



中华人民共和国国家标准

GB/T 21433—2008

不锈钢压力容器晶间腐蚀敏感性检验

Detecting susceptibility to intergranular corrosion in
stainless steel pressure vessels



2008-01-31 发布

2008-07-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
不锈钢压力容器晶间腐蚀敏感性检验
GB/T 21433—2008

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 31 千字
2008年5月第一版 2008年5月第一次印刷

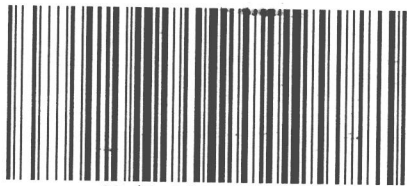
*

书号:155066·1-31294 定价 18.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533



GB/T 21433-2008

前 言

本标准由全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)提出并归口。

本标准由全国锅炉压力容器标准化技术委员会秘书处组织起草。

本标准主要起草单位:中国特种设备检测研究院、锅容标(北京)技术服务中心有限公司、盘锦兴达压力容器制造有限公司。

本标准主要起草人:黄嘉琥、寿比南、王为国、杨国义、付洪亮、陈志伟。

引 言

不锈钢由于其具有优良的耐均匀腐蚀性能、力学性能和工艺性能,而成为压力容器(包括固定式和移动式压力容器、热交换器、压力管道等)应用最多的耐蚀金属材料。不锈钢自 20 世纪 20 年代开始工业应用以来,由于不锈钢容器普遍产生严重的晶间腐蚀,或使设备局部腐蚀穿漏,或使材料丧失力学性能,晶间腐蚀失效事故曾成为不锈钢广泛应用的最大障碍。因此不得不从 20 年代起就同时对提高不锈钢耐晶间腐蚀性能的控制措施和对不锈钢晶间腐蚀敏感性的检验技术两方面进行研究。在采取不锈钢加钛、降碳、适当热处理等控制措施的同时,检验技术也得到发展与完善。各主要工业国家均制定了检验方法标准。我国于 1955 年起发布了检验方法标准,现版标准为 GB/T 4334.1~4334.5—2000。国际标准于 1976 年发布了检验方法标准 ISO 3651-1~3651-2,现版标准为 ISO 3651-1~3651-2:1998(E)。

检验方法标准中只规定了几种标准试验方法,对于具体不锈钢压力容器而言,尚必须根据所用不锈钢的类型、腐蚀介质的性质及设备的具体要求来确定是否应当要求检验。如果要求检验,还应当确定采用哪个标准中的哪种标准方法检验。对于用腐蚀率、晶间腐蚀深度等定量方法评定的检验方法则还应确定合格指标。此外还应确定容器的取样方法、试件检验结果对容器构件的适用范围等内容。因此在采用检验方法标准的同时,还应在不锈钢压力容器标准中规定具体有关检验的要求和内容。由于这些检验内容较多,因而需要单独制定标准,作为 GB 150 等压力容器基础标准的附加单项标准之一。

不锈钢压力容器所采用的不锈钢原材料是不锈钢的初级制品。我国不锈钢材料标准中对其晶间腐蚀敏感性的检验已有初步规定,主要规定了不锈钢牌号对各种检验方法的适用范围等。关于具体是否应检验、所用检验方法、合格指标等还应由材料的用户即设备制造方确定。同时,不锈钢材料检验合格并不等于所制设备也一定检验合格。材料检验合格只为设备检验合格提供必要的条件,而不能代替。

实际上压力容器行业中对有关不锈钢压力容器一直是进行晶间腐蚀敏感性检验的。只是涉及材料、工艺和腐蚀问题较为复杂,设计和制造人员一直希望能有一个统一的规定和依据。本标准的编制汇集了国内自 20 世纪 50 年代以来的检验经验和科研成果,也参考了国外技术和资料,编制本标准是有一定技术基础的。

目 次

前言 I

引言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 总则 5

5 检验的确定 6

6 检验方法的选择 8

7 受检试件的状态 10

8 容器检验的取样与组批 11

9 检验合格指标 11

10 检验结果的适用范围 12

11 容器检验报告 14

不锈钢压力容器晶间腐蚀敏感性检验

1 范围

本标准规定了不锈钢压力容器的晶间腐蚀敏感性检验要求与规则。

1.1 本标准适用的不锈钢压力容器包括不锈钢固定式压力容器、不锈钢热交换器、不锈钢钢瓶、不锈钢移动式压力容器及不锈钢压力管道等。不锈钢压力容器及其他不锈钢机械设备也可参照采用(后文中有时将“压力容器”简称为“容器”)。

1.2 本标准所适用的制造压力容器的不锈钢指铬含量不低于16%的耐酸钢,包括奥氏体不锈钢、铁素体不锈钢和奥氏体-铁素体双相不锈钢,但不包括马氏体不锈钢和沉淀硬化不锈钢。既包括压力加工不锈钢及其焊接接头,也包括不锈钢铸件和堆焊层。

1.3 本标准既规定了不锈钢压力容器本身的晶间腐蚀敏感性检验要求,也规定了对制造不锈钢压力容器所用不锈钢原材料、焊接材料及外协零部件的相应检验要求。

1.4 本标准涉及的晶间腐蚀系指敏化态晶间腐蚀,不包括非敏化态晶间腐蚀。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 983 不锈钢焊条

GB/T 1220 不锈钢棒

GB/T 2100 一般用途耐蚀钢铸件(GB/T 2100—2002,eqv ISO 11972:1998)

