



中华人民共和国石油化工业行业标准

SH/T 3526—2004

代替SH 3526—1992

石油化工异种钢焊接规程

Welding specification of different steels for petrochemical engineering

2004-10-20 发布

2005-04-01 实施

国家发展和改革委员会 发布

石油化工异种钢焊接规程

1 范围

1.1 本规程规定了异种钢的焊接工艺评定、焊工考试、焊接工艺、焊接检验及焊后热处理的要求。

本规程适用于石油化工设备和管道的异种钢焊接接头的焊条电弧焊、气体保护焊和埋弧焊的焊接。钢结构异种钢焊接可参照执行。

1.2 异种钢焊接接头包括：

- a) 不同铁素体钢的焊接；
- b) 不同奥氏体不锈钢的焊接；
- c) 铁素体钢与奥氏体不锈钢的焊接；
- d) 为达到表层耐磨、耐腐蚀目的等的堆焊焊接；
- e) 同种母材选择异质填充金属的焊接。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本规程的引用而成为本规程的条款。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规程，然而，鼓励根据本规程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，其最新版适用于本规程。

GB 150 钢制压力容器

GB 50236 现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范

GB/T 3375 焊接术语

JB 4708 钢制压力容器焊接工艺评定

SH 3501 石油化工有毒、可燃介质管道工程施工及验收规范

SH 3505 石油化工施工安全技术规程

SH/T 3520 石油化工工程铬钼耐热钢焊接技术规程

国质检锅[2002]109号 锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则

3 术语和定义

GB/T 3375 和 JB 4708 确立的以及下列术语和定义适用于本规程。

3.1

碳素钢 carbon steel (c.s)

含锰量小于 1.20%，含碳量小于等于 2.0%，且无意添加其他合金元素的铁碳合金（可为脱氧目的而加入 Si、Al 等元素）。低碳钢或指含碳量小于或等于 0.25% 的碳素钢。

3.2

低合金钢 low alloy steel

提高钢材强度和改善综合性能为主要目的，合金总含量在 5% 以下的合金钢。

3.3

珠光体耐热钢 pearlite heat-resisting steel

以改善钢材耐热及抗氢性能为主要目的,加入铬、钼等合金元素,且铬的含量小于或等于10%的低碳珠光体耐热钢。

3.4

奥氏体不锈钢 austenitic stainless steel

常温下金相组织大部分为奥氏体的不锈钢。

3.5

铁素体不锈钢 ferritic stainless steel

常温下金相组织为铁素体的不锈钢。

4 总则

4.1 材料

4.1.1 用于异种钢焊接接头的材料必须具有质量证明文件,且应包括下列内容:

- a) 材料标准代号;
- b) 材料的规格、牌号及特性数据;
- c) 生产批号;
- d) 生产单位名称;
- e) 检验印鉴标志。

4.1.2 当材料有下列情况之一时不得使用:

- a) 质量证明文件特性数据不符合产品技术标准和订货技术条件;
- b) 对质量证明文件特性数据有异议;
- c) 实物标识与质量证明文件标识不符;
- d) 要求复验的材料未进行复验或复验不合格。

4.1.3 对验收合格的材料应作出合格标识。

4.1.4 焊接材料储存应符合下列规定:

- a) 焊材库应保持通风、干燥,库内温度宜不低于5℃,相对湿度应不大于60%;
- b) 焊材应按类别、牌号、规格分别存放在货架上,距地面和墙面不小于300mm为宜。

4.1.5 钨极气体保护焊宜采用钨钨极,氩气纯度应不低于99.96%。

4.2 焊接工艺评定

4.2.1 通则

4.2.1.1 异种钢焊接工艺评定应按表1母材分类进行评定,除另有规定外,表1的B系列钢号可与A系列钢号同等对待。部分国外材料的化学成分及力学性能参见附录A。

当重要因素不变时,同组材料组成的异种母材接头中一种材料已评定合格或同类不同组的异种母材接头中高组别材料已评定合格时,可不重新评定。

4.2.1.2 除设计文件另有要求外,当管材和相对应的锻件(铸件)焊接时,可选用管材本身的工艺评定。石油化工常用进口材料的锻件及铸件参见附录B。

4.2.1.3 当焊缝两侧母材具有不同冲击试验温度要求时,焊缝金属的冲击试验温度应低于或等于两侧母材中的较高者。

4.2.1.4 本规程未作规定的焊接工艺评定要求,应按JB 4708或GB 50236执行。

表1 常用钢号分类分组

类别号	组别号	A 系列		B 系列	
		钢 号	标准	钢 号	标准
I	I-1	Q235A.F, Q235A, Q235B, Q235C	GB	SM41B (SM400B), STS42, SB42, SS41 (SS 400), SS40, STPG38	JIS
				ST35, ST45, RST37-2	DIN
		10, 20, 20g, 20G, 20R	GB	A516Gr60A, A53B, A106B	ASTM
II	II-1	16Mn 16MnR	GB	SPV36, SPV36N, SPV32, SM50B, SM53C	JIS
				A516GR70	ASTM
	II-2	15MnVR, 15MnNbR, 20MnMo	GB	—	—
III	III-1	13MnNiMoNbR, 18MnMoNbR, 20MnMoNb	GB	—	—
	III-2	07MnCrMoVR	GB	—	—
IV	IV-1	12CrMo, 12CrMoG, 15CrMo, 15CrMoG, 15CrMoR, 14Cr1Mo, 14Cr1MoR, 12Cr1MoV, 12Cr1MoVG	GB	A335P11	ASTM
				13CrMo44	DIN
				SCMV2, STBA22, STPA22, STFA22	JIS
	IV-2	12Cr2Mo, 12Cr2MoG, 12Cr2Mo1, 12Cr2Mo1R	GB	A335P22	ASTM
				10CrMo910	DIN
V	V-1	1Cr5Mo	GB	A335P5, A335T5	ASTM
				STBA25, STPA25, STFA25	JIS
VI	VI-1	09MnD, 09MnNiD, 09MnNiDR	GB	—	—
	VI-2	16MnD, 16MnDR, 15MnNiDR, 20MnMoD	GB	SLA33A, 350LF2	ASTM
	VI-3	07MnNiCrMoVDR, 10Ni3MoVD, 08MnNiCrMoVD	GB	—	—
VII	VII-1	1Cr18Ni9Ti, 0Cr18Ni9, 0Cr18Ni10Ti, 00Cr19Ni10	GB	TP321H, TP304, TP304H, TP321, TP304L	ASTM
				SUS 304L, SUS 304, SUS321	JIS
	VII-2	0Cr17Ni12Mo2, 0Cr18Ni12Mo2Ti, 00Cr17Ni14Mo2, 0Cr19Ni13Mo3, 00Cr19Ni13Mo3	GB	316, 316L	ASTM
				SUS316, SUS316L	JIS
VIII	VIII-1	0Cr13	GB	410, 405	ASTM JIS

4.2.2 母材表面耐磨堆焊的工艺评定

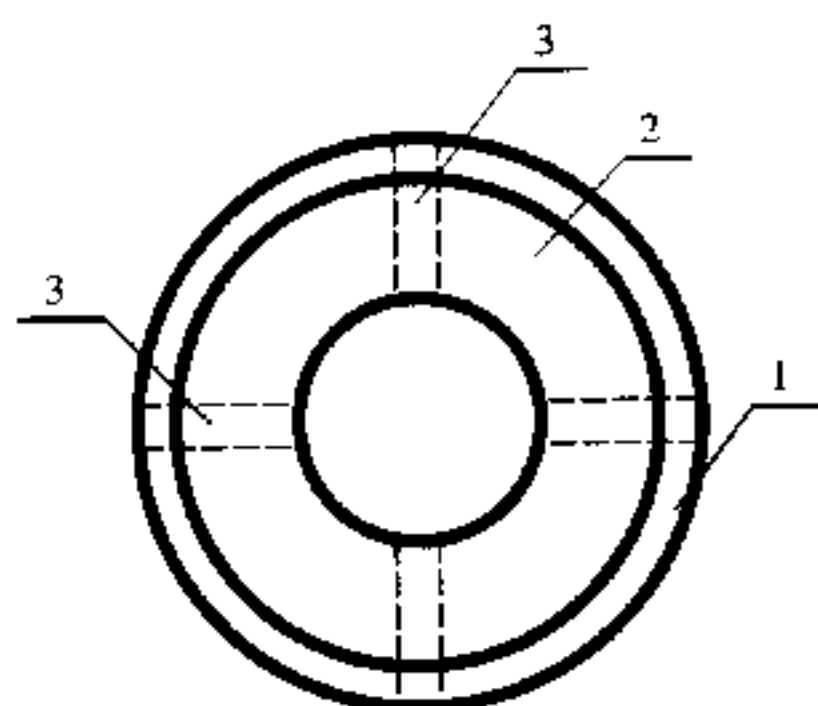
4.2.2.1 采用板状试件应不小于 150 mm×150 mm, 堆焊层焊缝尺寸宽度最小为 38 mm, 长度为 150 mm; 采用管状试件长应为 150 mm, 最小直径应能满足取样数量的要求, 且应绕试件圆周连续堆焊。试件堆焊层的最小厚度不小于设计厚度。

