

腐蚀性石油炼制环境中抗硫化物应力开裂材料的选择

本NACE标准代表各成员的统一意见，这些成员审查了本文件及其适用范围和条款。接受本标准并不排除任何人（不管是否采用本标准）会在生产、销售、采购或使用产品、工艺或程序时不符合本标准。在本标准中绝不包含任何可被理解为（隐含的或其他的）授予任何权力进行与为专利特许权所涵盖的任何方法、器械或产品有关的制造、销售或使用；或被理解为确认或保护任何人免除因侵犯专利特许权而应承担的责任。本标准仅是最低要求，但不能解释为限制使用更好的方法或材料。本标准也不打算用于与本主题有关的所有情况。不可预见的环境可能在特定情况下使本标准失效。NACE不承担其它方对本标准的解释或使用所导致的责任，只承担NACE按照管理程序和政策所颁发的正式解释的责任，它排除了单个志愿者的解释。

NACE标准的用户负责在使用前检查相应的健康、安全、环保和法规文件，并确定它们对本标准的适用性。本标准可能没有列出在本标准范围内所涉及的与材料和设备的使用及操作相关的所有潜在的健康和安全问题或对环境的危害。NACE标准的用户也有责任建立相应的健康、安全和环保规则，必要时咨询相应的政府法规部门，以便在使用本标准前满足现有适用的法律和法规要求。

警示：NACE标准会被定期审查，不经通知随时修改或撤销标准。NACE要求在本标准初次发布后五年内，进行重新确认、修改或撤销。用户应注意获取最新版本。NACE标准的购买者可与NACE会员服务部联系取得所有标准和其它NACE出版物的最新信息，联系地址：NACE International Membership Services Department, 1440 South Creek Drive, Houston, Texas 77084-4906 (telephone +1 281/228-6200).

2005-05-23修订

2003-03-15批准

NACE

1440 South Creek Drive
Houston, Texas 77084-4906
(telephone: +1 281/228-6200)

ISBN 1-57590-168-4

©2005, NACE

前言

本标准规定了酸性炼厂环境（即含湿硫化氢的环境）中抗硫化物应力开裂（SSC）的材料要求。目的在于炼油厂、设备制造商、工程承包商和建设承包商使用本标准。

炼制行业中使用的术语“湿H₂S开裂”涵盖一系列的破坏机理，这些破坏是在湿H₂S炼厂或天然气厂工艺环境中由于充氢作用而发生的。由于充氢而导致的破坏形式之一是淬硬焊接件和显微组织的硫化物应力开裂（SSC），这部分内容将在本标准中涉及。其它材料破坏形式包括氢鼓泡、氢致诱发裂纹（HIC）和应力导向氢诱导裂纹（SOHIC），这些内容不在本标准涉及。

在过去，许多最终用户、行业组织（如API⁽¹⁾）和向炼油行业供应诸如转动设备、阀门等设备和产品的制造商，规定采用 NACE 标准 MR0175/ISO15156 来限定材料要求，以防止发生 SSC。然而，大家都知道 MR0175/ISO15156¹ 是专门为油、气开采行业制订的，炼制环境并不在该标准范围之内。2000 年，NACE 成立了 TG231 工作组来制订专门用于炼厂酸性环境的材料标准。本标准虽然是基于 MR0175/ISO15156 的成功经验，但又是专门为炼厂环境和用途制订的。本标准的其它参考文献是 NACE 标准 RP0296²、NACE 出版物 8X194³ 和 8X294⁴ 以及工作组成员的炼油经验。

本标准中所给出的材料、热处理和材料性能要求，反映了 TG231 和它的两个发起者——特别技术组 STG34（负责石油炼制和天然气加工工业腐蚀）和 STG60（负责腐蚀机理）的最佳意见和经验。在许多情况下，意见是基于油、气开采行业的大量经验（在 MR0175/ISO15156 中提供了这些资料），工作组相信对炼制行业也是有很有作用的。

无论何时，只要可能，标准中推荐的材料采用普遍接受的牌号（如 UNSxxxx⁽²⁾）和/或普遍接受的标准（如 AISI、⁽³⁾ASTM、⁽⁴⁾ASME、⁽⁵⁾ANSI⁽⁶⁾或 BSI⁽⁷⁾标准）进行定义。本 NACE 标准更新并取代 MR0103 以前所有版本。本标准由“硫化物应力开裂：NACE 标准 MR0103 审查”任务组 TG231 制定。TG231 由“石油炼制和天然气加工”专题技术组 STG34 管理，同时它也得到“腐蚀机理”专题技术工作组 STG60 支持。本标准在 STG34 的主管下由 NACE 出版。

在 NACE 标准中，术语项“应(shall)”、“必须(must)”、“宜(should)”、“可(may)”按《NACE 出版物格式手册》第 4 版第 7.4.1.9 款对这些词项的定义使用。“应”、“必须”用来表示强制性的要求，“宜”用来指那些认为是比较好的、值得推荐的但不是绝对强制性的要求，“可”用来指那些可选择的要求。

-
- (1) API：美国石油学会
 - (2) 金属和合金统一编号系统，它是ASTM和汽车工程师协会（SAE）的联合出版物。
 - (3) AISI：美国钢铁学会
 - (4) ASTM：美国材料试验学会
 - (5) ASME：美国机械工程师协会
 - (6) ANSI：美国国家标准化组织
 - (7) BSI：英国标准协会

目 次

- 1. 总则
- 2. 钢铁材料
- 3. 有色金属材料
- 4. 总的制造要求
- 5. 螺栓
- 6. 镀层、涂层和扩散工艺
- 7. 特殊部件
- 8. 阀门
- 9. 压缩机和泵

参考文献

附录A.硬度测试和要求的背景资料（非强制性）

表1.本标准“路线图”

表2.P-xx合金钢最大硬度要求

表3.奥氏体不锈钢化学成分要求

表4.许可的冷加工镍-铬合金和镍-铬-钼合金及最大硬度要求

表5.许可的沉淀硬化镍合金、状态及最大硬度要求

表6.UNS R30035 热处理

表7.许可的钛合金、状态及最大硬度要求

表8.符合第二、三章要求的普通螺栓材料

第一章 总则

1.1 范围

1.1.1 本标准规定了含 H_2S (气相或溶解于含水液相)的酸性石油炼制环境和相关的加工环境中 (不管是否存在烃) 抗硫化物应力开裂 (SSC) 的金属材料要求。本标准并不包括也无意包括设计规范。其它形式的湿 H_2S 开裂、环境开裂、腐蚀及其它类型的失效, 虽然超出本标准的范围, 也宜在设备的设计和操作中加以考虑。恶劣的腐蚀和/或充氢状况会导致非SSC机理的破坏, 宜采用本标准范围之外的方法加以控制。

1.1.2 特别指出, 本标准旨在防止炼油行业的设备、部件发生SSC。防止ASME锅炉和压力容器规范⁵第IX卷中的P-No. 1类碳钢材料发生SSC, 则要求符合NACE标准RP0472⁶。

1.2 适用性

1.2.1 本标准适用于暴露在 1.3 节所规定的酸性炼厂环境中的设备所有部件。这些部件受到 SSC 破坏，会：（1）破坏承压系统的完整性；（2）使设备失去基本功能；和/或（3）使设备在继续承压时恢复不到正常运转状态。

1.2.2 使用者有责任确定操作工况及规定何时采用本标准。

1.2.3 使用者有责任确保材料能满足预期的环境，可根据操作工况，如压力、温度、腐蚀介质、流体特性等，选择专门的材料。对于给定的部件，其材料可从本标准各种候选材料中选取。

本标准中未列出的材料可根据如下程序选用：

(a) 如果基于科学和经验知识的冶金研究表明是完全耐 SSC 的，则这些材料可通过 1.6 节方法，建议收入标准中。

(b) 如果基于风险分析表明，材料在所使用环境中即使发生 SSC 也是可以承受的。

1.2.4 制造商对材料符合冶金要求负责。

1.3 影响 SSC 的因素

1.3.1 硫化物应力开裂 (SSC) 是指存在水和 H_2S 时，在拉应力和腐蚀共同作用下造成金属开裂。SSC 是氢致应力开裂的一种形态，它是由于吸收硫化物在金属表面腐蚀所产生的原子氢而造成的。