GB/T 3280 不锈钢冷轧钢板

GB/T 4237 不锈钢热轧钢板

GB/T 4334.1—2000 不锈钢10%草酸浸蚀试验方法

GB/T 4334.2—2000 不锈钢硫酸-硫酸铁腐蚀试验方法

GB/T 4334.3—2000 不锈钢65%硝酸腐蚀试验方法

GB/T 4334.4—2000 不锈钢硝酸-氢氟酸腐蚀试验方法

GB/T 4334.5—2000 不锈钢硫酸-硫酸铜腐蚀试验方法

GB 9842 尿素合成塔技术条件

GB 9843 尿素高压洗涤器技术条件

GB 10476 尿素高压冷凝器技术条件

GB/T 12771 流体输送用不锈钢焊接钢管

GB/T 13296 锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管

GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管

JB 4728 压力容器用不锈钢锻件

JB 4733 压力容器用爆炸不锈钢复合钢板

HG 2952 尿素二氧化碳汽提塔技术条件

HG/T 3172—2002 尿素高压设备制造检验方法 超低碳奥氏体不锈钢晶间腐蚀倾向性试验的试样制备

HG/T 3173—2002 尿素高压设备制造检验方法 超低碳奥氏体不锈钢的晶间腐蚀倾向试验

HG/T 3174—2002 尿素高压设备制造检验方法 超低碳奥氏体不锈钢的选择性腐蚀检查和金相检查

压力容器安全技术监察规程(原国家质量技术监督局 1999 年颁布)

ISO 3651-1:1998(E) Determination of resistance to intergranular corrosion of stainless steels—Part 1: Austenitic and ferritic-austenitic (duplex) stainless steels—Corrosion test in nitric acid medium by measurement of loss in mass(Huey test)

ISO 3651-2:1998(E) Determination of resistance to intergranular corrosion of stainless steels—Part 2: Ferritic, austenitic and ferritic-austenitic (duplex) stainless steels—Corrosion test in media containing sulfuric acid

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。腐蚀、热处理、金属学方面的术语和定义均主要针对不锈钢而言。

3.1 金属学术语和定义

3.1.1

不锈钢 **stainless steel**

铬含量不低于 12%，镍含量不高于 30% 的耐腐蚀钢。

3.1.2

耐酸钢 **acid-resistant steel**

铬含量不低于 16% 的不锈钢，对酸等腐蚀介质常有较好的耐蚀性。

3.1.3

奥氏体不锈钢 **austenitic stainless steel**

不锈钢加热到适当高温后，使可溶组分溶入基体，在空气中冷却，室温时的组织基本上为奥氏体，此类不锈钢称为奥氏体不锈钢。

3.1.4

铁素体不锈钢 **ferritic stainless steel**

不锈钢加热到适当高温后，使可溶组分溶入基体，在空气中冷却，室温时的组织基本上为铁素体，此类不锈钢称为铁素体不锈钢。

3.1.5

奥氏体-铁素体(双相)不锈钢 **austenitic-ferritic (duplex) stainless steel**

不锈钢加热到适当高温后，使可溶组分溶入基体，在空气中冷却，室温时的组织基本上为奥氏体和铁素体两种相，而且其中任一种相所占的比例一般不低于 15%。此类不锈钢称为奥氏体-铁素体不锈钢，或称铁素体-奥氏体不锈钢。有时简称双相不锈钢。常用的双相不锈钢铁素体含量多超过 30%。

3.1.6

高碳不锈钢 **stainless steel with high carbon content**

碳含量超过 0.08% 的不锈钢。

3.1.7

低碳不锈钢 **stainless steel with low carbon content**

碳含量超过 0.03% 而低于或等于 0.08% 的不锈钢。

3.1.8

超低碳不锈钢 **stainless steel with super low carbon content**

碳含量等于或低于 0.03% 的不锈钢。

3.1.9

稳定化不锈钢 **stabilized stainless steel**

为了与不锈钢中的碳反应生成较稳定的碳化物而加入足量的钛、铌等稳定化元素的不锈钢。钛的

加入量一般不低于碳含量(或可从基体中析出的碳含量)的 5 倍,以形成 TiC;铌的加入量一般不低于碳含量的 10 倍,以形成 NbC。稳定化不锈钢大大降低了基体中的碳含量,即降低了不锈钢的晶间腐蚀敏感性。

3.1.10

碳化铬 chromium carbide

不锈钢在 300℃~950℃温度范围内可能在晶界析出碳化铬。最重要的碳化铬形式为 $(\text{Cr}, \text{Fe})_{23}\text{C}_6$ 或 $(\text{Cr}, \text{Fe}, \text{Mo})_{23}\text{C}_6$ 。其铬含量常达 90% 以上,大大高于不锈钢的平均铬含量。晶界碳化铬的析出是使晶界邻近的晶粒边缘产生贫铬区的最重要的原因。碳化铬的析出温度范围实际上就是使不锈钢产生与提高晶间腐蚀敏感性的主要敏化温度范围。在 10% 草酸法检验与沸腾 65% 硝酸法检验时,碳化铬可以被快速溶解。

3.1.11

贫铬区 chromium depletion area

不锈钢在 300℃ 以上的热过程中,晶粒边界会析出碳化铬、氮化铬、 σ 相和铬与其他金属间的化合物等铬含量高于甚至大大高于不锈钢平均铬含量的高铬相,致使晶界高铬相与晶粒外缘相邻接的狭长区域的铬含量大大下降,称为贫铬区,当热过程较短时,晶粒本体的铬原子来不及充分向贫铬区扩散补充,温度下降后,贫铬区得以保持。在以后接触到某些具有晶间腐蚀能力的介质时,贫铬区的溶解速度会大大超过晶粒本身。晶粒本身为钝化腐蚀时,贫铬区常常为活化腐蚀,因而会产生晶间腐蚀。不锈钢贫铬区的存在是不锈钢产生晶间腐蚀敏感性的最重要的原因之一。

3.1.12

σ 相 σ -phase

σ 相为不锈钢中常见的金属间化合物相,名义成分为 FeCr,实际成分为 $(\text{FeNi})_x(\text{CrMo})_y$ 。在铁素体相中较容易析出。 σ 相的铬含量为 42%~50%,比不锈钢的平均铬含量高。属高铬相,因而 σ 相在晶界析出时也可使邻近的晶粒边缘产生贫铬区。但 σ 相在晶界的析出对晶间腐蚀敏感性的影响常更体现在 σ 相本身的快速溶解。对于晶间腐蚀的作用而言,一般将 σ 相分为两类,一类为从含钼不锈钢中产生的 σ 相,为金相可见的 σ 相;另一类为由含钛的稳定化不锈钢中产生的 σ 相,为金相不可见 σ 相。在沸腾 65% 硝酸法这样氧化性很强的溶液中,两类 σ 相均可产生过钝化的快速溶解。在沸腾的 50% 硫酸+硫酸铁法检验溶液中,介质的氧化性稍弱,含钛的稳定化不锈钢中产生的 σ 相可在其中快速溶解,而含钼不锈钢中产生的 σ 相不能在其中快速溶解。在沸腾的 16% 硫酸+硫酸铜(+铜屑)法这样弱氧化性的介质中, σ 相不能产生快速溶解。