4.2.2.2 堆焊完成后, 试件先进行外观检查, 然后进行渗透检测, 渗透检测前可对焊缝表面进行适当处理。

管状试件取 4 个试样, 取样位置见图 1; 板状试件取 1 个试样, 取样位置见图 2。

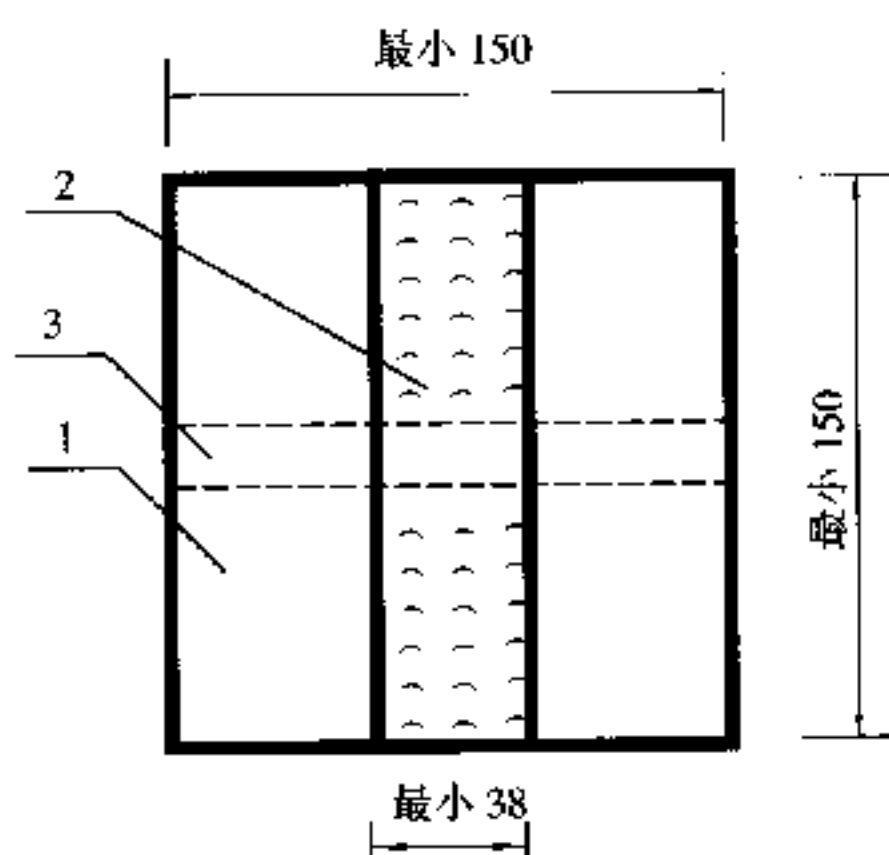
4.2.2.3 对每个试样的两个加工面进行抛光, 且用适当的浸蚀剂进行浸蚀, 然后用五倍的放大镜进行检查应无裂纹和未熔合或其他线性缺陷。每个试样至少取 3 个硬度读数, 当设计文件对硬度值和化学

成分有要求时,按设计文件要求执行。



1—堆焊层; 2—基层母材; 3—试样位置

图1 水平固定管子取样示意



1—基层母材; 2—堆焊层; 3—试样位置

图2 板状试件取样位置示意

4.2.2.4 当工艺评定的基层母材厚度 T 小于 25mm 时,母材评定认可的适用厚度范围为 $T \sim 25\text{mm}$; 当基层母材厚度大于或等于 25mm 时,母材评定认可的适用厚度为大于或等于 25mm。

耐磨堆焊层工艺评定厚度范围根据硬度的检测部位或化学成分分析(有要求时)的取样部位确定,即评定适用的最小厚度为熔合线至硬度或化学成分测试部位的距离。

4.2.2.5 除横焊、立焊或仰焊位置的评定适用于平焊外,下列因数变化时应重新评定:

- a) 改变基层母材的类别号;
- b) 焊条牌号改变或堆焊首层时变更焊条直径;
- c) 改变评定合格的位置;
- d) 变更电流的种类或极性;
- e) 预热温度比评定值降低 50°C 及以上;
- f) 热处理改为不热处理或反之;
- g) 堆焊首层时的线能量或单位长度焊道内熔敷金属的体积增加超过评定值的 10%。

4.2.3 带隔离层焊缝的工艺评定

4.2.3.1 隔离层堆焊所用的填充金属与随后完成此焊缝的填充金属相同,则可以用一个焊接试件进行评定。

4.2.3.2 隔离层堆焊所用的填充金属与随后完成此焊缝的填充金属不相同,则隔离层堆焊工艺评定应先将试件进行隔离层堆焊(如产品焊接要求热处理,则此堆焊件也应经热处理),然后再以随后完成此焊缝的填充金属焊接此堆焊件。

隔离层堆焊和随后的连接焊缝的焊接均需进行焊接工艺评定,可采用同一试件进行评定,也可采用两个试件分别进行评定。

4.2.3.3 进行评定时,当隔离层的最小厚度小于 4.8mm (此厚度应为隔离层堆焊评定的最小厚度),则焊接线能量是随后完成此焊缝的一重要因素。

4.3 焊工

4.3.1 从事压力容器和压力管道异种钢焊接作业的焊工应按《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》考试取得资格。

4.3.2 本规程 4.3.1 条规定以外的异种钢焊接作业的焊工,可按 GB 50236 考试取得资格。

4.3.3 施焊工艺评定的焊工,焊接工艺评定合格后可成为相应项目的合格焊工。

4.4 焊前准备

4.4.1 当设计文件无规定时, 焊件的坡口形式和尺寸可按下列原则确定:

- a) 焊缝填充金属尽量少;
- b) 不易产生焊接缺陷;
- c) 减少焊接残余变形和应力;
- d) 便于操作;
- e) 有利于焊工防护。

4.4.2 焊件坡口加工宜采用机械方法, 也可采用热切割的方法。坡口表面不得有裂纹、分层、夹渣等缺陷。

标准抗拉强度下限值大于或等于 540 MPa 及 Cr-Mo 低合金钢材, 经火焰切割的坡口表面应打磨去除淬硬层, 必要时进行磁粉或渗透检测。

4.4.3 为防止产生焊接裂纹及减少内应力, 除设计文件要求进行预拉伸或预压缩的焊口外, 不得进行强行组对。

4.4.4 异种钢焊接接头的组对应符合下列标准的有关规定:

- a) 压力容器执行 GB 150 的有关规定;
- b) 有毒、可燃介质管道执行 SH3501 的有关规定;
- c) 其他设备和管道执行 GB 50236 的有关规定。

4.4.5 焊条、焊剂在使用前应按产品使用说明书的要求进行烘干, 并符合下列规定:

- a) 焊条摆放应有利于均匀受热;
- b) 焊条烘干时应防止骤冷骤热而导致药皮开裂或脱落;
- c) 烘干的升温速度应有利于药皮潮气排放;
- d) 不同类型的焊条或焊剂应分别烘干。

4.4.6 应设置专职的人员负责焊接材料的烘干和发放, 焊接材料的烘干和发放应进行记录。

5 焊接材料选用

5.1 不同铁素体钢的焊接

5.1.1 不同强度级别的低碳钢、低合金钢、珠光体耐热钢之间的异种钢焊接接头, 可按合金含量较低一侧母材或介于两者母材之间选用焊接材料, 也可按合金含量较高一侧母材选用焊接材料, 但应优先按合金含量较低一侧母材选用焊接材料。

5.1.2 不同铁素体钢焊接时, 焊接材料可参照附录 C 选用。

5.1.3 珠光体耐热钢之间或与其与奥氏体不锈钢之间焊接材料选用除执行本规程外, 尚应执行 SH/T3520 的有关规定。

5.2 不同奥氏体不锈钢的焊接

5.2.1 不同奥氏体不锈钢的焊接接头, 应选用保证熔敷金属的 Cr、Ni、Mo 或 Cu 等的主要合金元素的含量不低于合金含量较低一侧母材标准规定的下限值的焊接材料。

5.2.2 有防止晶间腐蚀要求的焊接接头, 应选用保证熔敷金属中含有稳定化元素 Ti、Nb 或保证熔敷金属含碳量小于或等于 0.04% 的焊接材料。

5.2.3 设计文件对奥氏体焊接材料的熔敷金属内铁素体数有控制时 (如特殊的耐腐蚀场合、低温、防止高温 σ 相脆化以及对磁导率有要求的场合), 在订购焊条时应向焊条供货商提出上述要求。

5.2.4 不同奥氏体不锈钢焊接时, 焊接材料可参照附录 C 选用。

5.3 铁素体钢与奥氏体不锈钢的焊接

5.3.1 铁素体钢与奥氏体不锈钢焊接应按下述规定选用焊接材料：

- a) 当设计温度低于或等于 425℃ 时可选用铬镍含量为 25% Cr-13% Ni 型的焊接材料；
- b) 当设计温度高于 425℃ 时宜选用镍基焊接材料。

5.3.2 铁素体钢与奥氏体不锈钢焊接时，焊接材料可参照附录 C 选用。

6 焊接工艺

6.1 一般规定

6.1.1 焊接前应根据设计文件要求和合格的焊接工艺评定编制施工技术文件，并按施工技术文件的要求进行施焊。

6.1.2 焊接环境出现下列任一情况时，应采取有效防护措施，否则不得施焊：

- a) 气体保护焊风速大于 2 m/s，其他焊接方法风速大于 8 m/s；
- b) 相对湿度大于 90%；
- c) 雨、雪环境；
- d) 焊件温度低于 -20℃。

6.1.3 当焊件温度为 -20℃ ~ 0℃ 时，应在始焊处 100mm 范围内预热到 15℃ 以上。

6.1.4 施焊前应检查坡口形式、组对间隙，清除坡口表面及坡口两侧不小于 20 mm 范围内的油漆、铁锈等污物，奥氏体不锈钢坡口两侧各 100mm 范围内应采取防飞溅措施。

