
应力级别及结果		报告：试验应力级别、塑性应变等试验结果						

A：硫元素和氧化剂将增加 SCC 敏感性。

表 B2 试验数据

试验级别	材料牌号与状态	材料性能	试验方法与环境	试验结果

附录 C 用于表决所提交的数据

本附录给出被 MR0175 接受而提供的用于表决的数据的信息。所有这些材料已被接受，表中显示了材料的测试限制。任何超出这些限制的使用责任都在使用者。

符合 ASTM A 351/A 351M、A 743/A 743M 或 A 744/A 744M 的铸态 UNS J93254 (CK3MCuN) 在没有硫元素的环境中，在固溶状态下硬度不超过 100 HRB 时使用是允许的。(见表 C1)

表 C1

试验等级	材料牌号和条件	材料性能	试验方法, 环境	试验结果
II 和 III	UNS J93254 (CK3MCuN) 铸件, 固溶状态	屈服强度 300-330 MPa(43-48ksi) 抗拉强度 590-650 MPa(86-94Ksi) 延伸率 47%-54%	TM0177 溶解, 180 度弯矩加载至屈服以上, 铁耦合和没有铁耦合	在略多于 720 小时内不出现失效
		屈服强度 330-340MPa(48-50ksi) 抗拉强度 650-690 MPa(94-100Ksi) 延伸率 47%-48%	TM0177 拉伸, 加载至屈服, 铁耦合和没有铁耦合	在略多于 720 小时内不出现失效

锻态 UNS N08367 在没有硫元素的环境中，在固溶或固溶加冷作状态下硬度不超过 35 HRC 时使用是允许的。(见表 C2)

表 C2

试验等级	材料牌号和条件	材料性能	试验方法, 环境	试验结果
II 和 III	UNS N08367 固溶或固溶加冷作	屈服强度 1300 MPa (120ksi) 抗拉强度 1400 MPa (200ksi) 延伸率 11%-16%	TM0177 方法 A, 加载至 90%屈服限, 铁耦合和没有铁耦合	在略多于 720 小时内不出现失效
修正的 V 级		硬度 41-45 HRC	四点弯曲梁, 修正的 V 级: 10%NaCl, 121°C (302°F), H ₂ S 分压 0.7MPa bas(100 psi); 加载至 100%屈服	在略多于 720 小时内不出现失效

锻态 UNS S32654 在没有硫元素的环境中，如果不采用冷作方法提高其机械性能，在退火状态硬度不超过 22HRC 时使用是允许的。(见表 C3)

表 C3

试验等级	材料牌号和条件	材料性能	试验方法与环境	试验结果
II 级	锻态、退火 UNS S32654	硬度不超过 16.5HRC	四点加载, 0.9~1 倍屈服强度, 5%NaCl+0.5% 醋酸, RT Ptot=PH ₂ S=100kPa(15psi or 1bar)	12 件试样测, 无裂纹
II 级	锻态、退火、40%冷作变形 UNS S32654	硬度不超过 42.5HRC	四点加载, 0.9~1 倍屈服强度, 5%NaCl+0.5%醋酸, RT Ptot=PH ₂ S=100kPa(15psi or 1bar)	12 件试样测, 无裂纹
III 级	锻态、退火 UNS S32654	硬度不超过 16.5HRC	四点加载, 0.9~1 倍屈服强度, 碳钢耦合, 5%NaCl+0.5%醋酸, RT Ptot=PH ₂ S=100kPa(15psi or 1bar)	12 件试样测, 无裂纹
III 级	锻态、退火、40%冷作变形 UNS S32654	硬度不超过 42.5HRC	四点加载, 0.9~1 倍屈服强度, 碳钢耦合, 5%NaCl+0.5%醋酸, RT Ptot=PH ₂ S=100kPa(15psi or 1bar)	12 件试样测, 无裂纹

RT—室温。

Ptot—总压

按真空感应熔炼工艺(VIM)或根据电渣重熔(ESR)的真空脱氧(VOD)工艺的锻态 UNS S31266, 随后固溶退火和冷作状态硬度不超过 38HRC,在 V 类环境中使用是允许的。(见表 C4)