1.3.2 炼油设备的 SSC 受下列参数的复杂交互作用的影响：

(a) 暴露于酸性环境中的材料的化学成分、强度（用硬度表示）、热处理和显微组织；

(b) 材料的总拉应力（外加应力与残余应力之和）；

(c) 材料中的氢流量（氢流量是环境的一个函数，即：游离水的存在、 H_2S 浓度、pH及其诸如氰化物和二硫化物离子浓度等环境参数。）

(d) 温度；和

(e) 时间。

1.3.3 材料对 SSC 的敏感性主要与强度（用硬度表示）有关，强度受化学成分、热处理和显微组织的影响。一般来说，硬度高的材料具有高的 SSC 敏感性。

1.3.3.1 通常，炼厂湿 H_2S 环境中碳钢材质的压力容器和管道并不担心产生 SSC，因为这些材料的硬度很低。然而，热处理不当的材料、焊缝和热影响区（HAZs）可能存在高硬度区。

1.3.4 对于一种给定的材料，其 SSC 敏感性随拉应力的增加而增加。

1.3.4.1 残余应力会造成总的拉应力提高。与焊接件相关的高残余应力会使 SSC 敏感性增加。

1.3.4.2 不管是否降低残余应力，控制焊接件硬度是一种公认的防止SSC的措施，该措施在NACE标准RP0472的P-No. 1碳钢部分作了概述。

1.3.5 SSC敏感性也与钢中氢渗透流量相关。氢渗透流量主要与pH和水中H₂S浓度两个环境参数关联。典型的情况是，在近中性pH溶液中，钢中的氢渗透流量最低。pH值再高或再低时，其渗透流量均增加。pH值低时，腐蚀是由H₂S引起；pH值高时，腐蚀是由高浓度二硫化物离子引起的。在许多炼厂酸性水环境中，由于溶解氨的存在，使得pH值升高，H₂S溶解度增加，导致高的二硫化物离子浓度。在高的pH值时，氰化物的存在会使原子氢渗入钢中的程度加剧。众所周知，SSC敏感性随着H₂S浓度（例如，气相中的H₂S分压或水相中的H₂S浓度）的增加而增加。在环境促进严重充氢的情况下，水中1ppmw的H₂S就足以引起SSC。

1.3.5.1 一些已知的会引起SSC的环境条件是在液相中含游离水且：

- (a) 游离水中溶解的H₂S>50ppmw，或
- (b) 游离水pH<4且存在一些溶解的H₂S，或
- (c) 游离水pH>7.6且水中含20ppmw溶解的氢氰酸(HCN)和一些溶解的H₂S；或
- (d) 气相介质中H₂S绝对分压>0.0003 Mpa (0.05psia)。

1.3.5.1.1 炼厂的高pH值酸性环境有别于NACE标准MR0175/ISO15156涉及的油气开采酸性环境。因为开采产品的许多酸性物流中含有二氧化碳，使得pH值较低。另一个主要区别是炼厂酸性环境中的氯离子浓度要比石油开采酸性环境低得多。

1.3.6 随着温度的升高，只要液相中的游离水并未因此而除去，则会使充氢电位升高。温度提高会促进H₂S的离解（因此会产生更多的单原子氢），并加快单原子氢在金属中的扩散速度，因此促进充氢。然而，开裂电位在接近环境温度时最大。这种差异的影响很大，因为金属在高温下充氢，而在温度降到较低时（如停车）产生开裂。

1.3.7 材料强度、总拉应力和环境充氢电位升高，则失效时间缩短。若其它SSC影响因素都促成敏感性增加，则暴露时间很短就会引起SSC。一些敏感的设备，即使在停车时短间接触酸性水，也会造成破坏。

1.3.8 使用者应确定工艺环境中的各参数是否必然会引起SSC及设备是否在本标准范围之内。使用者可通过经验、基于风险分析，或上述指导准则（特别是1.3.5.1条环境指导准则）进行确定。当这些指导准则用于确定设备是否在本标准范围之内时，宜考虑工厂所有操作状况及可能对材料造成的影响，即：正常操作、操作波动、间歇操作和开停车状况（如催化剂的预硫化等）。

1.4 本标准所包括的材料

1.4.1 本标准包括的材料抗SSC，但并不是就一定不会发生SSC。所包括的材料是基于在现场应用和/或在SSC实验室测试情况下已证明抗SSC的。

1.4.2 所列的材料并不是所有的都呈现相同的抗SSC水平。标准实验室的SSC测试，如NACE标准TM01777所述的，是加速的、苛刻的测试。一般而言，成功通过测试的材料比测试失败的材料在酸性环境中更耐开裂。本标准中包括的许多合金，虽然在实验室测试中发生开裂，但在实际酸性环境中应用效果良好。

1.4.3 设计、加工、安装或操作中的不当都会使耐SSC的材料变成对SSC敏感的材料。

1.4.4 本标准没有基于材料相对抗SSC性能而进行排序。对于既定的应用环境选择合适的材料，要视许多因素而定：包括机械性能、耐腐蚀性和相对抗SSC性能，这些内容不在本标准范围之内。

1.5 硬度要求

1.5.1 硬度与抗拉强度有关，是SSC敏感性的主要影响因素。由于硬度测试是非破坏性的以及抗拉实验相比所需的部件/试样准备工作较少，故广泛被制造商用作一种产品质量控制和被用户用于现场检验的方法。因此在本标准中，把最大允许硬度值列为许多材料的主要要求。

1.5.2 本标准采用了几种不同硬度标尺。最常用的标尺是洛氏“C”(HRC)、洛氏“B”(HRBS)、布氏(HBW)和维氏5kgf或10kgf(HV5或HV10)。附录A提供了这些硬度标尺的背景资料和背后的逻辑关系。

1.5.3 硬度测试和报告编写应严格按照ASTM相应标准中规定的方法。附录A列出了不同测试方法所相应的标准。

1.5.4 所有洛氏硬度测试应采用标准测试参数(压头、载荷和主载荷保持时间)，洛氏硬度测试时，试样温度应在10°--35°C(50°--95°F)，不能使用润滑剂。在本标准中，由于布氏硬度仅用于钢材，故所有布氏硬度测试应采用3,000-kgf载荷,10mm压头和标准的30秒保持时间。

1.5.5 在有些情况下，最大允许硬度值以HRC(或HRBS)和HBW给出，此时，可任选一种标尺。

1.5.6 当硬度要求用HBW标明，而又无法采用固定式布氏硬度仪测试，则应采用比较硬度测试方法进行测试(通常被错误地认为是便携式布氏测试)

1.5.7 如若合适，应按照ASTM E 140⁸换算表将其它方法测得的硬度值换算成HRC、HRBS或

HBW。然而，宜注意在那个标准的转换表中许多材料是没有的。换算表宜仅用于ASTM E 140标准范围内的材料。经用户同意，标准中未包含的材料可根据经验数据进行硬度换算。当采用换算的硬度时，报告中应按照ASTM E 140的规定予以注明。

1.5.8显微硬度验收准则（见ASTM E 384⁹）不属于本标准的范围。详细资料见附录A。

1.6 新材料或新工艺增补程序

1.6.1 新材料和/或新工艺增补要求采用NACE的信函投票程序。

1.6.2 可根据现场试验和/或实验室测试数据对材料进行投票。

1.6.3 现场试验数据要求

1.6.3.1 现场试验数据应提供以下详细资料：合金的化学成分、状态和硬度水平，影响SSC的工艺流体参数和暴露时间。

1.6.3.2 对某些合金家族（如双相不锈钢），显微组织也是个关键因素，亦应提供该资料。

1.6.4 实验室测试数据要求

1.6.4.1 材料的实验室测试应按照NACE标准 TM0177规定的苛刻度进行。若实际环境条件超出这些界限，则认可的材料可能产生SSC。

1.6.4.2 候选材料必须按照NACE标准TM0177规定的测试程序进行测试。NACE标准TM0177所述的拉伸试棒、C型环、弯曲梁、双悬臂梁是普遍采用的试样。所有这些试样均可使用。