3.2 热处理术语和定义

3.2.1

固溶处理 solution heat treatment

将不锈钢加热到适当高温,并保温足够时间,使可溶组分溶解进入基体中,通常以较快的速度冷却,可以使可能由基体中析出的组分来不及析出,仍然过饱和地固溶在基体中,这种热处理叫固溶处理。

3.2.2

稳定化处理 stabilization heat treatment

将稳定化不锈钢加热到高温(一般为 850℃~930℃),并保温足够时间(如 2 h),使已在钢中加入的稳定化元素钛、铌等比较充分地由基体中析出,以碳化钛、碳化铌等碳化物的形式沉淀于晶粒边界,使加入稳定化元素要起的稳定碳的作用得以较充分地发挥。

3.2.3

敏化 sensitization

不锈钢材在冶金和制造过程中经受到热成形、焊接、热处理等温度超过 300℃ 的热作工艺,使得在晶界析出了碳化铬、氮化铬、 σ 相和铬与其他金属间的化合物等高铬相,同时在晶界高铬相与晶粒邻近

的狭长地区产生了贫铬区,使不锈钢产生与提高了晶间腐蚀敏感性,不锈钢的这种受热过程叫敏化。

3.2.4

敏化处理 sensitization heat treatment

在检验不锈钢材的晶间腐蚀敏感性时,为考核不锈钢在以后设备制造过程中经受热作后是否仍能达到应有的耐晶间腐蚀性能,将供货状态的不锈钢试件预先进行一种规定的(标准规定或协议规定)能提高晶间腐蚀敏感性的热处理,然后再对试样进行检验。这种热处理在晶间腐蚀敏感性检验中称为敏化处理。敏化处理制度一般以能使不锈钢最易产生敏化的温度(如 650℃、700℃、675℃等)作为敏化处理温度,在敏化温度下保温一定时间(如 2 h、1 h、30 min、10 min 等),然后快冷(有的规定空冷,也有规定水冷)。

3.3 腐蚀术语和定义

3.3.1

晶间腐蚀 intergranular corrosion

沿着或紧挨着不锈钢的晶粒边界发生的电化学腐蚀形态。工程中一般在晶粒边界的腐蚀比晶粒本体的腐蚀严重得多时才认为产生了晶间腐蚀。不锈钢基本的晶间腐蚀类型分两种:一为在弱氧化性介质中晶粒钝化而晶界的贫铬区活化快速溶解;另一为在强氧化性介质中晶粒钝化而晶界的高铬相过钝化快速溶解。

3.3.2

晶间腐蚀敏感性 susceptibility to intergranular corrosion

不锈钢可能产生晶间腐蚀倾向的大小,反义语为不锈钢耐晶间腐蚀性能的高低。也有时称为晶间腐蚀倾向。

3.3.3

刀状腐蚀 knife-line corrosion

沿着不锈钢焊接接头的熔合线或紧邻熔合线的高温热影响区产生的狭长缝状的晶间腐蚀。也有称为“刀口腐蚀”、“刀线腐蚀”或“刀蚀”。

3.3.4

腐蚀率 corrosion rate

单位时间内金属腐蚀效应的数值。如可采用单位时间内腐蚀深度的增加(mm/a),或单位时间内,单位面积上腐蚀金属的失重[g/(m²·h)]来表示。

3.3.5

晶间腐蚀深度 intergranular corrosion depth

在受腐蚀金属表面的垂直方向,晶粒边界的腐蚀深度超过晶粒本体的深度。

3.3.6

电化学腐蚀 electrochemical corrosion

至少包含一种电极反应的腐蚀。金属在溶质以离子形式溶入溶剂(水)中的电介质溶液中才可能产生电化学腐蚀。金属腐蚀分为电化学腐蚀和非电化学的化学腐蚀两类。晶间腐蚀属电化学腐蚀。

3.3.7

非敏化态晶间腐蚀 intergranular corrosion on non-sensitization state

一般的晶间腐蚀是指敏化态晶间腐蚀,即不锈钢经过敏化作用,晶界产生了贫铬区及高铬相,才会产生晶间腐蚀。充分固溶处理状态的奥氏体不锈钢,晶界没有析出相与贫铬区,不会产生敏化态晶间腐蚀。非敏化态晶间腐蚀是指奥氏体不锈钢在没有经过敏化的固溶处理状态所产生的晶间腐蚀,至今只在高温浓硝酸、尿素合成介质等氧化性很强的介质中发现过非敏化态晶间腐蚀。其产生原因是由于奥氏体不锈钢中的 P、Si、B 等元素在钢凝固时就在晶界偏聚,在强氧化性的腐蚀介质中优先溶解,而与其是否敏化无关。控制非敏化态晶间腐蚀的根本措施为在奥氏体不锈钢中控制 $P \leq 0.01\%$ 、 $Si \leq 0.10\%$ 、

$B \leq 0.008\%$ 。没有特别指明为非敏化态晶间腐蚀时,一般均指敏化态晶间腐蚀。

3.3.8

钝化 passivation

由于金属表面在腐蚀过程中生成的腐蚀产物(不锈钢的腐蚀产物中主要含有 Cr_2O_3)很致密且能牢固地附着于金属表面,阻滞了腐蚀过程,出现了腐蚀速度降低的现象,叫钝化,金属在介质中处于钝化的状态叫钝态。依靠钝化而耐蚀的耐蚀金属如不锈钢等叫可钝化型金属。