表 C4

试验等级	材料牌号和条件	材料性能	试验方法和环境	应力级别(%实际的屈服强度)	试验结果
I 级	固溶退火 冷拔 UNS S31266	41 HRC	TM0177 方法 A—5%NaCl, 0.5% 醋酸, 0.1MPa abs(15 psia) H ₂ S, 24℃(75°F)	100	720 小时不失效
I 级	固溶退火 冷拔 UNS S31266	41 HRC	TM0177 方法 A—5%NaCl, 0.5%醋酸, 0.1MPa abs(15 psia) H ₂ S, 24℃(75°F), 钢耦合	100	720 小时不失效
I 级	固溶退火 拉伸变形冷作 UNS S31266	37 36 35 HRC	TM0177 方法 A—5%NaCl, 0.5%醋酸, 0.1MPa abs(15 psia) H ₂ S, 24℃(75°F)	100	720 小时不失效
I 级	固溶退火 拉伸变形冷作 UNS S31266	37 36 35 HRC	TM0177 方法 A—5%NaCl, 0.5%醋酸, 0.1MPa abs(15 psia) H ₂ S, 24℃(75°F)	100	720 小时不失效
V 级	固溶退火 冷拔 UNS S31266	41 HRC	TM0177 方法 A—15%NaCl, 0.7MPa abs(100 psia) H ₂ S, 1.4MPa abs(200 psia) CO ₂ 150℃(302°F)	90% 150℃(302°F) 下 的实际屈服强度	720 小时不失效
V 级	固溶退火 拉伸变形冷作 UNS S31266	37 38 HRC	TM0177 方法 A—15%NaCl, 0.7MPa abs(100 psia) H ₂ S, 1.4MPa abs(200 psia) CO ₂ 150℃(302°F)	90% 150℃(302°F) 下 的实际屈服强度	720 小时不失效
V 级 mod. ^ω	固溶退火 冷作 UNS S31266	38 39 HRC	四点弯曲测试 20%NaCl, 0.7MPa abs(100 psia) H ₂ S, 1.4MPa abs(200 psia) CO ₂ 150℃(302°F)	100 150℃(302°F) 下 的实际屈服强度	720 小时不失效

^(A) mod.-在普通等级 V 的测试溶液中用 20%的 NaCl 替代 15%的 NaCl.

锻态 UNS S34565 在没有硫元素的环境中，在固溶退火状态下硬度不超过 29 HRC 时使用是允许的。（见表 C5）

表 C5

试验等级	材料牌号和条件	材料性能 HRC	试验方法和环境	应力级别	试验结果
III 级	锻态、固溶退火 UNS S34565	硬度不超过 29HRC	TM0177A 溶液 A, RT 方法 A	90% 屈服强度	不失效
IV 级	锻态、固溶退火 UNS S34565	硬度不超过 29HRC	TM0177 表 B1 等级 IV 90°C(194°F)方法 A	90% 屈服强度	不失效
IV 级	锻态、固溶退火 UNS S34565	硬度不超过 29HRC	接近 TM0198 90°C(194°F)		无裂纹

锻态低碳马氏体不锈钢 UNS S41425，经奥氏体化、淬火并回火，在硬度不超过 28 HRC 时使用在没有硫元素的环境中是允许的。（见表 C6）

表 C6

试验等级	材料牌号和条件	材料性能	试验方法，环境	应力级别	试验结果
I 级	锻态，淬火，和回火 <u>UNS S41425</u>	硬度 29, 27, 28 HRC	TM0177A 溶液 A 除了 H ₂ S 分压 0.010MPa <u>abs(1.5psia)</u> , pH 值 3.5RT, 方法 A, 没有钢耦合	80% 屈服应力	不失效
I 级	锻态，淬火，和回火 <u>UNS S41425</u>	硬度 29, 27, 28, 29 HRC	H ₂ S 分压 0.0031 MPa (0.45psia) CO ₂ 分压 0.7MPa <u>abs(101 psia)</u> 15% NaCl 温度 90°C(194°F)	80%和 90% 屈服应力	不失效
I 级	锻态，淬火，和回火 <u>UNS S41425</u>	硬度 29, 27, 28 HRC	H ₂ S 分压 0.010 MPa(1.5 psia) CO ₂ 分压 20MPa <u>abs(450 psia)</u> 5% NaCl 温度 175°C(348°F)	80%和 90% 屈服应力	不失效