6.1.5 焊件组对时的定位焊及固定卡具焊接应由合格焊工按合格的工艺施焊，定位焊缝的长度、厚度和间距，应能保证焊缝在正式焊接过程中不致开裂。

6.1.6 采用卡具组对时，卡具材质宜与母材材质相同或接近。拆除卡具时，不应伤及母材，对残留痕迹应打磨修平，对淬硬倾向大的焊件，打磨后应进行表面磁粉或渗透检测。

6.1.7 对采用氩弧焊或氩弧焊打底焊缝，定位焊应采用氩弧焊进行。珠光体耐热钢采用氩弧焊时，应符合 SH/T3520 的规定；奥氏体不锈钢氩弧焊时，应充氩保护或采取其他防止焊缝背面金属被氧化的措施。

焊缝充氩保护可采用整体充氩或局部充氩，并考虑预热、热处理等工序对局部充氩装置的影响，以及焊缝返修时对焊缝背面进行保护的可能性。

6.1.8 手工钨极氩弧焊机应具有性能良好的引弧及衰减装置，引弧时应防止产生夹钨及电弧擦伤。

6.1.9 焊接时，不得在焊件表面引弧或试验电流。低温钢、奥氏体不锈钢及淬硬倾向较大的焊件表面不得有电弧擦伤等缺陷，焊接时应注意起弧和收弧的质量，收弧应将弧坑填满。多层焊的层间接头应错开。

6.1.10 每条焊缝宜一次连续焊完，若因故中断，应根据工艺要求采取措施，防止产生裂纹。再次焊接前应进行检查，确认无裂纹方可按原工艺要求继续施焊。

6.1.11 异种钢焊接与检验及焊后热处理除执行本规程外，尚应符合下列标准的规定：

- a) 压力容器执行 GB 150 的规定；
- b) 有毒、可燃介质管道执行 SH3501 的规定；
- c) 其他设备和管道执行 GB 50236 的规定。

6.1.12 安全技术、劳动保护应执行 SH3505 的规定。

6.2 预热

6.2.1 预热温度应按淬硬倾向较大的母材要求确定，且不低于该母材要求预热温度的下限值。

6.2.2 当环境温度低于 0℃ 时，其预热温度取规定预热温度的上限值。

6.2.3 预热宜采用电加热法，且应在焊口两侧均匀进行，并防止局部过热。

6.2.4 预热范围以焊口为中心，两侧各不小于壁厚的3倍，且不小于100mm。

6.2.5 预热温度宜在距焊口中心50mm~100mm范围内，在预热的同侧或预热的另一侧测量。

6.3 焊接

6.3.1 有预热要求的低合金钢和珠光体耐热钢焊接的层间温度不应低于预热温度，且应立即后热缓冷或及时进行焊后热处理。后热温度宜为200℃~350℃，保温时间应不少于0.5h。

6.3.2 不同奥氏体不锈钢焊接时，应采用小电流、快焊速、窄焊道及多层多道焊的工艺，并应控制层间温度，减少高温停留时间。有耐晶间腐蚀要求的双面焊缝，与介质接触的一面焊缝应最后施焊。

6.3.3 铁素体钢与奥氏体不锈钢焊接时，焊件的坡口角度可比同种钢稍大，并采用小直径的焊条或焊丝、小电流、快焊速施焊。

当焊件厚度较大时，宜采用隔离层堆焊法，即先在铁素体钢侧坡口上用高铬镍奥氏体焊条进行隔离层堆焊。

7 焊接检验

7.1 外观检验

7.1.1 焊后应将焊缝表面上的熔渣、飞溅等清理干净，对焊缝进行外观检查，并应符合下列规定：

- a) 焊缝成型良好；
- b) 焊缝表面不得有气孔、夹渣、弧坑及未填满等缺陷；
- c) 焊接接头表面不允许有裂纹。

7.1.2 焊缝系数为1的异种钢焊缝及母材一侧标准抗拉强度下限值大于或等于540MPa的钢材、低温钢材等焊缝与母材应圆滑过渡且不得有咬边。

7.1.3 除本规程7.1.2条规定外，其余钢材的对接焊缝咬边深度不得大于0.5mm，咬边连续长度不得大于100mm，焊缝两侧咬边的总长不得超过该焊缝长度的10%。

7.1.4 焊缝的余高及角焊缝的焊脚尺寸应符合相应的技术标准或设计文件的要求。组对存在错边量时，焊缝表面的余高 h (h')按图3的方法测量；无组对错边量时，按图4的方法测量。对规则焊缝其焊缝余高为 $1/2(h_1+h_2)$ 。

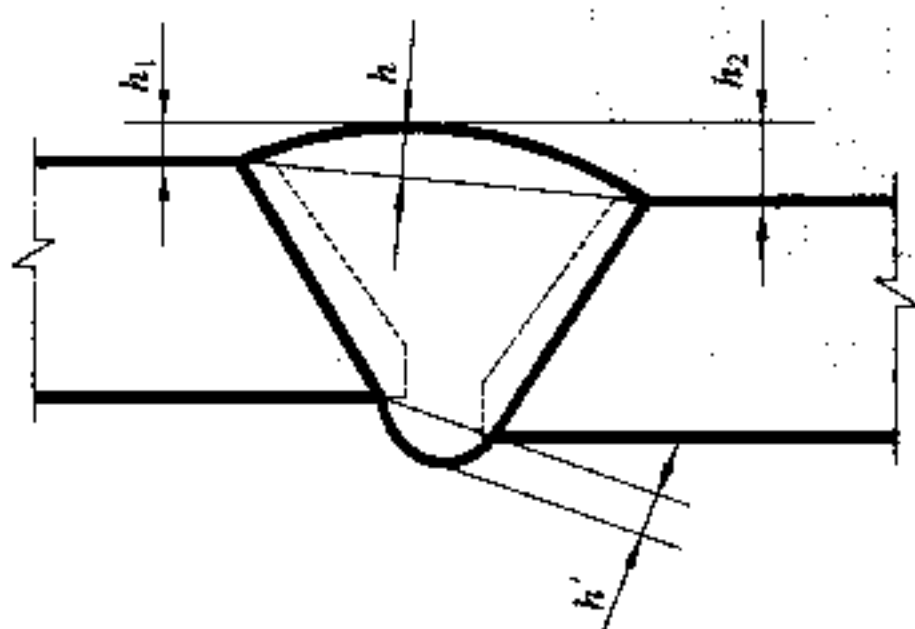


图3 焊缝有组对错边量时的余高测量

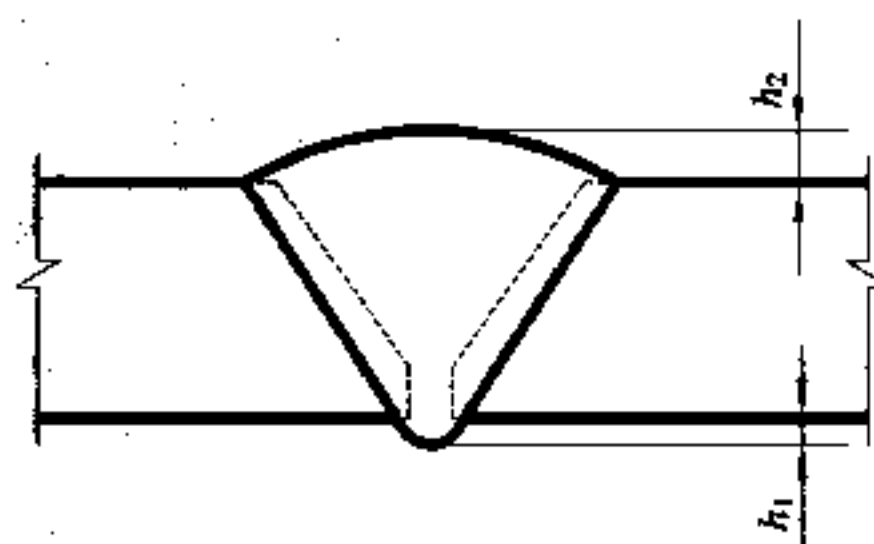


图4 焊缝无组对错边量时的余高测量

7.2 无损检测

7.2.1 异种钢焊接接头无损检测应按设计文件要求进行。

7.2.2 无损检测的比例与合格标准应符合本规范6.1.11条的规定。

7.2.3 按比例进行抽检的焊缝应优先选择异种钢焊缝，且应首先抽检焊缝交叉部位。

8 焊缝返修

- 8.1 焊缝返修前应分析缺陷产生的原因，并确定返修工艺。
- 8.2 焊缝返修应由持合格证且有相应资格的焊工担任，并应有焊接返修记录。
- 8.3 焊缝缺陷清除后，应用砂轮机把刨槽淬硬层清除掉，并修磨成 U 型槽，其长度宜不小于 50mm。
- 8.4 有预热要求的焊接接头，焊缝返修应预热，且预热温度应比焊接时的预热温度高 $30^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 。
- 8.5 双面焊焊接接头，当清除焊缝缺陷已达 $2/3$ 板厚仍未将缺陷完全清除时，应在该状态下修磨刨槽后进行焊接，然后再从另一侧进行返修。
- 8.6 返修部位的焊缝表面应修磨成与原焊缝基本一致，并按原检测要求进行检验。
- 8.7 同一部位的返修次数不宜超过二次，二次以上返修时，返修工艺应经单位项目技术负责人批准。

9 焊后热处理

- 9.1 焊后热处理应按本规程 6.1.11 条规定进行。
- 9.2 焊后热处理应采用自动温度记录仪记录热处理曲线。
- 9.3 异种钢焊接的焊后热处理制度应兼顾两侧母材的应力消除和重要性，将焊后热处理温度调整至较重要一侧材料的热处理温度范围，但温度不应超过两者中任一钢号的下临界点 A_{c1} 。
- 9.4 焊后进行局部热处理时，加热范围应为焊缝中心两侧各不小于焊缝宽度的三倍，且不小于 100mm，加热区以外部分应保温（见图 5）。

