



中华人民共和国国家标准

GB/T 15443—95

压水堆压力容器选材原则与基本要求

Pressurized water reactor pressure vessel—The principle
of selecting materials and the basic
requirements of the materials

1995-01-12 发布

1995-10-01 实施

国家技术监督局 发布

中华人民共和国国家标准

压水堆压力容器选材原则与基本要求

GB/T 15443—95

Pressurized water reactor pressure vessel—The principle
of selecting materials and the basic
requirements of the materials

1 主题内容与适用范围

本标准规定了核电厂和核动力装置的压水反应堆压力容器(以下简称容器)选材原则和材料的基本要求。

本标准适用于核电厂和核动力装置的压水反应堆压力容器选材、编制材料技术条件和材料生产的基本要求。其他水冷反应堆压力容器亦可参照使用。

2 引用标准

- GB 223 钢铁及合金化学分析方法
- GB 228 金属拉伸试验
- GB 242 金属管扩口试验方法
- GB 244 金属管弯曲试验方法
- GB 245 金属管卷边试验方法
- GB 246 金属管压扁试验方法
- GB 2106 金属夏比(V型缺口)冲击试验方法
- GB 2650 焊接接头冲击试验方法
- GB 2651 焊接接头拉伸试验方法
- GB 2652 焊缝及熔敷金属拉伸试验方法
- GB 2653 焊接接头弯曲压扁试验方法
- GB 3652 金属管材高温拉伸试验方法
- GB 4334.5 不锈钢 硫酸-硫酸铜腐蚀试验方法
- GB 4338 金属高温拉伸试验方法
- GB 6394 金属平均晶粒度测定方法
- GB 6399 金属材料轴向等幅低循环疲劳试验方法
- GB 6803 铁素体钢的无塑性转变温度落锤试验方法
- GB 10561 钢中非金属夹杂物显微评定法

3 术语

3.1 辐照脆化效应 irradiation embrittlement effect

中子辐照使材料强度升高,塑、韧性降低的脆化现象。

3.2 侧膨胀(LE) lateral expansion

国家技术监督局1995-01-12批准

1995-10-01实施

夏比 V 型缺口冲击试样冲断后,断口处受冲击面两侧金属横向最大膨胀量之和。

3.3 Cv 曲线 Cv curve

夏比 V 型缺口冲击试样冲断吸收能或侧膨胀量相对温度变化的曲线。

3.4 上平台能量(USE) upper-shelf energy

夏比 V 型缺口冲击试样冲断吸收能随温度变化的曲线的上平台对应的冲断吸收能。

3.5 参考温度(RT_{NOT}) reference temperature

按附录 A(补充件)的程序测定的铁素体材料的参考无塑性转变温度。

3.6 修正参考温度(ART) adjusted reference temperature

考虑到辐照脆化效应而经修正后的参考温度,即 RT_{NOT} 加上辐照后材料的 Cv 曲线相对未辐照材料的 Cv 曲线的温度位移量,此温度位移量按 68J 吸收能或 0.9 mm 侧膨胀量对应的温度位移来确定,取其中的较大者。

3.7 反应堆容器环带区 beltline region of reactor vessel

正对反应堆燃料元件组件有效高度的容器壳体区域(包括焊缝及焊接热影响区),以及在反应堆容器使用寿命期末,参考温度的修正量预计要超过 28℃ 的容器壳体区域。

3.8 主加工方向 direction of major working

材料制造过程中金属变形的最大延伸方向。

4 选材原则

压水反应堆压力容器设计选材应充分考虑容器的功能、工作条件、结构和制造工艺特点、安全性要求以及容器大型化带来的冶金尺寸效应,遵循下述选材原则:

- a. 容器材料应具有优良的冶金质量,即要求材料具有足够高的纯净度、致密度和均匀性;
- b. 容器材料应具有适当的强度,足够高的塑韧性,尤其对脆性断裂问题要重点加以考虑;
- c. 容器材料应具有低的中子辐照脆化敏感性;
- d. 容器材料应具有低的时效脆化敏感性;
- e. 容器的材料应具有优良的焊接性和冷热加工性能;
- f. 选用焊接材料应使焊缝熔敷金属与母材强度和塑韧性相适应;
- g. 容器涉及的材料品种较多,设计选材时应综合考虑材料之间物理、化学和力学性能的相容性和匹配性;
- h. 容器大型化会带来成分偏析加重和性能均匀性降低等冶金尺寸效应。容器选材时应考虑材料对大型化生产的适应性;
- i. 与反应堆冷却剂接触的容器材料应具有优良的抗腐蚀性能;
- j. 应优先选用具有使用经验、成熟的材料;新材料的选用应十分慎重,必须对其性能进行全面严格的鉴定;
- k. 在满足上述各原则的基础上,应选用经济性好的材料。