锻态 UNS N08031 在没有硫元素、 H_2S 分压不超过 3.45MPa(500psia)的酸性环境中，在冷作状态下，硬度不超过 35 HRC 时使用是允许的。(见表 C7)

表 C7

试验等级	材料牌号和条件	材料性能	试验方法, 环境	应力级别	试验结果
II 级	冷作, 锻态, UNS N08031	硬度 36, 37, 36 HRC	TM0177 A 溶液 RT ^(A) 方法 A	100%屈服强度	不失效
III 级	冷作, 锻态, UNS N08031	硬度 36, 37, 36 HRC	TM0177 A 溶液 RT 方法 A	100%屈服强度	不失效
V 级	冷作, 锻态, UNS N08031	硬度 36, 37, 36 HRC	MR0175, 表 B1 的 V 级 150°C (300°F)	100%屈服强度	不失效
VI 级	冷作, 锻态, UNS N08031	硬度 36, 37, 36 HRC	MR0175, 表 B1 的 VI 级 175°C(347°F)	100%屈服强度	不失效

(A) RT—室温

锻态 UNS N07924 在按 VI 级规定的没有硫元素且温度不超过 175°C (347°F) 的环境中，在扩散退火加时效状态下硬度不超过 35 HRC 时使用是允许的。(见表 C8)

表 C8

试验等级	材料牌号和条件	材料性能	试验方法与环境	试验结果
II 和 III 级	UNS N07924 锻态, 固溶退火加时效	硬度 35-36 HRC 屈服强度 735-776 MPa(106-112ksi) 抗拉极限 1,180-1,220MPa (171-176ksi) 延伸率 4d: 34% RA ^(A) % 47-49	TM0177 溶液 方法 A(拉伸) 加载至 100%屈服, 室温, 铁耦合和没有铁耦合	在略大于 720 小时不失效
VI 级	相同材料	相同特性	MR0175, 表 1 级别 VI, 175°C(347°F), 酸性石油工况中的 SSC 的 SSRT ^(B) , NACE TM0198 标准 扩展率: 4×10^{-6} 秒 ⁻¹	没有 SSC TTF ^(C) /TTF 空气: 0.93-1.03 伸长率/伸长率 空气 0.92-1.00 RA/RA 空气: 0.75-0.84

(A)断面收缩率

(B)缓慢应变率试验

(C)失效总时间

在无硫离子存在的环境中，锻态 UNS N07725，在固溶退火加时效状态下硬度不超过 43HRC 时使用是允许的。（见表 C9）

表 C9

试验等级	材料牌号和条件	材料性能	试验方法与环境	试验结果
III 级	UNS N07725 锻态， 固溶退火加时效	<u>屈服强度 1030-1100 MPa</u> (149-160 ksi) <u>抗拉极限 1350-1390MPa</u> (196-202 ksi) 延伸率 23~25% 断面收缩率 33%-46%	TM0177 方法 A 拉伸试验 加载至 100%屈服，钢耦合 环境按 25℃ (77°F) 表 B1 测试等级 III	在 720 小时内不失效
VI 级	UNS N07725 锻态， 固溶退火加时效	<u>屈服强度 1030-1100 MPa</u> (149-160ksi) <u>抗拉极限 1350-1390MPa</u> (196-202 ksi) 延伸率 23~25% 断面收缩率 33%-46%	TM0198 SSRT，试验环境按 175℃(347°F)表 B1 试验等级 VI	没有失效，SSR ^(A) 比率 0.82~1.16 正常延伸状态

^(A)缓慢应变率

对于非下装孔(Nondown hole),应用符合 ASTM A494 规定，在无硫离子存在的环境中，铸态 UNS N26625(CW6MC)，在固溶热处理状态硬度不超过 195HBW 时使用是允许的。（见表 C10）