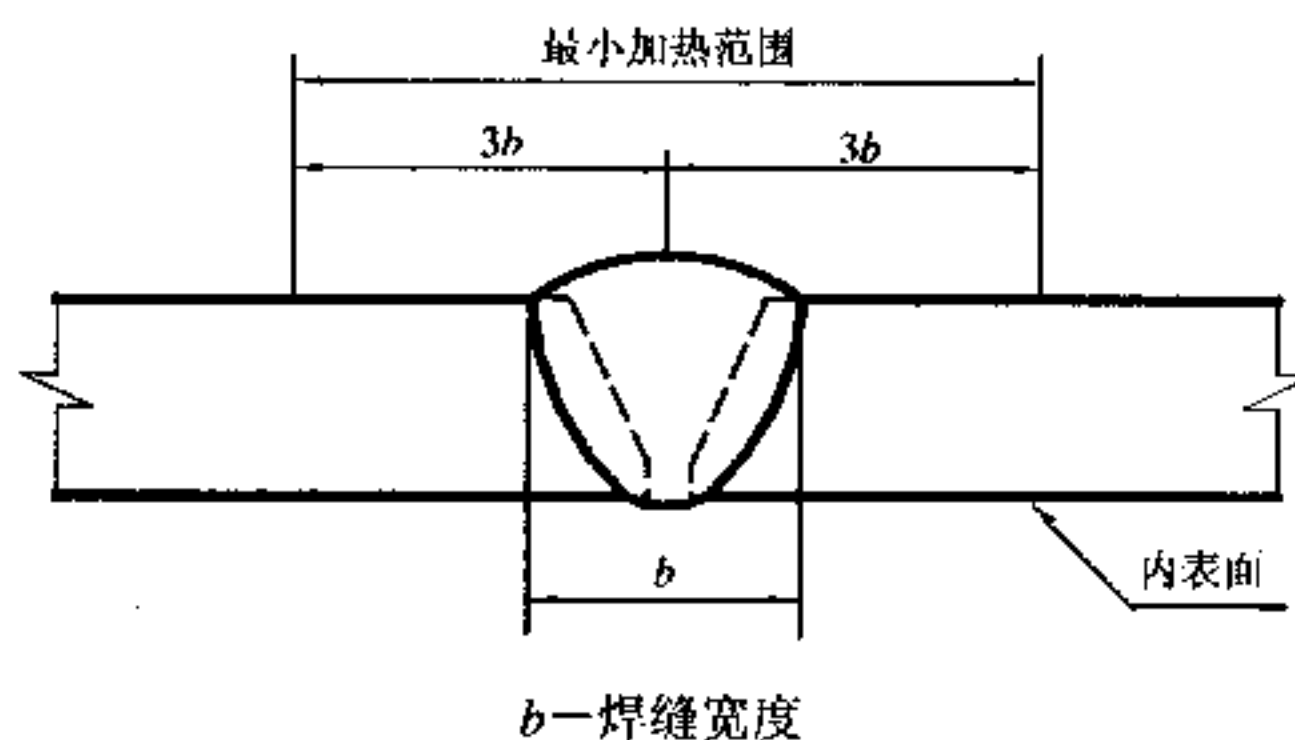


图 5 焊后热处理加热范围示意

- 9.5 不同珠光体耐热钢或与其与低合金高强度钢的焊接接头焊后热处理，应符合 SH/T 3520 的规定。
- 9.6 对于 9Cr-1Mo-V (P91) 的异种钢焊接接头，焊后应根据所焊钢种考虑热处理的时机。
- 9.7 热处理时要考虑焊件受热后的膨胀影响，并采取相应的措施。
- 9.8 升降温速度应考虑焊件类型、厚度、化学成分、加热方法等因素，加热应均匀。
- 9.9 除设计文件有要求外，对于不同奥氏体不锈钢焊接接头以及奥氏体不锈钢与非奥氏体钢的焊接接头，可不进行热处理。

附录 A
(资料性附录)
ASTM 标准部分材料的化学成分及力学性能

表 A.1 给出了 ASTM 标准部分材料的化学成分及力学性能。

表 A.1 ASTM 标准部分材料的化学成分及力学性能

钢 号	钢 种	化 学 成 分 %								力 学 性 能	
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	抗拉强度 σ_b MPa	屈服强度 σ_s MPa
A106	Grade A ^a	≤0.25	≤0.10	0.27~0.93	≤0.035	≤0.035	≤0.40	≤0.40	≤0.15	330	205
	Grade B ^a	≤0.30	≤0.10	0.29~1.06	≤0.035	≤0.035	≤0.40	≤0.40	≤0.15	415	240
	Grade C ^a	≤0.35	≤0.10	0.29~1.06	≤0.035	≤0.035	≤0.40	≤0.40	≤0.15	485	275
A335	Grade P1	0.10~0.20	0.10~0.50	0.30~0.80	≤0.025	≤0.025	—	—	0.44~0.65	380	205
	Grade P11	0.05~0.15	0.5~1.00	0.30~0.60	≤0.025	≤0.025	—	1.00~1.50	0.44~0.65	415	205
	Grade P12	0.05~0.15	≤0.50	0.30~0.61	≤0.025	≤0.025	—	0.80~1.25	0.44~0.65	415	220
	Grade P22	0.05~0.15	≤0.50	0.30~0.60	≤0.025	≤0.025	—	1.90~2.60	0.87~1.13	415	205
	Grade P5	≤0.15	≤0.50	0.30~0.60	≤0.025	≤0.025	—	4.00~6.00	0.44~0.65	415	205
	Grade P9	≤0.15	0.50~1.0	0.30~0.60	≤0.025	≤0.025	—	8.00~ 10.00	0.9~1.10	415	205
	Grade P91 ^b	0.08~0.12	0.20~0.50	0.30~0.60	≤0.020	≤0.010	≤0.40	8.00~10.5	0.85~1.05	585	415

^a Cr、Cu、Mo、Ni、V 等五种元素含量总和不得超过 1%。^b V 为 0.18%~0.25%，N 为 0.030%~0.070%，Al 小于或等于 0.04%，Cb 为 0.06%~0.10%。

表 A.1 ASTM 标准部分材料的化学成分及力学性能 (续)

钢 号	钢 种	化 学 成 分 %								力 学 性 能	
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	抗拉强度 σ_b MPa	屈服强度 σ_s MPa
TP304	18-8 型不锈钢	≤0.08	≤0.75	≤2.00	≤0.040	≤0.030	8.00~11.00	18.0~20.0	—	485	170
TP304H	高温用 18-8 型不锈钢	0.04~0.10	≤0.75	≤2.00	≤0.040	≤0.030	8.00~11.00	18.0~20.0	—	515	205
TP304L	超低碳 18-8 型不锈钢	≤0.035	≤0.75	≤2.00	≤0.040	≤0.030	8.00~13.00	18.0~20.0	—	485	170
TP309S	22-12 型不锈钢	≤0.08	≤0.75	≤2.00	≤0.045	≤0.030	12.0~15.0	22.0~24.0	≤0.75	515	205
TP310S	25-20 型不锈钢	≤0.08	≤0.75	≤2.00	≤0.045	≤0.030	19.0~22.0	24.0~26.0	≤0.75	450	200
TP316	18-8Mo 型不锈钢	≤0.08	≤0.75	≤2.00	≤0.040	≤0.030	11.0~14.0	16.0~18.0	2.00~3.00	515	205
TP316H	高温用 18-8Mo 型不锈钢	0.04~0.10	≤0.75	≤2.00	≤0.040	≤0.030	11.0~14.0	16.0~18.0	2.00~3.00	515	205
TP316L	超低碳 18-8Mo 型不锈钢	≤0.035	≤0.75	2.00	≤0.040	≤0.030	10.0~15.0	16.0~18.0	2.00~3.00	485	170
TP321 ^c	18-8Ti 型不锈钢	≤0.08	≤0.75	≤2.00	≤0.040	≤0.030	9.00~13.00	17.0~20.0	—	515 ^e	205
										485 ^h	170
TP321H ^d	高温用 18-8 Ti 型不锈钢	0.04~0.10	≤0.75	≤2.00	≤0.040	≤0.030	9.00~13.00	17.0~20.0	—	515 ^e	205
										485 ^h	170
TP347 ^e	18-8Nb 型不锈钢	≤0.08	≤0.75	≤2.00	≤0.040	≤0.030	9.00~13.00	17.0~20.0	—	515	205
TP347H ^f	高温用 18-8Nb 型不锈钢	0.04~0.10	≤0.75	≤2.00	≤0.040	≤0.030	9.00~13.00	17.0~20.0	—	515	205

^c Ti 含量应不低于五倍碳含量, 且不低于 0.70%。^d Ti 含量应不低于四倍碳含量, 且不低于 0.60%。^e Nb 加 Ta 的总含量应不低于十倍碳含量, 且不低于 1.00%。^f 加 Ta 的总含量应不低于八倍碳含量, 且不低于 1.00%。^g 无缝管, 壁厚小于或等于 3/8 in 时。^h 无缝管, 壁厚大于 3/8 in 时。

表 A.1 ASTM 标准部分材料的化学成分及力学性能 (续)