1.6.4.3 在材料须投票表决的情况下，来自三次不同商业熔炼的每种材料必须至少进行三个试样的测试。每次熔炼的化学成分和热处理应作为评定书的一部分提供。投票书中必须包含本标准要求包含的候选材料的成分范围和/或UNS牌号及热处理状态。

1.6.4.4 必须测定每个试样的硬度并将其报告作为投票书的一部分。每个试样的平均硬度应作为该试样的硬度。出于投票目的，对于一个既定的熔炼/状态，测得的最小试样硬度应作为材料在该熔炼/状态下的硬度。在投票书中必须规定本标准候选材料要求包含的最大硬度且得到所提供数据的支持。

1.6.4.5 对某些合金家族（如双相不锈钢），显微组织也是关键因素，应提供每次熔炼/状态的显微组织资料。

1.6.4.6 对所进行的每次测试，测试的详细资料应作为所提交投票书的一部分。

1.7 新的限制和删除的材料

1.7.1 对材料施加新的限制或从本标准中删除材料，可采用修订/投票程序。新的限制可包括最

大硬度要求、降低最大硬度要求值、删除先前允许的热处理条件、删除先前允许的制造工艺等等。

1.7.2 新的限制所牵涉到的在用材料,如果符合本标准的先前版本且目前使用中未发生H₂S环境开裂,则可视作符合本标准。

1.7.3 当1.7.2条所述的牵涉到的材料最终从它们目前的应用中撤下,其替换的材料,除1.7.4条说明的以外,必须从本标准的当前版本所允许的材料中选择,使其符合本标准。

1.7.4 采用加了新限制的材料制造的设备及设备维修中所用的部件,可按1.8节规定的工艺对用于特殊工况进行评定。

1.8 未列出的合金、状态和/或满足特殊应用工艺的评定

1.8.1 本标准中未列出的合金、状态和工艺,可在特定的酸性环境中进行评定。本章提出了未列出合金、状态和/或满足特殊应用工艺评定时符合的最低要求。

1.8.2 使用者应根据实验室测试数据、现场经验和/或基于风险的分析,负责确定未列出的合金、状态和/或满足特殊应用工艺的适宜性。

1.8.3 如果实验室测试作为采纳依据,则测试宜按照诸如NACE标准TM0177等被认可的标准测试方法进行。

1.8.4 如果现场经验和/或基于风险分析作为采纳依据,则宜考虑下列因素:

(a) 宜有现场试样的应力水平、材料形态、加工工艺、热处理状态、显微组织和机械性能(特别是硬度)的详细资料。

(b) 宜有现场试样所处的环境状况的详细资料。

(c) 现场实验暴露时间宜足够长,确保未列出的合金、状态和/或工艺是耐SSC的。

1.8.5 未列出的合金、状态和/或特殊应用工艺是否合适宜根据比较评估进行确定,即应将计划特殊应用的环境条件与实验室测试或现场经验的环境条件进行比较。

1.8.6 采用未列出的合金、状态和/或工艺制造的设备,其成分、材料形态、加工工艺、热处理状态和机械性能宜根据相应的实验室试件或现场试件的信息进行控制。

1.8.7 根据本节要求而评定的未列出的合金、状态和/或特殊应用工艺不应成为本标准的一部分,除非它们通过NACE投票程序而获得批准。

1.9 标准的路线图

1.9.1 为方便使用,表1列出了由材料/应用小组提供的一般信息以及涵盖可用材料和制造要求的

专门章节的参考信息。

表1.本标准“路线图”

材料组			
材料组或应用	允许的状态	适用的材料要求章节	适用的制造要求章节
碳钢	(a)热轧 (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	2.1	2.1.8, 第四章
合金钢	(a)退火 (b)正火 (c)正火和回火 (d)正火、奥氏体化、淬火和回火 (e)奥氏体化、淬火和回火	2.1	2.1.8, 第四章
铁素体球墨铸铁	退火	2.2.2	2.2.3
铁素体不锈钢	退火	2.3	第四章
特殊马氏体不锈钢	(a)正火和双回火 (b)淬火和双回火	2.4	2.4.3, 第四章
特殊的低碳马氏体不锈钢	淬火和双回火	2.4.2	2.4.3, 第四章
奥氏体不锈钢	固溶退火	2.5	第四章
特殊奥氏体不锈钢	固溶退火或热轧	2.6	第四章
高合金奥氏体不锈钢	固溶退火或固溶退火和冷加工	2.7	第四章
双相不锈钢	固溶退火	2.8	2.8.2, 第四章
沉淀硬化不锈钢	固溶退火和沉淀硬化	2.9	第四章
固溶镍合金	固溶退火	3.1.1	第四章
沉淀硬化镍合金	各异	3.1.2	第四章
钴-镍-铬-钼合金	各异	3.2	第四章
钴-镍-铬-钨合金	没有规定	3.3	第四章
钛合金	各异	3.4	第四章
应用			
制造	各异	第四章	第四章
螺栓	各异	第五章	无
镀层、涂层	各异	第六章	无
特殊部件	各异	第七章	第四章
阀门	各异	第八章	第四章
压缩机和泵	各异	第九章	第四章

第二章 钢铁材料

2.1 碳钢和合金钢材料

2.1.1 本标准中碳钢和合金钢的定义如下：

2.1.1.1 碳钢：一种含碳（一般小于2.0%）和锰（一般不少于0.25%）的铁基合金。除锰、硅、铜外，对别的合金化元素没有具体的最小含量规定。除碳、硅、锰、铜、硫和磷外，其它任何元素含量仅为非主要的。

2.1.1.2 合金钢：一种含碳（一般小于 2.5%）、锰（一般不少于 0.25%）的铁基合金，且规定了锰、硅、铜和至少一种合金化元素最小含量要求，但对铬含量不少于 10%没有专门规定。

2.1.2 为了允许采用，碳钢和合金钢必须：

- (a) 不含为改善机械加工性能而有意添加的铅、硒或硫等元素。
- (b) 符合2.1.7条、2.1.8条和第4章的准则，且
- (c) 在下列之一的热处理状态下使用：
 - i. 热轧（仅适用于碳钢）；
 - ii. 退火；
 - iii. 正火；
 - iv. 正火和回火
 - v. 正火，奥氏体化，淬火和回火；
 - vi. 奥氏体化，淬火和回火。

2.1.3 ASME锅炉和压力容器规范第IX卷P-No. 1 或P-No. 2组所列的碳钢，在2.1.2（c）所列的状态下使用时，其母材硬度未加控制也可采用。

2.1.3.1 P-No. 1碳钢的焊接应按照2.1.8条进行控制。

2.1.3.2 通过加热到高于上临界温度（ Ac_3 ）而成形的P-No. 1管道弯头，只要材料在成形以前其状态是2.1.2（c）所列之一，可以采用。弯头部位硬度应不超过225HBW。

2.1.3.3 P-No. 1铸件的焊缝修补应采取2.1.8.3规定的要求。

2.1.4 其它碳钢材料最大硬度应为 22HRC（237HBW）。

2.1.5 表 2 所列出的 ASME 锅炉和压力容器规范第 IX 卷 P-No.xx 合金钢材料，其最大硬度为指出值时，均可采用。

表 2.P-No.xx 合金材料最大硬度要求

合金钢	最大硬度要求
P-No. 3	225 HBW
P-No. 4	225 HBW
P-No. 5A	235 HBW
P-No. 5B (9Cr-1Mo-V grades 除外)	235 HBW
P-No. 5B—9Cr-1Mo-V grades (F91, P91, T91, WP91, Grade 91, C12A)	248 HBW
P-No. 5C	235 HBW
P-No. 6	235 HBW
P-No. 7	235 HBW
P-No. 10A.	225 HBW
P-No. 10B	225 HBW
P-No. 10C	225 HBW
P-No. 10F	225 HBW
P-No. 11	225 HBW