5 容器材料的基本要求

5.1 材料鉴定

首次用于制造容器的结构材料和焊接材料应根据使用及工艺要求对其性能进行全面严格的鉴定,鉴定应包括断裂力学性能和低循环疲劳性能鉴定,其要求见附录 C(参考件)和附录 D(参考件)。这种鉴定应由国家或主管部门组织进行,并以文件形式提供鉴定认可的充分依据。

5.2 化学成分

5.2.1 容器材料的化学成分应以最佳合金化含量为控制目标,严格控制 S、P、Cu、Co、V、As、Sn、Sb、B、H、O、N 等有害元素的含量。并满足设计材料技术条件的规定,附录 E(参考件)给出了推荐指标。

5.2.2 对于容器环带区材料,S、P、Cu、Co、V、As、Sn、Sb、B、H、O、N 的重量百分数含量应满足下述规定:

S 含量不大于 0.008;P 含量不大于 0.008;Cu 含量不大于 0.08;Co 含量不大于 0.03;V 含量不大于 0.01;As、Sn 含量均不大于 0.01;Sb 含量不大于 0.005;H、O、N、B 含量应尽可能低。

5.2.3 对于非容器环带区材料可适当放宽 5.2.2 中的限制。

5.2.4 化学分析应按 GB 223 有关规定进行。

5.3 锻件制造工艺

5.3.1 容器锻件材料应采用电炉熔炼、真空脱气或其他等效的冶炼工艺来生产。

5.3.2 用于制造容器锻件的钢锭应切去足够的锭头和锭尾,并得到充分均匀的锻造加工,总锻造比应大于 3。粗坯锻件的外形和尺寸应尽可能接近产品零件的外形和尺寸。

5.3.3 热处理容器锻件的加热炉应具有均匀的加热功能,工作区偏离规定热处理温度的最大温差不得超过 15℃,淬火设备应具有足够大和均匀的冷却能力,应尽可能地提高锻件的淬火冷却速率。热处理工艺应是经过试验筛选的最佳工艺。

5.4 力学性能

5.4.1 容器母材、焊缝熔敷金属、焊接接头、热影响区以及用于容器的其他材料的常规力学性能应满足设计材料技术条件规定的指标要求。附录 F(参考件)提供了推荐的技术指标。

5.4.2 力学性能试验应符合以下规定:母材拉伸试验按 GB 228 和 GB 4338 规定进行,冲击试验按 GB 2106 规定进行,焊缝熔敷金属和接头拉伸试验应分别按 GB 2652 和 GB 2651 规定进行,接头弯曲试验按 GB 2653 规定进行,接头冲击试验按 GB 2650 规定进行,落锤试验按 GB 6803 规定进行。

5.5 取样规定

5.5.1 试样的取样部位和数量应使试验结果能反映产品材料成分、组织、性能的均匀性,取样部位和试样取向按附录 B(补充件)的规定执行。

5.5.2 试验材料的状态应能分别代表锻件和产品材料的最终状态。

5.6 辐照脆化效应

容器材料,特别是容器环带区材料应具有足够低的中子辐照脆化敏感性。应有足够的试验数据证明容器材料在使用寿命内不产生严重的辐照脆化效应,一般要求容器材料在寿命内的修正参考温度不高于 93℃,最好不高于 67℃。

5.7 RT_{NDT}和 C_v 曲线上平台能量

5.7.1 应测定容器母材、焊缝熔敷金属及热影响区的 RT_{NDT}值和 C_v 曲线的上平台能量。对于容器环带区材料,参考温度应不高于 -12℃,上平台能量应不低于 130 J/cm²;对于非环带区容器材料参考温度应不高于 0℃,上平台能量应不低于 110 J/cm²。

5.8 金相检验

5.8.1 容器材料应具有足够高的纯净度,应对容器材料的非金属夹杂物作出评定。评定的夹杂物级别应满足设计规定的要求。评定按 GB 10561 规定进行。

5.8.2 应对容器母材的实际晶粒度作出评定,晶粒度应细于 5 级。评定按 GB 6394 规定进行。

5.8.3 对于焊缝金属及热影响区应进行宏观及显微组织检验,检验结果应满足设计规定的要求。

5.8.4 对不锈钢堆焊层材料应测定 δ 铁素体含量,其含量和测定方法应满足设计规定。

5.9 腐蚀试验

对于与反应堆冷却剂接触的不锈钢、镍基合金部件及其熔敷金属应进行晶间腐蚀试验,试验结果应无晶间腐蚀倾向。不锈钢晶间腐蚀试验按 GB 4334.5 规定进行,镍基合金晶间腐蚀试验按设计规定的试验标准进行。