钢 号	钢 种	化 学 成 分 %								力 学 性 能	
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	抗拉强度 σ_b MPa	屈服强度 σ_s MPa
A333	Grade1	≤0.30	—	0.40~1.06	≤0.025	≤0.025	—	—	—	380	205
	Grade3	≤0.19	0.18~0.37	0.31~0.46	≤0.025	≤0.025	3.18~3.82	—	—	450	240
	Grade6	≤0.30	≥0.10	0.29~1.06	≤0.025	≤0.025	—	—	—	415	240
	Grade8	≤0.13	0.13~0.32	≤0.90	≤0.025	≤0.025	8.40~9.60	—	—	690	515
A350	LF1	≤0.30	0.15~0.30	0.60~1.35	≤0.035	≤0.040	≤0.40	—	—	415~585	205
	LF3 ⁱ	≤0.20	0.20~0.35	≤0.90	≤0.035	≤0.040	3.3~3.7	≤0.30	≤0.12	485~655	260
	CF3/CF3A	≤0.030	≤2.00	≤1.50	≤0.040	≤0.040	8.0~12.0	17.0~21.0	≤0.5	485/530	205/240
A351	CF8/CF8A	≤0.080	≤2.00	≤1.50	≤0.040	≤0.040	8.0~11.0	17.0~21.0	≤0.5	485/530	205/240
	CF3M/CF3MA	≤0.030	≤1.50	≤1.50	≤0.040	≤0.040	9.0~12.0	18.0~21.0	2.0~3.0	485/550	205/255
	CF8C ^j	≤0.080	≤2.00	≤1.50	≤0.040	≤0.040	9.0~12.0	18.0~21.0	≤0.5	485	205
	CF8M	≤0.080	≤1.50	≤1.50	≤0.040	≤0.040	9.0~12.0	18.0~21.0	2.0~3.0	485	205

ⁱ Cu 小于或等于 0.40%, Nb 小于或等于 0.02%, V 小于或等于 0.03%。^j Nb 含量应不少于 8 倍的碳含量, 且不大于 1.00%。

附录 B

(资料性附录)

常用进口材料的锻件及铸件

表 B.1 给出了常用进口锻件及铸件的公称成分与相当的 ASTM 标准的钢号。

表 B.1 常用进口材料的锻件及铸件

序号	公称成分	锻件型号 或等级	相当的 ASTM 材质	铸件型号 或等级	相当的 ASTM 材质
1	碳钢	—	A105	—	A216GrWCB
2	铝镇静钢	LF1	A350GrLF1	LCB	A352GrLCB
3	31/2Ni	LF3	A350GrLF3	LC3	A352GrLC3
4	1/2Mo	F1	A182GrF1	WC1	A217GrWC1
5	1Cr-1/2Mo	F12	A182GrF12	—	—
5	11/4Cr-1/2Mo	F11	A182GrF11	WC6	A217GrWC6
6	21/4Cr-1/2Mo	F22	A182GrF22	WC9	A217GrWC9
7	5 Cr-1/2Mo	F5a	A182GrF5a	C5	A217GrC5
8	9 Cr-1Mo	F9	A182GrF9	C12	A217GrC12
9	9 Cr-1Mo-V	F91	A182GrF91	—	—
10	18Cr-8Ni	F304	A182GrF304	CF8	A351CF8
11	18Cr-8Ni	F304L	A182GrF304L	CF3	A351CF3
12	16Cr-12Ni-2Mo	F316L	A182GrF316L	CF3M	A351CF3M
13	16Cr-12Ni-2Mo	F316	A182GrF316	CF8M	A351CF8M
14	18Cr-10Ni-Ti	F321	A182GrF321	—	—
15	18Cr-10Ni-Nb	F347	A182GrF347	CF8C	A351CF8C

附录 C
(资料性附录)
异种钢焊接材料选用

表 C.1 给出了不同铁素体钢焊接时推荐选用的焊接材料，表 C.2 给出了不同奥氏体不锈钢焊接时推荐选用的焊接材料，表 C.3 给出了铁素体钢与奥氏体不锈钢焊接时推荐选用的焊接材料。

表 C.1 不同铁素体钢焊接选用的焊接材料

接头类别或 组别号	手工焊		埋弧焊			气 体 保 护 焊	备 注
	焊 条		焊 丝 型 号		焊 剂		
	型 号	对 应 牌 号	型 号	对 应 牌 号		焊 丝 牌 号	
I + I	E4303	J422	H08A	HJ401-H08A	HJ431	H08Mn2SiA	—
	E4315	J427					
I + (II -1)	E4303	J422	H08A	HJ401-H08A	HJ431	H10MnSi/ H08Mn2SiA	—
	E4315	J427	H08MnA				
I + (II -2)	E4315	J427	H08MnA	HJ401-H08A	HJ431	H10MnSi/ H08Mn2SiA	—
	E5015	J507					
I + (III -1) I + (III -2)	E4315	J427	H08A	HJ401-H08A	HJ431	H10MnSi/ H08Mn2SiA	—
	E5015	J507	H08MnA				
I + IV	E4315	J427	H08A	HJ401-H08A	HJ431	H10MnSi/ H08Mn2SiA	—
	E1-23-13-15	A307	H1Cr24Ni13	HJ401-H08MnA			
I + V	E4315	J427	H08A	HJ401-H08A	HJ431	H10MnSi/ H08Mn2SiA	—
	E1-23-13-15	A307	H1Cr24Ni13	HJ401-H08MnA			
I + VI	E4315	J427	H08A	HJ401-H08A	HJ431	H10MnSi/ H08Mn2SiA	—

表 C.1 不同铁素体钢焊接选用的焊接材料 (续)

接头类别或 组别号	手工焊		埋弧焊			气 体 保 护 焊		备 注
	焊 条		焊 丝 型 号			焊 丝 牌 号		
	型 号	对 应 牌 号	型 号	对 应 牌 号	焊 剂			
II + II	E5015	J507	H08MnA	HJ401-H08A	HJ431	H10MnSi/ H08Mn2SiA	—	
	E5515-G	J557	H10MnSi	HJ402-H10Mn2	HJ350			
II + (III-1) II + (III-2)	E5015	J507	H08MnA H10Mn2	HJ401-H08A HJ401-H10Mn2	HJ431 HJ350	H10MnSi/ H08Mn2SiA	—	
	E5015	J507	H10Mn2	HJ401-H08A	HJ431			
(II -2) + (III-1) (II -2) + (III-2)	E5515-G	J557	H10MnSi	HJ402-H10Mn2	HJ350	H10MnSi/ H08Mn2SiA	—	
	E5003	J502	—	—	—			
	E5015	J507	—	—	—			
	E1-23-13-16	A302	—	—	—			
	E1-23-13-15	A307	—	—	—			
II + IV	E5003	J502	—	—	—	—	—	
	E5015	J507	—	—	—			
	E309-16	A302	—	—	—			
	E309-15	A307	—	—	—			
	E5015	J507	—	—	—			
III+IV	E309-16	A302	—	—	—	—	不热处理时采用	
	E309-15	A307	—	—	—			
	E5015	J507	—	—	—			
	E5515	J557	—	—	—			
	E310-15	A407	—	—	—			
II + V	E5015	J507	—	—	—	—	—	
	E5515	J557	—	—	—			
	E310-15	A407	—	—	—			
	E5015	J507	—	—	—			
	E5515-G	J557	—	—	—			
III+V	E310-15	A407	—	—	—	H1Cr24Ni13	不热处理时采用	

表 C.1 不同铁素体钢焊接选用的焊接材料 (续)

接头类别或 组别号	手工焊		埋弧焊			气 体 保 护 焊	备 注
	焊 条		焊 丝 型 号				
	型 号	对 应 牌 号	型 号	对 应 牌 号	焊 剂	焊 丝 牌 号	
(IV-1) + (IV-2)	E5515-B1	R207	—	—	—	—	—
	E5515-B2	R307					
	E309-15	A307	—	—	—	H1Cr24Ni13	不热处理时采用
IV+V	E5515-B1	R207				H13CrMo	—
	E5515-B2	R307					
	E5515-B2-V	R317	—	—	—	—	—
	E6015-B3	R407					
	E310-15	A407	—	—	—	H1Cr26Ni21	不热处理时采用
(I-IV) +VIII	E309-16	A302					
	E309-15	A307	—	—	—	H1Cr24Ni13	不热处理时采用

表 C.2 不同奥氏体不锈钢焊接的焊接材料选用

项 目	钢 材 牌 号					
	00Cr19Ni11 (304L)	0Cr23Ni13 (309S)	0Cr25Ni20 (310S)	0Cr17Ni12Mo2 (316)	00Cr17Ni14Mo2 (316L)	0Cr18Ni11Ti (321)
钢 材 牌 号	焊 条 牌 号					
0Cr19Ni9 (304)	E308L-16 (A002)	E308-16 (A102) E309-16 (A302)	E308-16 (A102) E309-16 (A302) E310-16 (A402)	E308-16 (A102) E316-16 (A202)	E308-16 (A102) E316-16 (A202)	E308-16 (A102)
		E308-16 (A102) E309-16 (A302)		E308L-16 (A002) E316L-16 (A022)	E308-16 (A202) E317-16 (A242)	E308L-16 (A002) E347-16 (A132)
0Cr23Ni13 (309S)	—	—	E309-16 (A302) E310-16 (A402)	E309-16 (A302) E316-16 (A202)	E308-16 (A102) E316-16 (A202)	E309-16 (A302) E347-16 (A132)
0Cr25Ni20 (310S)	—	—	—	E316-16 (A202)	E316-16 (A202)	E308-16 (A102) E310-16 (A402)
0Cr17Ni12Mo2 (316)	—	—	—	—	—	E308-16 (A102) E316-16 (A202)
						E308-16 (A102) E316-16 (A202)
00Cr17Ni14Mo2 (316L)	—	—	—	—	—	E316L-16 (A022)
0Cr19Ni13Mo3 (317)	—	—	—	—	—	E317-16 (A242) E308-16 (A102)
						E317-16 (A242) E308-16 (A102)