2.1.6 其它合金钢最大硬度应为 22HRC (237HBW)。

2.1.7 冷成形的碳钢和低合金钢，只要其冷成形前的状态是2.1.2 (c) 所列之一，可以采用。碳钢和合金钢在用冷轧制、冷锻或其它制造方法进行任何冷变形而产生大于5%的永久性的极度纤维变形后，必须进行热处理以消除应力。消除应力热处理应根据相应的ASME规范进行，但热处理的最低温度应为593°C (1,100°F)。应力消除后，ASME锅炉和压力容器规范第IX卷P-No. 1 所列的材料应达到最大硬度为200HBW的要求。其它碳钢和合金钢应符合2.1.4条， 2.1.5条，或 2.1.6条相应的硬度要求。

2.1.7.1 这一要求不适用于根据相关规范进行的压力试验所给予的冷加工。冷旋矫正管仅在API 规定允许时采用。经过冷加工的ASTM A 53¹⁰ grade B， ASTM A 106¹¹ grade B， API 5L¹² grade X-42或化学成分类似的低强度级的管路配件，只要应变区的硬度不超过190HBW，冷应变达到15%也是可用的。

2.1.8 碳钢和合金钢的焊接和堆焊

2.1.8.1 制造时的焊接和堆焊应按照第四章所列的总的要求进行。

2.1.8.2 对碳钢和合金钢施加的堆焊，当符合4.2、4.4及以下条款的要求时，用于酸性环境是令人满意的。

2.1.8.2.1 当施加于P-No. 1碳钢的部件堆焊达不到4.4节复合层的要求时，应采取措施使堆焊界面处的热影响区和母材硬度达到许可值。控制热影响区和母材硬度的方法、验收准则应按照 NACE RP0472进行。

2.1.8.2.2 当施加于合金钢或非P-No. 1碳钢材料的部件堆焊达不到4.4节复合层的要求时，应按

已证明可使界面处的热影响区和母材硬度恢复到许可状态（如硬度）的工艺方法进行焊后热处理。硬度验收准则应根据2.1.3~2.1.6条和/或2.1.8.4条（若适用的话）所列的限值。

2.1.8.2.3 当对P-No. 1碳钢材料施加加热喷涂层时，若母材有任一部位超过了下临界温度，则应采取措​​施确保热影响区和母材硬度在许可范围以内。控制热影响区和母材硬度的方法、验收准则应按照NACE RP0472进行。

2.1.8.2.4 当对合金钢或非P-No. 1碳钢材料施加加热喷涂防腐层时，若母材有任一部位超过了下临界温度，则应按已证明可使热影响区和母材硬度恢复到许可状态（如硬度）的工艺方法进行焊后热处理。硬度验收准则应根据2.1.3~2.1.6条和/或2.1.8.4条（若适用的话）所列的限值。

2.1.8.3 对于ASME锅炉和压力容器规范第IX卷所列的P-No.1材料的碳钢焊接件，应采用NACE标准RP0472所述方法之一进行加工，防止焊接件硬度超标。

2.1.8.4 对于ASME锅炉和压力容器规范第IX卷P-No.xx合金钢材料的焊接件，其硬度不应超过2.1.5条所规定的限度。ASME锅炉和压力容器规范第IX卷P-No.xx中未包含的材料，其最大硬度不应超过237HBW(22HRC)。

2.1.8.4.1 一些工业标准（如ANSI/NB-23¹³）允许P-No. 3 和P-No. 4 合金钢焊件在某些情况下不进行焊后热处理（PWHT）。如果在焊接工艺评定报告（PQR）中已进行了横跨硬度试验且表明该工艺加工的焊件硬度是许可的，则这种不进行焊后热处理方法是可以使用的。硬度横跨测试应涵盖焊件正反两面的母材、热影响区（HAZ）和焊缝，且宜按照NACE标准PR0472中图2或图3的方法进行。应没有单个读数超过248 HV 10。采用该标准时，其它合金钢材料通常应进行PWHT，以确保焊接金属和HAZ的低硬度。上面所说的硬度横跨，应在焊接工艺评定报告（PQR）的试样上进行，以表明该PWHT时间和温度能加工出许可硬度的焊件。

2.2 铸铁和球墨铸铁材料

2.2.1 灰口铸铁、奥氏体铸铁和白口铸铁不允许用作承压件。若经买主同意，这些材料可用于与API和其它相应标准有关的内件上。

2.2.2 当API、ANSI和/或其它工业标准认为可以采用铁素体球墨铸铁时，符合ASTM A 395¹⁴的铁素体球墨铸铁允许用于设备。

2.2.3 灰口铸铁或球墨铸铁部件不允许焊接。

2.3 铁素体不锈钢

2.3.1 铁素体不锈钢最大硬度为22HRC时，只要在退火状态下且符合第四章标准，均可采用。

2.4 马氏体不锈钢

2.4.1 马氏体不锈钢(UNS S41000, S42000, J91150 [CA15], 和 J91151 [CA15M]), 不管是铸造还是锻造, 最大硬度为22HRC时, 只要按照2.4.1.1条进行了热处理且符合第四章标准, 均可采用。含有为了改善机械加工性能而加入的铅、硒或硫等合金化元素时, 不可采用。符合本标准的马氏体不锈钢在一些酸性环境下具有满意的现场应用效果。然而, 这些材料在NACE标准TM0177的实验室测试中呈现的门阈应力值可能比本标准中的其它材料低一些。

2.4.1.1 UNS S41000, S42000, J91150(CA15), 和J91151 (CA15M)马氏体不锈钢的热处理程序 (三个步骤)

2.4.1.1.1 奥氏体化和淬火或空气冷却。

2.4.1.1.2 在最低621°C (1,150°F)下回火, 随后空冷至常温。

2.4.1.1.3 在最低621°C (1,150°F)下回火, 但应比第一次回火温度低, 随后空冷至常温。

2.4.2 低碳12Cr-4Ni-Mo马氏体不锈钢, 不管是铸造的UNS J91540 (CA6NM)还是锻造的UNS S42400, 最大硬度为23HRC时, 只要按照2.4.2.1条进行了热处理, 均可采用。含有为了改善机械加工性能而加入的铅、硒或硫等合金化元素时, 不可采用。

2.4.2.1 热处理程序 (三个步骤)

2.4.2.1.1 在最低1,010°C (1,850°F)下奥氏体化并空气或油淬火至常温。

2.4.2.1.2 在649° 至 691°C (1,200° to 1,275°F)之间回火并空冷至常温。

2.4.2.1.3 在593° 至 621°C (1,100° to 1,150°F)之间回火并空冷至常温。

2.4.3 马氏体不锈钢的焊接和复层

2.4.3.1 2.4.1条所列的马氏体不锈钢焊件应在最低621°C (1,150°F)下进行焊后热处理 (PWHT), 使焊件硬度 \leq 22HRC。

2.4.3.2 2.4.2条涉及的低碳马氏体不锈钢焊件, 在第一次冷却到常温后, 应进行双循环PWHT。双循环PWHT应包括: 加热到671° 至 691°C (1,240°至1,275°F)之间, 冷却到常温, 然后再加热到579°至 621°C (1,075° 至 1,150°F)之间。

2.4.3.3 焊接只能在2.4.2条所列的业已奥氏体化, 淬火和二次回火的母材上进行, 马氏体不锈钢和其它材料 (包括碳钢、合金钢和奥氏体不锈钢) 间的焊接不在本标准范围之内。

2.4.3.4 用焊接、银钎焊或热喷涂等热工艺方法对马氏体不锈钢施加的复层, 用于酸性环境是令人满意的。在超过下临界温度时, 部件必须按已证明可使母材硬度恢复到最大硬度为22HRC

的工艺方法进行热处理或热应力消除。

2.5 奥氏体不锈钢

2.5.1 化学成分符合2.5.2条和2.7.1条规定的奥氏体不锈钢，在固溶退火和淬火或固溶退火和热稳定化状态下，其最大硬度为22HRC时，只要未经过以提高机械性能为目的的冷加工，均可采用。为改善机械加工性能而加入了铅或硒的不锈钢则不能采用。

2.5.2 完全奥氏体化锻件的化学成分要求见表3：

表3.奥氏体不锈钢的化学成分要求^(A)