5.10 工艺性能

用于容器的不锈钢、镍基合金管材,当需要进行压扁、弯曲、卷边或扩口等工艺性能考核试验时,试

验条件和验收标准按设计规定执行。

压扁、弯曲、卷边、扩口试验、分别按 GB 246、GB 244、GB 245、GB 242 规定进行。

5.11 无损检验

对容器锻件材料应进行百分之百的表面和体积探伤检验,检验应按适用的无损检验标准进行,检验结果应满足设计规定的无损检验验收标准的要求。

5.12 材料识别

用于制造容器的材料,包括试验材料应有完整的识别标记,保证材料、试验和检验结果等的可追踪性。

附 录 A

测定 RT_{NDT} 的程序

(补充件)

A1 测定 RT_{NDT} 的程序

A1.1 选定一个 T_{NDT} (无塑性转变温度), 该温度等于或高于落锤试验测得的无塑性转变温度。

A1.2 在不大于 $T_{NDT} + 33^{\circ}\text{C}$ 的温度, 用三个 C_v 试样为一组进行冲击试验, 当每个试样的侧膨胀量不小于 0.9 mm, 吸收能量不小于 68 J 时, T_{NDT} 就是 RT_{NDT} 。允许按 A1.5 的规定进行复试。

A1.3 如果试验结果不满足 A1.2 的规定, 可进行三个 C_v 试样为一组的补充试验, 以测定试样组的试验结果都能满足侧膨胀量不小于 0.9 mm, 吸收能量不小于 68 J 的 T_{C_v} 温度, 在此情况下 RT_{NDT} 等于 $T_{C_v} - 33^{\circ}\text{C}$ 。

A1.4 当未进行上述 A1.2 的 C_v 试验, 或试验结果不满足 A1.2 的规定时, 也可利用所进行的所有 C_v 试验的最小数据, 作 C_v 试验结果相对温度的完整曲线, 再从该曲线上得到代表最低吸收能量为 68 J 和最小侧膨胀量为 0.9 mm 对应的温度值, 取二者中的较高值作为 T_{C_v} 值。

A1.5 复试规定:

对于 A1.2 所要求的 C_v 冲击试验, 在同一温度下可以进行一次复试, 复试的前提条件是同时满足下列规定:

- a. 每组试验结果的平均值满足最低要求;
- b. 每组试验中只有一个试样的试验结果小于最低要求值;
- c. 不满足最低要求的试验结果同规定值之差不得超过 14 J 或 0.13 mm。

附 录 B

容器材料力学性能试样取样规定

(补充件)

B1 容器母材取样规定

力学性能试样应取自锻件本体多余部分和代表成品容器状态的见证件试料。试料取自试环周向相隔 180° 的两个部位或相隔 120° 的三个部位。试环应从成品热处理后的锻件上切取, 对于长度小于 2 600 mm 的锻件, 应从锻件上相应于钢锭材质较差的一端切取试环, 对于长度大于 2 600 mm 的锻件, 应从两端切取试环。

对于容器筒体、过渡段、封头、接管锻件, 试样纵轴离锻件成品热处理内表面的距离至少为 $T/4$, 试样有用部分离锻件成品热处理端面的距离至少为 T , T 为锻件最大热处理厚度。可采用焊接热保护环的措施来满足取样的端部限制条件, 热保护环可以是任何可焊接的碳钢或低合金钢。热保护环的横截面尺寸至少为 $T \times T$ 。

对于容器法兰锻件, 试样纵轴离锻件成品热处理内表面的距离至少为 40 mm, 试样有用部分离锻件成品热处理端面的距离至少为 40 mm。

对于两端取样的锻件, 两端取样位置应彼此错开 90° (相隔 180° 取样时) 或 60° (相隔 120° 取样时)。

拉伸试样的纵轴应垂直于锻件主加工方向。

C_v 冲击试样的纵轴应垂直、平行于锻件主加工方向。

试样缺口底线应平行于径向。

B2 容器焊缝熔敷金属及接头力学性能试样取样规定

力学性能试样应取自能代表容器产品状态的焊接见证件。焊接见证件应同产品焊缝一道经历制造过程的全部热循环。

焊缝熔敷金属拉伸试样、焊缝熔敷金属及接头的冲击、落锤和弯曲试样应沿焊缝厚度方向分5层(外表层、外 $T/4$ 层、 $T/2$ 层、内 $T/4$ 层、内表层或焊根层)切取。 T 为焊缝厚度。接头拉伸试样原则上应取接头全厚度试样,如受试验条件限制,不能进行全厚度接头拉伸试验时,可沿厚度方向分层切取若干个试样以代替全厚度试样。

焊缝熔敷金属拉伸试样的纵轴应平行于焊缝长度方向,并位于焊缝中心线位置,焊缝熔敷金属Cv冲击和落锤试样、接头横向正弯、背弯和侧弯试样的纵轴应垂直于焊缝长度方向;热影响区Cv冲击和落锤试样的纵轴应垂直熔合线;接头纵向正弯和背弯试样的纵轴应平行于焊缝长度方向并位于焊缝中心线位置。