注 1: 钢材牌号栏括号内的数字与符号为 ASTM 标准钢材类别。

注 2: 焊材牌号栏括号内的数字与符号为 GB 标准焊材牌号。

表 C.2 不同奥氏体不锈钢焊接的焊接材料选用 (续)

项 目	钢 材 牌 号						
	00Cr19Ni11 (304L)	0Cr23Ni13 (309S)	0Cr25Ni20 (310S)	0Cr17Ni12Mo2 (316)	00Cr17Ni14Mo2 (316L)	0Cr19Ni13Mo3 (317)	0Cr18Ni11Ti (321)
钢 材 牌 号	焊 丝 牌 号						
0Cr19Ni9 (304)	H00Cr21Ni10	H0Cr21Ni10 H1Cr24Ni13	H0Cr21Ni10 H1Cr24Ni13 H0Cr26Ni21	H0Cr21Ni10 H0Cr19Ni12Mo2	H0Cr21Ni10 H0Cr19Ni12Mo2	H0Cr21Ni10 H0Cr19Ni12Mo2 H0Cr20Ni14Mo3	H0Cr21Ni10
00Cr19Ni11 (304L)	—	H0Cr21Ni10 H1Cr24Ni13	H0Cr21Ni10 H0Cr24Ni13 H0Cr26Ni21	H0Cr21Ni10 H0Cr19Ni12Mo2	H00Cr21Ni10 H00Cr19Ni12Mo2	H0Cr21Ni10 H0Cr19Ni12Mo2 H0Cr20Ni14Mo3	H00Cr21Ni10 H0Cr20Ni10Ti H0Cr20Ni10Nb
0Cr23Ni13 (309S)	—	—	H1Cr21Ni13 H0Cr26Ni21	H1Cr24Ni13 H0Cr19Ni12Mo2	H1Cr24Ni13 H00Cr19Ni12Mo2	H1Cr24Ni13 H0Cr1 9Ni12Mo2	H1Cr24Ni13 H0Cr20Ni10Ti H0Cr20Ni10Nb
0Cr25Ni20 (310S)	—	—	—	H0Cr19Ni12Mo2	H0Cr19Ni12Mo2	H0Cr20Ni14Mo3	H0Cr21Ni10 H0Cr26Ni21
0Cr17Ni12Mo2 (316)	—	—	—	—	H0Cr19Ni12Mo2	H0Cr19Ni12Mo2 H0Cr20Ni14Mo3	H0Cr21Ni10 H0Cr19Ni12Mo2
00Cr17Ni14Mo2 (316L)	—	—	—	—	—	H0Cr20Ni14Mo3	H00Cr19Ni12Mo2
0Cr19Ni13Mo3 (317)	—	—	—	—	—	—	H0Cr20Ni14Mo3 H0Cr21Ni10

注 1：钢材牌号栏目括号内的数字与符号为 ASTM 标准钢材类别。

注 2：焊材牌号栏目内的数字与符号为 GB 标准焊材牌号。

注 1: 钢材牌号栏目括号内的数字与符号为 ASTM 标准钢材类别。

注 2: 焊材牌号栏目内的数字与符号为 GB 标准焊材牌号。

表 C.3 铁素体钢与奥氏体不锈钢焊接材料选用的焊接材料

接头类别或 组别号	手工焊		焊丝型号	埋弧焊		氩弧焊
	焊条			焊剂		
	型 号	对应牌号		型 号	对应牌号	焊丝牌号
I + (VI-1)	E309-16	A302	H1Cr24Ni13	—	HJ260	H1Cr24Ni13
	E309-15	A307	—	—	—	—
	E309Mo-16	A312	—	—	—	—
II + (VII-1)	E309-16	A302	H1Cr24Ni13	—	HJ260	H1Cr24Ni13
	E309Mo-16	A312	—	—	—	—
	E310-16	A402	—	—	—	—
III+ (VII-1)	E310-15	A407	—	—	—	—
	E309-16	A302	—	—	—	—
	E310-16	A402	—	—	—	—
IV+ (VII-1)	E310-15	A407	—	—	—	—
	E309-16	A302	—	—	—	—
	E310-16	A402	—	—	—	—
V + (VII-1)	E309-16	A302	—	—	—	—
	E310-15	A407	—	—	—	—
	E310-16	A402	—	—	—	—
VI+ (VII-1)	E309-16	A302	—	—	—	—
	E309-15	A307	—	—	—	—

用 词 说 明

对本规程条文中要求执行严格程度用的助动词，说明如下：

（一）表示要求很严格、非这样做不可并具有法定责任时，用的助动词为“必须”（must）；

（二）表示要准确地符合标准而应严格遵守时，用的助动词为：

正面词采用“应”（shall）；

反面词采用“不应”或“不得”（shall not）。

（三）表示在几种可能性中推荐特别合适的一种，不提及也不排除其他可能性，或表示是首选的但未必是所要求的，或表示不赞成但也不禁止某种可能性时，用的助动词为：

正面词采用“宜”（should）；

反面词采用“不宜”（should not）。

（四）表示在标准的界限内所允许的行动步骤时，用的助动词为：

正面词采用“可”（may）；

反面词采用“不必”（need not）。

中华人民共和国石油化工业标准

石油化工异种钢焊接规程

SH/T 3526—2004

条 文 说 明

2005 北 京

1 范围

1.2 异种钢焊接接头包括：

- a) 不同铁素体钢的焊接；
- b) 不同奥氏体钢的焊接；
- c) 铁素体钢与奥氏体钢的焊接；
- d) 为达到表层耐磨、耐腐蚀目的等的堆焊焊接；
- e) 同种钢材选择异质填充金属的焊接。

关于异种钢的焊接，本规程考虑到和相关标准（如 GB 50236 等）一致，并参考美国的《焊接手册》及石油化工工程中比较常见的焊接情况，确定了上述的范围为异种钢的焊接，上述范围比国内有关的规范的范围有所扩大，主要是增加了耐磨和同种钢材选择异质填充金属的焊接，因为此种情况的焊接和异种钢的焊接原理是相同的。

4 总则

4.2 焊接工艺评定

关于焊接工艺评定，近年来，石油化工施工企业作了大量的工艺评定，对工程的质量起到了保证的作用，不只验证了焊接工艺的正确性，同时也促进施工管理的提高。本规程的编制原则是在不违背 GB 或 JB 标准的前提下，根据石油化工各施工企业对国外材料的使用、分类情况进行了归类（见表 1 的 B 系列），以尽可能地减少评定的数量，列入表 1 的 B 系列中的材料是按 JB 4708 确定的原则进行了焊接工艺评定，且都经过了实践检验，并向当地的质量技术监督部门进行了备案。可能部分材料在新建装置已不采用，但考虑到在石化装置的改扩建中可能还会遇到，故也进行了归类。

4.2.1 通则

4.2.1.2 国外的管材（板材）和其配对的法兰（锻件）、阀门（锻件或铸件）的材料表示方法不同，施工现场也没有做工艺评定的材料，根据近年来各石化施工企业的实际施工情况做出本条的规定，同时，查阅了有关的国外标准，给出了附录 B《常用进口材料的锻件及铸件》以供施工时对照使用。

4.2.2 母材表面耐磨堆焊的工艺评定

4.2.2.1~4.2.2.5 关于对耐磨层的工艺评定，国内的有关标准规范（JB 4708、GB 50236 等）未有此方面的规定，考虑到石油化工行业施工的实际，参照 ASME 的有关规定做出了本条的规定，本规定适用于采用焊条电弧焊焊接耐磨层，采用其他的焊接方法可参照执行或由设计文件作出规定。

4.2.3 带隔离层焊缝的工艺评定

4.2.3.1~4.2.3.3 因 JB 4708 等标准中没有关于带堆焊隔离层部分的工艺评定要求，本条是参照 ASME IX 卷的有关规定进行编制的，主要适用于当隔离层堆焊方法所用重要因素不同于随后完成此焊接接头的焊接方法所用的重要因素时的情况，常见的有：

- 隔离层堆焊件需经热处理而随后焊接的焊缝焊后不经热处理；
- 隔离层堆焊用的填充金属与随后用于完成此焊缝的填充金属不同（ASME 中焊材有不同的 F-No 号）。

表 1 是国外某工程公司所做的带堆焊隔离层的 PQR，供参考。

表1 带隔离层的PQR

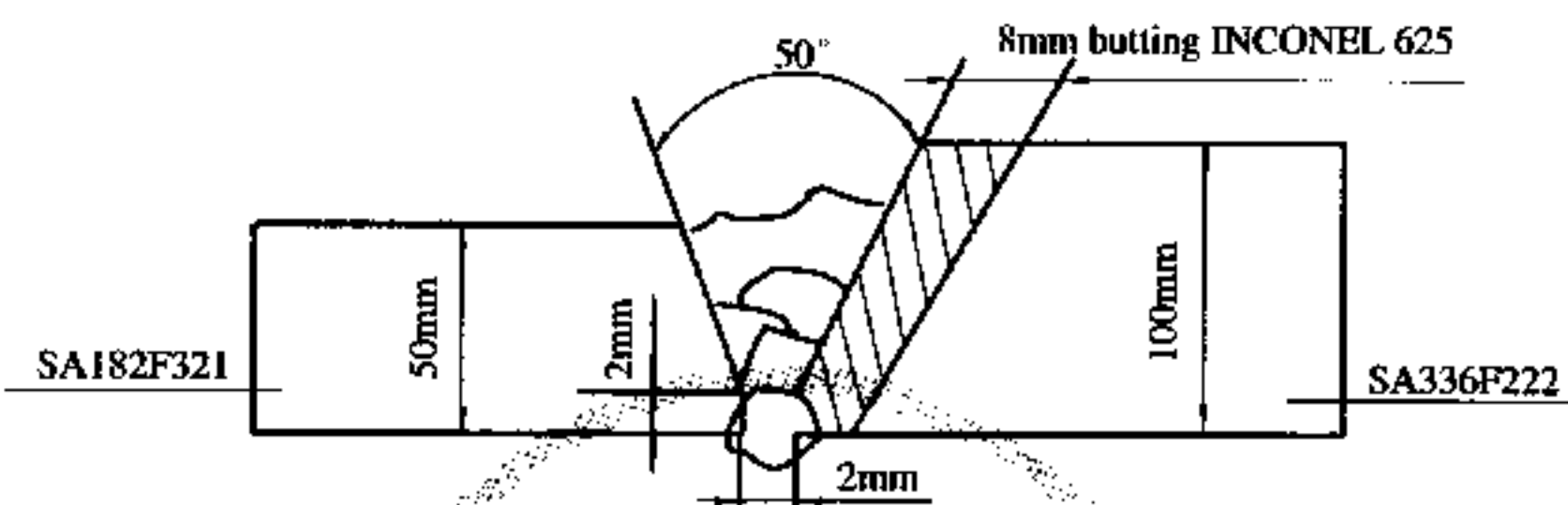
JOINTS (QW-402)	
	