表 C10

试验等级	材料牌号和条件	材料性能	试验方法与环境	试验结果
II 和 III 级	UNS N26625 (CW6MC) 铸态， 固溶热处理	<u>屈服强度 320MPa</u> (46 ksi) <u>抗拉极限 570-660MPa</u> (82-96 ksi) 延伸率 31~63%	TM0177 溶解，180 度弯矩加载至屈服以上，铁耦合和没有铁耦合	在略大于 720 小时不失效
		<u>屈服强度 280-290 MPa</u> (41-42 ksi) <u>抗拉极限 580-610MPa</u> (84-88 ksi) 延伸率 59~64%	TM0177 拉伸加载至屈服，铁耦合和没有铁耦合	在略大于 720 小时不失效

UNS S41426 的管材和机壳, 调质到硬度最大 27HRC, 同时保证屈服强度不超过 730Mpa (105ksi), 适用的 H₂S 分压最大不超过 10kPa abs (1.5 psia) 采出水 PH≥3.5 的开采环境。
(见表 C11)

表 C11

试验等级	材料牌号和条件	材料性能	试验方法与环境	试验结果
I	锻造, 调质 UNS S41426	1. HRC 28.1 屈服强度 741MPa (108ksi) 2. HRC 28.5 屈服强度 738MPa (107ksi) 3. HRC 29 屈服强度 779MPa (113ksi)	TM0177, 方法 A 0.010MPa abs (1.5psia) H ₂ S+0.0931MPa abs (13.5psia) CO ₂ , 5%NaCl, PH3.5, 25℃ (77°F), 80%的屈服强度	无失效
I	锻造, 调质 UNS S41426	1. HRC 28 屈服强度 738MPa (107ksi) 2. HRC 29 屈服强度 772MPa (112ksi) 3. HRC 29 屈服强度 779MPa (113ksi)	TM0177, 方法 A 0.0031MPa abs (0.45psia) H ₂ S+0.097MPa abs (14psia) CO ₂ , 5%NaCl, 25℃ (77°F), 80%的屈服强度	无失效
I	锻造, 调质 UNS S41426	1. HRC 28 屈服强度 738MPa (107ksi) 2. HRC 29 屈服强度 772MPa (112ksi) 3. HRC 29 屈服强度 779MPa (113ksi)	TM0177, 方法 C 0.010MPa abs (1.5psia) H ₂ S+3.1MPa abs (450psia) CO ₂ , 5%NaCl, 175℃ (347°F), 80% 的屈服强度 738MPa (107ksi); 90% 的 屈 服 强 度 772MPa (112ksi) 和 779MPa (113ksi)	无失效

锻态 UNS R20033 在没有硫离子存在的条件下, 在退火或退火加冷作状态下最大硬度不超过 35 HRC 是允许的。(见表 C12)

表 C12

试验等级	材料牌号和条件	材料性能	试验方法, 环境	应力级别	试验结果
II 级	冷作棒, UNS R20033	硬度 40 HRC	TM0177 方法 A, 溶液 A, RT	100%屈服强度	不失效
III 级	冷作棒, UNS R20033	硬度 40 HRC	TM0177 方法 A, 溶液 A, RT	100%屈服强度	不失效
IV 级	冷作棒, UNS R20033	硬度 35 HRC	TM0177 方法 A, MR0175, 表 1 的 IV 级 90°C (194°F)	100%屈服强度	不失效

用粉末冶金工艺, 全密度热压而成的 UNS N07626 在固溶退火 (最低 927°C [1700°F] 温度下) 加时效 (538°C-816°C [1000°F-1500°F] 温度范围内) 或直接时效 (538°C-816°C [1000°F-1500°F] 温度范围内) 状态下, 硬度不超过 40 HRC, 抗拉强度不超过 1380MPa(200ksi) 时使用是允许的。(见表 C13)

表 C13

试验等级	材料牌号和条件	材料性能	试验方法, 环境	试验结果
III	UNS N07626 粉末, 热压, 直接时效	屈服强度 1020Mpa (148ksi), 41HRC	TM0177 C, C 型圈在 100%屈服强度下测试, 钢耦合, 按表 B1 测试等级 III, 25°C (77°F) 规定	720 小时无失效
25%NaCl+15% H ₂ S+15% CO ₂ +70%N	UNS N07626 粉末, 热压, 直接时效	屈服强度 917Mpa(133ksi), 40HRC	C 型圈在 90%屈服强度下测试, 钢耦合。25°C (77°F)	40 天无失效
25%NaCl+15% H ₂ S+15% CO ₂ +70%N+1g/ L S	UNS N07626 粉末, 热压, 直接时效	屈服强度 917Mpa(133ksi), 40HRC	C 型圈在 90%屈服强度下测试, 205°C (400°F)	720 小时无失效