元素	重量 (%)
C	≤0.10
Cr	≥16.0
Ni	≥8.0
Mn	≤2.0
Si	≤2.0
P	≤0.045
S	≤0.04

^(A)为了优化铸件性能，铸造“奥氏体”不锈钢和完全奥氏体化锻件在化学成分上通常有很大不同，许多铸造“奥氏体”不锈钢有意含部分铁素体，造成它们有部分磁性。

2.5.3 只要符合2.5.1条的要求，表中未列出的元素，如钼、氮、钛、铌（钽）等是许可的。

2.5.4 UNS S30900 和 UNS S31000的含碳量允许高至它们各自技术标准的上限。

2.6 特殊奥氏体不锈钢

2.6.1 UNS S20910奥氏体不锈钢在固溶退火、热轧（热/冷加工）或冷加工状态下最大硬度为35HRC时，可以采用。

2.7 高合金奥氏体不锈钢

2.7.1 化学成分在2.7.2条规定范围之内的高合金奥氏体不锈钢，在固溶退火状态或固溶退火和冷加工状态下最大硬度为35HRC时，可以采用。易切削的高合金奥氏体不锈钢不能采用。

2.7.2 高合金奥氏体不锈钢的化学成分要求如下：

$$\% \text{镍} + (2 \times \% \text{钼}) > 30 \text{ 和 } \% \text{钼} > 2\%$$

或

$$\text{耐点蚀当量数 (PREN)} > 40\%$$

PREN由等式 (1) 确定：

$$\text{PREN} = \% \text{铬} + 3.3 (\% \text{钼} + 0.5 \times \% \text{钨}) + 16 \times \% \text{氮} \quad (1)$$

注：本标准中PREN因子仅是从化学成分角度定义了一组合金。利用该PREN因子来预测相对耐腐蚀性，则不在本标准范围之内。

2.8 双相不锈钢

2.8.1 锻造和铸造双相不锈钢，在固溶退火和液态淬火状态下最大硬度为28HRC时，可以采用。铁素体含量应在35-65%（体积）之间。严禁采用旨在提高强度和/或硬度的时效热处理，因为这种热处理方法会形成脆相。

2.8.2 双相不锈钢的焊接

2.8.2.1 双相不锈钢焊接程序评定/规范应包含以下条款：

(a) 焊接工艺评定报告（PQR）应包含采用10-kg 维氏（HV 10）标尺的硬度横跨测试。横跨测试应涵盖焊件正反两面的母材、HAZ和焊缝，且宜按照NACE标准PR0472中图2或图3的方法进行。平均硬度不应超过310 HV 10且没有单个读数超过320 HV 10。

(b) PQR应包含焊接熔敷部位和HAZ的铁素体含量分析。分析应按照ASTM E 562¹⁵方法进行，测得的铁素体含量应在35-65%（体积）之间。

(c) PQR应列出评定时的线能量，该值由方程式（2）确定：

$$\frac{(\text{安培} \times \text{伏特} \times 60)}{\text{移动速度}} \quad (2)$$

(d) 焊接工艺规程（WPS）应限定焊接时的线能量为PQR线能量值的±10%。

(e) PQR应列出PQR试样的壁厚。

(f) WPS不应允许部件壁厚偏差超过RQR试样的20%。

2.9 沉淀硬化不锈钢

2.9.1 化学成分符合UNS S66286的奥氏体沉淀硬化不锈钢，只要在固溶退火和时效状态下或固溶退火和双时效状态下最大硬度为35HRC时，可以采用。

2.9.2 UNS S17400和UNS S15500锻造马氏体沉淀硬化不锈钢，在H1150D状态下（根据2.9.2.2条热处理）或H1150M状态下（根据2.9.2.3条热处理）最大硬度为33HRC时，均可采用。ASTM A 747¹⁶ CB7Cu-1和 CB7Cu-2铸件，在H1150DBL状态下（根据2.9.2.2条热处理）最大硬度为310HBW（30HRC）时，均可采用。符合本标准的沉淀硬化不锈钢在一些酸性环境下具有满意的现场应用效果。然而，这些材料在NACE标准TM0177的实验室测试中呈现的门槛应力值可能比本标准中的其它材料低一些。

2.9.2.1 以下限制条款适用于用UNS S17400 和 S15500材料加工的保压螺栓：

- (a) 在双H1150状态下，UNS S17400 和 S15500不能用于保压螺栓。
- (b) 在H1150M状态下，UNS S17400 和 S15500用于保压螺栓时，最大硬度应不超过29HRC。

2.9.2.2 双H1150 (H1150D, H1150 DBL) 热处理程序

- (a) 在 $1,038^{\circ} \pm 14^{\circ}\text{C}$ ($1,900^{\circ} \pm 25^{\circ}\text{F}$)温度下固溶退火并空气冷却或合适液体淬火至 32°C (90°F)以下。
- (b) 在 $621^{\circ} \pm 14^{\circ}\text{C}$ ($1,150^{\circ} \pm 25^{\circ}\text{F}$)温度下至少硬化4小时并在空气中冷却到 32°C (90°F)以下。
- (c) 在 $621^{\circ} \pm 14^{\circ}\text{C}$ ($1,150^{\circ} \pm 25^{\circ}\text{F}$)温度下至少硬化4小时并在空气中冷却。
- (d) 若要达到许可的硬度水平，可在 $621^{\circ} \pm 14^{\circ}\text{C}$ ($1,150^{\circ} \pm 25^{\circ}\text{F}$)温度下增加循环次数。

2.9.2.3 H1150M热处理程序

- (a) 在 $1,038^{\circ} \pm 14^{\circ}\text{C}$ ($1,900^{\circ} \pm 25^{\circ}\text{F}$)温度下固溶退火并空气冷却或合适液体淬火至 32°C (90°F)以下。
- (b) 第二次沉淀硬化步骤前，在 $760^{\circ} \pm 14^{\circ}\text{C}$ ($1,400^{\circ} \pm 25^{\circ}\text{F}$)温度下至少硬化2小时并在空气中冷却到 32°C (90°F)以下。
- (c) 在 $621^{\circ} \pm 14^{\circ}\text{C}$ ($1,150^{\circ} \pm 25^{\circ}\text{F}$)温度下至少沉淀硬化4小时并在空气中冷却。
- (d) 若要达到可接受的硬度水平，可在 $621^{\circ} \pm 14^{\circ}\text{C}$ ($1,150^{\circ} \pm 25^{\circ}\text{F}$)温度下增加循环次数。

2.9.3 锻造UNS S45000马氏体沉淀硬化不锈钢，只要按照以下程序进行了热处理且最大硬度为31HRC时，可以采用。

2.9.3.1 两步法热处理程序

- (a) 固溶退火。
- (b) 在 621°C ($1,150^{\circ}\text{F}$)温度下至少沉淀硬化4小时。

第三章 有色金属材料

3.1 镍合金

3.1.1 固溶镍合金

3.1.1.1 化学成分如3.1.1.1.1条规定的锻造或铸造固溶镍-铬-钼合金，在固溶退火状态下可以采

用。

3.1.1.1.1 固溶镍-铬-钼合金的化学成分要求：Cr≥19.0%，Ni + Co≥29.5%，Mo≥2.5% 或Cr≥14.5%，Ni + Co≥52%，Mo≥12%

3.1.1.1.2 锻造UNS N06600最大硬度为35HRC时可以采用。

3.1.1.1.3 锻造UNS N08800最大硬度为35HRC时可以采用。

3.1.1.1.4 可采用的冷加工、固溶镍-铬-钼合金及相应的最大硬度要求见表4。

表4.可采用的冷加工镍-铬和镍-铬-钼合金及最大硬度要求

UNS牌号	热处理状态	最大硬度
N06002	--	35 HRC
N06022	固溶退火	40 HRC
N06625	--	35 HRC
N06686	固溶退火	40 HRC
N06985	--	39 HRC
N08825	--	35 HRC
N10276	固溶退火	35 HRC

3.1.1.5 锻造UNS N04400和N04405及铸造ASTM A 494 ¹⁷Grades M35-1, M35-2、M30C最大硬度35HRC时可以采用。