BASE METAL (QW-403) Material spec see sketch Type or grade see sketch p-No 8 to p-No 5 Thickness 50-100mm Diameter / Other /	POSTWELD HEATTREATMENT (QW-407) Temperature 690°C Time 4hour Other P. W. H. T. REQUIRED ONLY FOR BUTTERING ON P. NO5
FILLER METAL (QW-404) Weld metal A-No N.C. Size of Electrode $\Phi 2.4 \Phi 3.2 \Phi 4.0$ Filler Metal F-No 43 AWS Classification ERNiCrMo3 ENiCrMo3 Other SOUDOTIG625 SOUDONEL625 (SOUDOMETAL)	GAS (QW 408) Type of gas or gases ARGON UPP Composition of gas mixture ARGON 99.99% Other FLOW RATE 8-10L/MIN ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409) current DIRECT polarity STRAIGHT amps volts 70-130 24-26 BUTTERING SMAW 80-110 10-12 BUTT WELD 70-130 24-26 BUTT WELD SMAW
POSITION (QW-405) Position of Groove 1G FLAT FOR BUTTERING 2G FOR BUTT WELD Other /	TECHNIQUE (QW-410) Travel speed 10cm/min String or weave bead STRING
PREHEAT (QW-406) Preheat temp 200°C FOR BUTTERING 50°C OTHER Interpass temp 300°C FOR 1 ST PASS 150°C OTHER Other PREHEAT ONLY FOR BUTTERING FOR BUTT WELD PREHEAT OF 20°C AND MAX INTERPASS 170°C	Oscillation / Multipass or single pass (per side) MULTIPASS Single or Electrode single Other /

表1 带隔离层的PQR(续)

PROCEDURE QUALIFICATION RECORD PQR NO 17/90 Date 05.oct 1990						WPS No 17/90A+17/90B
Welding process:SMAW(BUTTERINGT)/GTAW+SMAW(BUTT WELD) TYPE:MANUAL						
TENSILE TEST (QW 150)						
specimen No	Width mm	Thk mm	Area mm ²	Ultimate total Load lb	Ultimate units tress N/ mm ²	Character of failure and location
1	25.1	25.0	627.5	/	590	DUCTILE BROKEN OUT OF WELD: E=29% E=29%
2	25.1	25.1	630.0	/	578	
3	25.1	25.1	630.0	/	550	
4	25.1	25.1	630.0	/	560	
ALL METAL	Φ10	/	78.5	/	632	
ALL METAL	Φ10	/	78.5	/	648	
GUIDED BEND TESTS (QW-160)						
Type and figure No QW462.2(a)			Result			
SIDE BEND			SATISFACTORY			
SIDE BEND			SATISFACTORY			
SIDE BEND			SATISFACTORY			
SIDE BEND			SATISFACTORY			
TOUGHNESS TESTS (QW-170)						
Specime n No	Notch location	Notch type	Test temp			
1 Top	WELD METAL	CHARPY"V"	-29℃			
2 Top	H. A. Z	CHARPY"V"	-29℃			
1Bottom	WELD METAL	CHARPY"V"	-29℃			
2 Bottom	IL A. Z	CHARPY"V"	-29℃			
PNo8	BASE METAL	CHARPY"V"	-29℃			
PNo5	BASE METAL	CHARPY"V"	-29℃			
FILLET WELD TEST(QW-180)						
Result Satisfactory:/ Penetration into parent Metal /						
Type and character of Failure: / Macro-results: /						
OTHER TEST						
Type of tests MACRO=GOOD DYE PENETRANT=GOOD RX=GOOD U.T.ON BUTTERING AFTER						
PWHT=GOOD Deposit analysis /						
OTHER HARDNESS TEST HV10: WELD METAL: 196-231 H. A. Z(TO P. N05):189-213						
H. A. Z(TO P. N08):201-238						

4.3 焊工

4.3.5 参加工艺评定施焊的焊工可以成为具有相应资格的持证焊工,使用本规定时应注意焊工考试管理部门应将工艺评定等的有关资料按焊工考试的程序要求报送锅炉压力容器安全监察机构批准。

5 焊接材料选用

5.2 不同奥氏体钢的焊接

5.2.3 对不锈钢人们通常只注意到焊接材料及焊缝金属的化学成分和力学性能,而对一些特殊性能如铁素体含量、低温冲击性能、耐腐蚀性能以及使用性能等往往比较忽视。

熔敷金属中的铁素体对降低焊缝金属中的裂纹和微裂纹倾向是有好处的，但不是必不可少的。当焊缝处于高拘束状态下时，铁素体是有帮助的。但在某些介质中，铁素体可对耐腐蚀性起有害作用，铁素体对低温工况下的韧性也是有害的，并对在高温下工作也是有害的，因为他会转变为脆性的相。

熔敷金属中的铁素体可以用各种磁性仪测量，但分散度较大。美国 AWS WRC 分委员会采纳了“铁素体数”(FN)这个术语来取代百分数铁素体，以清楚地表示测定仪器按照 WRC 的方法进行了标定。铁素体数在 10FN 以下可以认为与以往采用的“百分数铁素体”术语相同。

除 E310、E320 等含镍量较高的焊条为纯奥氏体焊条外，其余 E300 系列的焊条均为低铁素体焊条，其铁素体一般控制在 4FN~10FN 之间，而 E2553 和 E2209 等双相钢焊条，其铁素体数通常要超过 20FN。

焊接方法和焊接条件及焊接工艺对焊缝熔敷金属的化学成分和铁素体含量有很大的影响：

- 钨极气体保护焊 (GTAW) 焊接时，焊丝与熔敷金属化学成分的差距最小，由此，根据焊丝化学成分计算的铁素体含量与熔敷金属上测得的铁素体含量之间差异最小；
- 熔化极气体保护焊 (GMAW) 焊接时，碳的损失较低，然而，渗氮要严重的多，约为 0.04%，氮的增加一般取决于焊接工艺，有时可高达 0.15% 或更高，这时可导致 ER308 和 ER309 一类填充金属的焊缝中很少或无铁素体；
- 埋弧焊 (SAW) 焊缝中元素的增减取决于采用的焊剂。某些焊剂有意地增加合金元素如 Nb 和 Mo；另外一些可能会烧损容易氧化的元素（如铬），有些焊剂是不太活泼的，他们含有少量合金元素来弥补其烧损，这样可形成与焊丝十分相近的焊缝熔敷金属。

总之，气体保护焊用光焊丝，如果要求熔敷金属有一定的 FN 范围，则必须通过选择焊丝的化学成分来获得。在 ASME300 系列的填充金属中，ER308、ER308L 和 ER347 焊丝的潜在铁素体含量近似于 10FN，对于 ER309 焊丝近似于 12FN，对于 ER316 和 ER316L 焊丝则近似于 5FN。围绕这些中间点，铁素体含量可能是 7FN，即填充金属中其化学成分所致的潜在铁素体含量，除了埋弧焊中的某些情况外，由于采用的焊接方法和焊接工艺所引起的化学成分的变化，熔敷金属的铁素体含量会下降。

5.3 铁素体钢与奥氏体不锈钢的焊接

5.3.1 本条规定 425℃ 为界限是保持行业标准的一致性。如设计文件有要求，应按其要求执行。

现将 SECCO 对铁素体钢与奥氏体不锈钢焊接的规定摘录如下：

“For joining austenitic stainless steel or nickel-base alloys to ferritic steels, use filler material selected from the following:”

奥氏体不锈钢或镍基合金与铁素体钢相焊时，填充金属可选用表 2 所列型号：

表 2 奥氏体不锈钢或镍基合金与铁素体钢焊接填充金属选用

DESIGN TEMPERATURE 设计温度	FILLER METAL 填充金属
小于或等于 600 °F (小于或等于 315 °C)	Type 309L
大于 600 °F (大于 315 °C) 小于或等于 1000 °F (小于或等于 537 °C)	Inconel 82 (SFA 5.14 ERNiCr-3) or Inconel 182 (SFA 5.11 ENiCrFe-3)
大于 1000 °F (大于 537 °C)	Inconel 82 (SFA 5.14 ERNiCr-3) or Inco-Weld “A” (SFA 5.11 ENiCrFe-2)

6 焊接工艺

6.1 一般要求

6.1.1 焊接前应根据设计文件和合格的焊接工艺评定编制施工技术文件，并按施工技术文件的要求进

行施焊。此条含两层要求：

- 在于重点强调指导施工生产必须编制技术文件，而技术文件中的焊接工艺规程（WPS）必须有支持他的焊接工艺评定（PQR），从而杜绝一边进行焊接工作，一边进行焊接工艺评定试验工作；
- 要求现场施工必须按技术文件的要求进行，不得违反工艺纪律。