锻态低碳马氏体不锈钢 UNS S41427 制造的零件在奥氏体化下淬火加两次回火条件下最大硬度不超过 29HRC, 没有硫元素存在的室温环境中允许使用。热处理按下列步骤进行。(见表 C14)

热处理过程 (三步):

- (1) 奥氏体化温度 900-980°C (1652-1796°F), 空冷或者油淬至环境温度。
- (2) 600-700°C (1112-1292°F) 回火, 空冷至环境温度。
- (3) 540-620°C (1004-1148°F) 回火, 空冷至环境温度。

表 C14

试验等级	材料牌号和条件	材料性能	试验方法, 环境	应力级别	试验结果
I	锻态淬火 加两次回火 UNS S41427	(1)30 HRC 屈服强度 751Mpa (109ksi) (2)29HRC 屈服强度 682Mpa (98.9ksi) (3)30HRC 屈服强度 765Mpa (111ksi)	TM0177 方法 A, 1wt%NaCl+ CH ₃ COONa (0.04g/L) + CH ₃ COOH (0.23wt%), H ₂ S 10 kPa abs(1.45 psia 或者 0.1 bar abs), 平衡 CO ₂ , PH=3.5, 室温	90%的屈服强度	NF
I	锻态淬火 加两次回火 UNS S41427	(1)30 HRC 屈服强度 751Mpa (109ksi) (2)29HRC 屈服强度 682Mpa (98.9ksi) (3)30HRC 屈服强度 765Mpa (111ksi)	TM0177 方法 A, 0.2%NaCl+ CH ₃ COONa (6.8g/L) + CH ₃ COOH, H ₂ S 10 kPa abs (1.45 psia 或者 0.1 bar abs), 平衡 CO ₂ , PH=3.5, 室温	90%的屈服强度	NF
I	锻态淬火 加两次回火 UNS S41427	(1)30 HRC 屈服强度 751Mpa (109ksi) (2)29HRC 屈服强度 682Mpa (98.9ksi) (3)30HRC 屈服强度 765Mpa (111ksi)	TM0177 方法 A, 15%NaCl+ CH ₃ COONa (4.1g/L), H ₂ S 7 kPa abs (1psia 或者 0.07 bar abs), 平衡 CO ₂ , PH=4.2, 室温	85%和 90%的屈服强度	NF
I	锻态淬火 加两次回火 UNS S41427	(1)28 HRC 屈服强度 709Mpa (103ksi) (2)26.5HRC 屈服强度 711Mpa (103ksi)	TM0177 方法 A, 15%NaCl, H ₂ S 3 kPa abs (0.44 psia 或者 0.03bar abs), CO ₂ 700 kPa abs (100 psia 或者 0.1 bar abs), 温度 90℃ (194°F)	80%和 90%的屈服应力	NF
I	锻态淬火 加两次回火 UNS S41427	(1)28 HRC 屈服强度 709Mpa (103ksi) (2)26.5HRC 屈服强度 711Mpa (103ksi)	TM0177 方法 A, 5%NaCl, H ₂ S 10 kPa abs (1.45 psia 或者 0.1 bar abs), CO ₂ 20000 kPa abs (2900 psia 或者 200 bar abs), 温度 175℃ (347°F)	80%和 90%的屈服应力	NF

NF=持续 720 小时测试无失败。

锻态 UNS N07716 在固溶退火加时效条件下最大硬度不超过 43HRC。(见表 C15)

表 C15

试验等级	材料牌号和条件	材 料 性 能	试验方法, 环境	试验结果
III	UNS N07716 固溶退火加时效	屈服强度 1170-1280 Mpa (170-186 ksi) 抗拉极限 1430-1460 Mpa (208-212 ksi) 延伸率 14-24% 断面收缩率 43-53%	TM0177 方法 A 拉伸实验加载至 100%屈服, 钢耦合, 环境按 25℃(77°F)表 1 试验等级 III	720 小时无失败
IV	UNS N07716 固溶退火加时效	屈服强度 1170-1280 Mpa (170-186 ksi) 抗拉极限 1430-1460 Mpa (208-212 ksi) 延伸率 14-24% 断面收缩率 39-52%	TM0198 SSR 试验环境按 175℃ (347°F)表 1 试验等级 VI	没有失效 SSR 比率 0.96-1.01