焊缝熔敷金属Cv冲击试样的缺口底线应位于焊缝横截面中心线位置;焊缝熔敷金属落锤试样的缺口底线应位于焊缝纵截面的中心线位置。

落锤试样的受拉伸面应为离焊缝表面的距离较近的那个面,对于 $T/2$ 层试样的受拉伸面可任选。

热影响区Cv冲击试样的缺口底线应平行于焊缝横切面的熔合线并位于热影响区脆化区;落锤试样的缺口底线应平行焊缝纵截面的熔合线并位于热影响区脆化区;一般取在离熔合线0.8 mm的位置。

B3 容器接管安全端镍基合金焊缝熔敷金属及接头力学性能取样规定

预堆边和焊缝熔敷金属拉伸试样,预堆边、焊缝熔敷金属和热影响区Cv冲击试样、落锤试样(只取接管侧母材热影响区试样)和接头弯曲试样应沿焊缝厚度分三层切取(外表层、焊根或内表层、外 $T/4$ 层), T 为焊缝厚度。接头拉伸试样原则上应取全厚度试样,如受试验条件限制,允许沿厚度分层切取几个试样,以代替单个全接头拉伸试样。

预堆边和焊缝熔敷金属拉伸试样的纵轴应平行于焊接方向;Cv冲击试样的纵轴应垂直于焊接方向,试样缺口底线应平行于接管径向。热影响区冲击试样的纵轴应垂直于熔合线、试样缺口底线应位于热影响区最脆区并平行于接管径向熔合线;接管侧母材热影响区落锤试样的纵轴应平行于接管轴向,试样缺口底线应位于热影响区最脆区并平行于接管周向熔合线,试样受拉伸面应为离焊缝表面较近的那一面;接头横向正弯、背弯和侧弯试样的纵轴应垂直焊接方向,纵向正弯和背弯试样的纵轴应平行于焊接方向。

设计可根据安全性要求增加弯曲试样的取样层数。

B4 容器螺柱紧固件材料力学性能取样规定

每批棒材任取两根作力学性能试验用料,试样应在成品热处理(包括需作的稳定化处理)后从两端切取。

批的定义:同一冶炼炉次,经同样制造过程,在同一炉次中进行同样热处理(包括稳定化处理)的尺寸相同或相近的棒材为一批,每批重量以5 t为限。

拉伸冲击试样的纵轴应平行于棒材的纵轴,试样的有用部分离棒材端面的距离至少为 D ,拉伸试样的纵轴应位于棒材 $1/2$ 半径处。Cv冲击试样的纵轴离棒材表面的距离按式(B1)确定:

$$\frac{D-d}{2} + 25.4 \text{ mm} \dots\dots\dots (B1)$$

式中: D ——棒材直径,mm;

d ——成品螺柱杆身直径,mm。

Cv 冲击试样缺口底线应平行于棒材径向。

附录 C

容器材料的断裂力学性能要求

(参考件)

C1 应有足够的试验数据证明容器母材、焊缝及热影响区在设计规定温度的 K_{Ic} 、 K_{Is} 、 K_{Ia} 值高于适用设计规范规定的 K_{IR} 曲线上相应温度的 K_{IR} 值,且应有足够的安全裕度。

C2 K_{IR} 值可从图 C1 中获得,图 C1 中 K_{IR} 曲线的解析表达式为:

$$K_{IR} = \min \begin{cases} 29.43 + 1.355 \exp[0.0261(T - RT_{NDT} + 88.9)] \\ 220 \text{ MPa} \sqrt{m} \end{cases} \quad \dots\dots(C1)$$

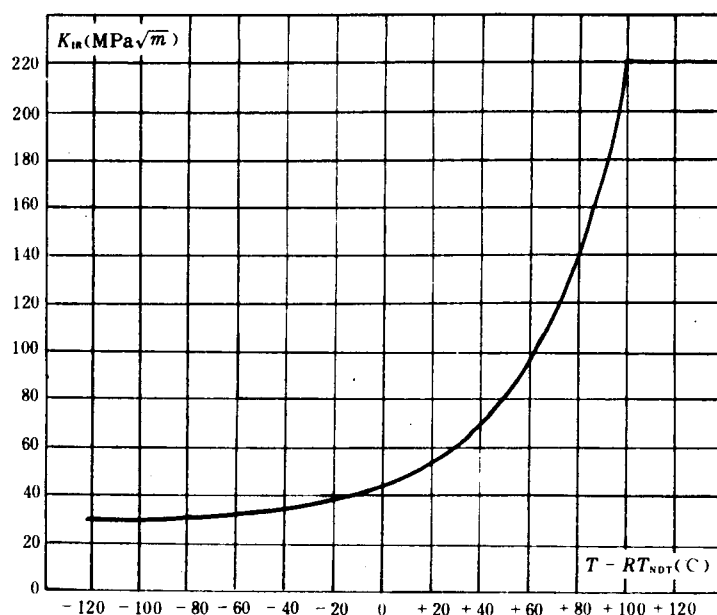


图 C1

附录 D

容器材料的低周疲劳性能要求

(参考件)