6.1.2 焊接环境直接影响到焊接接头的性能，特别是露天作业时，所以在焊接前及焊接过程中必须注意焊接环境条件，并根据环境条件采取适当的措施。

6.1.4 施焊前应检查坡口形式、加工精度、组对间隙，清除坡口表面及坡口两侧不小于 20mm 范围内的油漆、铁锈等污物，不锈钢坡口两侧各 100mm 范围内应采取防飞溅措施。

焊接前对焊件坡口内侧及其边缘的清理工作，是制造过程中最关键的工序之一，直接影响焊缝成形和内在质量。

6.1.6 定位焊焊缝的长度、厚度和间距，本规程中没有作具体数值规定，只要能保证施工即可。各施工企业可根据自己的施工经验，作出自己的选择。但是强调两点，若焊接前需要预热的焊件，其定位焊时也应按要求进行预热；若焊接时需充氩保护的焊缝，其定位焊时也应进行充氩保护。

6.1.7 充氩，正文表 1 中 VII 系列钢、1Cr5Mo 及附录 A 中 A335 系列钢、A312 系列钢等在首层焊接采用氩弧焊时，背侧必须充氩保护。正文表 1 中 IV 系列钢在首层焊接采用氩弧焊时，也提倡背侧充氩保护。

6.1.8 氩弧焊机性能如何，直接影响焊缝质量。因此，要求焊机具有良好的引弧及衰减装置，以确保电弧稳定燃烧。引弧时，要防止夹钨及电弧擦伤焊件。

6.2 预热

6.2.1~6.2.5 规定了预热温度确定的原则、预热方法、预热范围及预热温度测量。预热的目的在于减小焊件与焊缝的温度梯度，降低焊接接头的冷却速度，减少温度差所造成的应力和淬硬组织，预热是防止冷裂纹的有效措施之一。

要求预热的工件，其层间温度不能低于预热温度，层间温度的最大值不能高于焊接工艺评定记录的最大层间温度。

6.3 焊接

6.3.1 因为裂纹敏感性较大的低合金钢和珠光体耐热钢主要问题是产生冷裂纹，所以焊前除了要预热外，首层焊缝焊接时线能量不能超过焊接工艺评定时的最大值。

6.3.2 由于奥氏体不锈钢导热系数小而线膨胀系数大，自由状态下焊接时易产生较大的焊接变形。因此，焊接时应采用小电流、快焊速、窄焊道、多层多道焊的工艺，并控制层间温度。

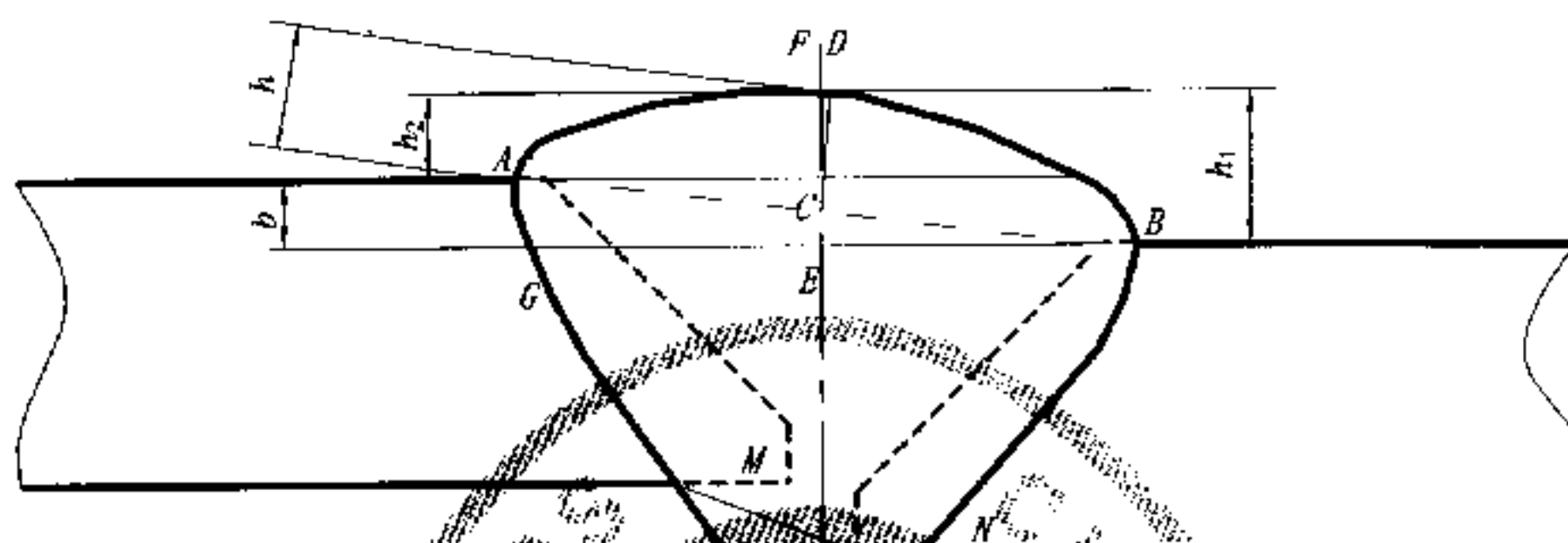
6.3.3 因异种钢焊接主要问题是焊缝稀释问题，所以要采取可减少熔合比的方法。

7 焊接检验

7.1 外观检验

7.1.4 各种标准或技术条件对焊缝的余高的要求都是限制其最大值，因此，测量余高也应测量余高的最大值，对于有错边的对接接头正面焊缝的余高（见图 1）为焊趾连线 AB 上面那部分金属的高度，既不是 h_1 ，也不是 h_2 。在一般情况下，焊缝的最高点位于焊缝中心。在本图中存在错边时的对接接头焊缝中，D 为焊缝的中心，C 为焊趾连线 AB 的中心，CD 垂直于 AB，CD 即为最大余高值，也就是真实的余高值，但是，真实余高值 CD 用焊缝检测尺难以测量，过 C 点作 BG 的垂直线 EF，F 点为焊缝的最高点，他非常接近于焊缝的中心 D 点，CD 近似等于 CF，可以认为 CF 为焊缝的最大余高值。我们

在对实际的焊接接头进行剖面分析时, CD 非常接近于 CF, 其误差不超过 3%, 这对焊接外观检查足够精确。



h (h') — 焊缝余高; b — 错边量; h_1 、 h_2 — 检验尺从焊缝两侧测得的余

图 1 焊缝余高测量示意

从图 1 中可以看出:

$$\begin{aligned} h &= CF - EF - CE = EF - 1/2 AG \approx h_1 - 1/2 b \\ \text{或 } h &= CF - b - 1/2 b = h_2 + b - 1/2 b \approx h_2 + 1/2 b \\ \text{或 } h &= 1/2 (h_1 + h_2) \end{aligned}$$

由此可见, 当焊接接头存在错边时, 焊缝余高为测得 h_1 、 h_2 两个值的平均值。只有这样, 余高的测量值才会考虑错边量的影响, 测量的结果才会比较合理。对于盖面为多道焊时, 焊缝最高点偏离焊缝中心较大, 焊缝余高最大值不在焊缝中心处, 上述公式不适用。

9 焊后热处理

9.3 关于钢材的临界点数据有关资料提供的数据稍有出入, 表 3、表 4 为有关热处理手册的数据仅供参考, 其中国外材料的数据取自 ASME 规范。

表 3 国内常用材料的临界点数据

单位: $^{\circ}\text{C}$

序号	材 料	A_{c1}	A_{c3}	A_{r3}	A_{r1}
1	Q235-A	724	856	812	640
2	Q235-B	723	855	795	706
3	10	724	876	835	682
4	20	735	854	835	682
5	16Mn	725	854	769	627
6	16MnR	725	842	755	589
7	12CrMo	720	880	790	695
8	12Cr1MoV	820	945	—	—

表3 国内常用材料的临界点数据 (续)

单位: °C

序号	材 料	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₁
9	15CrMo	745	845	786	623
10	12Cr2Mo	804	870	820	720
11	1Cr5Mo	815	850	716	810

表4 国外常用材料的临界点数据

单位: °C

序号	材 料	下临界温度近似值
1	C 钢 (P-No.1)	725
2	C-Mo 钢 (P-No.3)	730
3	1Cr-1/2Mo 钢 (P-No.4, Gr.No.1)	745
4	1 1/4Cr-1/2Mo 钢 (P-No.4, Gr.No.2)	775
5	2 1/4Cr-1/2Mo、3Cr-1Mo 钢 (P-No.5A)	805
6	5Cr-1/2Mo 钢 (P-No.5B, Gr.No.1)	820
7	9Cr-1/2Mo 钢 (P-No.5B, Gr.No.2)	810
注: 括号内的数字是 ASME 标准的 P-No 号。		

9.6 近年来 9Cr-1Mo-V (T91、P91) 钢多用于乙烯装置的裂解炉炉管等, 本钢种是在 9Cr-1Mo 的基础上发展起来的。焊后的冷却过程是奥氏体向马氏体转变的过程, 由于 P91 钢的奥氏体转变孕育期较长, 焊后必须空冷, 以使奥氏体完全转变为马氏体, 保证接头的强度。空冷的时间应根据结构大小、环境温度、焊后应力等情况而定, 空冷至 100 °C 才能进行焊后的热处理。当然, 根据和 P91 相焊的钢种不同, 具体的焊接和热处理工艺也不一样。