3.3.9

活化腐蚀 active corrosion

可钝化型金属未形成钝态前,或已钝化的金属表面,由于电位降低而丧失钝态后所发生的活性快速溶解。不锈钢晶界邻近区域的贫铬区在弱氧化性介质中可产生活化腐蚀,是产生晶间腐蚀的主要原因之一。

3.3.10

过钝化腐蚀 transpassive corrosion

当电位增加时,阳极钝化之金属出现腐蚀速度明显增加的快速溶解。不锈钢中的 σ 相等高铬相在强氧化性介质中的快速溶解即为过钝化腐蚀,不锈钢晶界 σ 相的过钝化腐蚀也是产生晶间腐蚀的主要原因之一。

4 总则

4.1 检验目的

检验不锈钢压力容器的晶间腐蚀敏感性,检验合格后可预判容器在给定的具有晶间腐蚀能力的介质条件中长期运转,不会产生不应发生的晶间腐蚀失效事故。

4.2 容器应检验的部位

不锈钢压力容器中凡与具有晶间腐蚀能力的介质接触的不锈钢构件的全部表面均应为检验面,要求检验合格。允许采用具有代表性的试件或试样代替这些构件进行检验。

4.3 检验件的状态

受检验的不锈钢压力容器中的不锈钢构件均应在容器制成状态即容器即将应用的状态进行检验。

4.4 检验职责

4.4.1 容器设计单位职责

4.4.1.1 《压力容器安全技术监察规程》第 57 条规定:“奥氏体不锈钢压力容器或受压元件用于有晶间腐蚀介质场合时,必须在图样上提出抗晶间腐蚀检验”。

4.4.1.2 压力容器的设计单位应在所设计的不锈钢容器的设计文件中说明,是否要求对该不锈钢容器进行晶间腐蚀敏感性检验。如果没有说明,则视为设计不要求对该不锈钢容器进行晶间腐蚀敏感性检验。

4.4.1.3 如果设计要求对不锈钢容器进行晶间腐蚀敏感性检验,设计文件中还应当说明:

- a) 应检验容器的不锈钢所有构件,还是部分构件(未说明时即为所有构件);
- b) 应采用的检验方法的标准号与标准名称;
- c) 应采用的检验方法名称;
- d) 当在检验方法标准中没有明确规定合格指标等具体内容时,或设计认为这些内容应与检验方法标准中的规定不同时,应明确规定。

4.4.1.4 设计单位对不锈钢容器晶间腐蚀敏感性检验的规定应与以下因素相适应:

- a) 是否应进行检验及检验的标准方法应与不锈钢容器所用的不锈钢材与焊接材料及其制造状态相适应;
- b) 是否应进行检验及检验的标准方法应与不锈钢容器所接触的介质性质相适应;

c) 在具有晶间腐蚀能力的介质中工作的奥氏体不锈钢容器的设计温度上限为：

低碳非稳定化奥氏体不锈钢	300℃；
钼含量不大于3%的超低碳奥氏体不锈钢	350℃；
钼含量大于3%的超低碳奥氏体不锈钢	400℃；
低碳稳定化奥氏体不锈钢	400℃。

当容器的设计温度不高于这些设计温度上限时，才可规定进行一般的晶间腐蚀敏感性检验。当容器的设计温度超过这些设计温度上限时，应对容器或构件作特殊的热处理，以在设计温度下能使钢组织保持稳定，这时才能检验。

4.4.2 容器制造单位职责

4.4.2.1 当设计文件中没有要求对不锈钢容器进行晶间腐蚀敏感性检验时，容器制造单位可不检验。

4.4.2.2 当设计文件要求对不锈钢容器进行晶间腐蚀敏感性检验时，容器制造单位应按设计要求及本标准的规定对容器进行检验。

4.4.2.3 当应对不锈钢容器进行检验时，对所用不锈钢材、焊接材料及外协零部件也应提出相应的检验要求。包括下列内容：

a) 不锈钢材的检验

容器制造单位应要求容器所用的不锈钢材的供方提供不锈钢材的晶间腐蚀敏感性检验合格证。必要时容器制造单位可以复验。

b) 不锈钢焊接材料的检验

容器制造单位应要求容器所用的不锈钢焊接材料的供方提供不锈钢焊接材料的晶间腐蚀敏感性检验合格证。必要时容器制造单位可以复验。

c) 不锈钢容器外购零部件的检验

如不锈钢容器的所有不锈钢零部件都由容器制造单位自己制造，则零部件的检验作为组成不锈钢容器检验的一部分；如不锈钢容器的部分不锈钢零部件（封头、法兰、泡罩等）由外协提供，容器制造单位应要求外协制造单位（如封头厂等）提供这些不锈钢零部件的晶间腐蚀敏感性检验合格证。必要时容器制造单位可以复验。

4.4.2.4 容器制造单位对不锈钢容器的检验应注意：

a) 容器制造单位应制订制取检验试件（试样）的方案，检验试件（试样）的检验结果应能适用与覆盖容器所有应检验部位的应检表面。

b) 当所用钢材、焊接材料与外协零部件的检验合格证不全时，应由容器制造单位检验补齐。

c) 容器制造单位可按规定将钢材、焊接材料与外协零部件的部分检验合格证作为适用于容器应检验部位的部分检验合格证，避免重复检验。

4.4.3 不锈钢容器在指定的介质条件下长期运转是否产生晶间腐蚀失效事故由容器的设计单位负责。容器制造单位对容器设计规定的检验是否合格负责。不锈钢材、焊条及外协零部件的生产供应单位则对与容器制造单位的检验协议负责。