D1 应有足够的试验数据证明容器母材和焊接接头的低周疲劳试验曲线与适用设计规范规定的设计疲劳曲线相比有足够的安全裕度。低周疲劳试验按 GB 6399 规定进行。

D2 设计疲劳曲线见图 D1、图 D2、图 D3。

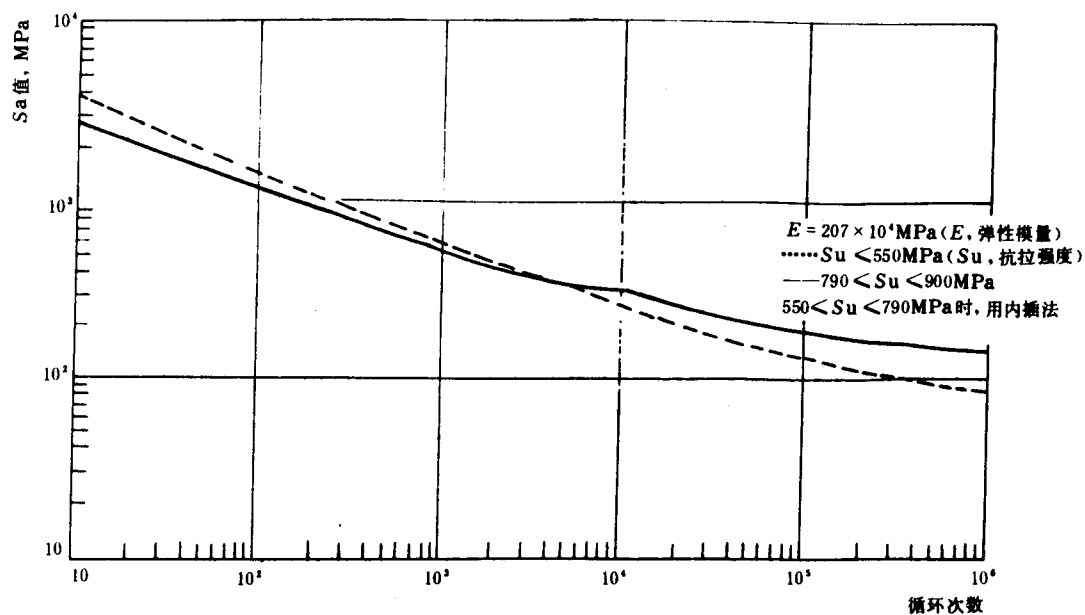


图 D1 碳钢和低合金钢的疲劳曲线

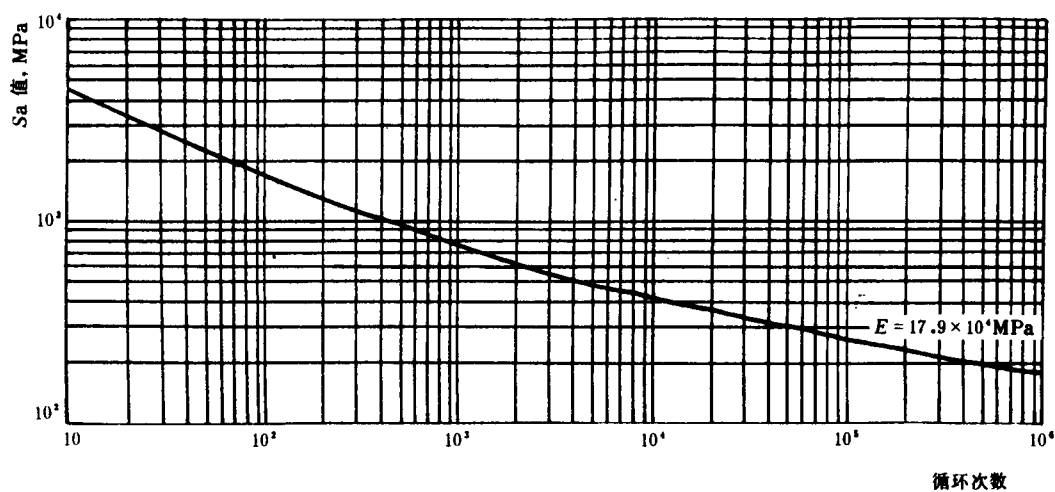


图 D2 奥氏体不锈钢和镍基合金的疲劳曲线

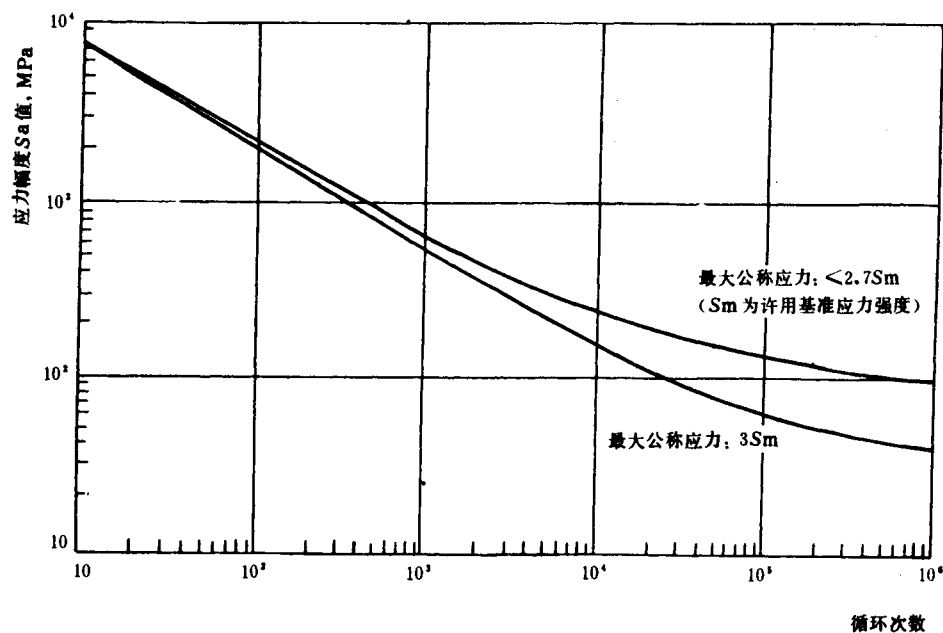


图 D3 高强度螺栓钢的疲劳曲线

附录 E
容器材料化学成分要求
(参考件)

E1 容器环带区母材 18MnNiMo(A508-3)钢化学成分要求

表 E1								wt%
元素		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
含量	熔炼分析	0.16~0.20	0.10~0.30	1.20~1.55	≤0.008	≤0.008	0.50~0.80	≤0.20
	成品分析	0.16~0.22	0.10~0.30	1.20~1.60	≤0.008	≤0.008	0.50~0.80	≤0.20
元素		Mo	V	Cu	Al	Co	As	Sn
含量	熔炼分析	0.45~0.55	≤0.01	≤0.08	≤0.03	≤0.02	≤0.010	≤0.010
	成品分析	0.43~0.57	≤0.01	≤0.08	≤0.04	≤0.03	≤0.010	≤0.010
元素		Sb		B		H O		
含量	熔炼分析	≤0.005		≤0.0005		尽可能低并提供分析数据		
	成品分析	≤0.005		≤0.0005		尽可能低并提供分析数据		

E2 容器非环带区母材 18MnNiMo(A508-3)钢化学成分要求

表 E2

wt %

元素		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
含量	熔炼分析	0.16~0.20	0.10~0.30	1.20~1.55	≤0.012	≤0.012	0.50~0.80	≤0.20
	成品分析	0.16~0.22	0.10~0.30	1.20~1.60	≤0.012	≤0.012	0.50~0.80	≤0.20
元素		Mo	V	Cu	Al	Co	As	Sn