3.1.2 沉淀硬化镍合金

3.1.2.1 可采用的沉淀硬化镍合金及其状态、最大硬度要求见表5。

表5.可采用的沉淀硬化镍合金及其状态、最大硬度要求

UNS牌号	许可状态	最大硬度
N05500	热加工和时效硬化或固溶退火或固溶退火和时效硬化	35HRC
N07031	固溶退火	
	固溶退火和在760° 至 871°C (1,400 to 1,600°F)温度下最长时效4小时	35HRC
N07048	固溶退火和时效	40HRC
N07626	热压实粉末，最低927°C [1,700°F]温度下固溶退火和538°至 816°C [1,000° 至 1,500°F温度下时效，抗拉强度≤1,380 MPa(200 ksi)	40HRC
N07716	固溶退火和时效	40HRC
N07718	固溶退火或热加工或热加工和时效	35HRC
	固溶退火和时效或铸造、固溶退火、时效	40HRC
N07725	固溶退火和时效	43HRC
N07750	固溶退火或固溶退火和时效或热加工或热加工和时效	35HRC
N07773	固溶退火和时效	40HRC
N07924	固溶退火和时效	35HRC
N09777	固溶退火和时效	40HRC
N09925	冷加工或固溶退火	35HRC
	固溶退火和时效	38HRC
	冷加工和时效或热加工和时效	40HRC
	铸造、固溶退火、时效	35HRC

3.2 钴-镍-铬-钼合金

3.2.1 UNS R30003, UNS R30004, UNS R30035, 和 BS HR3¹⁸合金, 当最大硬度为35HRC时
可以采用 (除非另有说明) 。

3.2.2 另外, UNS R30035在冷轧和根据表6提供的时效处理方法之一进行了高温时效热处理的
状态下, 当最大硬度为51HRC时可以采用。

表6. UNS R30035热处理

最少时间 (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)

3.2.3 锻造UNS R31233在固溶退火状态下最大硬度为33HRC时可以采用。

3.3 钴-镍-铬-钨合金

3.3.1 UNS R30605最大硬度为35HRC时可以采用。

3.4 钛合金

3.4.1 为了使本标准规定的各种钛合金能够成功应用, 必须遵循特定的指导准则。比如, 在温
度大于80°C (176°F)的含H₂S的水介质中, 如果钛合金与一些活泼金属 (如碳钢) 电耦合, 则钛
合金可能会发生氢脆。虽然没有表明硬度与SSC之间的关系, 但是, 对于高强度合金已指出不
发生失效的最大硬度测试水平。

3.4.2 表7列出了可采用的钛合金、状态和相应的最大硬度要求

表7.可采用的钛合金、状态和相应的最大硬度要求

UNS牌号	状态	最大硬度
R50400	没有专门规定	100HRBS
R53400	在 774°±14°C (1,425°±25°F)温度 下退火2小时, 空冷	92HRBS
R56260	退火或固溶退火或固溶退火和时效	45HRC
R56323	退火	32HRC
R56403	退火	36HRC
R56404	退火	35HRC
R58640	退火	42HRC

第四章 总的制造要求

4.1 材料和制造工艺应符合本节要求。

4.2 复层

4.2.1 钨-碳化物合金和陶瓷用作复层是许可的。施加复层后，母材应符合第二或第三章相关条款所规定的母材硬度要求。

4.2.2 不同类材料之间的连接，如用银钎焊连接硬质合金和合金钢是许可的。钎焊后，母材应符合第二或第三章相应条款所列的母材硬度要求。

4.2.3 第二或第三章所列的母材用作堆焊层是许可的，只要它们用于复层后符合各自条款的规定。施加复层后，母材应符合第二或第三章相关条款所规定的母材硬度要求。

4.2.4 钴-铬-钨合金，镍-铬-硼和镍-硼（AMS 4779¹⁹所规定的）表面堆焊硬合金用作复层是许可的。施加复层后，母材应符合第二或第三章相关条款所规定的母材硬度要求。

4.3 焊接

4.3.1 所有焊件应符合下面所列的总的要求。对于一些已经在有关条款中提供了专门焊接要求的材料，那些要求也应符合。如果专门的焊接要求与本节的要求发生冲突，则优先遵循专门的材料焊接要求。

4.3.2 焊工和焊接工艺应按照AWS、API、ASME或其它工业标准评定。

4.3.3 在相似金属焊件中，即焊缝填充金属与母材相似或一致时，HAZ和焊后焊缝金属在适当焊后热处理（PWHT）后，其硬度应符合母材规定的硬度要求。

4.3.4 异种金属焊接，如采用比母材更惰性的焊缝填充金属进行焊接，应符合以下要求：

4.3.4.1 焊缝金属必须在化学性质和性能上接近母材，而母材根据本标准是允许使用的。

4.3.4.2 熔敷的焊缝金属硬度上限应是母材在固溶退火状态下的最大硬度值。

4.3.4.3 HAZ在焊接和适当焊后热处理（PWHT）后，其硬度应符合母材规定的硬度要求。

4.4 碳钢、合金钢和马氏体不锈钢的复合层

4.4.1 本标准中复合层是指耐蚀合金材料施加于相对欠耐蚀的基层材料整个表面的一种冶金结合层。

4.4.2 允许的复合层制造方法包括：热轧、爆炸结合和堆焊。

4.4.3 复合层材料应从本标准第二或第三章中选取且应符合该合金相关条款中规定的所有要求。

4.4.4 有许多因素影响复合部件的抗SSC性能，包括但不限于以下因素：

- (a) 复合材料的相对耐SSC性能
- (b) 复合层在工艺环境中的耐蚀性 (工艺环境影响氢生成的速度)
- (c) 氢在复合层中的扩散速度
- (d) 复合层的完好性
- (e) 基材的相对耐SSC性能
- (f) 相邻复合部件连接处的加工方法
- (g) 复合部件与相邻的非复合部件连接处的加工方法
- (h) 电偶影响 (如果基材裸露了或在复合部件与相邻的非复合部件连接处)

4.4.5 评价上述及其它因素不在本标准范围之内。因此，最终用户应确定基材是否必须符合本标准的要求。

4.5 识别标记打印

4.5.1 识别标记打印采用低应力 (点，震动式和圆角V形) 印记是许可的。

4.5.2 在法兰外周等低应力区允许用普通的锐角V形印记打印。在高应力区不允许用锐角V形印记打印，除非随后进行热处理，使硬度降至本标准相应章节中规定的母材允许最大硬度值以下。

4.6 螺纹加工

4.6.1 车削螺纹

4.6.1.1 允许采用车削螺纹加工方法。

4.6.2 冷成形 (轧制) 螺纹

4.6.2.1 螺纹冷成形后，螺纹部件应符合第三或第四章中对用来加工螺纹部件的原材料所规定的热处理条件和硬度要求。

4.7 冷变形工艺

4.7.1 允许采用诸如摩擦抛光之类的冷变形工艺，其冷作效应不会超过车削或镗削、滚压、攻丝、钻削等普通机械加工所产生的冷作效应。

4.7.2 对符合本标准的基体材料进行可控的喷丸处理，当丸粒最大尺寸为2.0 mm (0.080 in.)和最大Almen强度为10C时，所产生的冷变形是允许的。其工艺应按照AMS S 13165²⁰进行控制。

第五章 螺栓

5.1 暴露于酸性环境 (见1.3节定义) 的螺栓和紧固件的材料应符合本节要求。使用者应根据以下定义负责确定螺栓是暴露的或是非暴露的。

5.2 暴露于酸性环境的螺栓

5.2.1 直接暴露于酸性环境的螺栓应符合第二或第三章的要求。

5.2.1.1 用于地下、覆有绝缘层、装有法兰保护套或其它不直接暴露于大气的螺栓和紧固件以及处于酸性环境的管道或设备的螺栓和紧固件，应视为暴露于酸性环境，应符合第二或第三章的要求。

5.2.1.2 使用者和设计者宜意识到，当使用的螺栓符合这些要求时，在某些情况下可能需要降低连接部件的强度和设备的额定压力。

5.2.1.3 当UNS S17400 和 UNS S15500合金用于保压螺栓时，有专门的限制条件。见2.9.2.1条。

5.2.1.4 表8专门列出了符合第二或第三章要求的螺栓和螺母材料，以便选用。其它符合第二或第三章要求的材料也是许可的。

5.2.1.5 在酸性环境中，螺栓、螺母、有头螺钉或其它紧固件上不宜采用含锌或镉的涂层。这些涂层会促进表面氢的产生并导致氢脆。

5.3 非暴露于酸性环境的螺栓

5.3.1 非暴露于酸性环境的螺栓和紧固件可根据诸如ASTM A193、A 194、 和 A 320等相应标准提供。考虑到“非暴露的”，螺栓必须用于不直接暴露于酸性环境的法兰或其它部件的外面以及必须一直直接暴露于大气中 (见5.2.1.1) 。