5 检验的确定

5.1 不锈钢容器检验的确定

5.1.1 可不要求检验的确定

5.1.1.1 下列情况下不锈钢容器可不要求检验：

a) 容器采用了非耐酸钢、即铬含量低于16%的0Cr13、1Cr13等非耐酸钢的不锈钢。

b) 容器用于非耐蚀目的，不锈钢仅用作耐热钢、抗氧化不起皮钢、低温钢、无磁钢等。

c) 容器介质为干燥的气相或固相，如不锈钢仅用作抗氢钢，抗氢、氮、氨钢，抗氧化不起皮钢等。

d) 容器介质为非电解质液相时，即使介质有腐蚀性，也只能产生非电化学腐蚀的化学腐蚀，不会

产生电化学腐蚀(晶间腐蚀属于电化学腐蚀)。这些非电解质的液相如某些醇类、醛类、醚类、酮类、烷类、苯类、汽油等。

- e) 容器为了防止物料受铁离子污染的目的而采用不锈钢,这时介质虽有腐蚀性但很弱,常常采用碳素钢或低合金钢也能保持一定的设备寿命。这些介质如尿素成品溶液、某些食品液、药液、化纤液等。
- f) 可以不进行检验的介质条件还有如化学纯乙酸、常温稀硝酸(小于 50%)、不含硫酸的硫酸铵溶液、淡水、自来水、潮湿大气等。
- g) 容器介质腐蚀性太强,如为高温高浓度的盐酸等强还原性酸,一般不锈钢在其中不能钝化,也就不存在晶间腐蚀问题,这时也可不检验。

5.1.1.2 经过长期试验或生产实践,如可证明当不锈钢(容器或试样)在严重通不过晶间腐蚀敏感性检验的情况下,长期与某介质条件接触,仍然没有产生晶间腐蚀,这时才可以确定,在该介质条件下工作的不锈钢容器可以不必进行晶间腐蚀敏感性检验。

5.1.2 应当要求检验的确定

5.1.2.1 只要确认与某介质条件接触的不锈钢曾经产生过晶间腐蚀现象,就可以认为该介质条件对不锈钢具有产生晶间腐蚀的能力,用这种不锈钢制造的容器在该介质条件工作,应当要求进行晶间腐蚀敏感性检验并且合格。

5.1.2.2 是否要求检验由设计单位根据压力容器的具体情况确定。下述介质在足够浓度和一定温度下的溶液属于具有对不锈钢产生晶间腐蚀能力的介质:

- a) 无机酸——硝酸、硫酸、盐酸、磷酸、铬酸、亚硫酸、氢氟酸、氢溴酸、氢碘酸、氢氰酸、氯氰酸、氨基磺酸、次氯酸等;
- b) 有机酸——工业乙酸、乙酸酐、甲酸、草酸、乳酸、乙二酸、丙二酸、苯二酸、环烷酸、水杨酸、脂肪酸、苹果酸、柠檬酸、马来酸、马来酐、富马酸等;
- c) 盐类——硝酸铵、硝酸钙、硝酸银、硫酸铜、硫酸铁、硫酸钠、硫酸铝、硫酸氢钠、硫酸亚铁、亚硫酸铁、亚硫酸钙、氯化钠、氯化铁、氯化铬、次氯酸钠、氢氟酸钠等溶液;
- d) 其他——氢氧化钠、硫化铁、硫化铝、硫化钠、湿二氧化硫、三氯化铁、尿素氨基甲酸铵溶液、亚硫酸纸浆、牛皮纸浆、亚硫酸蒸煮液、玉米淀粉浆(由盐酸或硫酸制)、甜菜汁、石油原油、油田污水、海水、轻水堆高温水,人体液等。

5.1.2.3 对于尚不清楚是否为具有对不锈钢产生晶间腐蚀能力的介质,尤其是对于含酸溶液及含酸式盐溶液(呈酸性)等电解质溶液,如果找不到该介质属于不具有产生晶间腐蚀能力的确切依据,一般应对其所用不锈钢容器要求进行晶间腐蚀敏感性检验。

5.2 不锈钢材、焊接材料及外协零部件检验的确定

5.2.1 当不锈钢容器确定应要求检验时,该容器所用不锈钢材、焊接材料及外协零部件也应要求检验。

5.2.2 GB/T 4237、GB/T 3280、GB/T 1220、GB/T 14976、GB/T 13296 及 GB/T 12771 等不锈钢材标准中均将晶间腐蚀敏感性检验作为必检技术要求,当容器所用不锈钢材按这些标准订货时,即使不锈钢设备本身不要求检验,一般可按不锈钢材标准的规定要求检验。

5.2.3 当不锈钢容器确定可不进行检验,且其所用不锈钢材、焊接材料及外协零部件的订货标准中没有将晶间腐蚀敏感性检验作为必检技术要求时,对不锈钢材、焊接材料及外协零部件也可不进行检验。

5.2.4 当不锈钢容器确定应进行检验时,其所用不锈钢材与焊接材料标准如 GB/T 2100、GB/T 983、JB 4728、JB 4733 等没有将晶间腐蚀敏感性检验作为必保技术要求时,应在订货协议中将其作为必检要求。

6 检验方法的选择

6.1 一般均采用不锈钢晶间腐蚀敏感性检验方法现行标准中规定的标准检验方法检验,特殊情况下也可采用非标准方法检验。

6.2 国产不锈钢材与焊接材料及其制造的不锈钢容器与零部件一般采用我国的不锈钢晶间腐蚀敏感性检验方法标准 GB/T 4334.1~4334.5—2000 检验,需要时也可采用 ISO 3651-1~3651-2:1998(E)等检验方法标准。

6.3 当不锈钢晶间腐蚀敏感性检验方法的一个标准中只规定了一种检验方法时,选择的检验方法可只标明标准号与标准名称,当一个标准中规定了几种检验方法时,除标明标准号与标准名称外,还应说明选择的检验方法名称。

6.4 不锈钢容器所用不锈钢材、焊接材料及外购零部件应当与该不锈钢容器采用同一种检验方法。

6.5 当不锈钢容器只规定应当检验而未规定具体检验方法时,或当订购不锈钢材和焊接材料时并未明确这些材料用于什么不锈钢容器时,不锈钢材和焊接材料可先按 GB/T 4334.5—2000 硫酸-硫酸铜法或 ISO 3651-2:1998(E)中的 A 法:16%硫酸-硫酸铜法(Strauss 法)进行检验。当后来用这些材料制造的不锈钢容器与零部件确定采用其他较严的检验方法时,这些材料则应当由容器或零部件的制造单位采用较严的检验方法再进行检验。