含量	熔炼分析	0.45~0.55	≤0.01	≤0.10	≤0.03	≤0.03	≤0.010	≤0.010
	成品分析	0.43~0.57	≤0.01	≤0.10	≤0.04	≤0.03	≤0.010	≤0.010
元素		Sb		B		H		O
含量	熔炼分析	≤0.005		≤0.0005		尽可能低并提供分析数据		
	成品分析	≤0.005		≤0.0005		尽可能低并提供分析数据		

E3 容器环带区焊缝熔敷金属化学成分要求

表 E3

wt %

元素	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
含量	≤0.10	0.20~0.50	1.20~1.80	≤0.008	≤0.008	0.50~0.90	≤0.20	0.35~0.65
元素	Cu	Co	V	As	Sn	Sb	B	H O N
含量	≤0.05	≤0.02	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.005	≤0.0005	尽可能低并提供分析数据

E4 容器非环带区焊缝熔敷金属化学成分要求

表 E4

wt %

元素	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
含量	≤0.10	0.20~0.50	1.20~1.80	≤0.012	≤0.012	0.50~0.90	≤0.20	0.35~0.65
元素	Cu	Co	V	As	Sn	Sb	B	H O N
含量	≤0.08	≤0.03	≤0.02	≤0.01	≤0.01	≤0.005	≤0.0005	尽可能低并提供分析数据

E5 容器内壁不锈钢堆焊层化学成分要求

表 E5

wt%

元素		C	Si	Mn	P	S	Cr
含量	过渡层	≤0.035	≤1.00	≤2.00	≤0.015	≤0.015	22.0~25.0
	不锈钢层	≤0.03	≤1.00	≤2.00	≤0.015	≤0.015	19.00~21.00
元素		Ni	Mo	Cu	Co	B	V
含量	过渡层	11.0~13.5	≤0.50	≤0.05	≤0.03	≤0.0005	≤0.02
	不锈钢层	9.50~11.50		≤0.05	≤0.03	≤0.0005	≤0.02
元素		H	O	N	As	Sn	Sb
含量	过渡层	尽可能低并提供分析数据					
	不锈钢层	尽可能低并提供分析数据					