表8. 符合第二或第三章要求的普通螺栓材料

材料	要求
螺栓、双头螺栓、有头螺钉材料	ASTM A 193 ²¹ grade B7M
	ASTM A 193 grade B8MA, class 1A
	ASTM A 320 ²² grade L7M
螺母材料	ASTM A 194 ²³ grade 2HM
	A STM A 194 grade 7M
	ASTM A 194 grade 8MA

第六章 镀层、涂层和扩散工艺

6.1 为了防止母材产生SSC，不允许采用金属涂层（电镀或非电镀）、转化涂层和塑料涂层或衬里。这类涂层用于其它目的（如耐磨或耐蚀），不属于本标准的范围。

6.2 当温度低于被处理材料的下临界温度时，渗氮是一个可取的表面扩散处理方法，但用它作为防止SSC是不允许的。

第七章 特殊部件

7.1 用于仪表、控制器、密封垫、轴承和弹簧等特殊部件的材料，如果在正常操作期间直接暴露于酸性环境，则应符合本节要求。1.2节提供了确定本标准专门用途的适用性指导准则。

7.2 轴承

7.2.1 直接暴露于酸性环境的轴承应采用第二或第三章中的材料制造（7.2.2条注明的除外）。用其它材料制造的轴承不得用于酸性环境，以免失效。

7.2.2 镍-铬-钼-钨合金UNS N10276轴承针（如中心滚针），在冷加工状态下，最大硬度为45HRC时可以采用。

7.3 弹簧

7.3.1 直接暴露于酸性环境的弹簧应采用第二或第三章中的材料制造（7.3.2、7.3.3和7.3.4条注明的除外）。

7.3.2 钴-镍-铬-钼合金UNS R30003在冷加工和时效硬化状态下，最大硬度为60HRC时可用于弹簧。UNS R30035在冷加工和时效硬化状态下（温度不低于649°C (1,200°F)，至少时效4小时），最大硬度为55HRC时可用于弹簧。

7.3.3 镍-铬合金UNS N07750弹簧，在冷加工和时效硬化状态下，最大硬度为50HRC时可以采用。

7.3.4 UNS N07090在冷加工和时效硬化状态下，最大硬度为50HRC时可用于压缩机气阀弹簧。

7.4 仪表和控制器

7.4.1 直接暴露于酸性环境的仪表和控制器的部件应采用第二或第三章中的材料制造。

7.4.1.1 用UNS S31600奥氏体不锈钢、高合金奥氏体不锈钢（见2.7节）或镍合金（见3.1节）材料加工的抗压配件、隔板和仪表或控制管是许可的，虽然这些部件可能不太满足针对第二或第三章那些材料所规定的要求。

7.4.2 膜片、测压器件和压力密封垫

7.4.2.1 直接暴露于酸性环境的膜片、测压器件和压力密封垫应采用第二或第三章中的材料制造 (7.4.2.2、 7.4.2.3、 和 7.4.2.4条注明的除外)。

7.4.2.2 钴-镍-铬-钼合金UNS R30003 和 UNS R30004最大硬度为60HRC时 ,用于膜片、测压器件和压力密封垫是许可的。

7.4.2.3 钴-镍-铬-钼合金UNS R30260最大硬度为52HRC时 ,用于膜片、测压器件和压力密封垫是许可的。

7.4.2.4 压力密封垫应符合第二或第三章要求 ,也可以用最大硬度为53HRC的钴-铬-镍-钼合金锻件制造 ,只要主要承受载荷或承压方向平行于锻件的纵向或轧制方向。

7.4.3 锻造UNS N08904在退火状态下 ,最大硬度为180 HV 10时 ,用于仪表管线是许可的。

7.5 密封圈和垫圈

7.5.1 直接暴露于酸性环境的密封圈应采用第二或第三章中的材料制造。

7.5.2 用ASTM A 351²⁴ CF8 级或 CF8M级锻造或离心铸造的奥氏体不锈钢API承压密封圈和垫圈 ,在铸态或固溶退火状态下最大硬度为160 HBW (83 HRBS)时 ,可以采用。

7.6 开口环

7.6.1 直接暴露于酸性环境的开口环应采用第二或第三章中的材料制造 (7.6.2条注明的除外)。

7.6.2 沉淀硬化不锈钢UNS S15700开口环 ,当原先是RH950固溶退火和时效状态 ,随后按照以下方法进行热处理 ,使硬度达到30-32HRC时 ,可以采用。

7.6.2.1 热处理程序 (三个步骤) 应该为 :

- (a) 在621°C (1,150°F)温度下回火4小时15分 ,在静止的空气中冷却到室温。
- (b) 在621°C (1,150°F)温度下回火4小时15分 ,在静止的空气中冷却到室温。
- (c) 在566°C (1,050°F)温度下回火4小时15分 ,在静止的空气中冷却到室温。

7.7 特殊工艺部件

7.7.1 钴-铬-钨和镍-铬-硼合金 ,不论采用铸造、粉末冶金工艺 ,还是采用热机械加工工艺 ,均可采用。

7.7.2 钨-碳化物合金 ,不论是铸造还是烧结 ,均可采用。

第八章 阀门

8.1 如果阀门暴露于酸性环境 (见1.3节) ,应符合本节要求。暴露于酸性环境的闸阀和采用部

件硬度不加控制的闸阀，其通常的失时效形式是闸板脱落，造成阀门报废。

8.2 新的或修复的阀门（包括内件）应采用第二或第三章的材料进行制造或修复。

第九章 压缩机和泵

9.1 暴露于酸性环境（见1.3节）的压缩机和泵应采用符合第二或第三章的材料制造（9.2和9.3节注明的除外）。

9.2 ASTM A 278²⁵ Class 35或 40灰口铸铁和 ASTM A 395 球墨铸铁用作压缩机汽缸、缸套、活塞和气阀是许可的。铝合金ASTM B 26²⁶ A03550-T7用作活塞是许可的。处理酸性气的压缩机的垫圈用铝、软碳钢和软、低碳铸铁加工是许可的。

9.3 UNS G43200和含碳0.28- 0.33%的UNS G43200改良钢种最大屈服强度为620 MPa (90 ksi)时，只要按照9.3.1条进行了热处理，用作压缩机叶轮是许可的。

9.3.1 热处理程序（三个步骤）：

9.3.1.1 奥氏体化和淬火。

9.3.1.2 在不低于621°C (1,150°F)但不超过下临界温度下回火，在第二次回火前冷却到常温。

9.3.1.3 在不低于621°C (1,150°F)但低于第一次回火温度下回火，冷却到常温。

参考文献

1. NACE Standard MR0175/ISO15156 (latest revision), "Sulfide Stress Cracking Resistant Metallic Materials for Oilfield Equipment" (Houston, TX: NACE).
2. NACE Standard RP0296 (latest revision), "Guidelines for Detection, Repair, and Mitigation of Cracking of Existing Petroleum Refinery Pressure Vessels in Wet H₂S Environments" (Houston, TX: NACE).
3. NACE Publication 8X194 (latest revision), "Materials and Fabrication Practices for New Pressure Vessels Used in Wet H₂S Refinery Service" (Houston, TX: NACE).
4. NACE Publication 8X294 (latest revision), "Review of Published Literature on Wet H₂S Cracking of Steels Through 1989" (Houston, TX: NACE).
5. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX, Division I (latest revision), "Welding and Brazing Qualifications" (New York, NY: ASME).
6. NACE Standard RP0472 (latest revision), "Methods and Controls to Prevent In-Service Environmental Cracking of Carbon Steel Weldments in Corrosive Petroleum Refining Environments" (Houston, TX: NACE).
7. NACE Standard TM0177 (latest revision), "Laboratory Testing of Metals for Resistance to Sulfide Stress Cracking and Stress Corrosion Cracking in H₂S Environments" (Houston, TX:

NACE).