6.6 当采用的不锈钢晶间腐蚀敏感性检验方法标准中列有 10%草酸法时,一般均允许在具体检验时,按照该标准的规定,采用 10%草酸法作为该标准中其他检验方法(热酸试验)的筛选方法。例如当采用的检验方法为 GB/T 4334.5—2000 硫酸-硫酸铜法,该检验方法标准 GB/T 4334—2000 中列有 GB/T 4334.1—2000 10%草酸法,一般均允许在具体检验时,按照该标准的规定,采用 10%草酸法作为硫酸-硫酸铜等方法的筛选方法。即当 10%草酸法检验合格,则表明所筛选的热酸试验方法不必检验即为合格;当 10%草酸法检验不合格,则应采用所筛选的热酸试验方法进行检验以确定是否合格。10%草酸法检验与其他热酸检验的关系以及所适用的不锈钢牌号应按 GB/T 4334.1—2000 等的规定。

6.7 焊制不锈钢容器焊接试件(试样)的晶间腐蚀敏感性检验方法一般不采用 GB/T 4334.4—2000 硝酸-氢氟酸法。

6.8 不锈钢容器在不同介质条件下,各种热酸检验方法对不锈钢的类型有一定的适用性,见表 1。

6.9 检验方法的宽严

6.9.1 当检验由晶界贫铬区所引起的晶间腐蚀敏感性时,检验方法由宽到严的顺序为:硫酸-硫酸铜法、硫酸-硫酸铁法、硝酸法。

6.9.2 当检验方法的类型相同,而仅是硫酸浓度不同时,硫酸浓度较浓者检验结果较严。如硫酸-硫酸铜法中,16%硫酸的检验方法(GB/T 4334.5—2000、ISO 3651-2:1998(E)中的 A 法)检验结果较宽、适用于:

大于 16%Cr、且不大于 3%Mo 的奥氏体不锈钢;
16%~20%Cr、且不大于 1%Mo 的铁素体不锈钢;
大于 16%Cr、且不大于 3%Mo 的双相不锈钢。

35%硫酸的硫酸-硫酸铜检验方法[ISO 3651-2:1998(E)中的 B 法]检验结果较严,适用于:

大于 20%Cr、且 2%~4%Mo 的奥氏体不锈钢;
大于 20%Cr、且大于 2%Mo 的双相不锈钢。

如在硫酸-硫酸铁法中,硫酸含量为 50%的检验方法(GB/T 4334.2—2000)的检验结果应比硫酸含量为 40%的检验方法[ISO 3651-2:1998(E)的 C 法]的检验结果稍严。40%硫酸-硫酸铁检验方法适用于:

大于 17%Cr、且大于 3%Mo 的奥氏体不锈钢;
大于 25%Cr、且大于 2%Mo 的奥氏体不锈钢;

表 1 检验方法对不锈钢类型的适用性

设备 介质 类型	介质能快速溶解的晶界组织			不锈钢的类型		可适用的标准热酸检验方法			
	贫铬区	含钼钢产生的σ相	稳定化钢产生的σ相			硫酸- 硫酸铜法	硫酸- 硫酸铁法	硝酸法	硫酸- 氢氟酸法
弱氧化性 介质	溶解	—	—	奥氏 体钢	不含钼非稳定化钢	适用	适用	适用	—
					含钼非稳定化钢	适用	适用	—	适用
					不含钼稳定化钢	适用	—	—	—
					含钼稳定化钢	适用	—	—	适用
				铁素 体钢	非稳定化钢	适用	适用	—	—
					稳定化钢	适用	—	—	—
较强氧化性 介质	溶解	溶解	溶解	奥氏 体钢	不含钼非稳定化钢	适用	适用	适用	—
					含钼非稳定化钢	适用	适用	—	适用
					不含钼稳定化钢	—	适用	适用	—
					含钼稳定化钢	—	适用	—	—
				铁素 体钢	非稳定化钢	适用	适用	—	—
					稳定化钢	—	适用	—	—
强氧化性 介质	溶解	溶解	溶解	奥氏 体钢	不含钼非稳定化钢	适用	适用	适用	—
					含钼非稳定化钢	—	—	适用	—
					不含钼稳定化钢	—	适用	适用	—
					含钼稳定化钢	—	—	适用	—
				铁素 体钢	非稳定化钢	适用	适用	—	—
					稳定化钢	—	适用	—	—

注 1：双相不锈钢和奥氏体钢类似。但用于硝酸法时应慎重。

注 2：铁素体不锈钢不适用于硝酸法、硝酸-氢氟酸法。

注 3：10%草酸法可用作奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢的各种适用热酸检验方法的筛选。

注 4：如不能确定容器的介质类型时,可先按弱氧化性介质考虑表中检验方法对不锈钢类型的适用性。

大于 20%Cr、且大于 3%Mo 的双相不锈钢；
大于 25%Cr、且大于 2%的铁素体不锈钢。

6.10 某些介质的检验方法的确定

- 6.10.1 以下介质条件的不锈钢容器可采用硫酸-硫酸铜法检验：工业乙酸、常温~60℃浓度 5%~50%的稀硝酸、高温高纯水(反应堆用)。
- 6.10.2 以下介质条件的不锈钢容器可采用 65%硝酸法检验：
- a) 温度 60℃以上、浓度 5%~50%的稀硝酸中工作的 0Cr18Ni9、00Cr19Ni10 容器；
 - b) 在各种温度下的浓硝酸中工作的 0Cr18Ni9、00Cr19Ni10 或其他浓硝酸专用不锈钢制容器；
 - c) 正常加氧条件下的 00Cr17Ni14Mo2 和 00Cr25Ni22Mo2 等尿素级不锈钢制的尿素高压容器，可按 HG/T(3172~3174)—2002 中规定的 65%硝酸法。
- 6.10.3 特殊情况下，检验方法可由容器的订货单位与容器的设计、制造单位协商确定。