E6 容器用不锈钢管件材料熔炼分析和成品分析成分要求

表 E6

wt%

元素		C	Si	Mn	P	S	Cr
含量	0Cr18Ni11Ti	≤0.05	≤1.00	≤2.00	≤0.02	≤0.02	17.00~20.00
	00Cr17Ni12Mo2	≤0.03	≤1.00	≤2.00	≤0.02	≤0.02	16.00~19.00
元素		Ni	Mo	Ti	Cu	Co	
含量	0Cr18Ni11Ti	9.00~13.00		5×c%~0.75	≤0.50	≤0.10	
	00Cr17Ni12Mo2	10.00~14.00	2.25~2.75		≤0.50	≤0.10	
元素		As	Sn	Sb	H	O	N
含量	0Cr18Ni11Ti	尽可能低并提供分析数据					
	00Cr17Ni12Mo2	尽可能低并提供分析数据					

E7 容器接管安全端异种金属焊缝镍基合金实心焊丝化学成分要求

表 E7

wt%

元素	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Fe
含量	≤0.05	≤0.50	2.50~3.50	≤0.010	≤0.010	≥67.00	18.00~22.00	≤3.00
元素	Co	Cu	Ti	Nb+Ta	As	Sn	Sb	
含量	≤0.05	≤0.10	≤0.05	2.30~3.00	≤0.010	≤0.010	≤0.005	
元素	H		O		N			
含量	尽可能低并提供分析数据							

E8 容器用镍基合金制件材料(Incone1600)化学成分要求

表 E8

wt%

元素		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Fe
含量	熔炼分析和 产品分析	≤0.10	≤0.50	≤1.00	≥72.00	14.00~17.00	≤0.50	6.00~10.00
元素		P	S	Cu	Al+Ti	Co	B	
含量	熔炼分析和 产品分析	≤0.010	≤0.010	≤0.10	≤0.6	≤0.05	≤0.001	

E9 容器螺栓紧固件材料(40CrNi₂MoV)化学成分要求

表 E9

wt%

元素		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
含量	熔炼分析	0.37~0.44	≤0.35	0.60~0.95	≤0.02	≤0.02	0.60~0.95	1.55~2.00
	成品分析	0.35~0.45	≤0.35	0.55~0.95	≤0.02	≤0.02	0.60~1.00	1.55~2.05
元素		Mo	Cu	V	Sn	Sb	As	H O N
含量	熔炼分析	0.40~0.60	≤0.10	0.04~0.10	≤0.01	≤0.01	≤0.01	尽量低并 提供分析 数据
	成品分析	0.35~0.60	≤0.10	0.040~0.10	≤0.010	≤0.010	≤0.010	尽量低并 提供分析 数据

E10 容器用“O”型密封环管材 GH169 合金(Incone1718)化学成分要求

表 E10

wt%

元素		C	Mn	Si	P	S	Cr	
含 量	熔炼分析	≤0.05	≤0.35	≤0.35	≤0.010	≤0.010	17.00~21.00	
	成品分析	≤0.05	≤0.38	≤0.38	≤0.010	≤0.010	17.00~17.25	
元素		Ni	Nb+Ta	Mo	Ti	Al	Co	Cu
含 量	熔炼分析	50.00~55.00	4.75~5.50	2.80~3.30	0.65~1.15	0.20~0.80	≤0.05	≤0.05
	成品分析	50.00~55.35	4.60~5.70	2.75~3.31	0.61~1.20	0.15~0.90	≤0.07	≤0.07
元素		B	Fe	As	Sb	Sn	Bi	Pb
含 量	熔炼分析	≤0.006	余尽可能低并提供分析数据					
	成品分析	≤0.006	余尽可能低并提供分析数据					

附 录 F
容器材料力学性能要求
(参考件)

F1 容器环带区母材 18MnNiMo(A508-3)钢力学性能要求

表 F1

试验项目	试验温度,℃	性 能	指标值	
			试样纵轴垂直于主加工方向	试样纵轴平行于主加工方向
拉伸试验	室温	$\sigma_{0.2}$,MPa	≥ 400	—
		σ_b ,MPa	552~670	—
		$\delta\%$, (5d)	≥ 20	—
		$\psi\%$	≥ 45	—
	350	$\sigma_{0.2}$,MPa	≥ 300	—
		σ_b ,MPa	552	—
		$\delta\%$, (5d)	—	—
		$\psi\%$	—	—
Cv 冲击试验	0	三个一组试样的平均值: a_k ,J/cm ²	≥ 70	≥ 100
		三个一组试样的个别值: a_k ,J/cm ²	≥ 50	≥ 70
	-20	三个一组试样的平均值: a_k ,J/cm ²	≥ 50	≥ 70
		三个一组试样的个别值: a_k ,J/cm ²	≥ 35	≥ 50
	+20	三个一组试样的个别值: a_k ,J/cm ²	≥ 130	≥ 150
Cv-T℃ 曲线试验	-60~80	USE,J/cm ²	≥ 130	
RT _{NDT} 试验		RT _{NDT} ,℃	≤ -12	