8. ASTM E 140 (latest revision), "Standard Hardness Conversion Tables for Metals—Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness" (West Conshohocken, PA: ASTM).
9. ASTM E 384 (latest revision), "Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials" (West Conshohocken, PA: ASTM).
10. ASTM A 53/A 53M (latest revision), "Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless" (West Conshohocken, PA: ASTM).
11. ASTM A 106 (latest revision), "Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service" (West Conshohocken, PA: ASTM).
12. API 5L (latest revision), "Specification for Line Pipe" (Washington, DC: API).
13. ANSI/NB-23, "National Board Inspection Code" (Columbus, Ohio: The National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors).
14. A 395/A 395M (latest revision), "Standard Specification for Ferritic Ductile Iron Pressure-Retaining Castings for Use at Elevated Temperatures" (West Conshohocken, PA: ASTM).
15. ASTM E 562 (latest revision), "Standard Test Method for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count" (West Conshohocken, PA: ASTM).
16. ASTM A 747/A 747M (latest revision), "Standard Specification for Steel Castings, Stainless, Precipitation Hardening" (West Conshohocken, PA: ASTM).
17. ASTM A 494/A 494M (latest revision), "Standard Specifications for Castings, Nickel and Nickel Alloy" (West Conshohocken, PA: ASTM).
18. BS HR3 (latest revision), "Specification for Nickel-Cobalt-Chromium-Molybdenum-Aluminium-Titanium Heat Resisting Alloy Billets, Bars, Forgings, and Parts (Nickel Base, Co 20, Cr 14.8, Mo 5, Al 4.7, Ti 1.2)" (London, U.K:BSI).
19. AMS 4779 (latest revision), "Nickel Alloy, Brazing Filler Metal 94Ni - 3.5Si - 1.8B 1,800° to 1,950° F (982° to 1,066°C) Solidus-Liquidus Range (UNS N99640)" (Warrendale,PA: SAE).
20. SAE AMS S 13165 (latest revision), "Shot Peening of Metal Parts" (Warrendale, PA: SAE).
21. ASTM A 193/A 193M (latest revision), "Standard Specification for Alloy-Steel and Stainless Steel Bolting Materials for High-Temperature Service" (West Conshohocken, PA: ASTM).
22. ASTM A 320/A 320M (latest revision), "Standard Specification for Alloy Steel Bolting Materials for Low- Temperature Service" (West Conshohocken, PA: ASTM).
23. ASTM A 194/A 194M (latest revision), "Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts for Bolts for High Pressure and High Temperature Service, or Both" (West Conshohocken, PA: ASTM).
24. ASTM A 351/A 351 M (latest revision), "Standard Specification for Casting, Austenitic, Austenitic-Ferritic (Duplex), for Pressure-Containing Parts" (West Conshohocken, PA: ASTM).
25. ASTM A 278/A 278M (latest revision), "Standard Specification for Gray Iron Castings for Pressure-Containing Parts for Temperatures Up to 650°F" (West Conshohocken, PA: ASTM).

26. ASTM B 26/B 26M (latest revision), "Standard Specification for Aluminum-Alloy Sand Castings" (West Conshohocken, PA: ASTM).
27. ASTM E 18 (latest revision), "Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials" (West Conshohocken, PA: ASTM).
28. ASTM E 10 (latest revision), "Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials" (West Conshohocken, PA: ASTM).
29. ASTM A 833 (latest revision), "Standard Practice for Indentation Hardness of Metallic Materials by Comparison Hardness Testers" (West Conshohocken, PA: ASTM).
30. ASTM E 92 (latest revision), "Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials" (West Conshohocken, PA: ASTM).

附录A.硬度测试和要求的背景资料 (非强制性的)

1. 精确的硬度测量需严格按照ASTM(美国材料与试验协会)标准中描述的方法。
2. 按照ASTM E 18²⁷ 进行洛氏硬度测量，相对较快，可直接读出测量结果，因此通常被应用于制造现场。这些测量所用的载荷范围是从 15 kgf 到150 kgf 。 因为所用的载荷相对较低，硬度压痕小，该测量体现了材料中很小区域的硬度。因此，这些方法非常精确，适合鉴别固定点的硬度。该方法的缺点是测试部件的尺寸大小受到限制，几何上的限制妨碍了对某些点的测试，而且缺乏轻便性。

注释：从ASTM E 18的2002修订版开始，“B”标尺硬度测量，除可采用原先要求的坚硬钢球外，还允许使用钨碳化物球。洛氏“B”硬度测量方法是HRBS（用钢球测量）和HRBW（用钨碳化物球测量）。本标准中所有用的值都是“HBRS”值，因为过去测量用的都是钢球压头。HRBS和HRBW测量结果的不同是由于两种球压头的不同机械性质决定的。目前还没有HRBS换算成HRBW的标准换算表。

3. 按照ASTM标准E 10²⁸进行的布氏硬度测量方法包括压头的制作，压头直径的光学测量以及硬度值的计算。由于该方法采用相对较大的载荷，测得的硬度代表材料较大区域的平均硬度。布氏测量方法经常用来测试铸件和锻件的硬度。该方法的缺点是测试部件的尺寸大小受到限制，几何上的限制妨碍了对某些点的测试，而且缺乏轻便性。

需要注意的是ASTM E 10现在要求布氏硬度采用钨碳化物球压头进行测试。符号“HBW”就是指用这种方法进行测试的。

4. 比较硬度测试仪（经常被错误的说成便携式布氏硬度测试仪）利用手锤敲击方法，使（钢球）同时压入被测部件和已知硬度的测试棒表面。测量相关压痕尺寸并通过计算来确定部件的硬度。比较硬度测试仪通常用来检查现场焊接件。该方法按照ASTM 标准A833²⁹进行。用这种方法测得的硬度值和用上面第3条中定义的测试参数所测得的布氏硬度值直接相关。

5. 广泛使用的维氏硬度测量方法，按照ASTM标准E92³⁰进行，除了采用棱锥形金刚石压头外，该方法和布氏测量方法很相似。维氏方法的优点是，当载荷处于25 kgf 到 120 kgf 范围时，测得的硬度值相对来说与载荷大小无关。焊接工艺评定时，通常采用5- kgf 到10- kgf进行维氏硬度测试，因为该测试对焊件热影响区硬度提供了准确评估。基于被证实的现场经验，在本标准多个焊接工艺评定中指定使用维氏硬度标准。进一步的详细资料可在NACE标准RP0472中获取。维氏硬度简写成HV，并在后面用数字标明以kg为单位的测试载荷值。（例如，248HV10就表示用10 kgf载荷测得的维氏硬度为248）。

6. 本标准中用HBW单位来规定的硬度要求值通常比相对应的“允许的”HRC值低一些（HBW适用于布氏硬度测试和比较硬度测试），用以补偿某些材料和/或焊缝的不均匀性以及考虑到现场和/或产品采用比较硬度测试仪进行硬度测试时的正常偏差。

7. 在以下情况中特殊材料或产品形成时引用HRC或HRBS：

- (a) 当原材料技术规范的硬度要求用HRC或HRBS列出时；
- (b) 当该产品形态的工业标准测试方法为HRC或HRBS时，或
- (c) 当材料硬度直接在部件上进行测试时。

8. 在以下情况中特殊材料或产品形成时引用HBW：

- (a) 当原材料技术规范用HBW列出硬度要求时；
- (b) 当该产品形态的工业标准测试方法是HBW时，或
- (c) 当关于焊接金属硬度评估的硬度要求通常采用便携式布氏硬度测试仪进行测试时；

9. 显微硬度评估，按照ASTM E384采用维氏或克氏法进行，它主要针对一些无法用常规方法测试的小部件。显微硬度测试采用1kgf或更低的载荷。需要说明的是显微硬度测试由于压痕尺寸很小，故比大多数测试方法更灵敏。由于这种敏感性，诸如第二相等微观组分会导致个别读

数比整体硬度高很多。因此，建立基于显微硬度的验收准则是很困难的。须针对每种材料/部件开发各自的显微硬度测试程序和验收准则。

翻译：谢水海（中国石化镇海炼化）

审核：孙家孔