UNS J95370 铸件在固溶热处理加水淬条件下最大硬度不超过 94HRB 时可用于没有硫元素存在的环境。(见表 C16)

表 C16

试验等级	材料牌号和条件	材 料 性 能	试验方法, 环境	试验结果
II	UNS J95370 铸态, 超级奥氏体	屈服 420-499Mpa 硬度 94 HRB	方法 A	在弹性极限应力的 90% (实际应变率 0.2%) 下无失效
III	UNS J95370 铸态, 超级奥氏体	同上	方法 A	
V	UNS J95370 铸态, 超级奥氏体	同上	按四点弯曲 EFC 17	

附录 D: 可接受的材料

作为正文中材料选择的帮助, 本附录给出了一个材料清单, 正文中优先采用这些表格中的材料。

表 D1

适用于直接裸露在酸性环境的地下设备的可接受材料 (参看 1.4 节)

用途	材料
钻井封隔器零件	球墨铸铁 (ASTM A 536, A 571/A571M) 可锻铸铁 (ASTM A 220/A220M, A 602)
受压构件	灰铸铁 (ASTM A 48/A48M, A 278/A278M)
所有零件	9Cr-1Mo ^(A) ASTM A276 牌号 9 ASTM A182/A 182M 牌号 F9 ASTM A213/A 213A 牌号 T9
注 ^(A) 硬度不超过 HRC22。	

表 D2

管状零件所采用的 API 和 ASTM 规范

表中列出的材料在备注要求的环境条件下都是合格的

所有的温度 ^(A)	工 作 温 度 ^(B)		
	≥65℃ (150°F)	≥80℃ (175°F)	≥107℃ (225°F)
管件和壳体	管件和壳体	管件和壳体	API 规范 5CT/5CTM 牌号 Q-125 ^(G)
API 规范 5CT/5CTM 牌号 H-40 ^(C) 、J-55、K-55、M-65、C-75(型式 1、2、3)、L-80(型式 1) 性能等级 ^(H) 按 10.1.3、UNS K12125	API 规范 5CT/5CTM 牌号 N-80(淬火+回火) 和 C-95, T-95 型号 2 性能: 淬火+回火后 最大屈服强度小于 760 MPa (110ksi) CrMo 低合金钢 (AISI41XX 及其改良型)制造的管件和壳体 淬火+回火状态硬度不超过 30HRC, 且最小屈服强度为 690、720 和 760 MPa (100、105 和 110 ksi)(见 10.1.3)	API 规范 5CT/5CTM 牌号 H-40、N-80、P-105 和 P-110; 性能: 淬火+回火后 最大屈服强度为 965 MPa (140ksi)	
管子 ^(D,E)			
API 规范 5L 牌号 A 与 B 和 X-42 至 X-65			
ASTM A 53/A53M			
A 106 牌号 A、B、C			
A 333 牌号 1 与 6			
A 524 牌号 1 与 2			
A 381 牌号 Y35 至 Y65 的 1 级			
钻杆材料 ^(F)			
API 规范 5D 牌号 D、E、X-95、G-105 和 S-135 (见 12.3.1.1)			

(A) 对低温工况, 其它标准和规范中可能要求抗冲击韧性。

(B) 持续最低温度; 低温工况选第 1 列 (即所有温度) 的材料。

(C) 屈服强度不允许超过 80ksi (50MPa)。

(D) 焊接须按本标准第 3 章和第 5 章的规定。

(E) 管子硬度应低于 HRC22。

(F) 用于 11.2 所述的被控环境

(G) 不管 API 规范 5CT 现行版本如何要求, 牌号 Q-125 应保证 1) 屈服强度不超过 1030MPa (150 ksi); 2) 淬火加回火; 3) 是 Cr-Mo 合金。C-Mn 合金成分不可用。

(H) 参看 10.1 节和第 16 章。