7 受检试件的状态

7.1 不锈钢材的检验状态

7.1.1 固溶状态供货的超低碳和稳定化奥氏体不锈钢和双相不锈钢材应在规定的敏化处理后的敏化状态检验。如按 GB/T 4334.1~4334.5—2000 标准方法检验,奥氏体不锈钢压力加工材试件的敏化处理制度为 650℃保温 2 h 空冷,铸件试件的敏化处理制度为 650℃保温 1h 空冷。此外,双相不锈钢压力加工材的敏化处理制度一般可为 650℃保温 30 min 空冷,或按协议。如按 ISO 3651:1998(E)标准方法检验,超低碳或稳定化的奥氏体不锈钢或双相不锈钢的敏化处理制度一般为:700℃±10℃加热 30 min 随后水冷,如有说明,敏化处理制度也可为:650℃±10℃加热 10min 随后水冷。

7.1.2 固溶状态供货的低碳非稳定化奥氏体不锈钢压力加工材,如在容器制造中会经受温度超过 300℃的焊接、热成形等热作,且热作后不再进行固溶处理时,钢材试件应在敏化处理以后的敏化状态或其他模拟热作状态(经协议,如焊接状态)进行检验。如制造中不会经受焊接、热成型等热作,或虽然热作,但还会再进行固溶处理时,钢材试件可以在供货状态检验。如需在敏化状态检验,敏化处理制度可为:650℃保温 15 min 空冷,或协议。

7.1.3 固溶状态供货的高碳非稳定化奥氏体不锈钢压力加工材一般在固溶状态检验。

7.1.4 退火状态供货的铁素体不锈钢材,当制造中不经受焊接、热成形等热作时,应在供货状态检验。当会经受焊接、热成形等热作,且不再进行退火处理时,应以与实际情况接近的焊接或热作状态检验,经双方协议也可在专门的敏化处理或焊接状态检验。

7.2 焊条的检验状态

7.2.1 一般焊条按 GB/T 4334.1~4334.5—2000 规定,与相应牌号的钢板(厚度不小于 20 mm)焊成对接接头,从焊肉中截取试样在焊后状态检验。

7.2.2 堆焊用的焊条按 GB/T 4334.1~4334.5—2000 规定,在相应牌号的钢板(厚度不小于 10 mm)上焊成堆焊试件,从堆焊的盖面层(厚度大于 6 mm,不得包含过渡层)截取试样,在焊后状态进行检验。

7.2.3 也可在双方协议的其他试样状态检验。

7.3 外协零部件检验状态

7.3.1 如容器制造单位对这些外协零部件在容器制造中不再进行焊接等热作,零部件可以在供货状态检验。有以下情况:

- a) 如果这些零部件本身的制作没有经过焊接、热成形、热处理等热作,如整板冷压的泡罩、整板冷压的带翻边法兰的封头等,零部件制造单位可提供钢材生产供应单位的晶间腐蚀敏感性检验合格证(或加盖本单位公章的复印件),也可提供在供货状态的检验合格证。
- b) 如果这些零部件本身的制作经过了焊接(焊后不进行热处理)如拼焊冷压泡罩、拼焊冷压带翻边法兰的封头等,零部件应在带焊接接头的试件上在焊后状态检验。
- c) 如果这些零部件本身的制作经受了热压成形(包含拼焊或未拼焊)、热处理等热作过程,并在热作状态供货,在容器制造中不再经受热作,应当在同样的供货状态下检验,有拼焊时试件应带焊缝,未拼焊时试件无焊缝。

7.3.2 如容器制造单位对这些外协零部件在容器制造中还要进行焊接等热作(不再进行固溶处理),这些零部件的检验状态应当与 7.1 不锈钢材的检验状态相同,即再敏化处理后检验。也可由双方协议,在零部件供货状态的基础上,再加上容器制造单位的实际焊接等热作过程后的状态检验。

7.4 容器的检验状态

7.4.1 不锈钢容器应在容器制造完成后(包括焊修等)的交货状态即容器的使用状态检验。

7.4.2 已检验合格的钢材和外购零部件,如在容器制造中没有经受温度 300℃以上的焊接、热成形、热处理等热作过程,则这些部位的检验状态应与钢材和外购零部件的供货状态相同。

7.4.3 容器在制造中经受热作后,应在热作状态(如焊接接头的焊后状态)检验。钢材敏化状态检验合

格,不能表示钢材经具体热作后的状态也合格。

8 容器检验的取样与组批

8.1 取样要求

容器检验试件的检验面应能覆盖容器应检验构件的全部检验面,即应能覆盖容器不锈钢应检构件与具有产生晶间腐蚀能力的腐蚀介质相接触的全部表面。

8.2 试件取用方式

- 可在制成的容器或构件上进行检验,这只适用于草酸法等非破坏性检验方法。
- 可在容器构件的延伸部位制取试件,如可在筒体纵向焊接接头的延长部位截取焊接接头试件(与容器产品焊接接头力学性能试板相似,可一并制取),可在压制封头的延伸部位截取试件。
- 可在容器制造以前,模拟需热作的构件,并按制定的热作工艺进行热作,制取模拟试件,检验合格后可确认该热作工艺。此模拟试件的检验结果适用于按此热作工艺制造的被模拟构件的检验。有的焊接试件可与焊接工艺评定的试件一并制取。

8.3 试样制取

试件的截取,以及由试件制取试样,均应采用冷机械加工的方法,不得经受任何热作,试样尺寸与加工要求可按照检验方法标准(如 GB/T 4334.1~4334.5—2000)的规定。

8.4 试样数量

8.4.1 10%草酸法检验在试件(试样)上的浸蚀区域(可不止一个浸蚀区域)应包括试件上应当检验的所有各类区域,如焊接接头的母材、焊缝、热影响区等。

8.4.2 热酸腐蚀检验的试样数量按下述规定:

- 当采用弯曲法评定时,无焊缝和只有单条焊缝的试件只需检验一个侧面时,取2个试样;试件需检验两个侧面时,取4个试样。带T形或十字形焊缝的交叉焊缝试件,只需检验一个侧面时,纵向和横向各取2个试样;试件需检验两个侧面时,纵向和横向各取4个试样。
- 当采用腐蚀率评定结果时,无焊缝和单条焊缝的试件取2个试样,带交叉焊缝的试件应在纵向和横向各取2个试样。
- 堆焊试件取2个试样。
- 补焊试件取1个试样。