F2 反应堆容器非环带区母材 18MnNiMo(A508-3)钢力学性能要求

表 F2

试验项目	试验温度,℃	性 能	指标值	
			试样纵轴垂直于主加工方向	试样纵轴平行于主加工方向
拉伸试验	室温	$\sigma_{0.2}$,MPa	≥ 400	—
		σ_b ,MPa	552~670	—
		$\delta\%$, (5d)	≥ 20	—
		$\psi\%$	≥ 45	—
	350	$\sigma_{0.2}$,MPa	≥ 300	—
		σ_b ,MPa	≥ 552	—
		$\delta\%$, (5d)	—	—
		$\psi\%$	—	—

续表 F2

试验项目	试验温度,℃	性 能	指标值	
			试样纵轴垂直于主加工方向	试样纵轴平行于主加工方向
Cv 冲击试验	0	三个一组试样的平均值: a_k , J/cm ²	≥70	≥90
		三个一组试样的个别值: a_k , J/cm ²	≥50	≥70
	-20	三个一组试样的平均值: a_k , J/cm ²	≥50	≥70
		三个一组试样的个别值: a_k , J/cm ²	≥35	≥50
	+20	三个一组试样的个别值: a_k , J/cm ²	≥90	≥110
Cv-T℃ 曲线试验	-60~+80	USE, J/cm ²	≥110	
RT _{NDT} 试验		RT _{NDT} , ℃	≤0	

F3 容器焊缝熔敷金属及接头的力学性能要求

表 F3

试验项目	试验温度,℃	性 能	指标值	
			轴向 ¹⁾	周向 ²⁾
熔敷金属 拉伸试验	室温	$\sigma_{0.2}$, MPa	—	≥400
		σ_b , MPa	—	552~700
		$\delta\%$, (5d)	—	≥20
		$\psi\%$	—	≥45
	350	$\sigma_{0.2}$, MPa	—	≥300
		σ_b , MPa	—	≥552
焊接接头 拉伸试验	室温	σ_b , MPa	552~670	—
	350	σ_b , MPa	≥552	—
熔敷金属及 热影响区 Cv 冲击试验	0	三个一组试样的平均值: a_k , J/cm ²	≥70	—
		三个一组试样的个别值: a_k , J/cm ²	≥50	—
	-20	三个一组试样的平均值: a_k , J/cm ²	≥50	—
		三个一组试样的个别值: a_k , J/cm ²	≥35	—
	+20	三个一组试样的个别值: a_k , J/cm ²	环带区, ≥130 非环带区, ≥90	—

续表 F3

试验项目	试验温度,℃	性 能	指标值	
			轴向 ¹⁾	周向 ²⁾
熔敷金属及热影响区硬度试验	室温	Hv	≤320	≤320
Cv-T℃曲线测定试验	-60~80	USE,J/cm ²	环带区,≥130 非环带区,≥110	— —
RT _{NDT} 试验	—	RT _{NDT} ,℃	环带区,≤-20 非环带区,≤-12	— —

附:焊接接头弯曲试验要求

试验项目	试验温度	弯曲角	弯轴直径	试验结果
横向正弯 横向背弯 侧弯	室温	180°	三倍于试样厚度	试样拉伸面应无裂纹、裂口;单个气孔及夹渣的长度不得大于3mm

注:1) 轴向指试样纵轴平行于部件的轴向。

2) 周向指试样纵轴平行于部件周向。

F4 容器内壁不锈钢堆焊层及接头力学性能要求

表 F4

试验项目	试验温度	试验部位	弯曲角	压头直径	扭转角	试验结果
面弯	室温	—	180°	二倍于试样厚度	—	试样受拉面应无裂纹、单个气孔、夹渣等缺陷长度不大于1.5mm
侧弯		—		四倍于试样厚度		
硬度		垂直于熔合线方向 测硬度变化曲线	—	—	—	母材热影响区的最高硬度不大于320 Hv

F5 接管安全端焊接接头弯曲试验和性能要求

表 F5

试验项目	试验温度	弯曲角	压头直径	试验结果
横向正弯	室温	180°	二倍于试样厚度	拉伸面应无裂纹、裂口,单个气孔、夹渣的长度不得大于3mm
横向背弯				
纵向正弯				
纵向背弯				
侧弯			四倍于试样厚度	

注:焊缝熔敷金属的拉伸性能应不低于两侧母材拉伸性能的较低指标值、接头抗拉强度应不低于两种母材抗拉强度的较低指标值。