8.5 取样的组批

8.5.1 压力加工材(包括焊接管与复合板),由同一熔炼号、同样的热处理工艺和同样规格的钢材组成一批,取一个试件。

8.5.2 铸件由与铸件同一熔炼号、同样热处理工艺的试块中取一个试件。

8.5.3 焊条采用同一熔炼号的焊芯,同一批号主要涂料原料,以同样涂料配方及制造工艺的焊条组成一批,按 GB/T 4334—2000 规定焊一个焊条试件或堆焊焊条试件。

8.5.4 焊接试件应从同一熔炼号,同样热处理工艺和同样规格的母材,并采用同一批号的焊条、焊丝、焊带,采用同一焊接工艺与焊缝形式的焊接构件中,采用一个焊接试件。

8.5.5 同一个容器制造单位采用同批钢材、同批焊接材料,同样的焊接工艺制造同一批容器或容器构件,可以只采用同一个试件。

9 检验合格指标

9.1 不锈钢容器所用的钢材、焊接材料及外购零部件的检验合格指标应与不锈钢容器的检验合格指标相同。

9.2 10%草酸浸蚀试验应按 GB/T 4334.1—2000 等相应标准的规定,与标准的浸蚀组织图相对照,判断是否通过,如通过,则表明其被筛选的热酸检验方法检验合格;如不通过,则表明还要进行被筛选的热

酸检验方法进行检验,以判明是否合格。在确定以 10%草酸法作为独立检验的方法时,则以草酸法是否通过作为检验是否合格的依据。

9.3 硫酸-硫酸铜法应按 GB/T 4334.5—2000、ISO 3651-2:1998(E)中的 A 法或 B 法等相应标准的规定,用弯曲法辅以金相法判断弯曲试样弯曲外侧面不产生晶间腐蚀裂纹作为合格指标。

9.4 硫酸-硫酸铁法应按 GB/T 4334.2—2000、ISO 3651-2:1998(E)中的 C 法等相应标准的规定,以腐蚀率判定或以弯曲法(管试样可为压扁法)判定。当以腐蚀率判定时,一般按腐蚀率不高于 1.2 mm/a 为合格,允许设计根据具体情况规定其他腐蚀率合格指标。当用弯曲法或压扁法判定时,以试样弯曲外侧面不出现晶间腐蚀裂纹为合格。

9.5 硝酸-氢氟酸法按 GB/T 4334.4—2000 规定以腐蚀率的比值来判断:

对于低碳不锈钢:

$$\text{腐蚀率的比值} = \frac{\text{交货状态试样的腐蚀率}}{\text{再固溶处理后试样的腐蚀率}}$$

对于超低碳不锈钢(也用于要焊接的非超低碳不锈钢):

$$\text{腐蚀率的比值} = \frac{\text{敏化处理后试样的腐蚀率}}{\text{交货状态试样的腐蚀率}}$$

一般以腐蚀率的比值不大于 1.5 为合格(主要用于对钢材的检验)。

9.6 硝酸法按 GB/T 4334.3—2000 的规定以 5 个周期的平均腐蚀率或 3 个周期的最大腐蚀率来判断,或按 ISO 3651-1:1998(E)的规定按 5 个周期(经协议可改变周期)的每个周期和全部周期后试验的腐蚀率来判断。一般情况下以腐蚀率不超过 0.6 mm/a 为合格指标,要求较高时也可定为不超过 0.46 mm/a 或 0.30 mm/a 为合格指标。当为焊接接头试样时,同时应要求熔合线不出现刀状腐蚀为合格。

尿素级不锈钢 00Cr17Ni14Mo2 或 00Cr25Ni22Mo2 制造的尿素高压容器采用的硝酸法检验方法一般按 HG/T 3172~3174—2002 规定,合格指标按 GB 9842、GB 9843、GB 10476、HG 2952 的规定,五个周期的平均腐蚀率,00Cr17Ni14Mo2 不高于 0.6 mm/a 为合格;00Cr25Ni22Mo2 不高于 0.275 mm/a 为合格。同时还将晶间腐蚀深度作为判断指标:对于 00Cr17Ni14Mo2,在垂直于轧制或锻造方向上的晶间腐蚀深度不超过 0.07 mm 为合格。在平行于轧制或锻造方向上的晶间腐蚀深度不超过 0.2 mm 为合格。对于焊缝金属和铸件不超过 0.1 mm 为合格;对于 00Cr25Ni22Mo2 的晶间腐蚀深度在任何轧材、锻件以及焊缝在任何方向均不超过 0.07 mm 为合格。

9.7 同一个试件中的平行试样中有一个试样不合格时,允许重取两个试样重复试验,全部合格即为合格。其中有一个不合格为不合格。

10 检验结果的适用范围

10.1 影响不锈钢晶间腐蚀敏感性的因素

10.1.1 腐蚀学为金属的表面科学,晶间腐蚀是金属的表面行为,不锈钢的晶间腐蚀敏感性检验只能检验试样或工件受检表面的性能,因此此处所指的影响因素也是指影响不锈钢表面的因素。如不锈钢容器筒体厚度较厚,对接焊缝需多道焊时,一般要求在受腐蚀侧的表面焊最后一道盖面焊,而晶间腐蚀敏感性检验也只检验受腐蚀侧的表面,因而实际上检验的基本上只是最后一道焊缝的性能,而与多次受焊接热的其他焊道无关。

10.1.2 此处的影响因素是指不锈钢材在冶金过程中及容器制造过程中可控制的独立的工艺因素,如化学成分、加热温度、持温时间、变形量大小、应力、表面处理等,不包括由这些工艺因素所决定的非独立的因变因素,如金相组织、力学性能等。

10.1.3 影响不锈钢晶间腐蚀敏感性的因素分重要因素和次要因素,当已检试件与未检件的重要因素相同,仅次要因素不同,可认为其晶间腐蚀敏感性基本相同,试件的检验结果可以适用于未检件。